



# GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES GITI

## TRABAJO DE FIN DE GRADO

Sistemas modulares en construcción:  
“Lean construction” e Instalaciones

Autor: Jorge Ocaña del Llano

Director: Jesús Guardiola Arnanz

Co-director: Tamar Awad Parada

Madrid



Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título  
Sistemas modulares en construcción: “Lean construction” e Instalaciones  
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.:



Fecha: 06/ 06/ 23

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.:



J. Guardiola ✓

Fecha: 15/06 /23





# GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES GITI

## TRABAJO DE FIN DE GRADO

Sistemas modulares en construcción:  
“Lean construction” e Instalaciones

Autor: Jorge Ocaña del Llano

Director: Jesús Guardiola Arnanz

Co-director: Tamar Awad Parada

Madrid



# SISTEMAS MODULARES EN CONSTRUCCIÓN: LEAN CONSTRUCTION E INSTALACIONES

**Autor: Ocaña del Llano, Jorge.**

Director: Guardiola Arnanz, Jesús y Awad Parada, Tamar.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas.

## RESUMEN DEL PROYECTO

Se ha diseñado un modelo de entramado para la establecerse las instalaciones externas de una serie de viviendas desarrolladas por construcción modular. Se han seleccionado también las distintas instalaciones y se ha diseñado un plan de plazos y estudio económico siguiendo la metodología Lean para la optimización de procesos.

**Palabras clave:** Instalaciones, optimización, entramado, módulo, metodología Lean.

### 1. Introducción

La industrialización ha sido uno de los avances que ha ido surgiendo a lo largo de la historia en distintos sectores y esta se fundamenta en un desarrollo a nivel de procesos y tecnología que se lleva a producir más en menos tiempo<sup>1</sup>. Poco a poco sectores de distintos ámbitos han conseguido adaptarse y evolucionar para ir estableciendo cada vez procesos más óptimos, no obstante, un sector en concreto ha sufrido un cierto atraso en los últimos años con respecto a las nuevas tecnologías y procesos. Este sector es el de la construcción, un sector donde se siguen empleando los mismos métodos tradicionales y convencionales durante las últimas décadas y que apenas cuenta con proyectos industrializados que hayan salido a la luz. Por ello, la construcción industrializada es de cierta manera una novedad que se pretende implantar para optimizar la realización de proyectos de construcción, y dentro de esta, se pueden encontrar distintos tipos de proyectos, concretamente se va a centrar el estudio en la construcción modular. La construcción modular permite la construcción por módulos desarrollados en la fábrica y que tan solo requieren del montaje en la obra, lo que, en un principio, reduce costes y plazos de tiempo. En muchas ocasiones la construcción modular viene acompañada del término “Lean construction”. La metodología Lean en pocas palabras pretende optimizar procesos, y esta será una de las bases sobre la que se apoyará el trabajo a desarrollar.

### 2. Definición del proyecto

El Proyecto en cuestión se basa en el estudio de las instalaciones para una serie de viviendas modulares, y coge como referencia los planos y el estudio del proyecto INVISIO, un proyecto realizado por varios profesionales del sector, entre otros por Jesús Guardiola, director de este trabajo de fin de grado. El proyecto particular estudia el posible diseño para el entramado en el que situarán las instalaciones, ya que estas, en búsqueda de la desmontabilidad y optimización, se situarán exteriores a la vivienda. Además del diseño del entramado para todas las viviendas realizado en 3D con el programa Solid Edge, el proyecto se centrará en las instalaciones y estudio de plazos y costes de una de las viviendas. Es un proyecto que se está llevando a cabo por varios alumnos, centrándose cada uno en un módulo diferente, siendo como ya se ha mencionado el módulo estructural de las instalaciones y las propias instalaciones el foco de estudio en este proyecto.

---

<sup>1</sup> «Industrialización: qué es, concepto y características - Significados».

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

El primer estudio que se realiza es un estudio del modelo y de las distintas instalaciones que se pueden encontrar en una vivienda, en base a poder realizar un entramado coherente donde el espacio se ha distribuido de forma óptima para permitir el abastecimiento y autonomía de cada vivienda. Se estudian, por tanto, desde instalaciones eléctricas, hasta de agua o ventilación y se incorporan sistemas que buscan la sostenibilidad como paneles solares. Estas instalaciones irán en el exterior de la vivienda, en un entramado a diseñar, este tiene que diseñarse conociendo las medidas de las que se disponen, extraídas de un plano del proyecto INVISIO.



*Figura 1: Proyecto INVISIO*

En base a este plano y a un trabajo de fin de grado anterior realizado por el alumno Miguel Cobo, se toman las medidas mínimas que debe tener el entramado para ser coherente con el resto de los proyectos. Y una vez, tomadas se diseñará el entramado para todas las viviendas con el programa Solid Edge, con sus respectivos pilares, vigas y viguetas.

Posteriormente, se centrará el estudio en una de las viviendas, concretamente en la segunda, ya que es el ejemplo que tomó Miguel Cobo en su respectivo trabajo, y se ha querido seguir para más tarde mostrar la anexión de ambos trabajos. Este estudio centrará el objetivo en el cumplimiento de la metodología Lean, ideando un sistema de plazos para la construcción simultánea del entramado de la vivienda y sus instalaciones. Para este sistema de plazos se usarán diagramas de Gantt que permitirán ir viendo de forma gráfica los avances por horas en la obra. También se incluirá un estudio de costes y se analizarán si las aproximaciones y diseños realizados son coherentes y óptimos con respecto a una construcción industrializada.

### 4. Resultados

Se consigue desarrollar dicho entramado para las viviendas, así como realizar un estudio del desarrollo de la obra por horas y una respectiva aproximación del coste de la obra

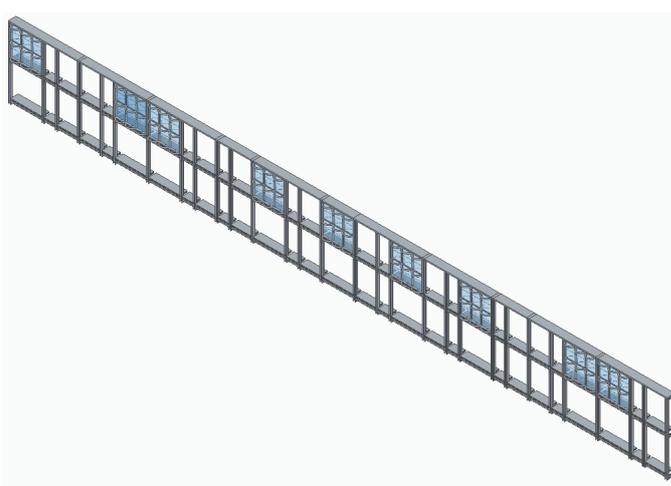


Figura 2: Entramado global

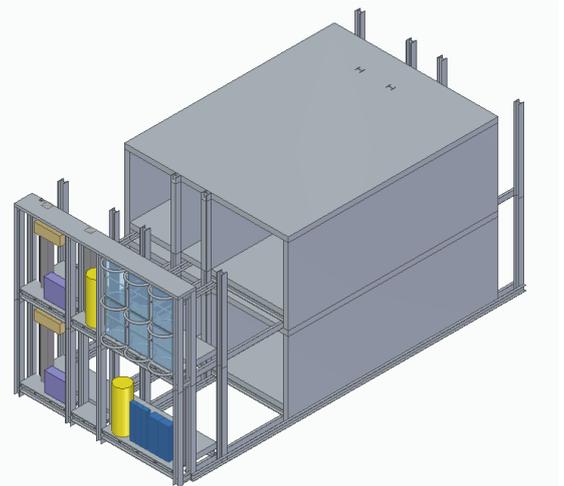


Figura 3: Entramado detallado vivienda 2

### CONSTRUCCIÓN DEL MÓDULO 02



Figura 4: Diagrama de Gantt final

## 5. Conclusiones

En conclusión, con este proyecto se da un ejemplo de cómo gracias a la industrialización de la construcción se pueden llegar a optimizar los procesos y conseguir la innovación de un sector centrado en las obras convencionales y tradicionales.

## 6. Referencias

«Industrialización: qué es, concepto y características - Significados». Accedido 5 de junio de 2023. <https://www.significados.com/industrializacion/>.

Cobo Pérez-Minayo, Miguel. «Sistemas de montaje para una construcción de “Componentes Compatibles”: 3C siguiendo la metodología Lean».

Guardiola Aranz, Jesús. «Proyecto INVISO».

# MODULAR SYSTEMS IN CONSTRUCTION: LEAN CONSTRUCTION AND INSTALLATIONS.

**Author:** Ocaña del Llano, Jorge.

Supervisor: Guardiola Arnanz, Jesús y Awad Parada, Tamar.

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas.

## ABSTRACT

It has been designed a framework model to accommodate the installations of modularly constructed houses. The different installations are also studied and selected, and a timeline plan and economic study is developed following the Lean methodology to optimize processes.

**Keywords:** Installations, optimization, framework, modules, Lean methodology.

### 1. Introduction

Industrialization has been one of the advancements that has been developed throughout history in various sectors, and it is based on process and technological developments that aim to produce more in less time. Gradually, sectors from different fields have managed to adapt and evolve to establish increasingly efficient processes. However, one specific sector has experienced a certain lag in recent years when it comes to new technologies and processes. This sector is construction, where the same traditional and conventional methods are being used nowadays, with very few industrialized projects being developed. Therefore, industrialized construction is a novelty that is being sought to optimize construction projects. Within this field, there can be found different types of projects, including the modular construction which will have a particular focus in this project. Modular construction involves the assembly of modules developed in the factory, which only require on-site installation, which will initially reduce the costs and timeframes of the project. Often this type of construction is associated with the term “Lean construction”, which basically consists of the optimization of processes, and it will serve as one of the bases for the work to be developed.

### 2. Project definition

The project is based on the study of the installations of a series of modular houses and takes as a reference the plans and study of the INVISO project, a project carried out by various professionals in the industry, including Jesús Guardiola, one of the directors of this final degree project. The project studies the possible design for the framework where the installations will be located, as these, in search of disassembly and optimization, will be in the outside of the houses. In addition to the design of the framework of the houses, which was made in 3D using Solid Edge software, the project will focus on the installations of one of the houses, including the study of timelines and costs as well. This project is being done by several students, each one focusing on a different module. As mentioned before, the structure of the framework and the installations will be the main areas of study in this project.

### 3. Model/system/tool summary

The first study which is made, consists in the study of the model and the different installations that can be found in a house, aiming to create a coherent framework where the space is correctly distributed allowing the supply and autonomy of each dwelling. This includes the study from electrical installations to water supply and ventilation systems, as well as the incorporation of sustainable features such as solar panels. These installations will be in the outside of the houses, in the framework

to be made, which must be designed knowing the dimensions obtained from a blueprint of the INVISO project.



Figure 1: INVISO project

Based on this blueprint and a previous final degree project made by Miguel Cobo, the minimum dimensions required for the framework are established. Once these dimensions are taken, the framework, including its respective pillars, beams, and joists, is designed for all the houses with the Solid Edge software.

Subsequently there will be a deeper study in one of the houses, concretely in the second one, as it is the one Miguel Cobo project was focused on, and it will allow the union of both parts once the framework is finished. This study will aim the target on complying with the Lean methodology by devising a timeline system for the simultaneous construction of the house and its installations. Gantt charts will be included to evaluate the coherence and optimization of the proposed approaches and designs.

#### 4. Results

The framework is correctly designed for each house, as well as an hourly study of the construction process and a corresponding cost estimation.

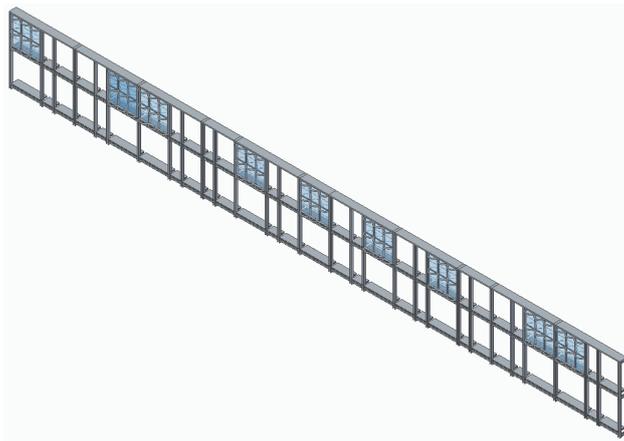


Figure 2: Total framework

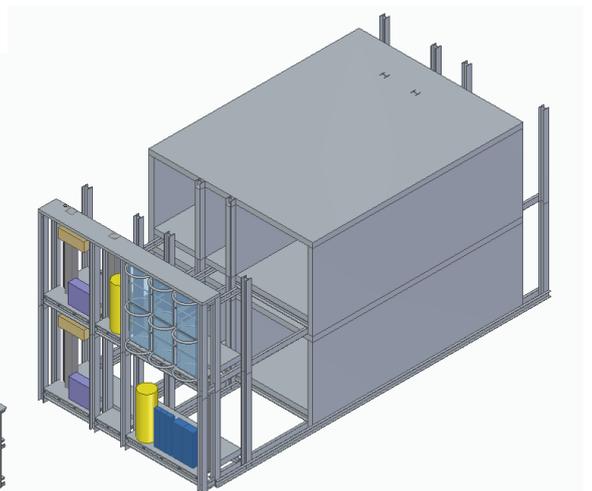


Figure 3: Detailed framework of the second module

## CONSTRUCCIÓN DEL MÓDULO 02



Figure 4: Final Gantt chart

### 5. Conclusions

In conclusion, this project provides an example of how through process optimization and innovations, the industrialization of construction can be achieved.

### 6. References

«Industrialización: qué es, concepto y características - Significados». Accedido 5 de junio de 2023. <https://www.significados.com/industrializacion/>.

Cobo Pérez-Minayo, Miguel. «Sistemas de montaje para una construcción de “Componentes Compatibles”: 3C siguiendo la metodología Lean».

Guardiola Arnanz, Jesús. «Proyecto INVISO».

## *Índice de la memoria*

<b>Capítulo 1. Introducción .....</b>	<b>17</b>
<b>1.1 Introducción al proyecto .....</b>	<b>17</b>
<b>1.2 Motivación del proyecto.....</b>	<b>18</b>
<b>1.3 Estado de la cuestión .....</b>	<b>18</b>
<b>Capítulo 2. Descripción de las Tecnologías y Modelo.....</b>	<b>21</b>
<b>2.1 Descripción de tecnologías .....</b>	<b>21</b>
<b>2.2 Instalaciones .....</b>	<b>21</b>
2.2.1 Instalaciones eléctricas.....	22
2.2.2 Instalaciones de agua .....	23
2.2.3 Calefacción .....	24
2.2.4 Ventilación.....	26
2.2.5 Sistemas de evacuación/saneamiento.....	27
2.2.6 Instalaciones de datos y resto de instalaciones .....	28
<b>2.3 Conectividad a módulos.....</b>	<b>28</b>
<b>2.4 Entramado .....</b>	<b>29</b>
2.4.1 Pilares.....	31
2.4.2 Vigas .....	31
2.4.3 Suelos y cubiertas .....	34
<b>Capítulo 3. Definición del Trabajo .....</b>	<b>38</b>
<b>3.1 Objetivos.....</b>	<b>38</b>
<b>3.2 Metodología .....</b>	<b>38</b>
<b>3.3 Alineación con objetivos de desarrollo sostenible (ODS) .....</b>	<b>39</b>
<b>Capítulo 4. Sistema/Modelo desarrollado.....</b>	<b>40</b>

<i>4.1 Desarrollo de plazos.....</i>	<i>40</i>
<i>4.2 Resultado final.....</i>	<i>51</i>
<i>4.3 Estudio económico.....</i>	<i>55</i>
<i>Capítulo 5. Análisis de Resultados.....</i>	<i>61</i>
<i>Capítulo 6. Conclusiones y trabajos futuros .....</i>	<i>64</i>
<i>Capítulo 7. Bibliografía.....</i>	<i>65</i>

## Índice de figuras

Figura 1: Proyecto INVISO .....	8
Figura 2: Entramado global	Figura 3: Entramado detallado vivienda 2.....
Figura 4: Diagrama de Gantt final .....	9
Figura 5: Principios 5S .....	9
Figura 6: Construcción actual productos y tecnología .....	17
Figura 7: Módulos de construcción compatibles .....	18
Figura 8: Cuadro eléctrico .....	20
Figura 9: Ejemplo de bomba aerotérmica exterior .....	22
Figura 10: Medidas posibles bomba aerotermia .....	25
Figura 11: Ventilación doble flujo con recuperación de calor .....	26
Figura 12: Recuperador de calor .....	26
Figura 13: Perfil IPE200 .....	27
Figura 14: Perfil HEB 200.....	30
Figura 15: Perfil hueco cuadrado 60.4 .....	30
Figura 16: Pilar HEB200.....	31
Figura 17: Viga IPE200.....	31
Figura 18: Vigas HEB200.....	32
Figura 19: Viga cuadrada hueca 60.4 .....	32
Figura 20: Unión Vigas-pilares.....	33
Figura 21: Suelo tramex y diseño en Solid de este .....	34
Figura 22: Tamaños suelos .....	34
Figura 23: Cubierta de acero .....	35
Figura 24: Soporte con y sin paneles .....	35
Figura 25: Agrupación de paneles para vivienda .....	36
Figura 26: Proyecto INVISO .....	37
Figura 27: Avances entramado segunda semana .....	40
Figura 28: Diagrama de Gantt dos semanas .....	41
Figura 29: Avances entramado tercera semana (I) .....	41
Figura 30: Avances entramado tercera semana (II) .....	42
Figura 31: Diagrama de Gantt tres semanas .....	43
Figura 32: Avances entramado cuarta semana (I) .....	43
Figura 33: Diagrama de Gantt cuatro semanas (I) .....	44
Figura 34: Avances entramado cuarta semana (II) .....	45
Figura 35: Diagrama de Gantt cuatro semanas (II) .....	46
Figura 36: Avances entramado quinta semana.....	46
Figura 37: Diagrama de Gantt cinco semanas.....	47
Figura 38: Avances entramado sexta semana (I) .....	48
Figura 39: Diagrama de Gantt seis semanas (I).....	48
Figura 40: Avances entramado sexta semana (II) .....	49
Figura 41: Avances entramado séptima semana .....	50
Figura 42: Diagrama de Gantt siete semanas .....	50
	51

---

Figura 43: Unión del armazón de la vivienda con entramado .....	51
Figura 44: Barandilla y pasarela de acceso .....	52
Figura 45: Configuraciones entramado (I).....	53
Figura 46: Configuraciones entramado (II) .....	53
Figura 47: Entramado 8 viviendas .....	54
Figura 48: Entramado 8 viviendas .....	54
Figura 49: Coste por kg acero en vigas .....	56
Figura 50: Coste por kg acero en vigas .....	56
Figura 51: Kg/m en función del perfil.....	57
Figura 52: Kg/m en función del perfil.....	57
Figura 53: Kg/m en función del perfil.....	58
Figura 54: Coste por kg acero en vigas.....	59

## Capítulo 1. Introducción

### 1.1 Introducción al proyecto

En estos últimos años, la industria ha sido capaz de sistematizar la manera de fabricar y producir, no obstante, el sector de la construcción se ha quedado atrás respecto a estos avances. Sistematizar la industria permite llevar a cabo una mejor planificación de plazos, y es un objetivo para la construcción, para poder así estar a la par que otros sectores y poder optimizar la misma.

Con este TFG titulado “Construcción modular”, se pretende realizar un trabajo conjunto en el que conseguir la optimización de plazos en la construcción de un bloque de viviendas modular. La parte que corresponde se basa en la instalación necesaria en el bloque. Por tanto, se buscará la forma de poder abastecer de forma correcta a cada módulo de vivienda, y mantener dicha instalación en un entramado a construir exterior a la vivienda. Esto también con el objetivo de minimizar los posibles daños en el interior de la vivienda que pueden producirse por fallos en las instalaciones. Se propondrá una serie de instalaciones comunes en cualquier vivienda, así como vías más renovables de poder obtener energía, como paneles solares, y otros elementos buscando la sostenibilidad de la instalación.

El objetivo será tener estas instalaciones preparadas para ser colocadas en cada planta del bloque de viviendas modular, y que a la hora de la construcción del bloque se pueda optimizar la construcción de este, por medio de la sistematización en base al modelo “Lean”. Esta metodología Lean se basa precisamente en la optimización de procesos, eliminando aquellos que no contribuyen a una mejora del producto final, evitando por tanto pérdidas de tiempo y materiales, y sacando el máximo partido a las gestiones. A esta metodología Lean se le acompañará con el conocido como sistema 5s japonés, que influye en la planificación y optimización de los procesos por medio de cinco prácticas: Poner en orden, pulir resultados, estandarizar, mantener y clasificar.



Figura 5: Principios 5S<sup>2</sup>

<sup>2</sup> «5S Lean | Principios 5S en el lugar de trabajo».

## 1.2 Motivación del proyecto

La motivación del proyecto viene por tanto relacionada con lo anteriormente mencionado acerca de la industrialización en la construcción. Las nuevas tecnologías permiten un gran progreso en muchos ámbitos y sectores, sin embargo, parece que el sector de la construcción se ha quedado atrás, ya que no se ha conseguido implantar estos modelos sistematizados que optimizan la consecución de proyectos.

Las principales causas por las que no han visto la luz muchos proyectos de construcción industrializada son realmente debido a la escasa formación de personal especializado, ya que la falta de mano de obra para el sector de la construcción representa un problema para el avance de la industrialización en el mismo. No obstante, ya fueron mencionadas las ventajas en tiempos, optimización y hasta costes de la construcción industrializada con respecto a la más tradicional.

Son estas causas las que mueven y motivan proyectos como este, que puedan plantearse para dejar ver más sistematización en el sector, con el fin de que en un futuro se consiga alcanzar la industrialización que se puede apreciar en muchos otros sectores.

En lo más personal, la motivación del presente sobre todo viene de la mano de querer indagar en este sector y en las posibilidades que tiene por explotar, concretamente las instalaciones, donde ya en la actualidad se están tomando a cabo medidas como implementar instalaciones exteriores en infraestructuras como el centro Pompidou.

## 1.3 Estado de la cuestión

El estado actual del sector de la construcción camina hacia una industrialización de esta, ya que es una forma de optimizar y mejorar la tecnología en el sector. Este proyecto se enfoca en este ámbito y concretamente dentro de la industrialización, en la construcción modular.

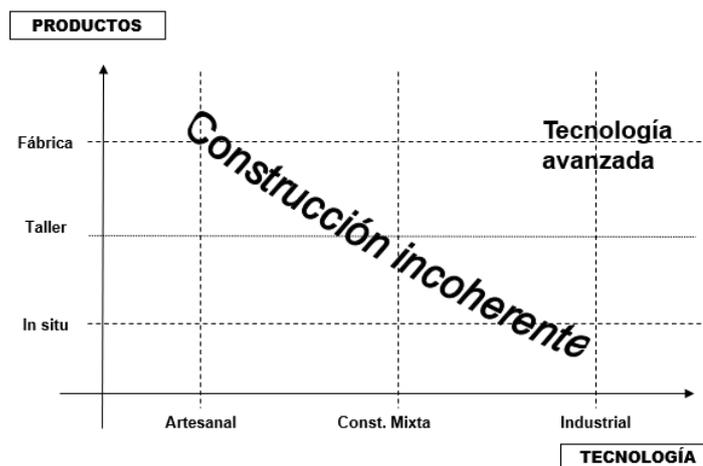


Figura 6: Construcción actual productos y tecnología

Como se ha comentado anteriormente, el objetivo principal y solución a encontrar es la optimización de plazos en la construcción, y en el caso correspondiente, se centra la atención en dos aspectos. Los módulos de la instalación y el entramado donde estos módulos se situarán. La solución tecnológica del montaje

pasa por llevar a cabo los módulos o agrupaciones específicas dentro de las instalaciones en el proceso de la fábrica, siendo estos: módulos de tuberías, cables y conexiones, módulos centrados únicamente en la instalación eléctrica, donde estarían las cajas de protección, acometidas, cuadros y acumuladores eléctricos, un conjunto de climatización y ventilación, y elementos como paneles fotovoltaicos que contribuirán al desarrollo sostenible del proyecto. Todos conteniendo sistemas adecuados a la estructura del bloque y al abastecimiento de los módulos del edificio. Posterior a su fabricación se establecerían dichos módulos durante los periodos de construcción a medida que se construye el entramado exterior del bloque.

Este entramado tendría una realización diferente a lo visto para la instalación, ya que se construiría in situ, en el lugar de ocupación del bloque de viviendas (y no en fábrica), y compartiendo plazos de construcción con el resto de los elementos de la vivienda (fachadas, la estructura del bloque, y los módulos de las viviendas) que no se atienden en este proyecto, pero que irán complementarias en la construcción.

Por consiguiente, el proceso a seguir es un proceso de industrialización de una serie de elementos constructivos que son concebidos y posteriormente montados in situ e independientemente. La tecnología que emplear, por tanto, es una tecnología moderna, que está a la orden del día y que consta de numerosos proyectos similares que se han conformado o se están planificando en torno a la construcción modular, poniendo también en el desarrollo un diseño centrado en la construcción industrial, que permite optar a numerosas prestaciones. Entre estas y como diferenciación de la construcción más tradicional: se optimiza el proceso de fabricación, reduciendo posibles imprevistos, hay mayor versatilidad de diseño al ser componentes modulares que se pueden acoplar y desacoplar a posteriori, y optimiza plazos de consecución del proyecto, así como se integra la sostenibilidad de forma más presente.<sup>3</sup>

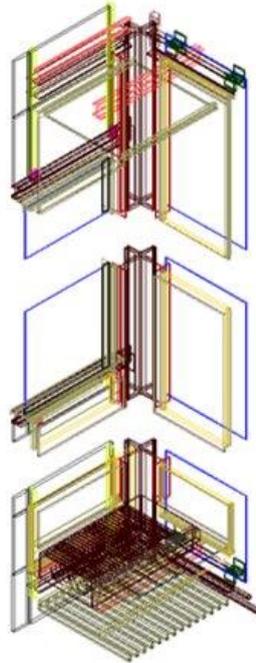
Como uno de los orígenes de los que consta este tipo de construcción basada en la industrialización, cabe mencionar al arquitecto suizo Le Corbusier y su libro *Précision sur un état de l'Architecture et de l'urbanisme*. Este autor entre otros comenzó a implementar las ideas para una base de la industrialización en el sector constructivo, y para una fabricación industrial dinámica.<sup>4</sup>

Concretamente se sigue el sistema 3c, un sistema de construcción de componentes compatibles, concretamente de la categoría de módulos, donde como se ha mencionado anteriormente, los distintos elementos constructivos se agrupan en conjuntos con afinidad en cuanto a propiedades.

---

<sup>3</sup> «Construcción industrializada».

<sup>4</sup> CIDARK, «Sobre el concepto de la prefabricación».



*Figura 7: Módulos de construcción compatibles*

## ***Capítulo 2. Descripción de las Tecnologías y Modelo***

### **2.1 Descripción de tecnologías**

Dentro de los recursos a emplear destacan las herramientas de trabajo proporcionadas por los programas de Solid Edge y AutoCAD. Con estos programas se llevará a cabo el entramado a construir y también se usarán para la toma de medidas de la estructura del edificio (realizada también en CAD).

Se planteaba también el uso del laboratorio de fabricación, para fabricar las maquetas y prototipos del entramado realizado en Solid. Finalmente, no se usará por un tema de plazos, no obstante, se verán todos los pasos de construcción en el diseño 3D de Solid.

Como apoyo sobre el que sostenerse en todo el proyecto contamos con el material proporcionado del proyecto INVISO, un proyecto premiado que se fundamenta en la industrialización de la vivienda, y sobre el que se orienta este trabajo.

Se cuenta además con el resto de los proyectos simultáneos a este y centrados en el mismo proyecto global. Incluyendo también la parte de la estructura, realizada el año pasado por el alumno Miguel Cobo, y que servirá como base a la hora de desarrollar en Solid las medidas y optimización del espacio del entramado a crear.

Finalmente, para realizar diagramas de Gantt donde se pueda visualizar el periodo de plazos de cada paso en la construcción del entramado se usará la web online de Venngage que permite trabajar con este tipo de diagramas.

### **2.2 Instalaciones**

Toda vivienda debe tener una serie de instalaciones para obtener su correcto abastecimiento. Podemos distinguir entre instalaciones eléctricas, de agua, de calefacción, sistemas de evacuación y conexiones como cables. Además, en este caso se incorporarán al edificio una serie de paneles solares para favorecer aún más el abastecimiento eléctrico de una forma sostenible. Como ya se ha mencionado anteriormente, las instalaciones serán instaladas en el exterior de la vivienda, concretamente en un entramado a construir. De esta forma estarán más accesibles en caso de avería o necesidad de cambiar alguno de los elementos de la instalación, y no se correrán riegos en el interior de las viviendas. Todas las instalaciones que se mencionaran a continuación no serán centralizadas, si no que serán individuales por vivienda, de esta forma, en caso de que por módulos se incluyan una nueva vivienda, las instalaciones ya dispuestas no necesitarán una ampliación, sino que simplemente se añadirán las correspondientes para la nueva vivienda.

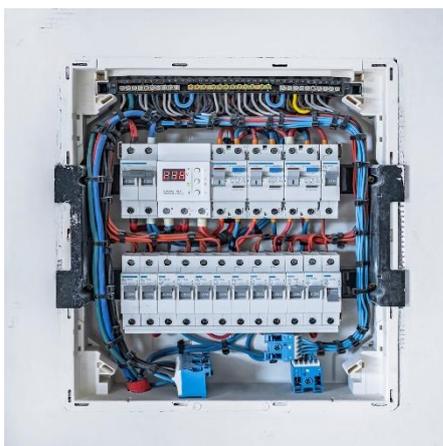
### 2.2.1 Instalaciones eléctricas

Entre las distintas instalaciones eléctricas se incluirán en cada planta del edificio una acometida eléctrica, una caja de protecciones, un cuadro y un acumulador eléctrico, además de las conexiones pertinentes.

**Acometida eléctrica:** En orden de donde sea instalado el edificio a desarrollar, el cliente deberá abonar únicamente el coste de la conexión a la red eléctrica, o el coste de la instalación si el terreno no está urbanizado o no cumple con las condiciones específicas de la zona de instalación<sup>5</sup>. La acometida del edificio en cuestión se podrá situar externamente al edificio, ya sea a lo largo de la fachada o por una conexión subterránea según especifique la compañía distribuidora.

**Caja de protección:** Será así mismo imprescindible incluir una caja general de protección en la instalación, caja que sirve como punto de conexión de la red eléctrica al edificio, y que consta de un interruptor general que garantiza la seguridad y protege frente a fallos o averías eléctricas. Este elemento a diferencia de la acometida ya es algo de requerimientos de revisión personales o de la comunidad de vecinos. Mediante una serie de cableado está se conecta a la centralización de los contadores del edificio.

**Cuadro eléctrico:** En cada una de las dos plantas del edificio se instalará un cuadro eléctrico que debe cumplir con una normativa<sup>6</sup>. El cuadro eléctrico protege a la instalación y a las personas que viven en la vivienda, y es necesario en toda vivienda.



*Figura 8: Cuadro eléctrico<sup>7</sup>*

**Acumulador eléctrico:** En cada planta del edificio también se incluirá un acumulador eléctrico fotovoltaico, concretamente se optará por acumuladores eléctricos fotovoltaicos que estén directamente conectados a placas que generen esta electricidad a acumular. Estos acumuladores recogerán la energía sobrante recogida por las placas fotovoltaicas que no sea usada, y servirán como contenedores de los cuales surtir energéticamente a la planta del edificio cuando se quiera ahorrar electricidad de la red y sea de noche o un día nublado. Existen distintas baterías que usar para el correcto funcionamiento de estos acumuladores, pero en el caso a estudiar se usarán baterías estacionarias. Este tipo de baterías ofrecen

<sup>5</sup> «2.1.- Acometida. | IEI06.- Configuración y diseño de instalaciones eléctricas de interior.»

<sup>6</sup> Bricoladores, «Dónde instalar el cuadro eléctrico de la vivienda según normativa».

<sup>7</sup> Bricoladores.

un rendimiento mayor que otras y además permiten un uso diario de medio/alto consumo, con una vida útil de hasta 20 años<sup>8</sup>. Su precio más elevado además se amortiza con el paso del tiempo, debido a lo que es ahorrado de consumo eléctrico.

En cada planta se instalarán por tanto también **paneles fotovoltaicos** sobre soportes giratorios, de forma que se pueda orientar la posición de estos en orden de aprovechar y prolongar al máximo los momentos diurnos en los que el sol se sitúe proyectando sobre los paneles.

En general unas medidas posibles y generales vistas en el mercado para unos acumuladores eléctricos pueden ser unas medidas de altura 1650mm y un diámetro de 600mm.

Como paneles solares existen distintos tamaños que vienen influenciados también por la potencia que son capaces de suministrar<sup>9</sup>. Se van a tomar como posibles medidas para los paneles a elegir una altura de 1200mm, ancho de 750mm y un espesor de 40mm. Con estas medidas, se pueden instalar 6 paneles por vivienda sin problema. Pese a ser un tamaño no muy grande para unos paneles, se produciría una cantidad de vatios que se complementan con la acometida y el resto de las instalaciones eléctricas, y que, por medio de acumuladores, se podrá aprovechar de manera más efectiva energía solar. El número de paneles podrá ser superior dependiendo de la vivienda estudiada, siendo más sostenible y eficaz el aprovechamiento de la energía solar. Todo esto parte de la potencia eléctrica que puede ser recomendada para el tamaño en metros cuadrados de una vivienda. Dependiendo de los metros cuadrados de los que se disponga, se podría optar por incluir más o menos paneles fotovoltaicos.

Por último, he de mencionar que se incluirá como en cualquier instalación eléctrica en la vivienda, una toma a tierra única para el edificio.

### **2.2.2 Instalaciones de agua**

Las instalaciones referidas al abastecimiento del agua en la vivienda constan de una serie de llaves (de registro o de paso), una serie de bombas que estén en funcionamiento para que funcione correctamente el suministro del agua, una serie de contadores de los que se derivan las tomas a cada vivienda o distintas partes de esta, y las tuberías de conexión entre contador, bombas y vivienda. A parte de estas instalaciones propias de la vivienda se deberá analizar la necesidad de establecer una acometida en orden de obtener agua de la red disponible de distribución.

**Llaves de paso/registro:** Las llaves sirven dentro de las instalaciones para regular la cantidad de agua que se quiere abastecer a las bombas y a la batería de contadores.

**Sistema de bombeo:** Los equipos de bombeo vistos como una máquina de fluido que se encarga fundamentalmente del intercambio energético entre energía mecánica y la energía que adquiere el fluido a bombear. Estas bombas que se encuentren en el sistema de bombeo deberán estar conectadas a los contadores en orden de controlar el flujo de agua destinado a llegar al uso en la vivienda. El sistema de bombeo a priori se localizará junto con la batería de contadores a la altura del suelo y serán las tuberías las que se anexionarán a los distintos módulos de las plantas del edificio para el surtido del agua.

La sala de máquinas se podría sustituir por un compartimento donde este dicho sistema de bombeo, las medidas mínimas estipuladas para una sala de máquinas son las siguientes: entre 2 y 4 m<sup>2</sup> y un mínimo

---

<sup>8</sup> Solar, «Acumuladores para placas solares y baterías. Qué son y cómo funcionan».

<sup>9</sup> «¿Cuáles son los tamaños estándar de los paneles solares fotovoltaicos?»

de 1,5m de altura<sup>10</sup>. Por tanto, se llevaría a cabo un compartimento con dichas medidas mínimas que albergue las bombas y pueda estar protegido en la base del entramado exterior. Otra opción sería dejar la instalación de las bombas y demás instalaciones del agua al aire libre como el resto de las instalaciones.

El número de bombas a incluir dependerá del número de módulos que necesiten de agua para el correcto funcionamiento de la vivienda, en caso de añadirse más módulos o que se retiren, se podrán añadir o reducir el número de bombas del sistema. Una alternativa a reducir el número de bombas sería cortar la conexión de dicha bomba al resto del sistema. La elección de la bomba también dependerá de una serie de parámetros y condiciones a tener en cuenta. Lo primero sería estimar la demanda de agua que tendrá la vivienda, para poder calcular la potencia y tamaño de la bomba o bombas a instalar<sup>11</sup>. A raíz del caudal estimado para suplir la demanda, se requiere el cálculo de la carga dinámica para este caudal. Una fórmula válida para este cálculo es la diferencia de altura entre la bomba y la altura del edificio sumado a un porcentaje de la altura debido a las posibles pérdidas internas dentro de las tuberías, más la presión a la salida (todo en metro de columna de agua<sup>12</sup>). El resultado de este cálculo nos permite observar la altura que necesitaríamos en orden de suplir a la vivienda, y por tanto elegir una bomba acorde a las necesidades requeridas.

**Batería de contadores:** Se dispondrá como en cualquier vivienda de una serie de contadores conectadas a la propia acometida y sistema de bombeo que a su vez se distribuirán en tomas individuales para el suministro de la vivienda. En el caso de estudio al disponer únicamente de una vivienda se optará de un contador individual. Al ser un edificio diseñado por módulos, en caso de que en futuro se optara por constar con más de una vivienda se añadirían un conjunto de contadores, pero en el caso, por haber solo una vivienda, se mantendrá la primera disposición mencionada de un solo contador<sup>13</sup>. Los contadores por lo general se integran en una sala de contadores, por lo que una referencia de como establecer en el entramado dicha sala, sería integrar la batería de contadores y la sala de bombas en una misma sala en la planta baja del edificio. Propiamente no habría que hacer mucho más grande esta sala de lo estipulado para las bombas, debido a que un solo contador no es lo suficientemente grande como para que puedan aparecer problemas de espacio libre en la sala.

**Tuberías y conexiones:** Las tuberías que vengan desde la acometida al grupo de bombeo y contador, serán subterráneas. De la sala de bombas y contadores saldrán el resto de las tuberías y conexiones, ascendiendo por el entramado (se dejará un espacio para el ascenso de estas y así evitar problemas logísticos a la hora de la disposición de estas en el entramado) y conectándose a los distintos módulos en los que se requiera de suministro de agua.

### **2.2.3 Calefacción**

El disponer de acumuladores eléctricos será una de las principales ventajas a la hora de mantener la calefacción del edificio en cada módulo. Se va a optar por tanto por una instalación completamente eléctrica, a pesar de que podría parecer que una instalación de gas fuese más eficaz y asequible. El principal punto que reflexionar es que una instalación de gas supondría un gran coste adicional inicial de cara a la instalación, ya que al ser un edificio nuevo no se dispone de tomas de gas ni instalaciones previas. Por tanto, si mantenemos una instalación de calefacción eléctrica se ahorrará en costes en este sentido.

---

<sup>10</sup> «¿Qué es el cuarto de máquinas y dónde se ubica?»

<sup>11</sup> Calderón, «¿CÓMO SELECCIONAR UNA BOMBA DE AGUA PARA UNA RESIDENCIA?»

<sup>12</sup> Calderón.

<sup>13</sup> «JAESGUE | Instalaciones de Agua y Baterías».

Por otro lado, surge la duda de cara a la sostenibilidad y costes post instalación, sin embargo, como se ha mencionado, ya se iban a incluir acumuladores eléctricos fotovoltaicos, que son íntegramente un sistema lo suficientemente sostenible y competitivo respecto a la alternativa de uso de gas. De esta forma se decide por tanto un uso exclusivamente eléctrico como fuente principal calorífica y se prescinde de una instalación de gas que supondría costes adicionales al proyecto.

Por tanto, de cara a la calefacción se va a optar por el uso del acumulador eléctrico, así como la implementación de una bomba aerotérmica de la que se darán detalles a continuación.

**Bomba aerotermia:** Últimamente se está llevando a cabo un importante desarrollo en este tipo de bombas como fuentes caloríficas, el hecho es que es una de las alternativas que ahorro energético supone con respecto a los sistemas convencionales actuales. Esta tecnología obtiene principalmente su energía de aire gracias a la bomba y puede extraer hasta un 75% de energía del aire que encontramos en la atmósfera<sup>14</sup>, quedando el 25% restante para el uso de electricidad a suministrar a dicha bomba, y además debido a la instalación de placas fotovoltaicas la solución de climatización es aún más sostenible y ecológica. Este sistema supone que el calor producido venga principalmente del aire exterior y por tanto sea sostenible y económico. Pese a que su instalación pueda ser más costosa que otros sistemas más convencionales, el ahorro en instalación de gas se puede dedicar específicamente a esta instalación que supone un ahorro a la larga. Este sistema de calefacción tiene triple acción y permite actuar como calefacción en invierno, refrigeración en verano y agua caliente en cualquier época del año<sup>15</sup>. Además, es un sistema que puede suministrar un gran rendimiento, dando 5kw por cada 1kw de consumo eléctrico, y es compatible con la energía fotovoltaica, con la que el sistema podría ser incluso autónomo si se añaden las baterías o acumuladores eléctricos mencionados, ya que estos salvan los picos de la solar de las primeras horas con el consumo por la noche.



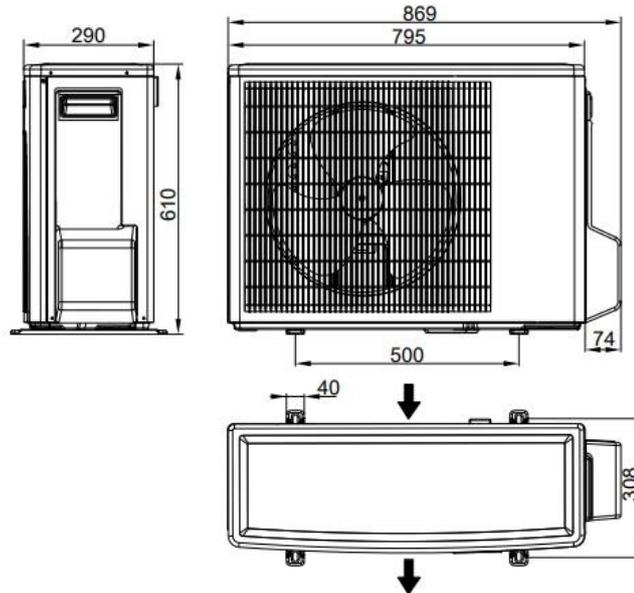
*Figura 9: Ejemplo de bomba aerotérmica exterior<sup>16</sup>*

Las posibles medidas de las bombas aerotermia por vivienda genéricas son las siguientes:

<sup>14</sup> «Aerotermia; Qué es, cómo funciona, ventajas y desventajas | OVACEN».

<sup>15</sup> «Aerotermia; Qué es, cómo funciona, ventajas y desventajas | OVACEN».

<sup>16</sup> «Aerotermia».



*Figura 10: Medidas posibles bomba aerotermita<sup>17</sup>*

Cabe mencionar que la instalación de bombas de aerotermita nos evita la instalación de agua caliente sanitaria (ACS), ya que serán estas bombas las que se encargarán del calentamiento directo del agua.

### 2.2.4 Ventilación

En lo que respecta a la ventilación de la vivienda, se optará por un sistema de doble flujo, un sistema que es novedoso y actual en lo que a ventilación de edificios se refiere. Este tipo de ventilación asegura una ventilación continua, ya que se aprovecha el aire sucio (o viciado). Consiste en un sistema donde se impulsa aire limpio o sano, y se extrae el aire sucio, que se lleva a un recuperador de calor<sup>18</sup> para favorecer la renovación de ese aire.



*Figura 11: Ventilación doble flujo con recuperación de calor<sup>19</sup>*

<sup>17</sup> CALORYFRIO, «Medidas de un aparato de aerotermita ¿Qué dimensiones tiene una bomba de calor?»

<sup>18</sup> «Ventilación de doble flujo».

<sup>19</sup> «Ventilación de doble flujo».

Por tanto, como conjunto de sistema de ventilación se optará por un sistema de doble flujo que conste de un recuperador de calor, también un sistema de filtrado para garantizar la eficacia del doble flujo y como cabría esperar, una serie de tuberías de ventilación que sean óptimas para poder abastecer a la vivienda de un buen aire.

Las dimensiones varían según el modelo seleccionado de recuperador de calor, pero tomando como referencia un modelo CABD, se tienen una serie de medidas que se pueden considerar válidas.

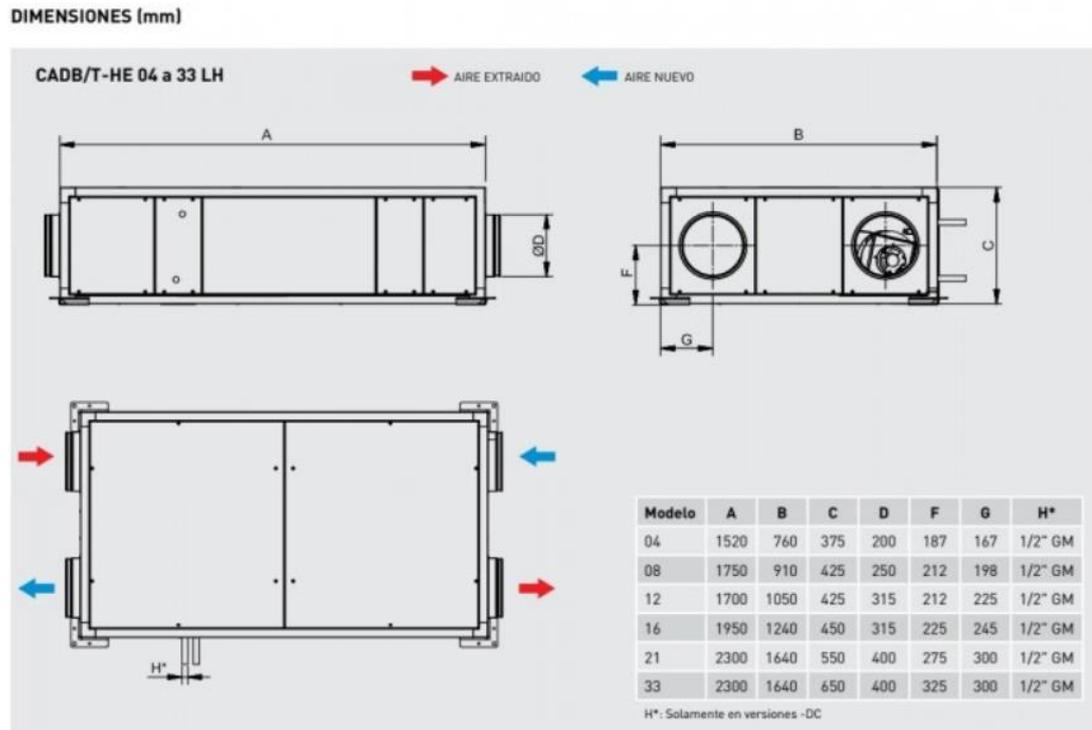


Figura 12: Recuperador de calor<sup>20</sup>

## 2.2.5 Sistemas de evacuación/saneamiento

El principal objetivo de los sistemas de evacuación dentro de una vivienda es el asegurarse de que las aguas residuales de una vivienda no se estanquen<sup>21</sup>, y puedan ser conducidas correctamente a los colectores que llevarán a un desagüe general. Por esta razón este sistema se corresponde principalmente a las distintas acometidas y conexiones que permiten cumplir con este objetivo. Los sistemas de evacuación de la vivienda se pueden establecer por lo que se conoce como sistemas separativos. Este sistema se encarga principalmente de la separación de los dos tipos de aguas que se deben de evacuar, siendo estas las aguas grises (fluviales, lavabos y ducha) y las aguas negras (residuales, como aguas fecales). Las aguas residuales van dirigidas a una EDAR, mientras que las aguas grises irán a un sistema de infiltración de aguas<sup>22</sup>.

<sup>20</sup> «Recuperador de calor S&P CADB-HE-D 16 ECOWATT».

<sup>21</sup> «Red de Saneamiento e instalaciones de una vivienda 2022».

<sup>22</sup> «¿Qué es la red separativa de aguas?»

Las conexiones o acometidas más comunes de estos sistemas son derivaciones que conectan lavabos, ducha, inodoros, aguas fluviales con las bajantes, que son tuberías verticales que recogen el vertido de las distintas derivaciones y dirigen dichos vertidos a los colectores. En el caso de estudio nos centramos únicamente en las bajantes ya que son las tuberías de evacuación que son externas al edificio. Concretamente se situarán dos bajantes en el edificio, situados externamente a este en el entramado a diseñar. Un bajante corresponderá al bajante para aguas grises y el otro para aguas negras. Ambos discurrirán por todo el edificio, y en caso de que se instalasen nuevas viviendas con la incorporación de módulos bastaría con realizar una ampliación a dichos bajantes e incorporar las nuevas derivaciones de la vivienda.

Las medidas normativas hacen que las bajantes tengan que prolongarse al menos 1,30m<sup>23</sup> por encima de la parte superior del edificio. Además, un diámetro mínimo exigible para las bajantes es del orden de 110mm<sup>24</sup>, de esta forma de evitarán problemas de atascos dentro de las mismas. La sección de estas debe ser constante y deberán estar unidas a los muros mediante abrazaderas

### **2.2.6 Instalaciones de datos y resto de instalaciones**

Las instalaciones de datos referencian al conjunto de instalaciones de telefonía, radio y televisión, además de internet. Para cada vivienda individual se deberá instalar una antena parabólica, concretamente una antena parabólica receptora, ya que dentro de las distintas antenas estas son las más habituales en hogares<sup>25</sup>. Estas antenas cumplen la función común de recibir ondas electromagnéticas emitidas por sistemas de radiocomunicaciones, por tanto, deben estar externas a la vivienda. La instalación de estas incluirá la conexión a la toma a tierra para evitar accidentes, y esta instalación será más lógica en lo más alto del entramado para permitir la correcta orientación de estas y la correcta recepción de ondas (en la segunda planta o incluso encima del techo del entramado). Además de estas antenas, se podrían instalar amplificadores de señal o filtros.

Para la telefonía se podrían instalar sistemas de ADSL o fibra óptica, siendo estos últimos más potentes. Bastaría con la implementación de una conexión a las tomas de fibra mediante cables de fibra óptica que lleguen a un router situado en el interior del hogar.

Todo este tipo de instalaciones se podría complementar con porteros electrónicos o telefonillos, con sistemas de seguridad electrónicos, como alarmas de acceso a la vivienda o domótica. No obstante, son instalaciones que son más propias del interior de una vivienda por lo que, no se tendrán en cuenta como estudio en el trabajo.

## **2.3 Conectividad a módulos**

Se pueden agrupar el conjunto de conexiones de cableado eléctrico (acometida eléctrica), tuberías de suministro de agua en un espacio dentro del entramado reservado específicamente para que vayan por

---

<sup>23</sup> «Ventilación de bajantes de aguas residuales | @amrandado».

<sup>24</sup> «Soluciones adecuada para las instalaciones de evacuación de aguas».

<sup>25</sup> «¿Qué es una antena parabólica y cuáles son sus funciones?»

ahí el conjunto de conexiones. En realidad, se incluirían en el conjunto las bajantes, tuberías, cableado eléctrico, salida de humos, tomas de tierra y conexión a internet por cable.

La organización de las conexiones se planteará con una idea inicial prototipo, muchas de estas estarán agrupadas en el entramado y tendrán ramificaciones por los falsos suelos/techos para su conexión a los distintos módulos. Así como salientes para llegar a desagües o ramificaciones que conecten con la acometida eléctrica. No obstante, la conexión y relación más directa entre las instalaciones exteriores y los distintos módulos de cada vivienda quedan pendientes para un estudio en trabajos posteriores.

Si se tendrá en cuenta un ligero sentido a la hora de la disposición de las instalaciones en el entramado, por ejemplo, sistemas como bajantes irán en paralelo a los módulos de baño, por ejemplo, ya que son el lugar donde se recoge el agua residual, o la salida de humos se situará próxima al módulo baño.

## **2.4 Entramado**

El entramado realizado en Solid Edge se ha llevado a cabo teniendo en cuenta ciertos criterios y en base a que este deberá juntarse con el armazón de viviendas y módulos. Más adelante se irá mostrando las uniones y donde se encuentran los distintos tipos de perfiles dentro del entramado. Estas vigas y pilares se realizan también en 3D con Solid Edge.

El entramado constará de una base formada por la unión de vigas y pilares, sobre los cuales se situarán suelos de tramex que soporten las distintas instalaciones exteriores. También habrán planchas de acero que actúan como un cierto techo para las instalaciones de la planta superior del entramado. Se dispondrá de los soportes para los paneles solares, unos soportes que permitirán dos movimientos angulares de los paneles para aprovechar al máximo la incidencia de los rayos del sol.

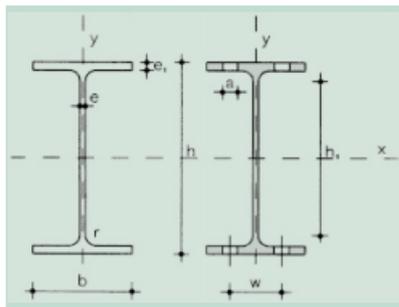
Fuera del entramado pero pegado a este, cabe mencionar que se incluirá una barandilla de seguridad para delimitar en cierta medida la zona de la pasarela de acceso a las instalaciones.

Por lo general, la compra de perfiles normalizados se da para longitudes grandes, para satisfacer las longitudes que se necesitan se podrán pedir al fabricante o comprar perfiles más largos y después cortar estos para obtener los deseados. Estos perfiles serán de acero todos y se han elegido tres tipos concretos para la estructura del entramado. Estos son: IPE200, HEB200 y perfil hueco cuadrado 60.4.<sup>26</sup>

---

<sup>26</sup> «perfilesEA95.pdf».

Tabla 2.A1.2. Perfiles IPE

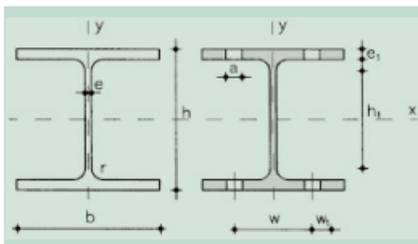


A = Área de la sección	$I_t$ = Módulo de torsión de la sección
$S_x$ = Momento estático de media sección, respecto a X	$I_{x_1}$ = Módulo de alabeo de la sección
$I_x$ = Momento de inercia de la sección, respecto a X	u = Perímetro de la sección
$W_x = 2I_x : h$ : Módulo resistente de la sección, respecto a X	a = Diámetro del agujero del roblón normal
$i_x = \sqrt{I_x : A}$ : Radio de giro de la sección, respecto a X	w = Gramil, distancia entre ejes de agujeros
$I_y$ = Momento de inercia de la sección, respecto a Y	$h_1$ = Altura de la parte plana del alma
$W_y = 2I_y : b$ : Módulo resistente de la sección, respecto a Y	p = Peso por m
$i_y = \sqrt{I_y : A}$ : Radio de giro de la sección, respecto a Y	

Perfil	Dimensiones							Términos de sección										Agujeros			Peso	
	h	b	e	e <sub>1</sub>	r <sub>1</sub>	h <sub>1</sub>	u	A	S <sub>x</sub>	I <sub>x</sub>	W <sub>x</sub>	i <sub>x</sub>	I <sub>y</sub>	W <sub>y</sub>	i <sub>y</sub>	I <sub>t</sub>	I <sub>x<sub>1</sub></sub>	w	a	e <sub>1</sub>	p	
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm <sup>4</sup>	cm <sup>6</sup>	mm	mm	mm	kg/m	
IPE 200	200	100	5,6	8,5	12	159	788	28,50	110,0	1.940,0	194,0	8,26	142,00	28,50	2,24	6,670	12.990	52	13	5,6	22,40	P

Figura 13: Perfil IPE200

Tabla 2.A1.3. Perfiles HEB, HEA y HEM

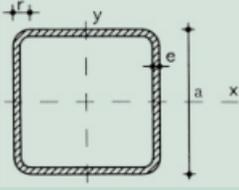


A = Área de la sección	$I_t$ = Módulo de torsión de la sección
$S_x$ = Momento estático de media sección, respecto a X	$I_{x_1}$ = Módulo de alabeo de la sección
$I_x$ = Momento de inercia de la sección, respecto a X	u = Perímetro de la sección
$W_x = 2I_x : h$ : Módulo resistente de la sección, respecto a X	a = Diámetro del agujero del roblón normal
$i_x = \sqrt{I_x : A}$ : Radio de giro de la sección, respecto a X	w = Gramil, distancia entre ejes de agujeros
$I_y$ = Momento de inercia de la sección, respecto a Y	$h_1$ = Altura de la parte plana del alma
$W_y = 2I_y : b$ : Módulo resistente de la sección, respecto a Y	p = Peso por m
$i_y = \sqrt{I_y : A}$ : Radio de giro de la sección, respecto a Y	

Perfil	Dimensiones							Términos de sección										Agujeros			Peso	
	h	b	e	e <sub>1</sub>	r <sub>1</sub>	h <sub>1</sub>	u	A	S <sub>x</sub>	I <sub>x</sub>	W <sub>x</sub>	i <sub>x</sub>	I <sub>y</sub>	W <sub>y</sub>	i <sub>y</sub>	I <sub>t</sub>	I <sub>x<sub>1</sub></sub>	w	w <sub>1</sub>	a	p	
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm <sup>4</sup>	cm <sup>6</sup>	mm	mm	mm	kg/m	
HEB 200	200	200	9,0	15,0	18	134	1.150	78,1	321,0	5.696	570	8,54	2.003	200	5,07	63,40	171.100	110	—	25	61,3	P

Figura 14: Perfil HEB 200

Tabla 2.A2.2. Perfiles huecos cuadrados



r = Radio exterior de redondeo  
u = Perímetro  
A = Área de la sección  
S = Momento estático de media sección, respecto al eje X o Y  
I = Momento de inercia de la sección, respecto al eje X o Y  
 $W = 2I : d$ . Módulo resistente de la sección, respecto al eje X o Y  
 $i = \sqrt{I : A}$ . Radio de giro de la sección, respecto al eje X o Y  
It = Módulo de torsión de la sección

Perfil	Dimensiones				Términos de sección						Peso	
	a mm	e mm	r mm	u mm	A cm <sup>2</sup>	S cm <sup>3</sup>	I cm <sup>4</sup>	W cm <sup>3</sup>	i cm	I <sub>t</sub> cm <sup>4</sup>	p kp/m	
# 60.4	60	4	10	223	8,41	8,66	42,30	14,10	2,24	72,2	6,60	P

Figura 15: Perfil hueco cuadrado 60.4

### 2.4.1 Pilares

En la selección de pilares se ha optado por pilares de perfil HEB200 con una longitud de 3200mm. Estos constituirán los pilares verticales de ambos pisos en el entramado de cada vivienda. Como el entramado será de dos plantas independientemente de que la vivienda sea un duplex o no, se podrán soldar dos pilares de estos a tope o realizarse uniones atornilladas para que formen un pilar más alto.

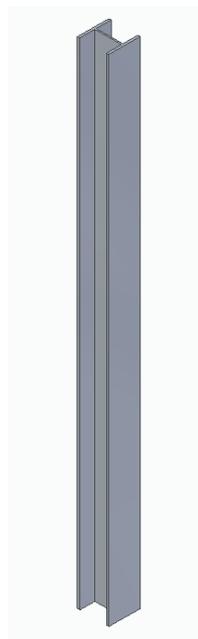


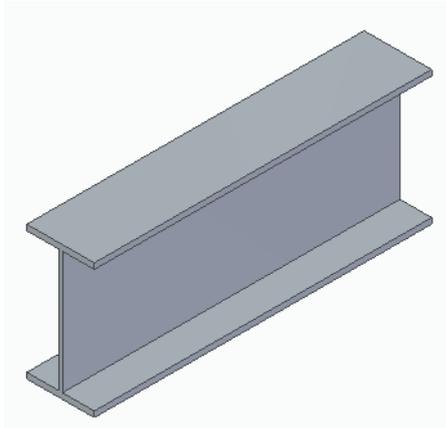
Figura 16: Pilar HEB200

### 2.4.2 Vigas

En cuanto a la selección de vigas, hay distintos modelos que se han empleado. Concretamente se usarán tres tipos de perfiles normalizados: IPE 200, HEB 200 y perfiles cuadrados huecos 60.4. Estas vigas serán de distintas longitudes diseñadas para el modelo de estudio.

-IPE 200 →

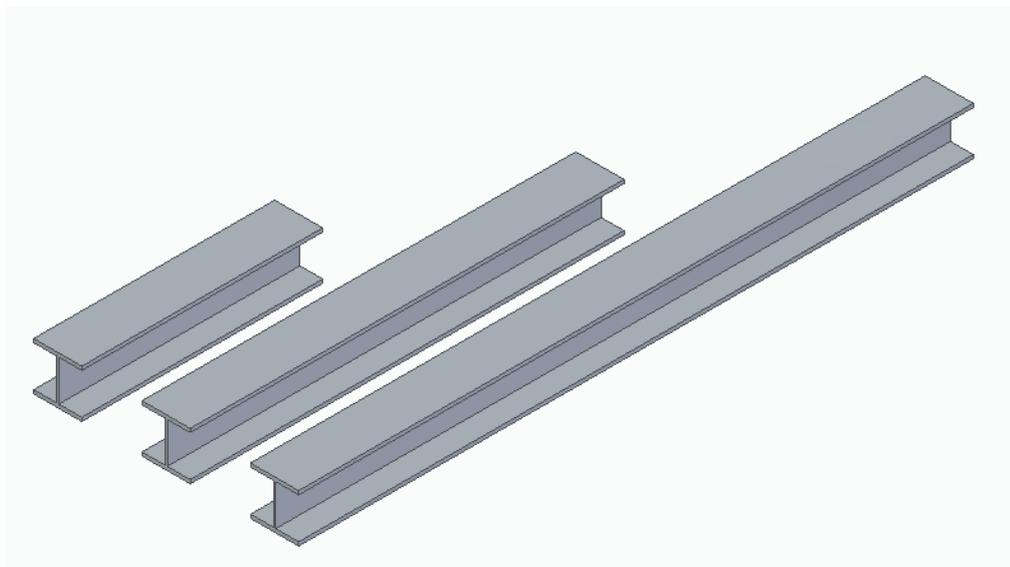
Este tipo de perfil es el que se usará para la unión de la estructura del entramado a los pilares que soportan la pasarela de acceso a la vivienda y a las instalaciones. Se situarán tanto en el primer piso como en el segundo de cada vivienda. La longitud de estos será igual en todo el entramado, siendo de 500mm.



*Figura 17: Viga IPE200*

-HEB 200 →

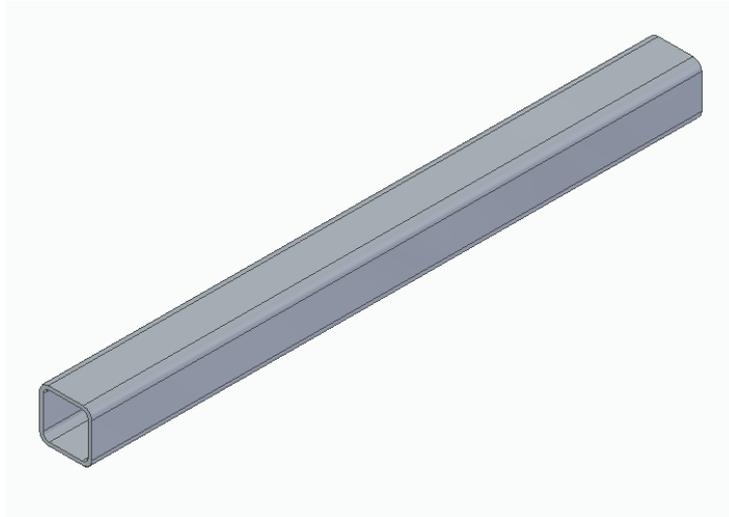
Este tipo de perfil se usará para soportar el conjunto de un suelo tramex con perfiles cuadrados huecos. Estos serán la parte más baja que soporta este conjunto sobre el cual se sitúan las distintas instalaciones. Por ello, las longitudes variarán, habiendo tres posibles. Por un lado, para las instalaciones correspondientes al módulo cocina se tendrá una viga de una longitud de 2800mm, para la zona correspondiente al módulo baño será de 1800mm, y para la zona de la pasarela se tendrá una viga de 1000mm.



*Figura 18: Vigas HEB200*

-Perfil cuadrado hueco 60.4 →

Estas vigas se usarán sobre las mencionadas anteriores para aguantar los suelos de tramex sobre los que se dispondrán las distintas instalaciones. La longitud de estas vigas es de 700mm.



*Figura 19: Viga cuadrada hueca 60.4*

Más adelante se irá mostrando las uniones y donde se encuentran los distintos tipos de perfiles dentro del entramado

A la hora de unir los pilares junto con las vigas se llevarán a cabo técnicas de soldadura como pueden ser TIG o MIG-MAG (ambas técnicas basadas en arco eléctrico), que permiten realizar buenos cordones de soldadura que resistan y sean seguros. Otra opción sería usar uniones atornilladas en forma de L u otras uniones de este tipo que aseguren de igual forma la estabilidad y resistencia de la unión. También se podrían sustituir las vigas o pilares de mayor tamaño por unos de menor longitud para así reducir el coste en el transporte, ya que no será necesario contar con furgonetas o camiones excesivamente largos. Y ya una vez en la obra se soldarían ambos, logrando la longitud deseada.

No obstante, como alternativa a la soldadura o para reforzar uniones, se podrían emplear uniones atornilladas o remaches. En particular, en el caso de estudio los perfiles IPE 200 se unen a pilares HEB 200 y serían soldados en el alma del perfil HEB. Si esta unión por soldadura no fuera lo suficientemente resistente se podrían incluir este tipo de uniones mencionadas.

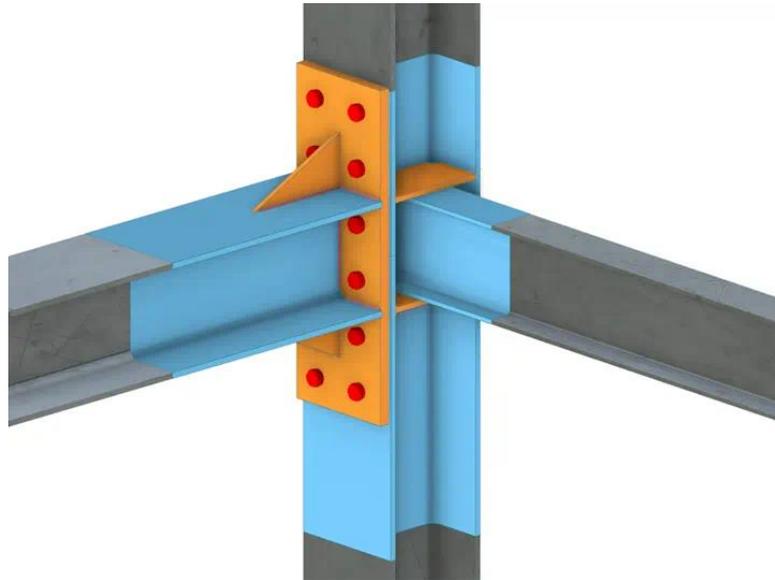


Figura 20: Unión Vigas-pilares<sup>27</sup>

### 2.4.3 Suelos y cubiertas

El suelo empleado dentro del entramado para soportar las instalaciones, como se ha mencionado es un suelo tramex de acero. Estas planchas de tramex serán de tres tamaños distintos, ya que de nuevo dependerá de la zona correspondiente a los tres tamaños de módulos (tamaño cocina/despacho, tamaño baño o tamaño pasarela). Estos suelos podrán ser elegidos en función de tamaños comunes, como pueden ser tamaños de agujeros de 24x24 o 38x38 mm.

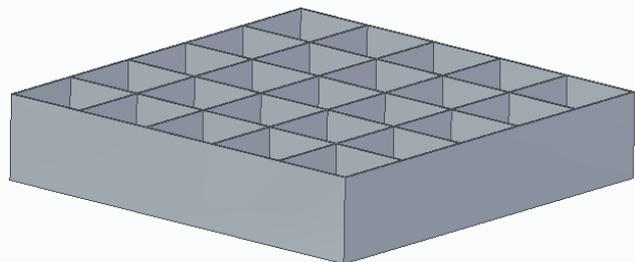


Figura 21: Suelo tramex y diseño en Solid de este <sup>28</sup>

Las planchas de estos suelos tramex empleados serán de tamaños de:

-2800x700x40 mm.

-1800x700x40 mm.

-1000x700x40 mm.

<sup>27</sup> Software, «Uniones de acero».

<sup>28</sup> «TRAMEX – PELDAÑOS DE TRAMEX».

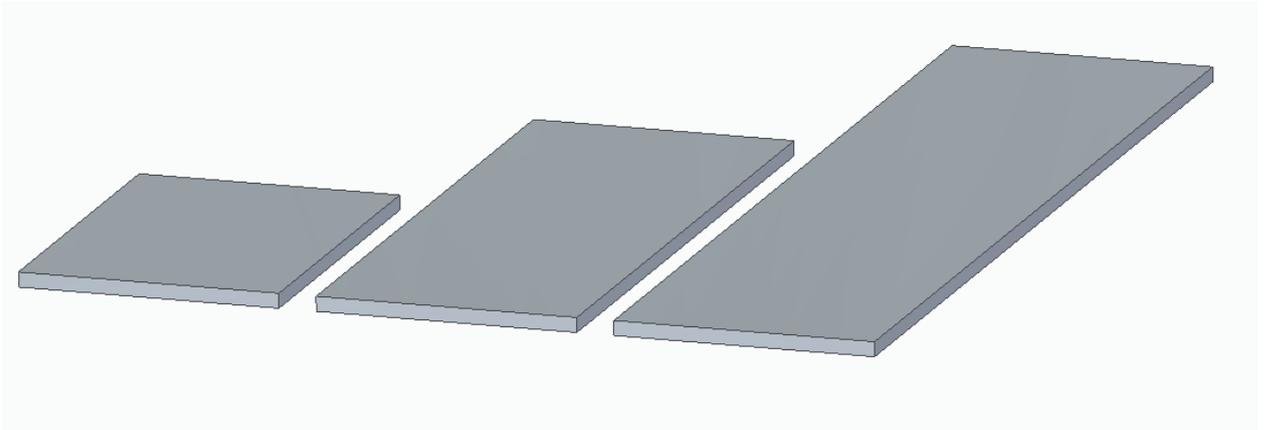


Figura 22: Tamaños suelos

Los suelos mostrados en Solid no aparecen como suelos tramex porque el patrón de agujeros en estos suelos dificultaba las cargas en el programa una vez montado todo el entramado. Sin embargo, los suelos tramex serían del mismo tamaño que los indicados.

En el entramado donde se situarán las instalaciones, también irán situados verticalmente cables eléctricos, de red, salidas de humos, bajantes y tuberías, por tanto, estos suelos de tramex están sujetos a ser modificados, para poder cortarlos interiormente y tener un agujero por el que pasen estas conexiones sin problema.

Para cubrir las instalaciones del segundo piso, se incluirán planchas de acero que tengan la funcionalidad de techo para cubrir dichas instalaciones. El tamaño de estas planchas tendrá un ancho de 700mm y tendrán una longitud variable con tal de que se cubran todas las instalaciones, y se puedan unir en caso de comprar planchas más pequeñas que sean más fáciles en el transporte.

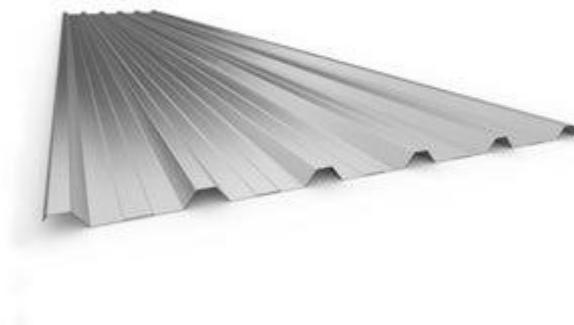


Figura 23: Cubierta de acero <sup>29</sup>

#### 2.4.4 Soportes

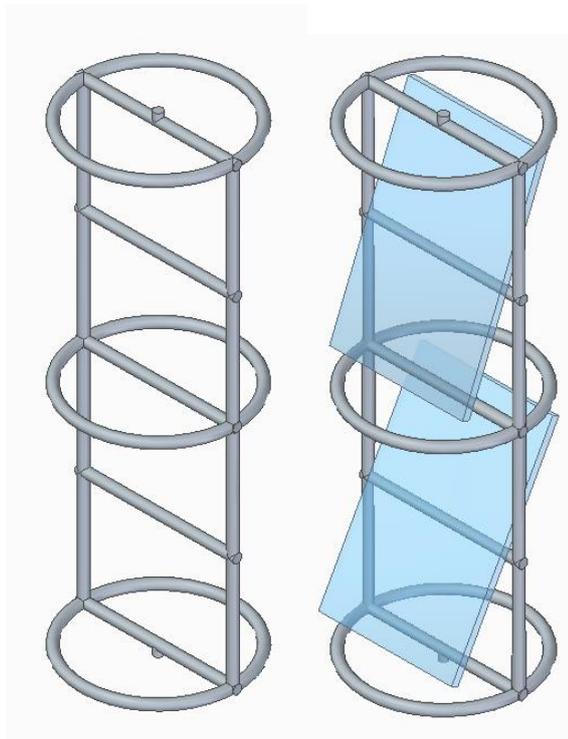
Para la instalación de los paneles solares se debe instalar un soporte que se ha diseñado en base a aguantar los paneles solares elegidos y mencionados anteriormente. El objetivo de estos es sujetar correctamente los paneles y también actuar como un seguidor solar o “solar tracker”, que permita variar

<sup>29</sup> «Cubiertas metálicas | Leroy Merlin».

la inclinación del panel solar en dos sentidos, pudiendo orientar el panel para mantener durante más tiempo la incidencia de los rayos perpendicularmente. De esta forma se logra algo más de eficiencia y energía. En base a las medidas del entramado en cada piso y las medidas de los paneles seleccionados (1200x750x40 mm), se opta por unas sujeciones que incluyan dos paneles por soporte.

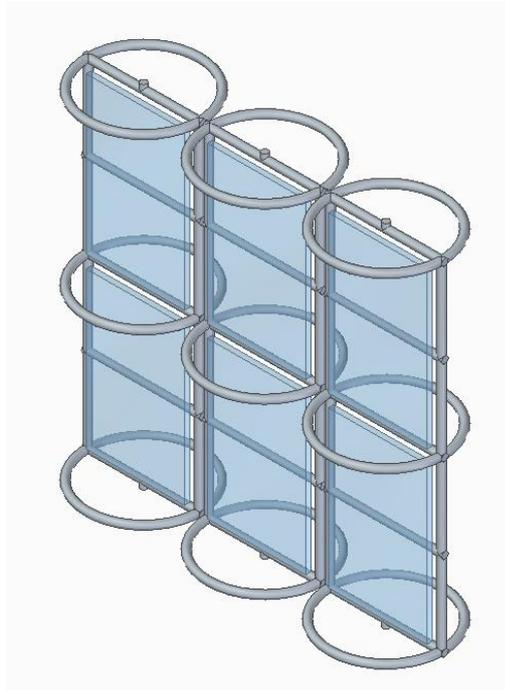
Algunos de los materiales más comunes que se encuentran para soportes de placas solares son materiales ligeros y conductores como el aluminio, siendo también común el uso de aceros galvanizados. El soporte diseñado por tanto podrá ser de cualquiera de estos materiales u otros que cumplan requisitos de resistencia y tengan propiedades similares, siendo estos económicos.

El diseño que se ha realizado para estos soportes es el siguiente:



*Figura 24: Soporte con y sin paneles*

Por lo general se ha decidido agrupar al menos 6 paneles por vivienda que provisionen de un cierto nivel de energía solar para que la instalación resulte sostenible en ese ámbito.



*Figura 25: Agrupación de paneles para vivienda*

## *Capítulo 3. Definición del Trabajo*

### **3.1 Objetivos**

Entre los objetivos que se buscan alcanzar con el proyecto se encuentran:

- La gestión del montaje y optimización de plazos en el montaje de la parte que se atiende de instalaciones y su respectivo entramado donde estarán situadas. El trabajo de las instalaciones se realizará más en fábrica, mientras que el entramado se construirá in situ en la zona de obra. Según se vaya construyendo el entramado, las distintas instalaciones se irán modelando y situándose al mismo tiempo, de forma ordenada y planificada. Todo esto se indicará posteriormente en la memoria en forma de diagramas de Gantt.
- En relación con el anterior punto se pretende realizar todo el proyecto siguiendo una metodología Lean, con el objetivo de reducir ciertos parámetros como la sobreproducción, los tiempos de espera ya mencionados, el transporte, y el inventario entre otros. Se optimizará tanto en obra como en diseño.
- El objetivo es lograr la correcta autonomía de cada vivienda si fuera necesaria, es decir, que, por cada piso dentro del bloque de viviendas modulares, cada módulo de vivienda este abastecido correctamente de electricidad, calefacción, ventilación... e independientemente del resto de módulos. En base a este objetivo han sido fijados las tecnologías de instalaciones anteriormente mencionadas en el apartado de "Descripción de tecnologías y Modelo".
- Se pretende situar, tal y como se ha mencionado, todas las instalaciones en el entramado exterior a la vivienda, es decir, el administrar el diseño del espacio. La instalación exterior se hace con el objetivo de minimizar los posibles daños que puedan causar averías o fallos en las mismas. Este entramado tendrá, por tanto, la función de sostener las instalaciones, manteniendo el espacio correcto atendiendo a las dimensiones estandarizadas de cada elemento, así como dejando espacio para la accesibilidad a estos aparatos y sistemas. El objetivo de este entramado es también permitir el espacio suficiente para no interponerse en las pasarelas donde se desplazarán los módulos de vivienda para conectar o desconectar al bloque.

### **3.2 Metodología**

Los diseños previos a cerca de los diferentes componentes dentro del entramado han sido realidades, como ya se ha mencionado, con Solid Edge. A partir de estos se lleva a cabo el desarrollo de un prototipado, también en Solid Edge, de como puede ser un entramado que soporte las instalaciones de ocho viviendas modulares. En base a este diseño, se desarrollará un plan de plazos con el objetivo principal de optimizar el desarrollo de la construcción (metodología Lean), se irá mostrando el avance del proyecto por días y se incluirán los avances en un diseño en Solid y con diagramas de Gantt. A continuación, se valorará si la implementación de las instalaciones exteriores y una correcta distribución de estas en el entramado permite el abastecimiento de cada vivienda individual y si en conjunto conviene en este caso la industrialización de la construcción.

### 3.3 Alineación con objetivos de desarrollo sostenible (ODS)

Este trabajo también pretende estar enfocado en torno a ciertos objetivos de desarrollo sostenible <sup>30</sup>, sobre todo girando en torno a los avances y al desarrollo de las tecnologías, que permiten cumplir con algunos de estos objetivos con mayor facilidad.

Los dos objetivos más destacados en los que se respaldará el proyecto son:

*“Objetivo 7: Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna”*: Las formas de abastecimiento de energía a la vivienda han ido desarrollándose en gran medida en los últimos años, y para cumplir con este objetivo se llevarán a cabo medidas para la búsqueda de instalaciones que supongan un menor impacto sobre el medio ambiente mediante la obtención de energía más sostenible. Pese a que no es una parte fundamental del proyecto buscar específicamente instalaciones de bajas emisiones y consumo en el mercado, si se intentará contar con estos equipos como referencia. Además, se incluirán otras instalaciones de aprovechamiento y obtención de energía segura y sostenible, como paneles solares que permitan aumentar el suministro eléctrico de las viviendas.

*“Objetivo 9: Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización sostenible y fomentar la innovación”*: Precisamente este objetivo de desarrollo sostenible es sobre el que gira el proyecto, y es que, el objetivo como ya se ha mencionado anteriormente es materializar mediante sistemas modulares la industrialización de la construcción. Este proyecto conjunto con el resto de los proyectos centrados en sistemas modulares, destacan en el desarrollo sostenible por la capacidad del edificio la desmontabilidad. Hacer cambios drásticos en un edificio supone muchas pérdidas en otras estructuras no industrializadas y menos modernas, este proyecto tiene un gran grado de desmontabilidad, ya que sin destruir nada, una familia puede añadir módulos hasta llegar a un máximo de hasta dos plantas. Y de igual manera se pueden desmontar módulos o llevarse parte de instalaciones sin tener que dañar la estructura o hacer grandes gastos. Es esta además una de las grandes ventajas con las que cuentan este tipo de construcción modular, y que permite favorecer el desarrollo sostenible.

A parte de estos dos objetivos, también existen más objetivos que se buscan cubrir dentro del proyecto, entre ellos cabe mencionar el objetivo 11 relacionado con las comunidades sostenibles, que en lo que respecta a las instalaciones se busca el ser capaces de lograr una comunidad de viviendas que sean poco contaminantes y sostenibles, con equipo eléctrico, de calefacción y ventilación que consuman poco y supongan un ahorro energético y un menor impacto sobre el medio ambiente, en la medida que cabe.

---

<sup>30</sup> Gamez, «Objetivos y metas de desarrollo sostenible».

## Capítulo 4. Sistema/Modelo desarrollado

A continuación, se muestra el plano de las ocho viviendas del proyecto INVISIO presentado para el concurso de ideas para la industrialización de la vivienda:



Figura 26: Proyecto INVISIO

La parte inferior del plano representa el entramado donde estarán localizadas las distintas instalaciones.

Como ya se ha mencionado anteriormente hay distintos tipos de viviendas, pero muchas tienen una serie de espacios en común. Hay espacios para el módulo cocina, módulo baño, módulo trabajo y espacio para pasillo/escalera. Teniendo en cuenta estos espacios se ha diseñado el entramado con las dimensiones coherentes al plano, sabiendo que hay varios tipos de viviendas ya que no todas tienen los mismos módulos y las mismas dimensiones.

Se irá desarrollando la construcción por plazos optimizada que se podría dar para una vivienda de las anteriores, concretamente el tipo de vivienda visto en la vivienda 02 del plano. Y después se mostrará todo el entramado de las ocho viviendas.

Todo el proceso de construcción del que se hablará a continuación corresponde únicamente a las instalaciones, el resto de la vivienda se podrá construir simultáneamente al entramado e instalaciones, no obstante, se analizará si efectivamente este proceso desarrollado de construcción industrializado es adecuado a nivel de plazos y optimización respecto a lo que sería una construcción tradicional.

Para los plazos que se van a mostrar a continuación, se han estimado unos tiempos de construcción aproximados para lo que podrían ser un grupo de 4-6 trabajadores centrados únicamente en la instalación del módulo entramado. Por día se intuye una jornada completa de 8 horas, por lo tanto, por semana habría un total de 20 horas de trabajo (contando 5 días laborales por semana).

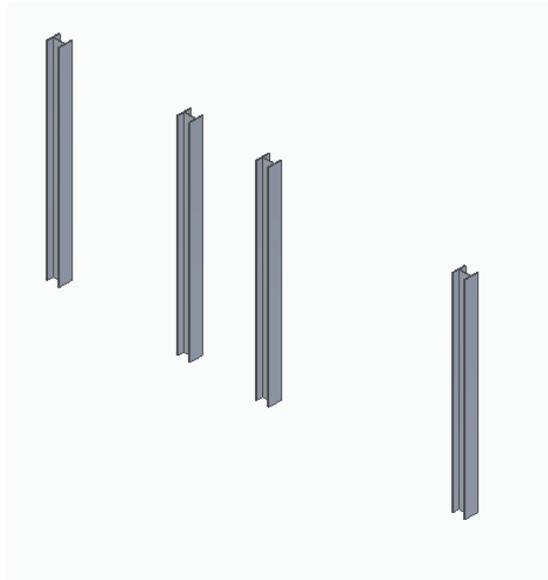
### 4.1 Desarrollo de plazos

#### **PRIMERAS DOS SEMANAS:**

Las primeras dos semanas de la obra específica del módulo del entramado más instalaciones, se podría corresponder a una nivelación o excavación del terreno sobre el que se situará el entramado. Se supone que ya previamente ha habido una excavación y nivelación a nivel general, pero se podrían ultimar los detalles de este proceso para la zona específica a la que corresponde este trabajo. Este periodo también comprendería una construcción de la base más elemental para poder garantizar la estabilidad del entramado que se va a instalar. Estas horas dedicadas a la nivelación del terreno y construcción base,

pueden ser un proceso más rápido que el que se ha estipulado, no obstante, se ha supuesto que las dos primeras semanas se dediquen a este proceso ya que dependiendo de donde se quiera construir la vivienda habrá más o menos complicaciones en el terreno a construir.

Además, en las últimas diez horas de la segunda semana, se podría comenzar con la instalación y establecimiento de cuatro pilares HEB 200 de 3200mm de longitud, que serán los pilares principales a partir de los cuales se unirán el resto de las vigas y pilares. Esto llevaría algo más de un día.



*Figura 27: Avances entramado segunda semana*

**CONSTRUCCIÓN DEL MÓDULO 02**



*Figura 28: Diagrama de Gantt dos semanas*

**TRES SEMANAS:**

En el desarrollo de la tercera semana se lleva a cabo la instalación de las vigas y viguetas del primer piso. La instalación se diferencia realmente en dos partes, ya que en la primera mitad de la semana (10 primeras horas) que corresponden a las 50 horas, se instalan de forma simultánea las vigas de perfil IPE 200 con longitud de 500mm, así como las vigas de perfil HEB 200 con las tres distintas longitudes seleccionadas. Estas vigas se sueldan ambas a los pilares principales ya instalados, concretamente, los perfiles IPE 200 se sueldan en el alma de los pilares y las vigas HEB 200 se sueldan en la base del perfil de los pilares. Para ambos procesos por separado se ha estimado una posible duración de 10 horas, pudiéndose por tanto realizar simultáneamente con la mitad de los trabajadores disponibles para la instalación de cada tipo de viga.



*Figura 29: Avances entramado tercera semana (I)*

En la segunda parte de la semana (próximas 10 horas) correspondiente a las 60 horas, se añaden los perfiles cuadrados huecos 60.4, este proceso podría terminar antes de las 10 horas estimadas si se emplea toda la mano de obra disponible, pudiendo incluso adelantar los procesos de la siguiente semana. Estos 12 perfiles instalados en estas horas supondrán el apoyo de los suelos tramex sobre los que irán las instalaciones e irán soldados/unidos sobre las vigas HEB 200 instaladas la semana anterior.

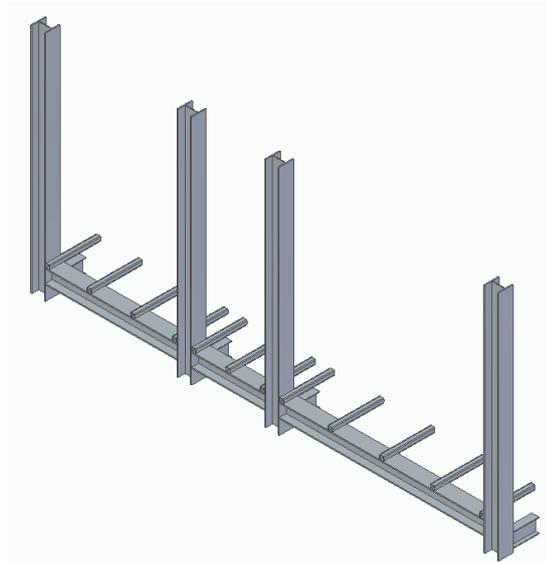


Figura 30: Avances entramado tercera semana (II)

### CONSTRUCCIÓN DEL MÓDULO 02



Figura 31: Diagrama de Gantt tres semanas

**TRES SEMANAS Y MEDIA:**

En la cuarta semana se lleva a cabo la instalación de cuatro procesos distintos. En la primera parte de la semana (70 horas) se lleva a cabo la instalación de los dos primeros procesos. Durante las 10 horas se lleva la instalación de más pilares HEB 200 de 3200mm de longitud, juntando estos a los pilares principales instalados en la segunda semana. Estos pilares denominados pilares secundarios servirán de punto de unión de las vigas y viguetas que se instalarán en el segundo piso. Simultáneamente a esta instalación se establecen los suelos tramex del primer piso. Como ya se ha mencionado anteriormente, estos suelos tramex podrán incluir agujeros más grandes donde se requiera favorecer el paso de cables, tuberías y distintas conexiones tanto en el primer piso como en el segundo. La localización de estos agujeros dependerá de la distribución de las instalaciones en el entramado, así como de la vivienda. Por ello se muestran los suelos de forma simplificada sin estos agujeros.



*Figura 32: Avances entramado cuarta semana (I)*

### CONSTRUCCIÓN DEL MÓDULO 02



Figura 33: Diagrama de Gantt cuatro semanas (I)

#### CUATRO SEMANAS:

En la segunda parte de la cuarta semana se llevan a cabo los siguientes dos procesos. Estos dos, nuevamente se podrán instalar simultáneamente en las próximas 10 horas. Se establecen por tanto las primeras vigas y viguetas del segundo piso y se empieza con las instalaciones del primer piso.

En lo que se refiere a las vigas y viguetas del segundo piso, se instalan concretamente 4 perfiles IPE 200 de 500mm de longitud atornillado o soldados a los pilares secundarios. Estos tendrán la misma función que los IPE 200 colocados anteriormente en la primera planta del entramado.

En cuanto a las instalaciones del primer piso, se estiman entre 20 y 30 horas en total. Las primeras 8-10 horas que se dan en esta semana, se pueden centrar en cualquiera de las instalaciones destinadas a la primera planta. Cabe mencionar que, para distribuir las instalaciones en el entramado, se ha centrado sobre todo en ver en qué lugar de la vivienda estaría el módulo cocina o baño. Ya, por ejemplo, donde se situase el módulo cocina, se tendrían que incluir instalaciones como bombas de agua, o más específicas como un sistema de evacuación de salida de humos. En las zonas donde se pueden situar los módulos baños, se podrían incluir tuberías que conectarán con las bombas de agua para que llegue correctamente el agua a estos, así como deberían estar las bajantes de aguas negras (fecales) y grises (agua de la ducha, por ejemplo). Se intentado por tanto ser algo coherente en la elección de la localización de las instalaciones, no obstante, estas podrían ir sujetas a cambios, y realmente los plazos no se verían afectados, por las instalaciones en general, serán las mismas independientemente de su localización en el entramado.

Por tanto, una posible opción para esta cuarta semana podría ser la instalación de una bomba aerotermia que garantice la calefacción en la primera planta de la vivienda. Además de ir instalando los cables de electricidad, tuberías, cables de red y bajantes.

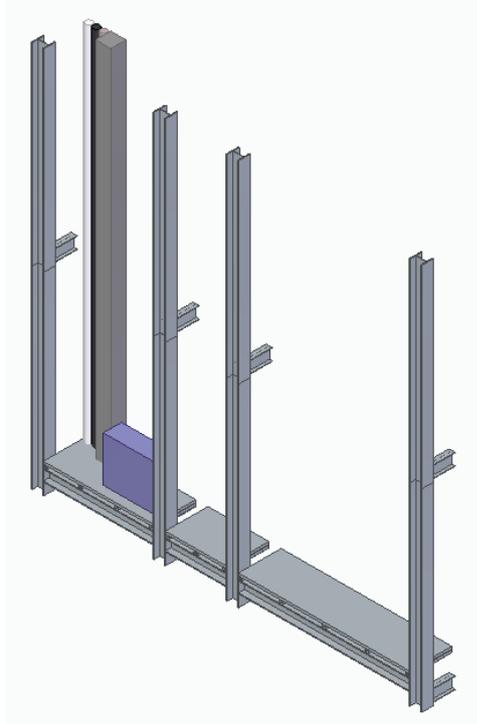


Figura 34: Avances entramado cuarta semana (II)

El poliedro lila representaría de forma simple la bomba de aerotermia, así como los cilindros blancos y negros representan las bajantes de agua, y el poliedro más gris representa el resto de las conexiones, como tuberías, cables de red o salidas de humo.

### CONSTRUCCIÓN DEL MÓDULO 02

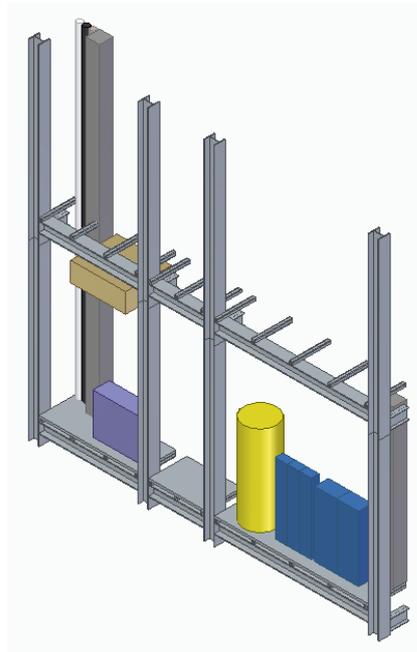


Figura 35: Diagrama de Gantt cuatro semanas (II)

### **CINCO SEMANAS:**

En la quinta semana se sigue con los procesos iniciados en la segunda parte de la cuarta semana, es decir instalación de vigas y viguetas del segundo piso e instalaciones del primer piso.

En las primeras 10 horas se podrían instalar los tres perfiles HEB 200 de distintas longitudes. Así como las bombas de agua y la batería de contadores. Las próximas 10 horas (100 horas en total acumuladas), se destinarían, por tanto, a la instalación de 12 perfiles 60.4 sobre las vigas HEB 200 y en cuanto a las instalaciones, se podrían instalar tanto el acumulador eléctrico como el recuperador de calor y sistema de ventilación para el primer piso, así como la finalización de las conexiones en este. Estas conexiones a los módulos del primer piso se llevarán a cabo por los falsos suelos o techos que se habrán dejado en la construcción de los distintos módulos.



*Figura 36: Avances entramado quinta semana*

El cilindro amarillo simboliza el acumulador eléctrico, los poliedros azules, el espacio que ocupan las bombas y la batería de contadores, y el poliedro de color cobre podría simbolizar la instalación del recuperador de calor y ventilación.

Al finalizar las instalaciones del primer piso, se deja el espacio del entramado correspondiente al pasillo/escalera de la casa, completamente despejado. Se ha realizado así por tener un acceso desde ese lado a la zona de las instalaciones y pasarela de camino a la vivienda, no obstante, si el acceso a la vivienda se decidiera poner en un lateral, esta zona del entramado podría contar con instalaciones, y se podría distribuir de otra forma la localización de estas.

### CONSTRUCCIÓN DEL MÓDULO 02



Figura 37: Diagrama de Gantt cinco semanas

#### CINCO SEMANAS Y MEDIA:

Durante este periodo se completa el proceso de instalación de las vigas y viguetas para el segundo piso con la incorporación de 4 perfiles IPE 200 de nuevo de 500mm de longitud soldados/atornillados en la parte superior de los pilares secundarios y que servirán para poder situar sobre estos una cubierta que actúe como techo. Por otro lado, se instalará el suelo tramex para el segundo piso. Al igual que en el caso del primer piso, este suelo podrá contar con agujeros de mayor tamaño para permitir el paso de cables, tuberías y demás conexiones.

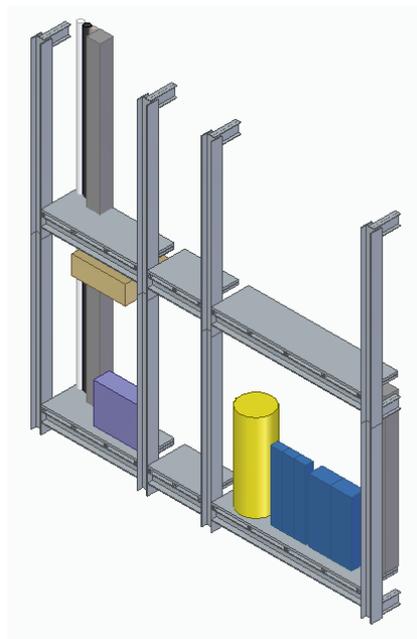


Figura 38: Avances entramado sexta semana (I)

### CONSTRUCCIÓN DEL MÓDULO 02



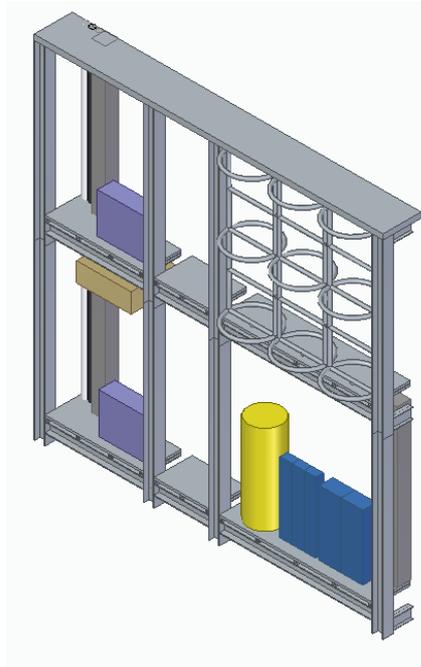
Figura 39: Diagrama de Gantt seis semanas (I)

#### SEIS SEMANAS Y MEDIA:

Durante el final de la sexta semana se comienza la incorporación al sistema de las instalaciones del segundo piso y la instalación del techo o cubierta del entramado. Para el proceso de la instalación de una cubierta se podrían destinar alrededor de 10 horas, mientras que las instalaciones podrían rondar las 20/30 horas, aunque una finalizadas las 10 primeras horas, toda la mano de obra podría centrarse en la incorporación de las instalaciones reduciendo las horas de este proceso (suponiendo que todos los trabajadores que trabajan en el entramado son personal cualificado para instalaciones). Al final de seis semanas y media se terminará la obra.

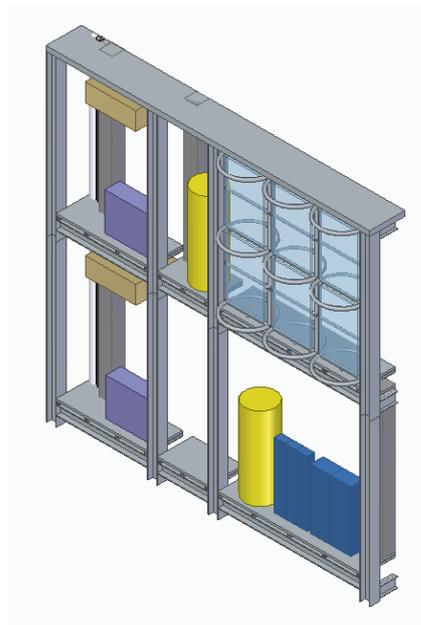
Entre las instalaciones del segundo piso se incluirán las conexiones ya puestas en el primer piso, como puedan ser las tuberías, cables de red y eléctricos, así como otra bomba aerotermia y recuperador de calor para la ventilación y calefacción. Se podría incluir también, un segundo acumulador eléctrico, así como la antena parabólica, que podría situarse en el exterior de este segundo piso del entramado. No obstante, se podría situar esta antena parabólica encima del techo del entramado, como ocurre en la gran mayoría de edificios donde estas antenas se sitúan en las azoteas. Además de lo mencionado, se instalarán los paneles solares. Concretamente para este tipo de vivienda y teniendo en cuenta el tamaño de los paneles elegidos anteriormente, se podrían instalar 6 paneles sin ningún problema.

En la segunda mitad de la sexta semana, por tanto, se podría optar por la instalación de la cubierta y una nueva bomba aerotermia, junto con los soportes de los paneles solares.



*Figura 40: Avances entramado sexta semana (II)*

En la séptima semana por tanto se seguirá la incorporación de las instalaciones de la segunda planta, se estiman para finalizar el proceso entre 10 y 20 horas. Se podría instalar un sistema de ventilación para este piso, un segundo acumulador eléctrico y el cableado que falte, y su correspondiente conexión a los módulos del segundo piso. Por último, se instalaría el sistema de paneles solares sobre los soportes ya colocados.



*Figura 41: Avances entramado séptima semana*

### CONSTRUCCIÓN DEL MÓDULO 02



Figura 42: Diagrama de Gantt siete semanas

Una vez alcanzadas las 135 horas aproximadamente (unas seis semanas y media), se finalizaría la construcción del entramado y las instalaciones exteriores.

## 4.2 Resultado final

La construcción del entramado se estaría llevando a cabo a la par que el resto de los módulos de la vivienda, diseñados por los compañeros que trabajan en el resto de los módulos de este trabajo. Tomando el trabajo ya realizado por el alumno Miguel Cobo se puede observar el resultado de la unión del armazón junto con el entramado de la vivienda 02, quedando de la siguiente forma:

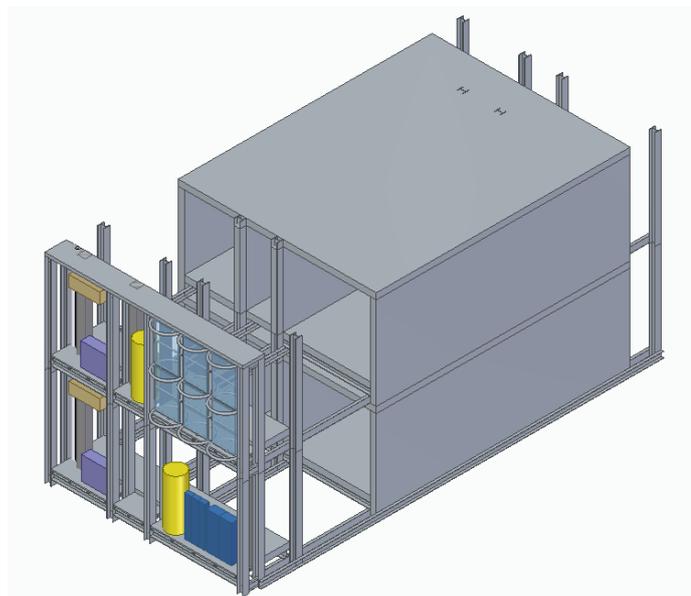
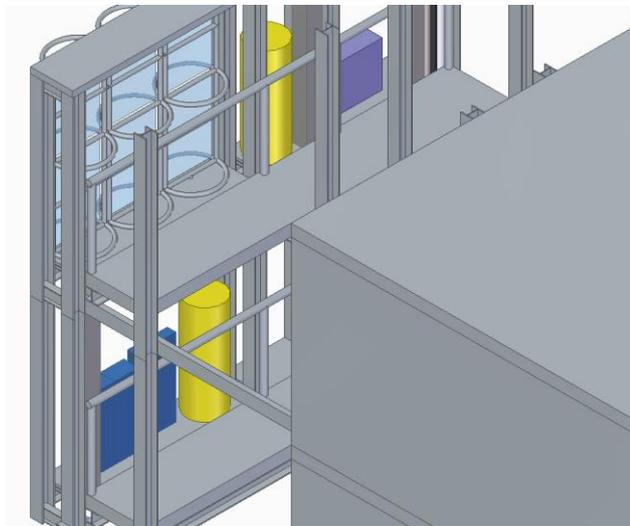


Figura 43: Unión del armazón de la vivienda con entramado

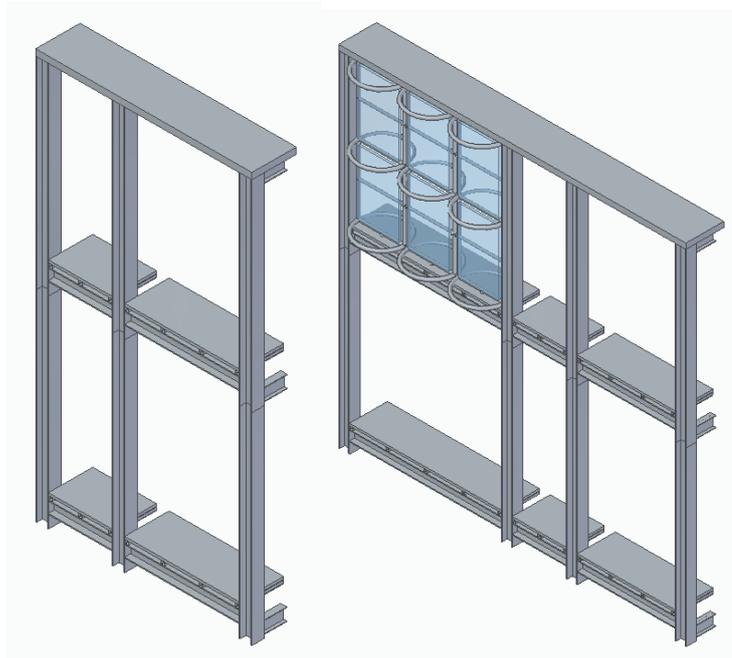
A la hora de plantear la construcción total de una vivienda, lo lógico parece pensar que la construcción específica del entramado y del armazón de la vivienda se podrían realizar en un mismo periodo de tiempo, ya que hay perfiles como los 12 perfiles IPE200 empleados en el entramado, que se conectan por un lado a los pilares del entramado, pero por el otro a unos pilares del armazón. Esto ocurre también con las viguetas de perfil 60.4. Por tanto, de cara a la obra, se podrían cuadrar las construcciones de ambos módulos para que ocurran simultáneamente colocándose las vigas para conectar los pilares de ambos módulos. Todo esto se podría llevar a cabo teniendo en cuenta el estudio de plazos realizado para cada parte. Si por otros motivos no se pudiera cuadrar la construcción de ambos módulos en un mismo plazo de tiempo, el entramado se podría anexionar en cualquier momento al módulo de la estructura de la vivienda.

Cabe mencionar que en la pasarela de acceso a la vivienda se podría añadir una barandilla para tener una cierta separación entre la pasarela y las instalaciones, sin eliminar el fácil acceso a las mismas.

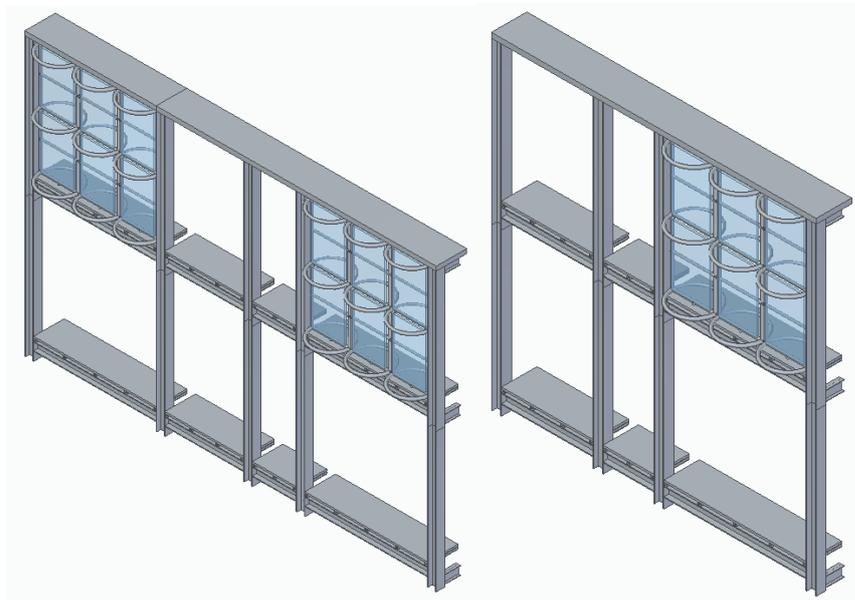


*Figura 44: Barandilla y pasarela de acceso*

El entramado mostrado varía ligeramente en función de la vivienda que se esté construyendo en el proyecto. A continuación, se muestran los distintos diseños generales de entramado que se repiten a lo largo de las viviendas del plano, estos serían interconectables y si se construyeran en algún momento todas las viviendas, quedarían todo unificado en un mismo entramado. A su vez, si en algún momento se quisiera prescindir de una vivienda se podría desmontar el entramado correspondiente sin que afecte al resto de viviendas ya construidas gracias al alto grado de desmontabilidad con el que cuenta el proyecto. También se ha añadido una posible idea para establecer los paneles solares en el entramado de todas las viviendas.

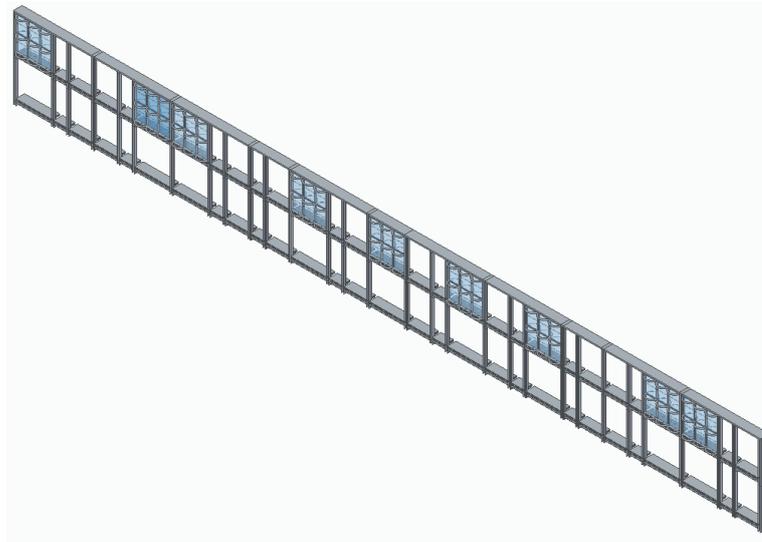


*Figura 45: Configuraciones entramado (I)*



*Figura 46: Configuraciones entramado (II)*

Quedando si se construyesen todas las viviendas el siguiente entramado unificado:



*Figura 47: Entramado 8 viviendas*



*Figura 48: Entramado 8 viviendas*

Como ya se ha mencionado todo el proceso seguido de plazos se trata para la vivienda 02 del plano estudiado, no obstante, hay viviendas que no son dúplex y que tienen otros tamaños. Como los entramados de cada vivienda mantendrán dos plantas, en viviendas de un solo piso, se pueden sustituir instalaciones por otras como más paneles solares que permitan más autosuficiencia.

Gracias al modelo estudiado y diseñado basado en una construcción industrializada, concretamente en la construcción modular, todo el conjunto del almacén de las viviendas, las fachadas, los módulos baño, cocina, los módulos trabajo/estudio, y las instalaciones, pueden construirse optimizando plazos y reduciendo el tiempo de construcción de una obra tradicional. Concretamente, el entramado para las instalaciones y las instalaciones podrán irse construyendo simultáneamente.

Inicialmente se ha propuesto un orden coherente en la construcción de una de las viviendas (tipo de vivienda 2), sabiendo que si se construyeran más de una vivienda en el mismo periodo de tiempo simplemente se necesitaría una mano de obra proporcional a la dada, en función del número de viviendas a construir. De hecho, si se construyesen varias viviendas a la vez los plazos serían incluso algo menores a

los que darían lugar si multiplicásemos el número de viviendas por los plazos para la vivienda propuesta. Esto debido a dos razones:

1. No todas las viviendas son iguales, como se puede observar en el plano original o en el entramado completo de las 8 viviendas, siendo la mayoría de un tamaño menor o igual al de la vivienda estudiada para los plazos (vivienda 2). Tan solo una de estas viviendas tiene un tamaño mayor a la estudiada, pero no supondrían una gran diferencia de plazos con respecto a las demás, tan solo sería cuestión de horas.
2. Si se construyen simultáneamente varias viviendas, el entramado de estas compartirá a nivel estructural los pilares que estén pegados a la otra vivienda, por lo que el plazo original para la construcción del entramado de una sola vivienda no es exactamente proporcional para varias viviendas, sino que se reduce algo para cada vivienda a partir de la primera. Esto también ocurriría si una vez construida la primera vivienda, se decide más adelante, construir más viviendas, ya que los pilares situados en los extremos del entramado de la primera vivienda construida servirán de apoyo para las siguientes, es decir, que no hará falta la construcción de los pilares del entramado que estén en contacto con las viviendas ya construidas.

### **4.3 Estudio económico**

El estudio económico del proyecto para la vivienda seleccionada en el estudio de los plazos, se va a realizar de forma aproximada sin entrar en muchos detalles, pero si lo suficiente como para mostrar un posible presupuesto que se podría dedicar en la construcción del entramado y las instalaciones.

La compra de perfiles de acero se va a considerar teniendo en cuenta una serie de características. Se van a considerar como perfiles simples que se van a juntar a través de uniones atornilladas. También se va a considerar que son perfiles de acero S275JR en el caso de los perfiles HEB200 e IPE200, ya que estos perfiles son obtenidos por laminado en caliente. Por otro lado, para los perfiles huecos cuadrados 60.4 se empleará el acero S275J0H, ya que es propio de perfiles huecos acabados en caliente. Ambos tipos de perfiles se considerarán con un acabado con objetivo de lograr un efecto antioxidante. Todas estas características se toman para buscar los precios de estos perfiles en España mediante una web de generación de precios apoyada en CYPE. Los precios que se muestran a continuación y más adelante para los suelos TRAMEX, son extraídos del estudio en esta página: *“generadordeprecios.info”*<sup>31</sup>.

Por tanto, para el primer tipo de perfiles el precio resultante por kg resulta de aproximadamente 2,64€:

---

<sup>31</sup> «Instalaciones. España. Generador de precios de la construcción. CYPE Ingenieros, S.A.»

*CAPÍTULO 4. SISTEMA/MODELO DESARROLLADO*

Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
<b>EAV010 kg Acero en vigas.</b>					
Acero UNE-EN 10025 S275JR, en vigas formadas por piezas simples de perfiles laminados en caliente de las series IPN, IPE, HEB, HEA, HEM o UPN, acabado con imprimación antioxidante, con uniones atornilladas en obra, a una altura de hasta 3 m. El precio incluye los tornillos, los cortes, los despuntes, las piezas especiales, los casquillos y los elementos auxiliares de montaje.					
1		Materiales			
mt07ala010dac	kg	Acero laminado UNE-EN 10025 S275JR, en perfiles laminados en caliente, piezas simples, para aplicaciones estructurales, de las series IPN, IPE, HEB, HEA, HEM o UPN, acabado con imprimación antioxidante. Trabajado y montado en taller, para colocar con uniones atornilladas en obra.	1,000	2,11	2,11
				Subtotal materiales:	<b>2,11</b>
2		Mano de obra			
mo047	h	Oficial 1ª montador de estructura metálica.	0,014	22,27	0,31
mo094	h	Ayudante montador de estructura metálica.	0,008	21,15	0,17
				Subtotal mano de obra:	<b>0,48</b>
3		Costes directos complementarios			
	%	Costes directos complementarios	2,000	2,59	0,05
Coste de mantenimiento decenal: 0,08€ en los primeros 10 años.			<b>Costes directos (1+2+3):</b>		<b>2,64</b>

*Figura 49: Coste por kg acero en vigas<sup>32</sup>*

Para los perfiles 60.4 el precio será de unos 3€ el kg:

Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
<b>EAV010 kg Acero en vigas.</b>					
Acero UNE-EN 10210-1 S275J0H, en vigas formadas por piezas simples de perfiles huecos acabados en caliente de las series redondo, cuadrado o rectangular, acabado con imprimación antioxidante, con uniones atornilladas en obra, a una altura de hasta 3 m. El precio incluye los tornillos, los cortes, los despuntes, las piezas especiales, los casquillos y los elementos auxiliares de montaje.					
1		Materiales			
mt07ala005c	kg	Acero UNE-EN 10210-1 S275J0H, en perfiles huecos acabados en caliente, piezas simples, para aplicaciones estructurales, de las series redondo, cuadrado o rectangular, acabado con imprimación antioxidante. Trabajado y montado en taller, para colocar con uniones atornilladas en obra.	1,000	2,46	2,46
				Subtotal materiales:	<b>2,46</b>
2		Mano de obra			
mo047	h	Oficial 1ª montador de estructura metálica.	0,014	22,27	0,31
mo094	h	Ayudante montador de estructura metálica.	0,008	21,15	0,17
				Subtotal mano de obra:	<b>0,48</b>
3		Costes directos complementarios			
	%	Costes directos complementarios	2,000	2,94	0,06
Coste de mantenimiento decenal: 0,09€ en los primeros 10 años.			<b>Costes directos (1+2+3):</b>		<b>3,00</b>

*Figura 50: Coste por kg acero en vigas<sup>33</sup>*

<sup>32</sup> «Precio en España de kg de Acero en vigas. Generador de precios de la construcción. CYPE Ingenieros, S.A.»

<sup>33</sup> «Precio en España de kg de Acero en vigas. Generador de precios de la construcción. CYPE Ingenieros, S.A.»

Teniendo en cuenta los precios estudiados, se puede hacer un cálculo de todo el costo del entramado.

En total se tienen los siguientes paneles de acero, pilares y vigas o viguetas:

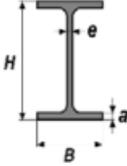
- 8 pilares HEB 200 de 3200mm de longitud.
- 12 vigas IPE200 de 500mm de longitud.
- 6 vigas HEB200: 2 de 1000mm de longitud, 2 de 1800mm de longitud y 2 de 2800mm de longitud.
- 24 vigas de perfil hueco cuadrado 60.4 de 700mm de longitud.
- 6 pasarelas de suelo tramex: 2 de 1000x700mm, 2 de 1800x700mm y 2 de 2800x700mm.
- Cubierta de acero → Superficie total a cubrir: 6400x700mm.

Para estimar un precio de toda la estructura debemos también saber el peso aproximado por metro de longitud para cada tipo de perfil, así como un precio aproximado por metro cuadrado de las placas tramex y cubierta de acero.

Para analizar los kilogramos totales de cada perfil a emplear se usa una tabla de pesos de perfiles que se ha consultado y estaba disponible para poder coger los datos pertinentes<sup>34</sup>.

El peso por metro de longitud para un perfil IPE200 es de 22,4 Kg/m:

**PESO PERFIL IPE**  
**PERFILES IPE (EUROPEOS)**

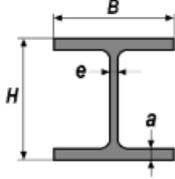


Designación	Kg/m	Dimensiones (mm)				m <sup>2</sup> /m
		H	B	e	a	
<b>IPE 200</b>	22,4	200	100	5,6	8,5	0,77

Figura 51: Kg/m en función del perfil

El peso por metro longitud del perfil HEB200 es de 61,3 Kg/m:

**PESO PERFILES HE**  
**PERFILES HEA**  
**PERFILES HEB**  
**PERFILES HEM**



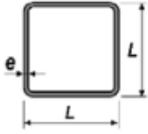
Designación	Kg/m	Dimensiones (mm)				m <sup>2</sup> /m
		H	B	e	a	
<b>HEB 200</b>	61,3	200	200	9	15	1,15

Figura 52: Kg/m en función del perfil

<sup>34</sup> «tabla-de-pesos.pdf».

Por último, para los perfiles circulares huecos 60.4 el peso es de 6,71 Kg/m:

**PESO TUBO CUADRADO DE ACERO ESTRUCTURAL (Kg/m)**



L (mm)	Espesor (mm)							
	3	4	5	6	7	8	10	12
60	5,19	6,71	8,13	9,45		12,50		

Figura 53: Kg/m en función del perfil

A raíz de estos pesos podemos estimar el coste de los pilares y vigas del entramado:

$$n^{\circ} \text{ vigas o pilares} * \left( \frac{\text{euros}}{\text{kilogramo}} * \frac{\text{kilogramo}}{\text{longitud}} * \text{longitud de la viga o pilar} \right) = \text{coste}$$

Pilares HEB200:

$$8 * (2,46\text{€/kg} * 61,3\text{kg/m} * 3,2\text{m}) = 3860,43\text{€}$$

Vigas IPE200:

$$12 * (2,46\text{€/kg} * 22,4\text{kg/m} * 0,5\text{m}) = 330,63\text{€}$$

Vigas HEB200:

$$(2 * 1 + 2 * 1,8 + 2 * 2,8) * (2,46\text{€/kg} * 61,3\text{kg/m}) = 1688,94\text{€}$$

Vigas 60.4:

$$24 * (3\text{€/kg} * 6,71\text{kg/m} * 0,7\text{m}) = 338,19\text{€}$$

Por otro lado, analizando los suelos que constan de acero y de un sistema TRAMEX teniendo en cuenta que se emplearan las dimensiones normalizadas para este tipo de suelos se estima un precio aproximado de 66,86€ por metro cuadrado:

*CAPÍTULO 4. SISTEMA/MODELO DESARROLLADO*

Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
<b>FDR030 m<sup>2</sup> Reja electrosoldada de acero.</b>					
Reja electrosoldada metálica formada por pletina de acero galvanizado de 30x2 mm en cuadrícula de 30x30 mm, con bastidor electrosoldado, montaje mediante anclaje mecánico con tacos de nylon y tornillos de acero.					
<b>1</b>					
Materiales					
mt26btr010a	m <sup>2</sup>	Rejilla electrosoldada con pletina de acero galvanizado de 30x2 mm en cuadrícula de 30x30 mm, con bastidor electrosoldado.	1,000	51,70	51,70
mt26aaa033a	Ud	Anclaje mecánico con taco de nylon y tornillo de acero galvanizado, de cabeza avellanada.	4,000	0,29	1,16
Subtotal materiales:					<b>52,86</b>
<b>2</b>					
Mano de obra					
mo018	h	Oficial 1º cerrajero.	0,350	21,69	7,59
mo059	h	Ayudante cerrajero.	0,250	20,38	5,10
Subtotal mano de obra:					<b>12,69</b>
<b>3</b>					
Costes directos complementarios					
	%	Costes directos complementarios	2,000	65,55	1,31
Coste de mantenimiento decenal: 6,02€ en los primeros 10 años.			<b>Costes directos (1+2+3):</b>		<b>66,86</b>

*Figura 54: Coste por kg acero en vigas<sup>35</sup>*

Por tanto, para los paneles necesarios en el entramado el coste en los suelos de TRAMEX es de:

$$2 * (2,8 * 0,7 + 1,8 * 0,7 + 1 * 0,7)m^2 * 66,86€/m^2 = 524,19€$$

Para paneles de acero que sirvan de cubierta, y suponiendo que estos sean de un acero galvanizado, se pueden encontrar precios en el mercado que oscilan los 15€/m<sup>2</sup> <sup>36</sup>. Teniendo en cuenta la superficie que se quiere cubrir en el entramado por estos paneles de acero se considera una superficie de 6400x700mm, con un coste de:  $(6,4 * 0,7)m^2 * 15€/m^2 = 67,2€$

A todos estos precios habría que añadir los precios de mercado de las instalaciones seleccionadas en el apartado de estudio correspondiente de las mismas y el precio de la instalación de estas. Los precios que se van a seleccionar son precios basados en aproximaciones, ya que hay múltiples variaciones respecto a los precios de un mismo tipo de instalación, como pueda ser la potencia, el consumo o otros requerimientos específicos de la vivienda para la que se va a requerir.

En cuanto a los sistemas eléctricos se va a suponer un posible coste de unos 2000€ de parte de los acumuladores eléctricos y un coste de unos 3700€ referidos a la instalación de los paneles solares, ya que es un precio en base a un consumo aproximado de 3600kWh/año propio de una instalación de 4 a 6 paneles solares<sup>37</sup>. Este coste se redondeará a unos 4000€ para incluir coste del soporte. Además, se podrían considerar el precio del cableado y la instalación eléctrica en general, sin embargo, gran parte de este gasto se consideraría sobre todo como parte de la instalación interna que no se va a considerar en este estudio.

<sup>35</sup> «Precio en España de m<sup>2</sup> de Entramado de acero. Generador de precios de la construcción. CYPE Ingenieros, S.A.»

<sup>36</sup> «Cubiertas metálicas | Leroy Merlin».

<sup>37</sup> «¿Cómo montar placas solares?»

Las instalaciones de agua se van a resumir en coste de unos 1000€ considerando bombas de agua más la batería de contadores y sistema de tuberías, que pese a ser precios muy variables, estos últimos suelen rondar los 400€ por vivienda<sup>38</sup>.

Se van a considerar también los costes de los sistemas de calefacción y ventilación externos mencionados en la descripción de tecnologías y modelo. Estos son respectivamente el sistema de bombas de aerotermia para el cual su coste correspondería a unos 8000€ en caso de ser un sistema de una bomba aerotermia monobloc<sup>39</sup>, y un recuperador de calor o sistema de ventilación para lo cual se estiman unos 2000€<sup>40</sup>.

Por último, se añadirá el coste de la instalación de una antena parabólica, para el cual se considera unos 120€<sup>41</sup>. Se podrían incluir también los sistemas de evacuación y salida de humos como un coste añadido aproximado de 2000€, sin tener en cuenta la parte de instalación interna de estos, por lo que no sería un precio total de la instalación.

En paralelo a todo el precio obtenido, se debe considerar el trabajo de mano de obra de la construcción de los 4-6 trabajadores considerados durante las seis semanas y media que se han estimado en el estudio de plazos de la obra. En general el precio de contratar mano de obra para la construcción puede oscilar los 20€ por hora<sup>42</sup>. Por tanto, tomando 5 trabajadores de promedio con un total de unas 135 horas de obra, se obtiene:  $Coste\ Mano\ de\ Obra = 5\ trabajadores * (20€/h * 135h) = 13500€$

Con todas las consideraciones anteriores un posible coste total inicial aproximado de la construcción del entramado e instalaciones exteriores es de 39430€. Todo esto sin contar con el coste del transporte desde la fábrica a la obra y desde los distribuidores de las distintas instalaciones.

Todos los precios son aproximaciones y simplificaciones de lo que podría ser la obra real, pero se realizan en orden de realizar un posible presupuesto inicial sobre el que discutir acerca de las posibles ventajas de realizar una obra de construcción industrializada en lugar de una tradicional en el ámbito económico.

---

<sup>38</sup> «¿Cuánto cuesta poner un contador de agua individual? Precios en 2023».

<sup>39</sup> Vanesa, «Aerotermia».

<sup>40</sup> «¿Cuánto cuesta instalar un sistema de ventilación? Precios en 2023».

<sup>41</sup> «¿Cuánto cuestan los servicios de un antenista?»

<sup>42</sup> Autopromotor.info, «Precio mano de obra construcción 2023».

## *Capítulo 5. Análisis de Resultados*

En este apartado se analizará el modelo descrito en distintos ámbitos, para ver si ha sido un buen modelo en general, en base a la base del proyecto que es la optimización.

Primeramente, cabe mencionar que las instalaciones presentes en el entramado elegidas en la descripción del modelo son instalaciones que permitirían abastecer a los distintos módulos de la vivienda permitiendo la autonomía de cada vivienda. La distribución de estas instalaciones en el espacio del entramado podría haberse realizado de otra manera, pero se ha llevado a cabo en base a donde se situarían los distintos módulos. De otras formas se podría haber integrado más elementos, o igual simplemente haberlos redistribuido de una forma más adecuada. No obstante, con la distribución seleccionada para la vivienda concreta estudiada se pueden analizar los resultados, ya que es una distribución válida.

Si la construcción se realizará con varias viviendas a la vez, el proceso acentuaría aún más sus ventajas respecto a la construcción tradicional, ya que el plazo de tiempo podría mantenerse en esas seis semanas y media, siempre que se aumentará la mano de obra. En el plano económico se seguiría también teniendo ventaja respecto a la construcción tradicional, ya que como se ha visto, la reducción de plazos lleva consigo una reducción de costes en mano de obra.

En base a los resultados obtenidos también se puede hacer un breve análisis de si realmente merece la pena apostar por una construcción industrializada o conviene seguir para todos los proyectos en una construcción tradicional.

En primer lugar, se puede analizar si ha habido una posible reducción de plazos y se han podido optimizar los mismos gracias a la simultaneidad del trabajo en obra que se da gracias a la construcción industrializada, por la que llegan directamente las planchas, vigas y pilares de la fábrica para que sean montados en la obra. Para poder estimar lo que pudiera haber tardado la parte del proyecto destinada a las instalaciones exteriores y al entramado donde se sitúan estas, se debe considerar que, en un tipo de obra tradicional, se hace muy difícil la capacidad de llevar a cabo varias instalaciones y montajes simultáneamente, ya que se trabaja con sistemas progresivos que suelen seguir unos pasos definidos. En la obra tradicional se construiría primero la cimentación, integrando las armaduras de acero al hormigón de cimentación; se incluirían las instalaciones como tuberías, agua, electricidad...; se elaboraría la estructura de la vivienda en hormigón; se detallarían los pilares y vigas; se realizaría el detalle de la construcción del cerramiento exterior; se incluiría la cubierta de la vivienda; se centraría la obra después en interiores; y por último se llevarían a cabo los detalles finales<sup>43</sup>. Viendo esto, ya se puede ver como una obra tradicional lleva más tiempo que una industrializada, principalmente, porque cada paso que se lleva a cabo se realiza en un orden específico, con apenas simultaneidad entre los distintos procesos. Además, en una obra tradicional no se cuenta con la idea de llevar piezas por módulos ya realizadas en la fábrica y realizar únicamente el montaje en la obra. Esto último, también afecta en gran medida a los plazos y costes resultantes de una obra. Teniendo en cuenta todo esto y llevándolo al proyecto en cuestión, se puede hacer un pequeño análisis de lo que hubiera tardado la parte de estudio de la obra en llevarse a cabo con el método más convencional y tradicional. Aunque en una obra tradicional tal y como hemos visto, no se emplearían los mismos pasos seguidos en el proyecto, se va a estimar lo que se hubiera tardado en la construcción del entramado e instalaciones exteriores con los mismos pasos que el proyecto

---

<sup>43</sup> «Paso a paso».

estudiado, pero sin llevar a cabo un sistema de optimización de la obra (propio de una obra industrializada). Sumándose el número total de horas de trabajo si no se hubieran optimizado los plazos resulta en:

-40 horas que se tendrán en cuenta para nivelación del terreno y posible construcción base (podría ser un paso prescindible, pero se tendrá en cuenta al igual que se tuvo en cuenta para el estudio del caso). En este apartado se podría incluir la cimentación y la elaboración de la estructura en hormigón, lo cual aumentaría

-Instalación de pilares principales → 10 horas.

-Instalación de vigas y viguetas primer piso → entre 20 y 30 horas.

-Suelos TRAMEX primer piso → 10 horas.

-Instalaciones del primer piso → 20/30 horas.

-Pilares secundarios → 10 horas.

-Vigas y viguetas segundo piso → entre 30 y 40 horas.

-Suelos TRAMEX segundo piso → 10 horas.

-Instalaciones del segundo piso → 20/30 horas.

-Cubiertas de acero del entramado → 10 horas.

La suma total por tanto podría redondearse a unas 210 horas totales de obra para el entramado e instalaciones. Esto supone, por tanto, que si se emplease un modelo como el estudiado centrado en la construcción industrializada donde se habían estimado unas 135 horas de trabajo se daría una reducción de plazos del 35,7% con respecto de las horas de obra tradicional. Precisamente este porcentaje se puede aproximar a lo que se espera en general a cerca de la reducción de plazos en una obra industrializada que sea óptima.

Cabe mencionar que el sistema de plazos estudiado en el apartado del caso de estudio podría ser incluso más óptimo, ya que las primeras horas podrían haberse despreciado, e igual podrían haberse elegido otras alternativas para llevar a cabo la obra de forma simultánea. No obstante, el modelo final estudiado es perfectamente válido y ya nos permite ver la diferencia de plazos.

A lo largo del desarrollo del caso de estudio se habla de la optimización, todo lo mencionado a cerca de esta optimización de plazos y del proyecto en general se corresponde con la metodología LEAN definida previamente. Todo el proyecto se basa en esta, así como la base de la industrialización en el sector de la industria. En base a los resultados obtenidos vemos como realmente lo que se prioriza en estos proyectos son las bases de esta gestión de procesos, como puede ser la optimización en general de los pasos y fases, excluyendo pasos que no agreguen valor, la detección de problemas y sobrecostes o plazos demasiado amplios y la respuesta a las necesidades de un mercado innovador en el sector<sup>44</sup>. Estas bases son las que permiten el desarrollo de una construcción industrializada.

---

<sup>44</sup> «Metodología Lean: ¿qué es y cómo aplicarla en tu empresa?»

También se contaba con una serie de objetivos de desarrollo sostenible, que parecen cumplirse con respecto a los resultados obtenidos. De cara al objetivo de garantizar una energía sostenible y moderna, se ha intentado realizar por medio de la elección de sistemas innovadores como la aerotermia y la integración de paneles solares para el uso de una energía sostenible. Por otro lado, el objetivo de la construcción de infraestructuras resilientes e industrialización sostenible con fomentación de la innovación se cumple directamente con el fundamento del proyecto y la integración de todos los componentes a construir e instalar. A nivel de una comunidad de viviendas también se cumpliría el objetivo número 11 relacionado con comunidades sostenibles, ya que gracias a la desmontabilidad y sistemas innovadores se puede lograr un menor impacto medioambiental y generar una comunidad de viviendas sostenibles.

En el plano económico se estudia un presupuesto muy aproximado de 39430€, este coste podría ser reducido con un estudio más exacto del plano económico del proyecto, pero se ha realizado un estudio simplificado que nos permite de igual forma analizar las ventajas económicas del proyecto por ser realizado de forma industrializada y no tradicional. Una de las cosas que se ha considerado es la idea de reducir las longitudes de los pilares o vigas más largas en caso de que no hubiera espacio para entrar en un vehículo de transporte mediano. De esta forma se gastaría algo más de dinero en uniones atornilladas, pero se ahorraría en el transporte al poder evitar el uso de vehículos más grandes y por ende más caros. No obstante, el principal estudio en el plano económico se centra en cómo hay una gran reducción de dinero gastado en la mano de obra. Como cualquier trabajador se cobra el dinero en función de las horas de trabajo, y tal y como muestran los resultados obtenidos, hay un gran porcentaje de horas reducidas en cuanto a la construcción tradicional. Por tanto, esto se traduce en un gran ahorro en cuanto a mano de obra. Si consideramos las horas indicadas anteriormente que podría durar la construcción únicamente del entramado y las instalaciones exteriores, podemos estimar unas 210 horas de trabajo, lo cual supondría un gasto en mano (tomando los 20€/h estimados en el estudio económico) de obra de 4200€ por trabajador, siendo un global de 21000€ para 5 trabajadores. Esta cantidad es bastante superior a los 13500€ de los resultados obtenidos, y nos permite ver de primera mano con una aproximación, como se reduce en gran medida el presupuesto para la obra.

A nivel más específico en base a los resultados obtenidos, se ha intentado abaratar costes por ejemplo en las uniones. Como se ha mencionado anteriormente, las uniones de los pilares y vigas podrían realizarse mediante soldadura o uniones atornilladas, entre otros. Ambos tipos de uniones pueden garantizar la resistencia y seguridad de la estructura, no obstante, una de las medidas que se toman en base a obtener unos mejores resultados en base a esto, es realizar uniones atornilladas en todos los puntos de unión. Se llevarían a cabo por ejemplo uniones en L atornilladas en los perfiles 60.4 para prescindir de soldadura. Si se hubiera empleado la soldadura se hubiera podido encarecer algo el coste de la obra, porque no solo se requeriría de equipo específico para este tipo de uniones, sino que se requeriría de mano de obra con cualificación para poder soldar a nivel de obra, lo cual haría de la mano de obra un coste mayor.

En general analizando los resultados obtenidos, se podría decir que este proyecto a nivel de industrialización sale a cuenta porque se estandariza la fabricación de componentes de módulos para las ocho viviendas pese a ser estas diferentes, pudiendo automatizar los distintos componentes en fábrica y en la obra se ensamblan. Todas las viviendas constan de elementos comunes y se podrían estandarizar. Por ello para este tipo de proyectos se podría implementar con éxito la construcción industrializada, no solo por las razones teóricas, sino porque también los análisis aproximados tanto de plazos como económicos llevan a la conclusión de que un proyecto de estas características merece la pena.

## *Capítulo 6. Conclusiones y trabajos futuros*

En conclusión, la industria de la construcción ha quedado durante estos últimos años retrasada en la industrialización con respecto a otras industrias o sectores. El ser capaces de ir integrando este tipo de proyectos industrializados como pueden ser la construcción modular, serviría para generar un competidor en el sector que obligaría a muchas empresas de construcción a industrializarse para poder competir en un mercado que va a cambiar. La principal forma por tanto de implantar un modelo que parece ser ventajoso en cuanto a costes, mano de obra e impacto medioambiental es afrontar los contras que pueden existir. El principal contra y razón por la que no se ha conseguido establecer la industrialización en el sector de la construcción es la dificultad presente en la estandarización en la construcción. Este tipo de construcción se basa en un modelo en el que la inversión se da en la fábrica, ya que es aquí donde se fabrican los distintos módulos y conjuntos de edificaciones que se montaran posteriormente en la obra. Esto hace que la inversión en fábrica eleve una serie de costes fijos<sup>45</sup> que podrían limitar la fabricación de piezas y módulos si son empleados para una sola vivienda. En este proyecto se muestra como un caso particular de la industrialización del sector de la construcción como es la construcción modular, permite la estandarización de módulos que se puedan construir en proyectos grandes para varias viviendas, y como a través del estudio de diseños como el del trabajo en cuestión, se logra optimizar costes, plazos y lograr un alto nivel de desmontabilidad y sostenibilidad. Estos módulos hacen que uno de los principales problemas a los que se enfrenta la industrialización de la construcción pueda ser parcialmente eliminado. Con proyectos a gran escala que puedan seguir este modelo de construcción industrial, se puede lograr la implementación de la industrialización, y parece que es una de las posibles soluciones para conseguir el avance necesario en este sector. La implementación de nuevas tecnologías e inclusión de nuevos materiales en la construcción favorecen la situación de la industrialización, y parece que pese a los años de intentos de avance en este sector y el estancamiento en general en una construcción tradicional, se va a lograr implantar en un futuro un mercado en el que haya una competencia de empresas centradas en una construcción industrializada y optimizada. Este tipo de trabajos permiten ver como parece mentira que siga una absoluta mayoría de la construcción centrada en obras tradicionales, cuando obras de este tipo facilitan la sostenibilidad, suponen ahorros en costes y mano de obra y permiten una construcción más rápida y eficaz. Por ello y como conclusión cabría pensar que si se consigue sobrepasar estas contras que se oponen al desarrollo de la construcción, se podría instalar en el sector la industrialización que permita los avances y el desarrollo que no se ha conseguido en las últimas décadas.

Como trabajos futuros queda pendiente el estudio concreto de la conexión de las instalaciones a los distintos módulos de la vivienda, así como la anexión de los distintos módulos desarrollados en los trabajos complementarios a este que se han llevado a cabo. A nivel más concreto de las instalaciones se podría analizar la eficacia de las instalaciones seleccionadas con detalle e incluir sistemas que favorezcan la sostenibilidad y el reciclaje, como por ejemplo tubos de residuos que permitan llevar la basura desde la vivienda hasta un contenedor exterior a la misma.

---

<sup>45</sup> «Costes más bajos versus riesgos más altos».

## Capítulo 7. Bibliografía

- «2.1.- Acometida. | IEI06.- Configuración y diseño de instalaciones eléctricas de interior.» Accedido 13 de febrero de 2023. [https://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/IEA/IEI/IEI06/es\\_IEA\\_IEI06\\_Contenidos/website\\_21\\_acometida.html](https://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/IEA/IEI/IEI06/es_IEA_IEI06_Contenidos/website_21_acometida.html).
- Aeroterminia: El sistema de climatización más eficiente | Re\_ Magazine. «Aeroterminia: El sistema de climatización más eficiente | Re\_ Magazine». Accedido 20 de febrero de 2023. <https://re-magazine.saunierduval.es/2018-07-27/por-que-la-aeroterminia-es-mucho-mas-eficiente-que-otros-sistemas>.
- «Aeroterminia; Qué es, cómo funciona, ventajas y desventajas | OVACEN», 21 de marzo de 2013. <https://ovacen.com/aeroterminia/>.
- Autopromotor.info, Nico de. «▷▷Precio mano de obra construcción 2023 ◁◁». *Autopromotor.info* (blog), 20 de octubre de 2022. <https://autopromotor.info/construir-una-casa/precio-mano-de-obra-construccion/>.
- Bricoladores, Simon. «Dónde instalar el cuadro eléctrico de la vivienda según normativa». Accedido 13 de febrero de 2023. <https://bricoladores.simonelectric.com/donde-instalar-el-cuadro-electrico-de-la-vivienda-segun-normativa>.
- Calderón, Pablo. «¿CÓMO SELECCIONAR UNA BOMBA DE AGUA PARA UNA RESIDENCIA?» *HIDROTECO* (blog), 3 de febrero de 2020. <https://www.hidrotecocr.com/seleccionar-una-bomba-una-residencia/>.
- CALORYFRIO, Idoia Arnabat. «Medidas de un aparato de aeroterminia ¿Qué dimensiones tiene una bomba de calor? - caloryfrio.com», 18 de febrero de 2022. <https://www.caloryfrio.com/energias-renovables/aeroterminia/medidas-aparato-aeroterminia-dimensiones-bomba-calor.html>.
- CIDARK. «Sobre el concepto de la prefabricación: Le Corbusier». *CIDARK* (blog), 29 de febrero de 2016. <https://www.cidark.com/sobre-el-concepto-de-la-prefabricacion-le-corbusier/>.
- COMERCIAL TUBOFERRO. «TRAMEX – PELDAÑOS DE TRAMEX». Accedido 19 de mayo de 2023. <https://tuboferro.com/producto/tramex-peldanos-de-tramex/>.
- «Construcción industrializada: ¿una oportunidad para acabar con la crisis de mano de obra? — idealista/news», 23 de marzo de 2022. <https://www.idealista.com/news/inmobiliario/construccion/2022/03/23/795088-construccion-industrializada-una-oportunidad-para-acabar-con-la-crisis-de-mano>.
- construnario.com. «Soluciones adecuada para las instalaciones de evacuación de aguas». Accedido 27 de febrero de 2023. <https://www.construnario.com/notiweb/40398/evacuacion-de-aguas-en-edificios/>.
- «¿Cuáles son los tamaños estándar de los paneles solares fotovoltaicos?», 29 de marzo de 2022. <https://ecoinventos.com/tamanos-estandar-paneles-solares-fotovoltaicos/>.
- «¿Cuánto cuesta instalar un sistema de ventilación? Precios en 2023». Accedido 1 de junio de 2023. <https://www.cronoshare.com/cuanto-cuesta/instalar-sistema-ventilacion>.
- «¿Cuánto cuesta poner un contador de agua individual? Precios en 2023». Accedido 1 de junio de 2023. <https://www.cronoshare.com/cuanto-cuesta/poner-contador-agua-individual>.
- ECOesMÁS: Blog de Arquitectura Sostenible y Casas Ecológicas. «Ventilación de doble flujo: La ventilación Inteligente - ECOesMÁS», 20 de febrero de 2019. <https://ecoemas.com/ventilacion-de-doble-flujo-ventilacion-inteligente/>.

- Gamez, Maria Jose. «Objetivos y metas de desarrollo sostenible». *Desarrollo Sostenible* (blog). Accedido 30 de enero de 2023. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>.
- Gasfriocalor.com. «Recuperador de calor S&P CADB-HE-D 16 ECOWATT». Accedido 27 de febrero de 2023. <https://www.gasfriocalor.com/recuperador-de-calor-s-p-cadb-he-d-16-ecowatt>.
- Grupo Excelsior. «¿Qué es el cuarto de máquinas y dónde se ubica?», 9 de abril de 2020. <https://www.grupoexcelsior.com/que-es-el-cuarto-de-maquinas-y-donde-se-ubica/>.
- habitissimo.es. «¿Cuánto cuestan los servicios de un antenista? Precio y Presupuestos - Habitissimo». Accedido 1 de junio de 2023. <https://www.habitissimo.es/presupuestos/antenas>.
- homify.es. «Paso a paso: ¡Construcción de una casa de dos plantas! | homify». Accedido 5 de junio de 2023. [https://www.homify.es/libros\\_de\\_ideas/3778843/paso-a-paso-construccion-de-una-casa-de-dos-plantas](https://www.homify.es/libros_de_ideas/3778843/paso-a-paso-construccion-de-una-casa-de-dos-plantas).
- «Industrialización: qué es, concepto y características - Significados». Accedido 5 de junio de 2023. <https://www.significados.com/industrializacion/>.
- «Instalaciones. España. Generador de precios de la construcción. CYPE Ingenieros, S.A.» Accedido 1 de junio de 2023. [http://www.generadordeprecios.info/remote.asp?Command=0,browse,idioma:0\[apartado:l\[n:1532399\[](http://www.generadordeprecios.info/remote.asp?Command=0,browse,idioma:0[apartado:l[n:1532399[).
- Interempresas. «Costes más bajos versus riesgos más altos: el dilema de la industrialización de la construcción». Accedido 5 de junio de 2023. <https://www.interempresas.net/construccion-industrializada/Articulos/346184-Costes-mas-bajos-versus-riesgos-mas-altos-dilema-de-industrializacion-de-construccion.html>.
- JAESGUE. «JAESGUE | Instalaciones de Agua y Baterías». Accedido 20 de febrero de 2023. <https://www.reformasinstalacionesjaesgue.com/instalaciones-de-agua-y-baterias/>.
- Leroy Merlin - Bricolaje, Decoración, Hogar, Jardín. «Cubiertas metálicas | Leroy Merlin». Accedido 1 de junio de 2023. <https://www.leroymerlin.es/productos/construccion/cubiertas-y-tejados/cubiertas-metalicas/>.
- «Metodología Lean: ¿qué es y cómo aplicarla en tu empresa?» Accedido 5 de junio de 2023. <https://www.ekon.es/blog/metodologia-lean-empresa/>.
- «perfilesEA95.pdf». Accedido 6 de junio de 2023. <https://ingemecanica.com/tutoriales/objetos/perfilesEA95.pdf>.
- «Precio en España de kg de Acero en vigas. Generador de precios de la construcción. CYPE Ingenieros, S.A.» Accedido 1 de junio de 2023. [http://www.generadordeprecios.info/obra\\_nueva/calculaprecio.asp?Valor=0|0\\_1|0|EAV010|ea\\_pieza\\_vigas%20viga\\_eav:\\_0\\_0\\_0\\_0\\_0\\_0\\_2\\_1#gsc.tab=0](http://www.generadordeprecios.info/obra_nueva/calculaprecio.asp?Valor=0|0_1|0|EAV010|ea_pieza_vigas%20viga_eav:_0_0_0_0_0_0_2_1#gsc.tab=0).
- «Precio en España de kg de Acero en vigas. Generador de precios de la construcción. CYPE Ingenieros, S.A.» Accedido 1 de junio de 2023. [http://www.generadordeprecios.info/obra\\_nueva/calculaprecio.asp?Valor=1|0|1|EAV010|ea\\_pieza\\_vigas%20viga\\_eav:\\_0\\_0\\_0\\_0\\_0\\_0\\_2\\_0#gsc.tab=0](http://www.generadordeprecios.info/obra_nueva/calculaprecio.asp?Valor=1|0|1|EAV010|ea_pieza_vigas%20viga_eav:_0_0_0_0_0_0_2_0#gsc.tab=0).
- «Precio en España de m<sup>2</sup> de Entramado de acero. Generador de precios de la construcción. CYPE Ingenieros, S.A.» Accedido 1 de junio de 2023. [http://www.generadordeprecios.info/obra\\_nueva/Fachadas\\_y\\_particiones/Defensas/Rejas\\_y\\_entramados\\_metalicos/Entramado\\_de\\_acero.html#gsc.tab=0](http://www.generadordeprecios.info/obra_nueva/Fachadas_y_particiones/Defensas/Rejas_y_entramados_metalicos/Entramado_de_acero.html#gsc.tab=0).
- Qmadis. «¿Qué es una antena parabólica y cuáles son sus funciones?», 4 de octubre de 2022. <https://qmadis.com/blog/que-es-una-antena-parabolica-y-cuales-son-sus-funciones/>.
- «¿Qué es la red separativa de aguas? | todoagua.es», 20 de enero de 2022. <https://www.todoagua.es/que-es-una-red-separativa/>.

- «Red de Saneamiento e instalaciones de una vivienda 2022». Accedido 27 de febrero de 2023.  
<https://www.vipreformas.es/blog/como-es-instalacion-saneamiento-para-vivienda/>.
- SafetyCulture. «5S Lean | Principios 5S en el lugar de trabajo». Accedido 6 de junio de 2023.  
<https://safetyculture.com/es/temas/5s-lean/>.
- Selectra. «¿Cómo montar placas solares? 3 pasos para su instalación». Accedido 1 de junio de 2023.  
<https://selectra.es/autoconsumo/info/instalacion>.
- Software, Dlubal. «Uniones de acero». Dlubal, 17 de agosto de 2018.  
<https://www.dlubal.com/es/soluciones/areas-de-aplicacion/conexiones-en-unionen>.
- Solar, E. F. C. «Acumuladores para placas solares y baterías. Qué son y cómo funcionan». *Expertos en energía solar fotovoltaica y paneles solares | EFC SOLAR* (blog), 1 de julio de 2021.  
<https://www.efcsolar.com/blog/acumuladores-para-placas-solares/>.
- «tabla-de-pesos.pdf». Accedido 1 de junio de 2023.  
<https://www.cordobesadelacero.es/pdf/teoricos/tabla-de-pesos.pdf>.
- Vanesa. «> Aerotermia: Precio, Instalacion y Componentes Vivienda Unifamiliar». *Energanova - Energías Renovables*, 7 de agosto de 2019. <https://energanova.es/aerotermia-precio-para-una-vivienda-unifamiliar/>.
- «Ventilación de bajantes de aguas residuales | @amrandado». Accedido 27 de febrero de 2023.  
<https://blogsaverroes.juntadeandalucia.es/amrandado/ventilacion-de-bajantes-de-aguas-residuales/>.
- Cobo Pérez-Minayo, Miguel. «Sistemas de montaje para una construcción de “Componentes Compatibles”: 3C siguiendo la metodología Lean».