



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

Sistema de Fabricación por Procesos, metodología
Lean Construction - Hábitat

Autor: José María de Inza García

Director: Jesús Guardiola Arnanz

Co-Director: Tamar Awad Parada

Madrid

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título Sistema de Fabricación por Procesos, metodología Lean Construction – Hábitat 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.: Jose María de Inza García

Fecha: 15 / 06 / 2023

Autorizada la entrega del proyecto

DIRECTORES DEL PROYECTO

Fdo.: Jesús Guardiola Aranz

Fecha: 15 / 06 / 2023



Fdo.: Tamar Awad Parada

J. Guardiola

Fecha: 15 / 06 / 2023

SISTEMA DE FABRICACIÓN POR PROCESOS, METODOLOGÍA LEAN CONSTRUCTION – HÁBITAT

Autor: de Inza García, José María.

Director: Guardiola Aranz, Jesús.

Co-Director: Tamar Awad Parada.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

El objetivo de este proyecto era diseñar la fachada, el falso suelo y el falso techo de una vivienda, buscando los materiales que permitiesen la máxima mecanización del proceso. De esta forma el proceso será más eficiente que la construcción tradicional. Para buscar una eficiencia aun mayor, se propondrá un sistema de construcción en paralelo aplicando la metodología LEAN. Todo esto permitirá reducir el tiempo de construcción y abaratar los costes de esta.

Palabras clave: Construcción, Industrialización, LEAN, Hábitat

1. Introducción

En los últimos años, el mundo industrial ha experimentado un crecimiento constante gracias a la mejora en materiales, medios y métodos de fabricación. Sin embargo, en la construcción, este crecimiento se ha visto limitado por métodos tradicionales. El objetivo del proyecto es ampliar el sector industrial hacia la arquitectura modernizando métodos constructivos y reducir plazos. Posteriormente, todas estas tareas se unirán a una estructura principal. Por ello, todas estas tareas deben estar pensadas para permitir un montaje sencillo en el momento.

Para reducir plazos, se usará metodología LEAN para optimizar procesos, reducir costes y plazos, y suprimir lo no imprescindible. Permite una mayor libertad en construcción y facilidades para futuros habitantes. Debido al montaje sencillo, también lo será la sustitución de elementos dañados o defectuosos, cambios en la distribución de la vivienda si se requiere nueva función.

2. Definición del proyecto

El objetivo es desarrollar un plan de producción y organización del proceso de construcción de vivienda, reduciendo tiempo y recursos en fachadas, suelos, techos y particiones. Se propondrá un diseño de piezas que permitan fácil fabricación, implementación y sustitución futura. Una vez hecho el diseño, se analizarán los procesos necesarios para fabricar y colocar las piezas según su función. Se propondrá un plan de construcción para hacer varios procesos juntos y ahorrar tiempo y recursos.

3. Descripción del modelo/sistema/herramienta

El objetivo de la construcción industrializada es aumentar la eficiencia el sector de la construcción. Se debe simplificar el modelo de las fachadas y hacerlo más industrial para facilitar los procesos. La instalación debe ser sencilla. Se evitarán uniones soldadas y se buscarán soluciones atornilladas en la medida de lo posible. Se estudiarán los procesos

necesarios para construir el modelo planteado, indicando el orden y los medios requeridos. Este último apartado es relevante para estudio de plazos.

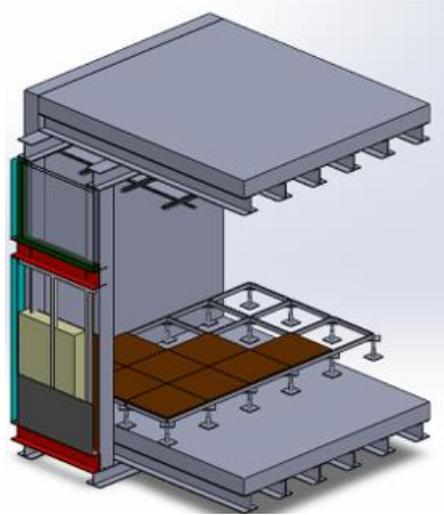


Ilustración 1: Maqueta explicativa de los elementos desarrollados

4. Resultados

La construcción en paralelo reduce un 40% el tiempo necesario para todo el proceso con respecto a la de serie. Aunque es una ventaja importante, se debe analizar económicamente para estudiar su viabilidad.

Tras hacer un análisis de costes, el precio es asequible para la gran cantidad de elementos fabricados en un tiempo breve. Un proceso normal se estima que costaría más. Por lo tanto, el sistema requiere menos tiempo y dinero además del abaratamiento del mantenimiento.



Ilustración 2: Comparativa de Tiempos Serie – Paralelo

5. Conclusiones

El proyecto ofrece una gran mejoría en lo referente a tiempo, coste, mantenimiento y sostenibilidad. Sin embargo, es una propuesta realizada a partir de unas condiciones

determinadas. En unas condiciones menos restrictivas, se podrían realizar modificaciones a los diseños propuestos para lograr mayor sencillez y ahorro.

6. Referencias

Cobo, M. (s. f.). *Sistemas de Montaje para una Construcción de Componentes Compatibles*

Ministerio de Derechos Sociales y Agenda 2030—Agenda 2030. (s. f.). Recuperado 24 de enero de 2023, de <https://www.mdsocialesa2030.gob.es/index.htm>

Oteiza, I., Queipo de Llano, J., & Gómez, G. (2008). *Design Ideas – INVISIO 2008. Informes de La Construcción*, 60(512), 71-86. <https://doi.org/10.3989/ic.08.042>

Awad, T., Guardiola, J., & Fraíz, D. (2021). *Sustainable Construction: Improving Productivity through Lean Construction. Sustainability*, 13(24), 13877. <https://doi.org/10.3390/su132413877>

Índice de la memoria

Capítulo 1. Introducción	5
1.1 Motivación del proyecto.....	5
Capítulo 2. Descripción de las Tecnologías	7
Capítulo 3. Estado de la Cuestión	9
Capítulo 4. Definición del Trabajo	13
4.1 Justificación.....	13
4.2 Objetivos	13
4.3 Metodología.....	14
4.4 Objetivos de Desarrollo Sostenible	14
Capítulo 5. Sistema y Modelo Desarrollados	16
5.1 Diseño.....	16
5.1.1 Diseño de la Fachada.....	17
5.1.2 Diseño del Falso Suelo.....	27
5.1.3 Diseño del Falso Techo	29
5.2 Implementación.....	33
5.2.1 Implementación de la Fachada	33
5.2.2 Implementación del Falso Suelo.....	39
5.2.3 Implementación del Falso Techo.....	43
5.2.4 Plazos mediante Instalación en Serie.....	48
5.2.5 Plazos mediante Instalación en Paralelo	50
Capítulo 6. Análisis de Resultados	52
Capítulo 7. Observaciones y Trabajos Futuros	54
Capítulo 8. Bibliografía	56
ANEXO I: Prontuario de Perfiles	58

Índice de figuras

Ilustración 1: Maqueta explicativa de los elementos desarrollados.....	6
Ilustración 2: Comparativa de Tiempos Serie – Paralelo	6
Ilustración 3: Relación ente método y medios (Oteiza et al., 2008).....	10
Ilustración 4: Construcción Low Level (Grupo-Pages, s. f.)-High Tech (González, 2022) 10	
Ilustración 5: Construcción Incoherente (Cobo, M., 2022)	11
Ilustración 6: Maqueta del Modelo propuesto	17
Ilustración 7: Maqueta de Fachada.....	18
Ilustración 8: Representación de la Estructura Portante	19
Ilustración 9: Representación del Aislamiento	20
Ilustración 10: Representación de un Panel Exterior.....	21
Ilustración 11: Representación de la Estructura Interna.....	22
Ilustración 12: Representación del Acabado Interior	23
Ilustración 13: Representación de una Ventana.....	24
Ilustración 14: Dimensiones de los Módulos Fachada	25
Ilustración 15: Plano de un Bloque de Viviendas Prefabricadas (Oteiza et al., 2008).....	26
Ilustración 16: Maqueta de Falso Suelo.....	27
Ilustración 17: Representación de un Soporte	28
Ilustración 18: Representación de los Perfiles Principal y Secundario	28
Ilustración 19: Representación de una Baldosa.....	29
Ilustración 20: Maqueta del Falso Techo.....	30
Ilustración 21: Representación de un Elemento de Fijación	31
Ilustración 22: Representación de un Perfil Principal	31
Ilustración 23: Representación de un Perfil Secundario y el Enganche al Principal.....	32
Ilustración 24: Maqueta de Estructura de Partida.....	33
Ilustración 25: Colocación Perfiles HEB 200.....	34
Ilustración 26: Colocación Perfiles UPN 100.....	35
Ilustración 27: Colocación del Aislante.....	36
Ilustración 28: Colocación del Acabado Interior.....	37

Ilustración 29: Colocación de la Estructura Interna	38
Ilustración 30: Colocación de Paneles Exteriores, Ventanas y Cristaleras	39
Ilustración 31: Colocación de los Soportes	40
Ilustración 32: Colocación de los Perfiles Primarios del Suelo.....	41
Ilustración 33: Colocación de los Perfiles Secundarios del Suelo.....	42
Ilustración 34: Colocación de las Baldosas del Suelo	43
Ilustración 35: Colocación de los Elementos de Fijación.....	44
Ilustración 36: Colocación de los perfiles Primarios del Techo	45
Ilustración 37: Colocación de los perfiles Secundarios del Techo	46
Ilustración 38: Colocación de las Baldosas del Techo	47
Ilustración 39: Maqueta Final.....	48

Índice de tablas

Tabla 1: Planificación de Plazos para Construcción en Serie	49
Tabla 2: Planificación de Plazos para Construcción en Paralelo	51
Tabla 3: Estimación de Precios	53

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

A lo largo de los últimos años, el mundo industrial está experimentando un crecimiento constante, gracias a la mejora de los materiales, los medios y los métodos de fabricación. Este crecimiento en la construcción, limitado por los métodos tradicionales, no ha sido tan notable.

El objetivo de este proyecto es ofrecer una posibilidad de ampliar este gran crecimiento del sector industrial hacia la arquitectura, modernizando los métodos de construcción empleados. Para ello, se planteará una forma de construcción que permita realizar paralelamente varias tareas, permitiendo unos plazos más cortos. Posteriormente, todas estas tareas se unirán a una estructura principal. Por ello, todas estas tareas deben estar pensadas para permitir un montaje sencillo en el momento.

Para reducir los plazos, se empleará la metodología LEAN, que permitirá optimizar ciertos procesos con reducción de costes y plazos necesarios, y la posibilidad de suprimir aquellos que no sean imprescindibles.

Además de los plazos reducidos, este nuevo planteamiento permite gran libertad en la construcción, y facilidades para quienes quieran habitar el edificio en cuestión. Como el montaje es sencillo, también lo sustituirá ciertos elementos dañados o defectuosos, o simplemente se quieren cambiar, y modificará la distribución de la vivienda si se pretende cumplir una función diferente a la propuesta en un principio.

1.1 MOTIVACIÓN DEL PROYECTO

Como se desarrollará después, la sociedad avanza a pasos agigantados en todos los campos: medicina, comunicación, industria, etc. Pero la arquitectura se ha estancado en su formato más tradicional, que no explota todas las posibilidades que puede ofrecer a nivel de eficiencia. Este proyecto ofrece la posibilidad de iniciar una revolución arquitectónica que

permita realizar las construcciones de una forma más económica y eficiente, permitiendo la mayor accesibilidad de cada individuo a una vivienda y una mayor capacidad reforma y reparación de este tipo de construcciones sin renunciar a la comodidad y estética de las viviendas o las cualidades aislantes que presentan las viviendas tradicionales.

Capítulo 2. DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS

Este proyecto se basa en la construcción de un edificio habitable. Para ello, se divide en varios subproyectos especializados en cada campo más importante del mismo.

- Estructura: Es la base y el esqueleto de la edificación.
- Instalaciones: Consisten en todas las infraestructuras que aportan luz y agua al edificio
- Hábitat: Este campo aborda la implementación de elementos que permiten la habitabilidad del edificio.
- Módulos: Se trata de distintas secciones del edificio, los cuales se instalan una vez construido el edificio.

En este proyecto en concreto se especializará en la sección de hábitat, la cual distingue varias subsecciones:

- Cerramientos exteriores: Más comúnmente conocidas como fachadas, son estructuras que delimitan y aíslan el edificio.
- Suelos: Pese a que el forjado incluye una superficie que se puede emplear como suelo, es conveniente recubrirlo con una superficie de baldosas por encima, permitiendo mayor funcionalidad.
- Techos: Colgado del forjado también habrá una superficie de paneles que permite un aislamiento acústico y ocultar instalaciones y cableado.

Para cumplir este objetivo, se crearán 2 diseños 3D, uno que permita analizar el proceso de construcción en paralelo, para el cual se empleará el programa SolidEdge, sobre la estructura de partida, y otro que permita analizar cada elemento y los métodos de instalación de estos, este en SolidWorks. Son 2 programas con características similares, que permiten la creación de diseño de piezas, conjuntos de todas las piezas fabricadas, y planos (no se hará uso de esta última función).

Posteriormente se hará análisis de precios de la construcción propuesta, para lo que se empleará el Generador de Precios de la (*Generador de precios de la construcción. España. CYPE Ingenieros, S.A., s. f.*), herramienta en la que se basa el programa CYPE, que permite acceder al precio de los diversos elementos a instalar, así como la mano de obra necesaria para dicho proyecto y la maquinaria requerida.

Por último, se planteará un esquema de tiempos y plazos, que aplicando el método LEAN, buscará la mayor eficiencia, gracias a la posibilidad de construir varios elementos de la vivienda en paralelo. Este estudio vendrá acompañado de otro diagrama de los plazos que se presentarían en caso de aplicar la construcción tradicional en lugar del método LEAN, permitiéndonos una visión del verdadero ahorro de tiempo que supone este nuevo sistema.

Capítulo 3. ESTADO DE LA CUESTIÓN

En 1918 finalizó la Primera Guerra Mundial, dejando toda Europa en una situación precaria. Por ello, los arquitectos racionalistas de la época se vieron forzados a buscar soluciones para el problema de las viviendas durante esta crisis. Este fue el comienzo de la Arquitectura Moderna. Uno de los nombres más importantes de la época fue el suizo Le Corbusier, el cual marcó las 3 directrices de la Arquitectura (CIDARK, 2016)

- Nuevos materiales y sistemas de construcción.
- Conciencia de la sociedad, la cual obligaba a reducir el tamaño de las viviendas.
- Búsqueda de la eficiencia mediante una dinámica (Le Corbusier, s. f).

La evolución de la arquitectura moderna ha llevado a un desarrollo de un nuevo sistema de construcción, la construcción modular. Esta se basa en una arquitectura la cual funciona mediante procesos industriales, y actualmente convive con la Arquitectura Tradicional.

Hoy en día, la construcción se puede clasificar en función del método de fabricación empleado, pudiendo ser “in-situ”, en un taller o en una fábrica, siendo la última la más sofisticada de las tres. También se puede clasificar la construcción según la tecnología empleada, pudiendo ser, en orden creciente de sofisticación, artesanal, mixta o industrial.

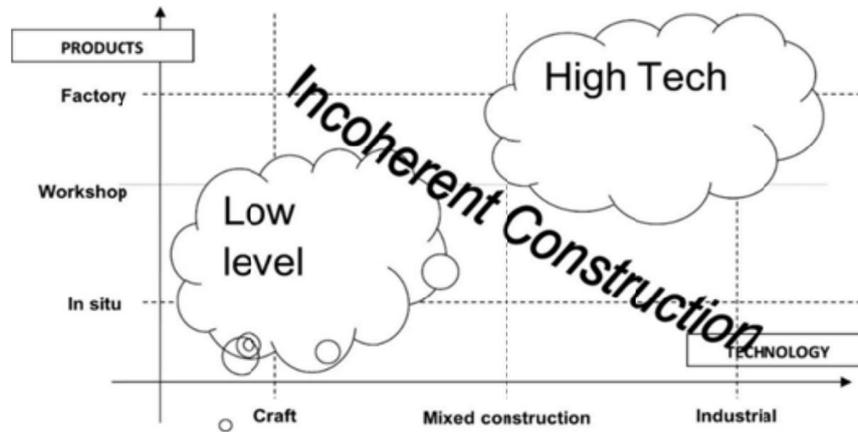


Ilustración 3: Relación ente método y medios (Oteiza et al., 2008)

Se puede apreciar como de este modo la arquitectura se puede clasificar como de bajo nivel (Low Level), de alta tecnología (High Tech), o incoherente, debiéndose evitar esta última.



Ilustración 4: Construcción Low Level (Grupo-Pages, s. f.)-High Tech (González, 2022)



Ilustración 5: Construcción Incoherente (Cobo, M., 2022)

Del mismo modo también se puede clasificar el diseño de la construcción, analizando si se ha buscado un diseño tradicional o racional, o si se han empleado técnicas antiguas o modernas. Esta nueva clasificación se comporta de forma similar a la propuesta anterior respecto al método de construcción. Si una construcción tiene un diseño tradicional, resultará incoherente el empleo de técnicas modernas.

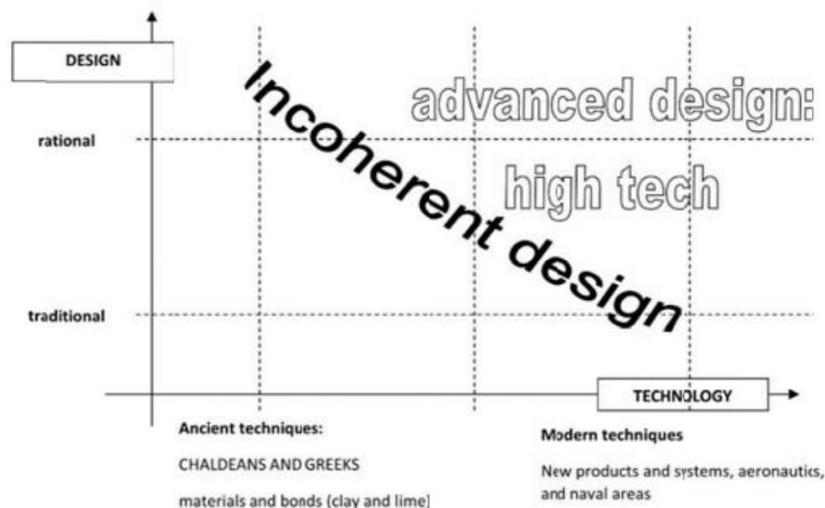


Ilustración 5: Relación entre diseño y técnica. (Oteiza et al., 2008)

Como se aprecia en la Ilustración 4, un diseño racional junto con el uso de técnicas modernas dará lugar a lo que se conoce como diseño avanzado, característico de la construcción High Tech. (Oteiza et al., 2008)

Tradicionalmente la construcción tradicional se ha empleado para espacios destinados a vivienda habitual, mientras que la construcción industrializada se ha empleado para casas de vacaciones o de espacios de tiempo más cortos, o incluso como almacenes. Esto era debido a la escasez de tecnología disponible. Sin embargo, ahora se está empezando a invertir más en estas tecnologías, y la disminución del precio de los materiales está permitiendo acceder a materiales de mejor calidad, de modo que actualmente sí que es posible crear una vivienda habitual mediante un modelo de construcción (Atlantida, s. f.)

La construcción tradicional presenta un sistema de construcción lineal, lo que supone una gran cantidad de tiempo invertido. Esto se ve reflejado a nivel económico en la mano de obra, cuyo precio será mayor ante una construcción de mayor duración. Por el contrario, este proyecto propone una construcción industrializada, que permite construirla en paralelo a varias partes del edificio. Esto supone un gran ahorro de tiempo y a nivel económico.

Hay que hacer una inversión superior, ya que hay que invertir en los materiales a emplear, que se pretende que sean de buena calidad para que cumplan con el Código Técnico de Edificación (Documentos CTE, s. f.), y en las tecnologías a emplear para fabricar e instalar las diversas piezas.

En cuanto al mantenimiento, el sistema de falsos suelos y techos, junto con el de fachadas y particiones de paneles, permite que, si algún elemento falle, se sustituya fácilmente, sí que se vean afectados los elementos cercanos, que podrán cumplir su función hasta que fallen independientemente.

Capítulo 4. DEFINICIÓN DEL TRABAJO

4.1 JUSTIFICACIÓN

Hoy en día, el mundo de la construcción está muy optimizado, ya que se pueden fabricar viviendas que presenten grandísimas cualidades aislantes, tanto térmica como acústicamente, además de ofrecer una gran comodidad y estética. Sin embargo, este sector no está optimizado a nivel de precios y tiempo, presentando unos precios elevados y unos plazos excesivos.

El objetivo de este proyecto es ofrecer la posibilidad de realizar diversas tareas a la vez, permitiendo una aceleración de la construcción de edificaciones con distintos fines. Aunque este proyecto se especialice en la vivienda, el método presentado se puede extrapolar a almacenes, fabricas, oficinas, polígonos industriales, etc. Esta construcción en paralelo permitirá reducir significativamente el tiempo empleado por los operarios para finalizar las construcciones, empleando materiales de precios similares que permitirán reducir el tiempo de construcción sin aumentar el precio ni reducir las características aislantes ni estéticas.

4.2 OBJETIVOS

El objetivo de este proyecto consiste en aumentar la efectividad de la construcción, en este caso centrándose en el apartado de hábitat. Para ello se propondrán diseños simplificados que permitan su construcción en cadena, abaratando costes y reduciendo el tiempo requerido.

Posteriormente se deberá desarrollar un plan de producción y organización del proceso de construcción de una vivienda, permitiendo menor gasto de tiempo y recursos en la implementación de fachadas, suelos, techos y particiones interiores.

Para ello se propondrá un diseño de las piezas que compondrán la construcción y permitan una fácil fabricación, implementación y futura sustitución cuando sea necesario. Una vez

realizado el diseño se analizarán los procesos necesarios para fabricar las piezas e insertarlas de forma correcta de forma independiente en función de su finalidad. Por último, se propondrá un plan de construcción que permita hacer varios procesos en paralelo para conseguir el máximo ahorro de tiempo y recursos.

4.3 METODOLOGÍA

En primer lugar, se propondrá un diseño de las piezas que compondrán la construcción y permitan una fácil fabricación, implementación y futura sustitución cuando sea necesario. Para ello se empleará la herramienta de SolidEdge, mediante la cual se han desarrollado modelos de los diferentes elementos

Una vez realizado el diseño se analizarán los procesos necesarios para fabricar las piezas e insertarlas de forma correcta independientemente en función de su finalidad permitiéndonos obtener una estimación del tiempo necesario

Por último, se propondrá un plan de construcción que permita hacer varios procesos en paralelo para conseguir el máximo ahorro de tiempo y recursos. Para expresar el proceso de forma más clara se mostrará una maqueta de SolidEdge a la que se irán implementando los avances progresivamente.

4.4 OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

Se busca que este proyecto forme parte de la lucha de la sociedad contra el cambio climático, por lo que tendrá un gran enfoque a cumplir los objetivos de desarrollo sostenible establecidos por la Unión Europea (*Ministerio de Derechos Sociales y Agenda 2030 - Agenda 2030*, s. f.).

En primer lugar, este proyecto puede abaratar notablemente el sector de la construcción, permitiendo crear más viviendas y a un precio más asequible. De esta forma disminuiría la cantidad de personas viviendo en la calle.

Este proyecto propone un sistema de construcción con piezas, de modo que, si se daña un elemento de la vivienda, se podrá sustituir solo el elemento dañado por otro igual de funcional y compatible sin sustituir otras piezas que sí estén en buen estado. Por ejemplo, si en una casa tradicional se rompe el suelo, se tiene que cambiar el suelo entero, y con este proyecto sería posible cambiar la baldosa rota.

En relación con lo anterior, la construcción propuesta tiene un sistema de railes que permite una fácil instalación y sustracción, por lo que las piezas no visibles, sobre todo las que tienen una menor vida útil, serán accesibles sin necesidad de hacer una obra en toda la casa ni romper otras cosas que funcionen correctamente.

Por último, la posibilidad de hacer las sustituciones previamente mencionadas tan fácilmente implica que el proceso de reparaciones de la vivienda será mucho menos contaminante. En vez de llevar todas las maquinas, hacer una remodelación interior, fabricar lo necesario y reciclar lo retirado, que son muchos procesos contaminantes, solo se tendrá que fabricar la pieza dañada, instalarla manualmente y reciclar la dañada. (Awad et al., 2021)

Capítulo 5. SISTEMA Y MODELO DESARROLLADOS

El objetivo de la construcción industrializada es hacer más eficiente el sector de la construcción, para ello será necesario desarrollar un modelo más simplificado de las fachadas, dándole un aspecto más industrial y permitiendo realizar de forma más eficiente todos los procesos necesarios para la construcción.

Una vez se tiene el modelo, se debe plantear la forma de instalarlo, de modo que no suponga un proceso demasiado complicado. Es por ello por lo que se evitarán las uniones soldadas y se buscará recurrir a las soluciones atornilladas en la medida de lo posible.

A continuación, se deberán estudiar los procesos necesarios para construir el modelo planteado, indicando en que orden se realizarán y que medios se requerirán. Este último apartado resulta de gran relevancia ya que será el que nos permita hacer un posterior estudio de plazos.

5.1 DISEÑO

En este apartado se explicará que elementos componen la fachada, el falso suelo y el falso techo, el material que se empleará para cada uno de los elementos y el método de fijación propuesto.

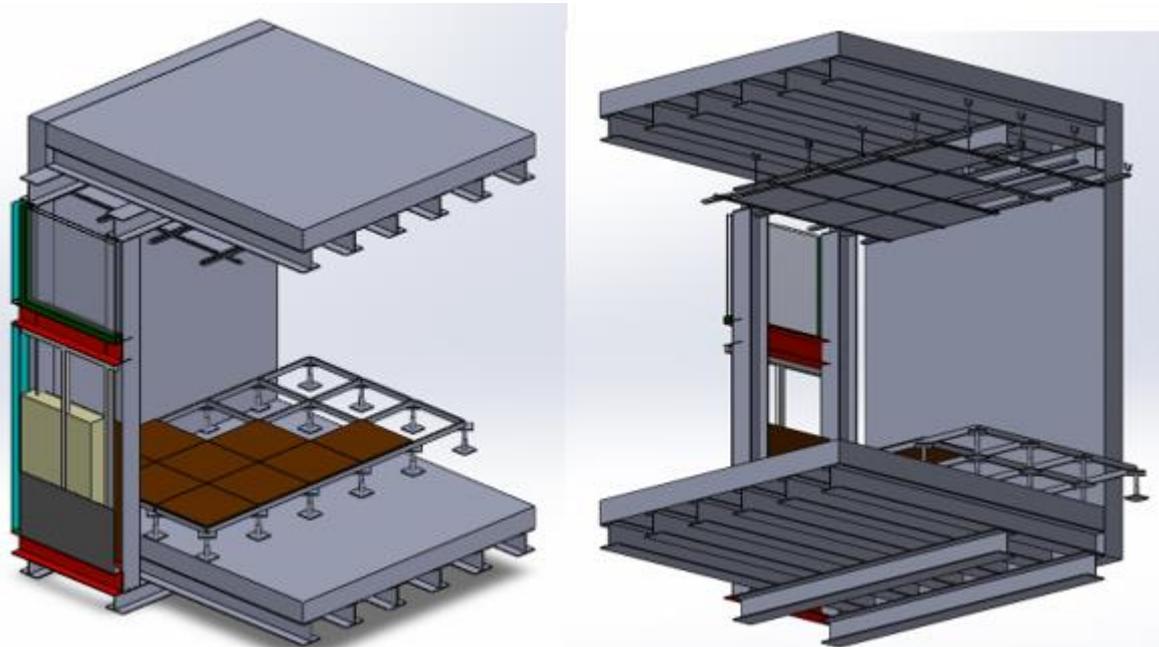


Ilustración 6: Maqueta del Modelo propuesto

5.1.1 DISEÑO DE LA FACHADA

La fachada es la parte más importante de este proyecto, ya que tiene que cumplir propiedades aislantes determinadas y permitir la entrada de luz natural y aire. Se propondrá una estructura que permita cumplir todas las propiedades propuestas con un proceso más eficiente.

La fachada constará de los siguientes elementos: estructura portante, aislamiento, fachada exterior, estructura interna, cámara de aire, y acabados interiores.

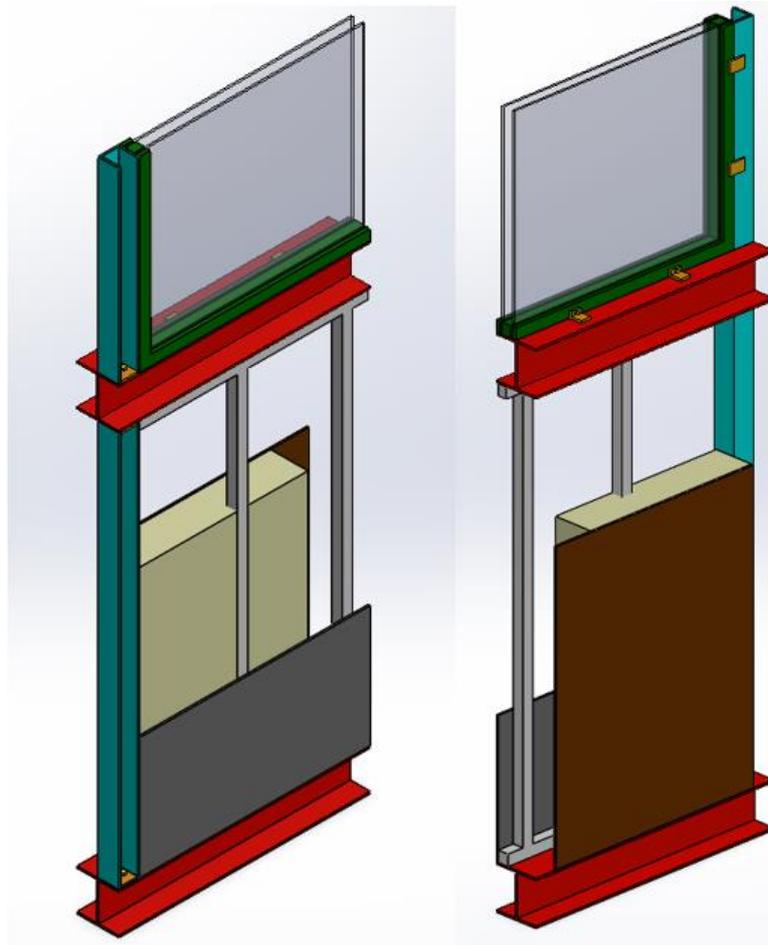


Ilustración 7: Maqueta de Fachada

La estructura portante es una estructura de vigas que servirá de soporte para toda la fachada, y estará compuesta por perfiles IPE 200 en horizontal y perfiles UPN 100 en vertical. Estos perfiles estarán fabricados con acero y unidos entre ellos y a la estructura con tornillos.

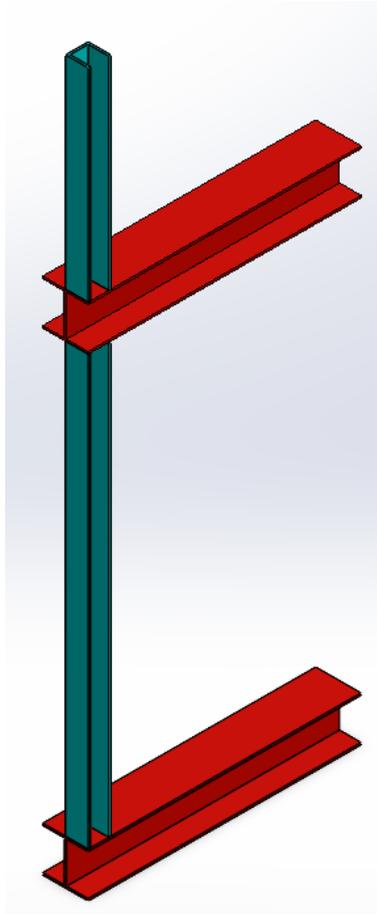


Ilustración 8: Representación de la Estructura Portante

El aislamiento es un elemento esencial en la construcción. Su función es proporcionar características aislantes, tanto térmicas como acústicas, a la fachada. Se empleará un aislante de lana mineral, que ofrece unas buenas capacidades aislantes a un precio asequible.

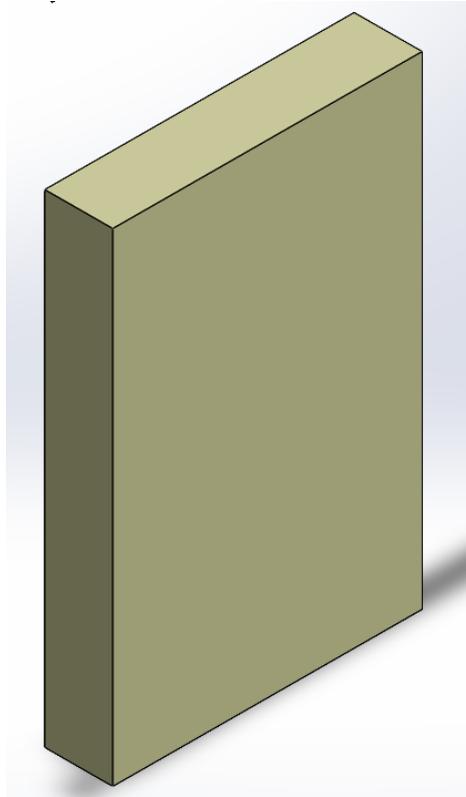


Ilustración 9: Representación del Aislamiento

La fachada exterior es la estructura de paneles visible desde la parte exterior de la vivienda, y tiene como funciones proteger la estructura portante y la estructura interna de la fachada, además de presentar una función decorativa. Se emplearán paneles de fibrocemento, ya que, a pesar de no ser el material más barato del mercado, es el que ofrece mejores características calidad-precio que cumplen con lo que se requiere, añadiendo un aislamiento extra a la radiación UV.

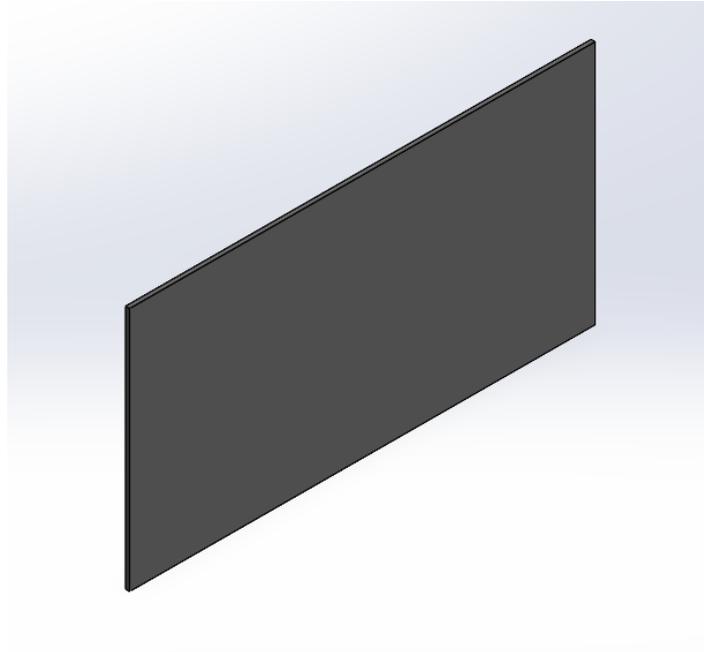


Ilustración 10: Representación de un Panel Exterior

La estructura interna consiste en un entramado ligero de perfiles, formado por barrotes de sección cuadrada de 50mm de lado, cuya función será servir de sujeción para los paneles exteriores. En este caso se empleará un entramado ensamblado en el taller de acero conformado en frío, galvanizado, tipo DX52D+Z275MA.

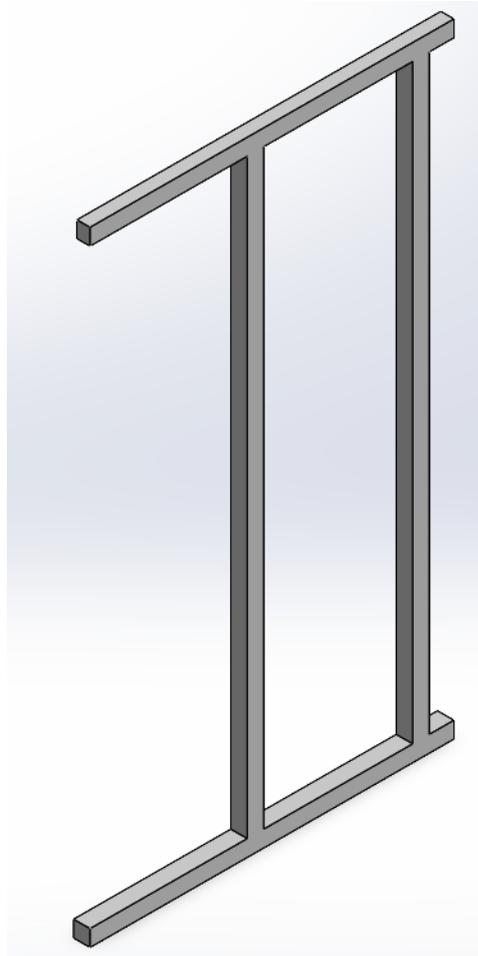


Ilustración 11: Representación de la Estructura Interna

La cámara de aire no es elemento físico de la fachada, sino una ausencia de este. Se trata de un espacio vacío que se deja entre medias del aislamiento y la estructura interior. Este espacio aportará un espacio de ventilación que evita la humedad y potencia el aislamiento.

Por último, los acabados interiores son los elementos que serán visibles desde el interior de la vivienda. Pueden estar formados por diversos materiales, como el yeso o los paneles de madera, y presenta varias funciones: aumenta el aislamiento acústico, mejora la calidad del aire y tiene una gran función estética. Se optará por unos paneles de yeso laminado, ya que es un material económico, fácil de instalar y con gran resistencia mecánica, por lo que parecen la mejor opción posible.

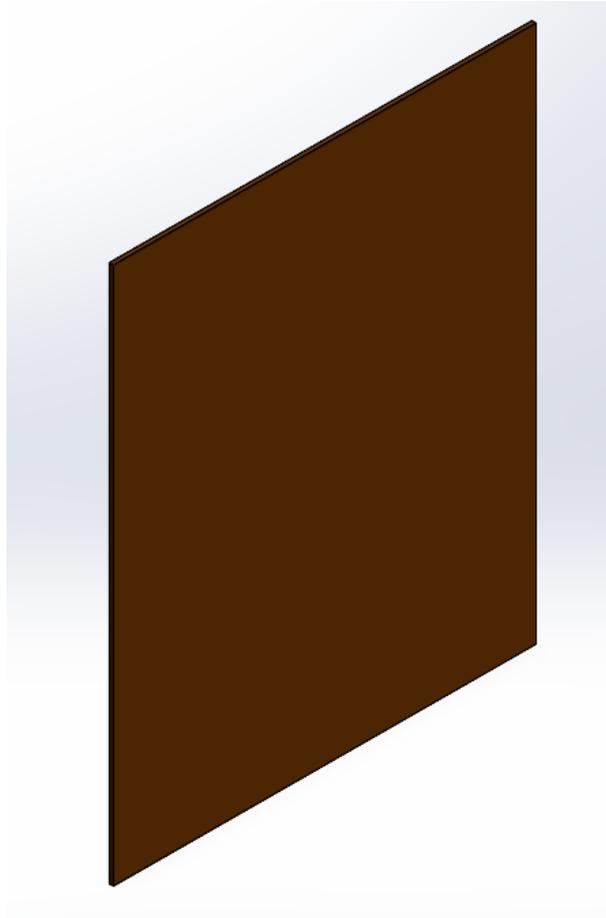


Ilustración 12: Representación del Acabado Interior

También es posible sustituir la estructura interna, los paneles interior y exterior y el aislamiento por una ventana, de medidas normalizadas, la cual irá atornillada a los perfiles de la estructura portante.

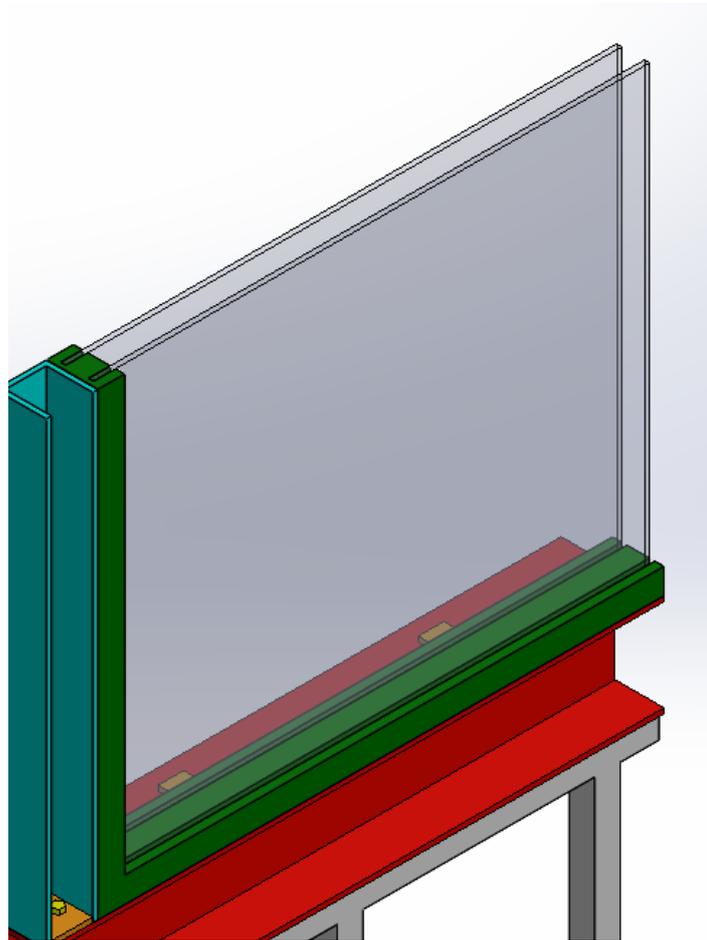


Ilustración 13: Representación de una Ventana

5.1.1.1 Diseños de Fachada Propuestos

En el caso particular de la fachada, se han diseñado distintos tipos en función de sus dimensiones y la función requerida.

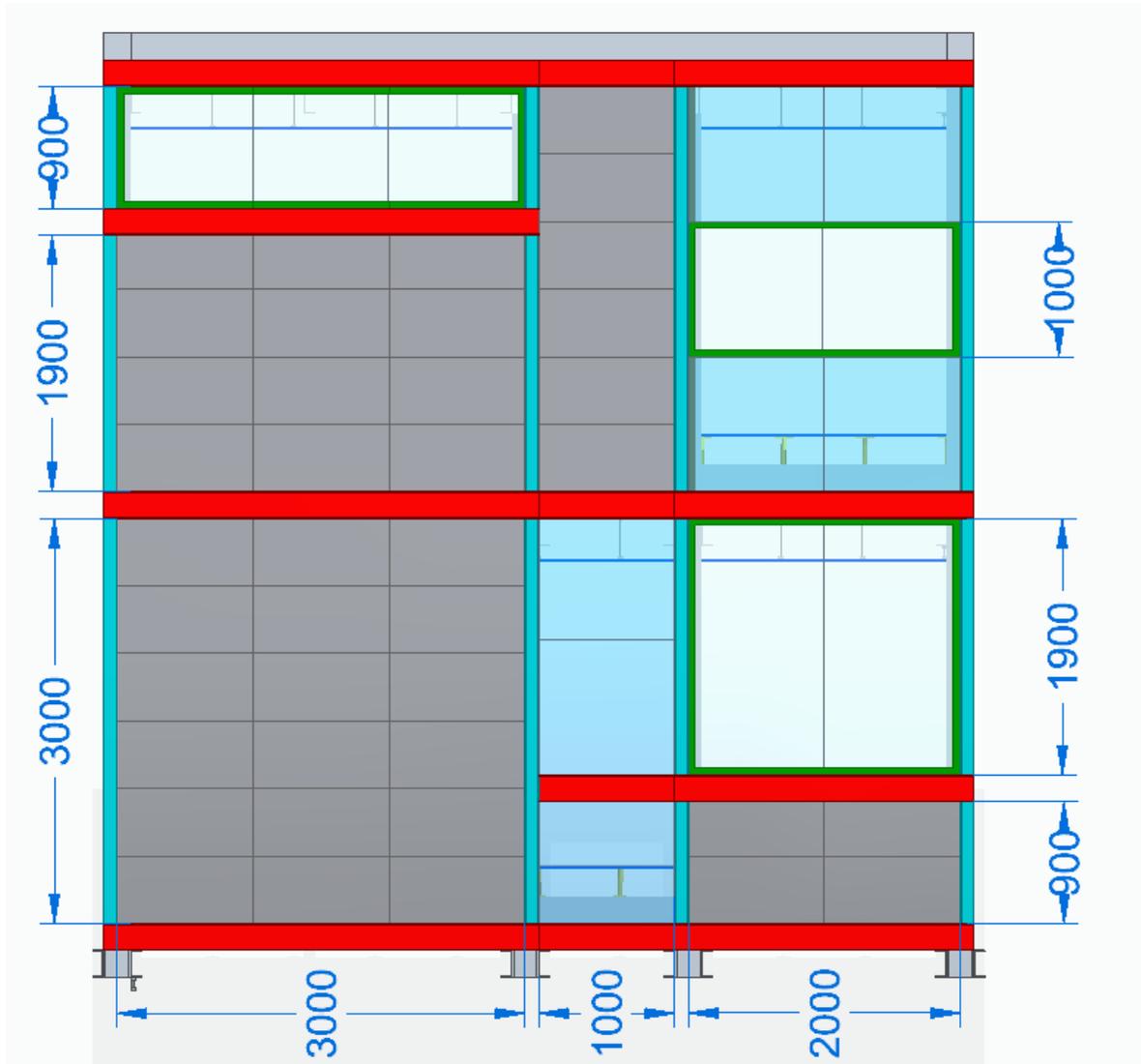


Ilustración 14: Dimensiones de los Módulos Fachada

En la imagen se muestran todas las dimensiones posibles de los módulos fachada. La estructura, aunque puede tener diversas disposiciones, contemplará 3 opciones genéricas: 1m, 2m y 3m. La diferencia entre unos modelos de estructura y otros reside en el número de fachadas necesarias de cada dimensión o en el orden de esta, pero estas dimensiones predefinidas se cumplirán en todos los modelos.



Ilustración 15: Plano de un Bloque de Viviendas Prefabricadas (Oteiza et al., 2008)

Con respecto a la altura, todas las estructuras van a presentar una altura predefinida de 3m (3.2 si omitimos la altura de los perfiles HEB 200). Por ello se ha propuesto unas dimensiones de 3m de altura en caso de querer una fachada uniforme para una habitación. En caso de buscar una combinación entre dos tipos de fachadas, las dimensiones propuestas serán 1.9 m para la grande y 0.9 m para la pequeña, que sumadas al perfil intermedio cubrirán los 3 m de fachada.

Para que cada fachada tenga una función diferente, se han propuesto 3 módulos distintos. La fachada ventilada es la que se ha mostrado previamente, que incluye un montaje más trabajoso para proveer a la vivienda todas las características aislantes. También se propone una fachada acristalada, un modelo mucho más sencillo que consiste en una pared de cristal que provee iluminación natural. Por último, se propone un módulo ventana, de medidas estandarizadas pudiendo ser de una altura de 0.9m, 1m o 1.9m, y un ancho de 1m, 2m o 3m.

Las fachadas ventiladas tienen que incluir la estructura interna, el aislamiento y el acabado interior, los cuales tienen que engancharse a una estructura portante. Es por ello por lo que cuando una fachada se divide en 2 modelos propuestos diferentes, hay un perfil entre medias. Sin embargo, hay un caso particular que consiste en unir una ventana a una fachada acristalada. Como ninguna de las 2 requiere de una estructura portante como tal, sino que se

pueden unir entre sí, no es necesario poner el perfil, dando como dimensiones 1m o 2m de altura.

5.1.2 DISEÑO DEL FALSO SUELO

El falso suelo presenta propiedades de comodidad y estéticas. Consiste en baldosas situadas sobre una estructura anclada al forjado, permitiendo un mayor aislamiento térmico, mayor comodidad y la opción de mejorar la estética de la vivienda. Asimismo, se prevé que por debajo del falso suelo se puedan colocar cables, tuberías u otros elementos.

El falso suelo se compondrá de los siguientes elementos: Soportes, perfiles principales y secundarios, y baldosas.

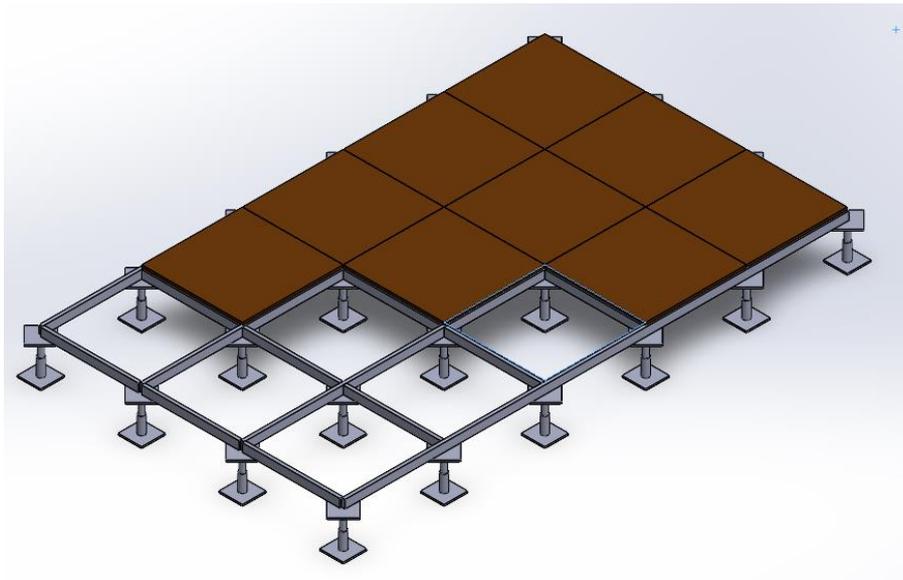


Ilustración 16: Maqueta de Falso Suelo

Los soportes son unas piezas prefabricadas que se anclan al suelo de la estructura base, mediante tornillos, y que servirá para anclar los perfiles principales y secundarios. En el caso de los soportes laterales, se emplearán unos que unirán los perfiles a las estructuras laterales.

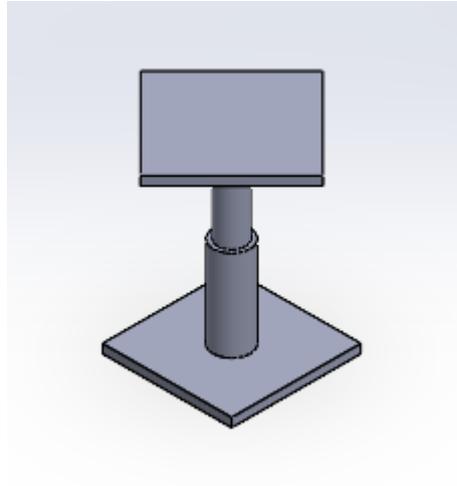


Ilustración 17: Representación de un Soporte

Los perfiles son unos barrotes de sección rectangular que se anclan a los soportes. Primero están en una dirección los perfiles primarios, que serán de gran longitud, y después los secundarios, que tendrán la misma sección, pero una longitud igual a la distancia entre dos perfiles principales. Estas intersecciones se darán en los soportes, a los que se les atornillarán los perfiles. Su función será servir como estructura sobre la que fijar las baldosas.

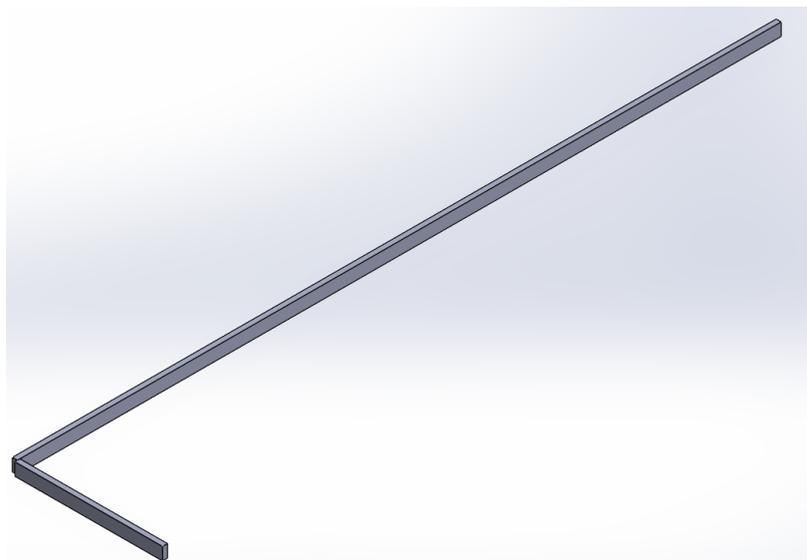


Ilustración 18: Representación de los Perfiles Principal y Secundario

Las baldosas son el último elemento del falso suelo, y se atornillarán a la estructura de perfiles. Pese a su función decorativa, tienen que ofrecer una resistencia suficiente para resistir el peso de los diferentes muebles y personas que pasen por esta casa, y a ser posible, a un precio asequible. Se propondrán las baldosas cerámicas de gres porcelánico, ya que ofrece todas las características necesarias.

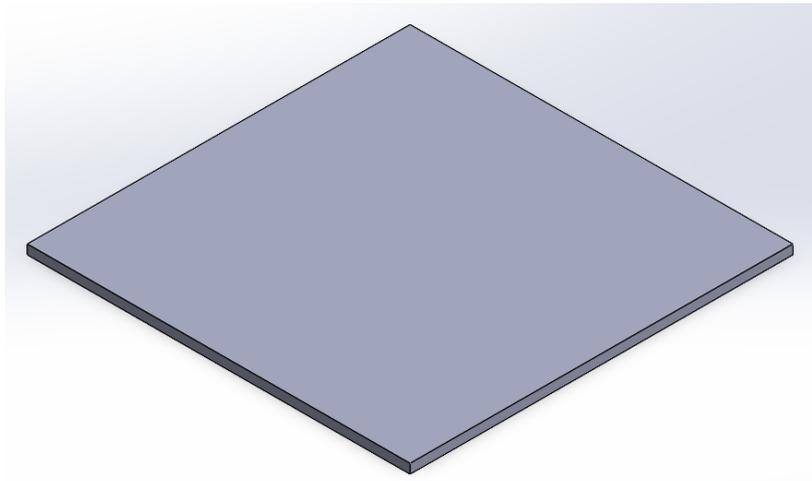


Ilustración 19: Representación de una Baldosa

5.1.3 DISEÑO DEL FALSO TECHO

El falso techo tiene una función estética y funcional, ya que el objetivo será crear una estructura que permita que el cableado y la ventilación no quede a la vista en la vivienda. Estará formado por una estructura en la que se apoyarán paneles, pudiendo retirarse en todo momento. En un futuro, algunos paneles se sustituirán por lámparas o rejillas de ventilación.

Los elementos que conforman el falso techo son los siguientes: elementos de fijación, perfiles primarios y secundarios y paneles.

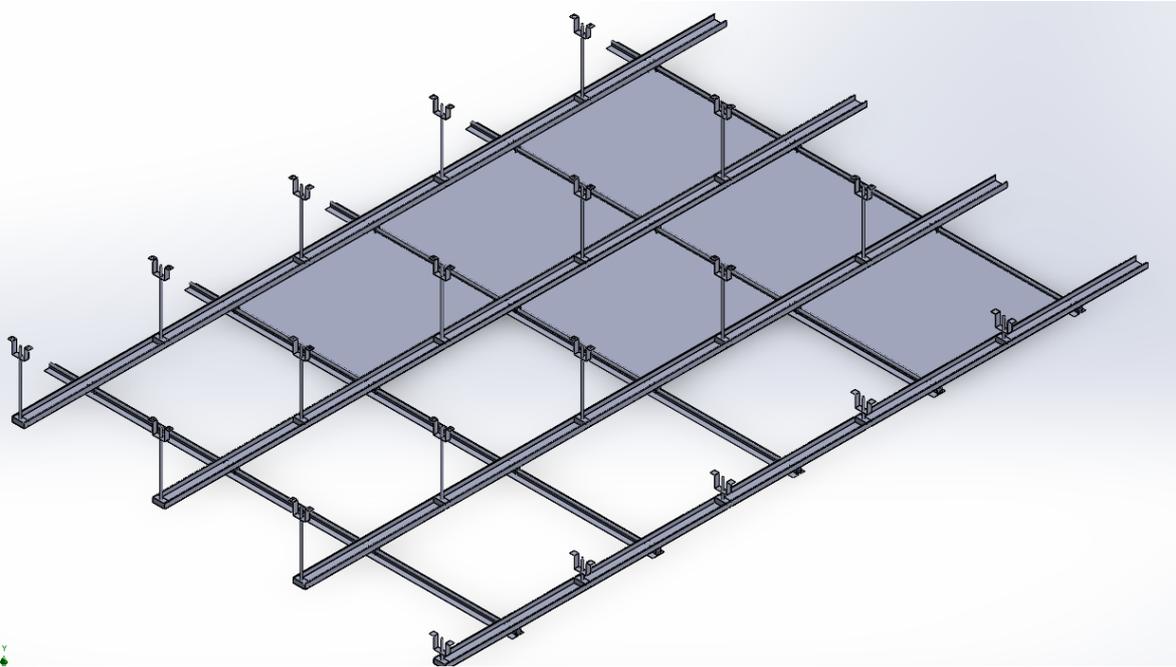


Ilustración 20: Maqueta del Falso Techo

Los elementos de fijación son conjuntos de piezas que enganchan los perfiles principales a los perfiles instalados en la estructura base. Se componen de un punto de anclaje superior, que se atornilla a la viga, y un anclaje inferior, que se enganchará al perfil principal gracias a un sistema de railes. Ambos anclajes están unidos por un cable que será el que soporte todo el conjunto del falso techo. En el caso de los laterales, el cable será más corto, debido a que coinciden con vigas.

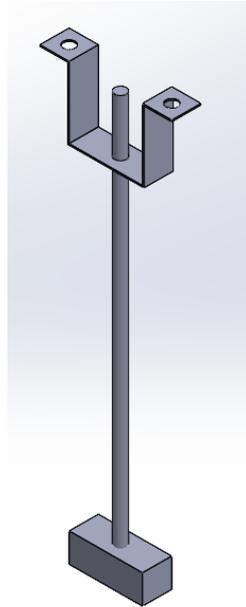


Ilustración 21: Representación de un Elemento de Fijación

Los perfiles primarios son estructuras con forma de rail que se engancha al anclaje inferior de cada elemento de fijación, generando una estructura de diversos perfiles principales situados en paralelo.

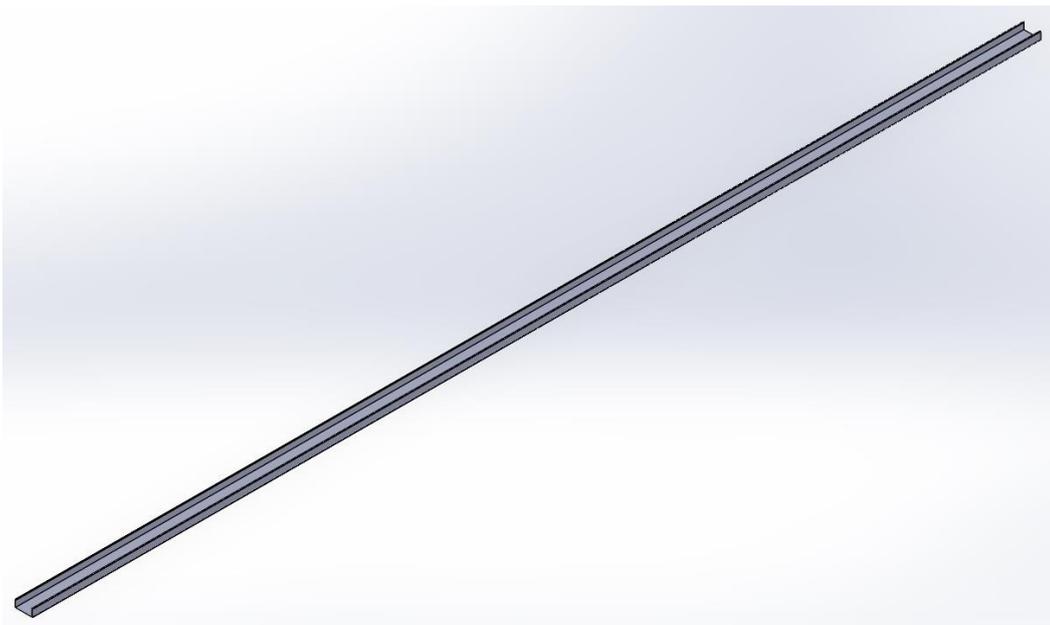


Ilustración 22: Representación de un Perfil Principal

Los perfiles secundarios, al contrario que en el falso suelo, presentan una sección completamente diferente. En este caso, gracias a unos anclajes atornillados en la cara inferior de los perfiles principales, se podrá enganchar el perfil secundario, el cual tendrá una sección en T que permitirá facilitar la instalación de los paneles. Una vez instalados todos los perfiles secundarios, quedará una estructura reticulada muy estable y con una muy elevada fiabilidad.

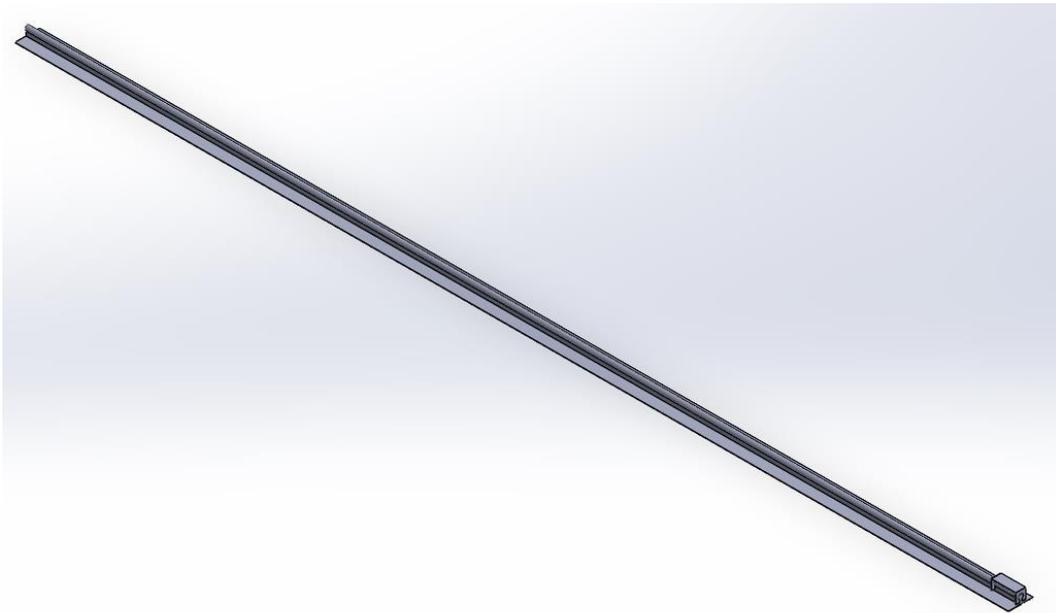


Ilustración 23: Representación de un Perfil Secundario y el Enganche al Principal

Los paneles serán lo último en colocarse del falso techo. En este caso, los paneles no tienen ninguna función aislante o requieren propiedades mecánicas. Se busca que sea un material ligero para reducir el esfuerzo de los elementos de fijación, barato para conseguir un precio final más asequible, abundante para facilitar su sustitución, y a ser posible ecológico. Es por ello por lo que se ha optado por baldosas de fibra mineral. Gracias a la sección en T de los perfiles secundarios, no hará falta unir las baldosas a los perfiles de ninguna forma, bastará con apoyarlas sobre los perfiles.

5.2 IMPLEMENTACIÓN

En este apartado se explicará cómo hacer la instalación, explicando cómo se harían por separado, cuánto tardaría si se hiciesen en orden y cuánto tardará empleando el método propuesto de construcción en paralelo.

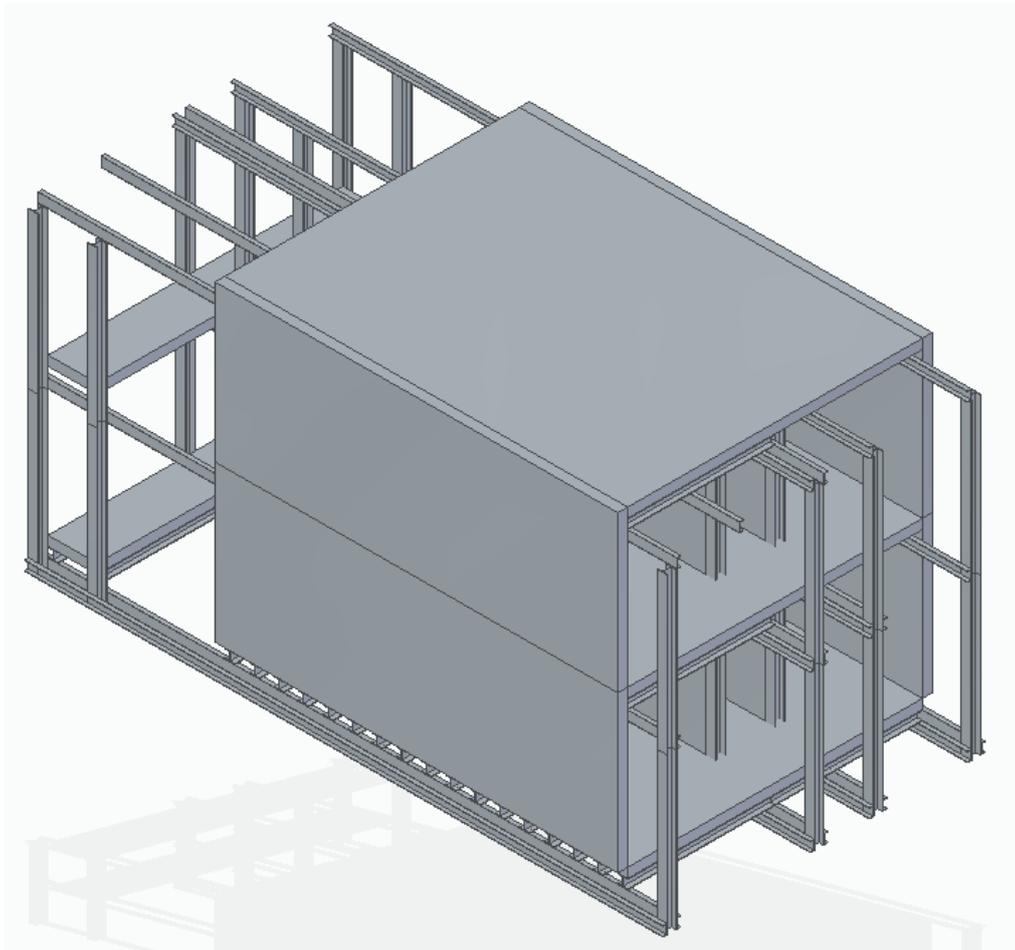


Ilustración 24: Maqueta de Estructura de Partida

5.2.1 IMPLEMENTACIÓN DE LA FACHADA

1. Se colocan los perfiles horizontales HEB 200, atornillados al forjado.

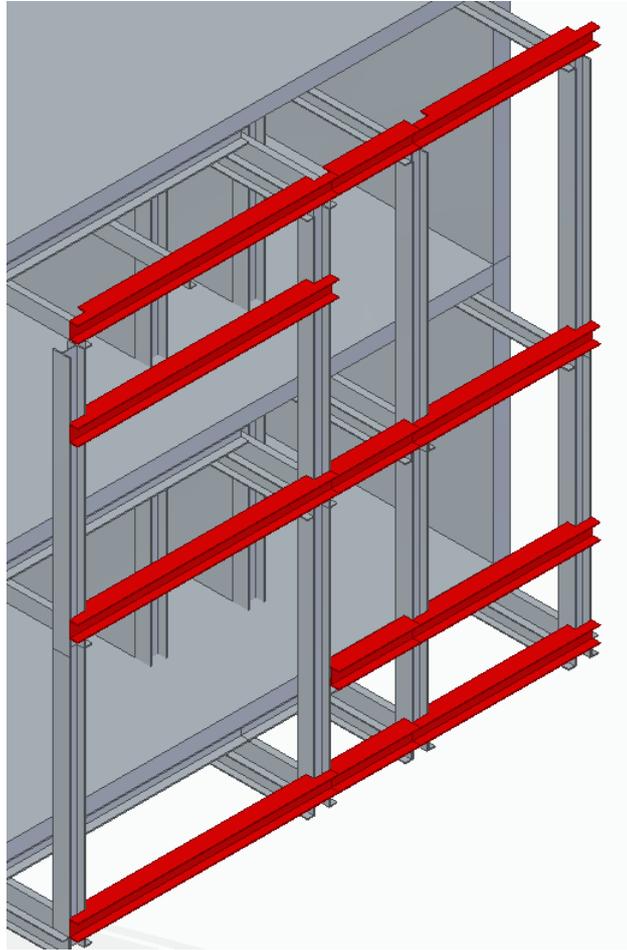


Ilustración 25: Colocación Perfiles HEB 200

2. Se colocan los perfiles verticales UPN 100, atornillados a los perfiles HEB 200.

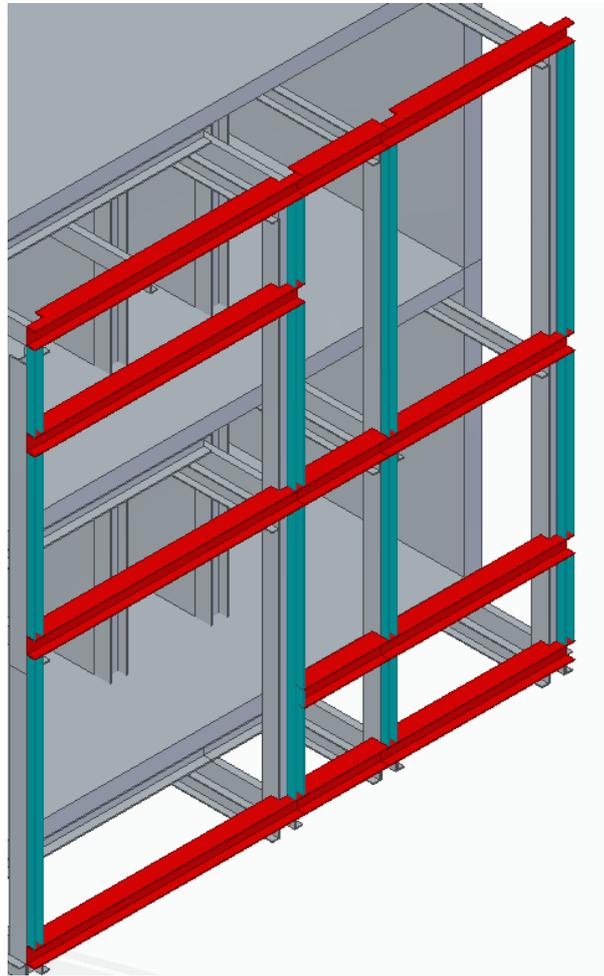


Ilustración 26: Colocación Perfiles UPN 100

3. Se coloca el aislamiento, unido con anclajes a la estructura portante.

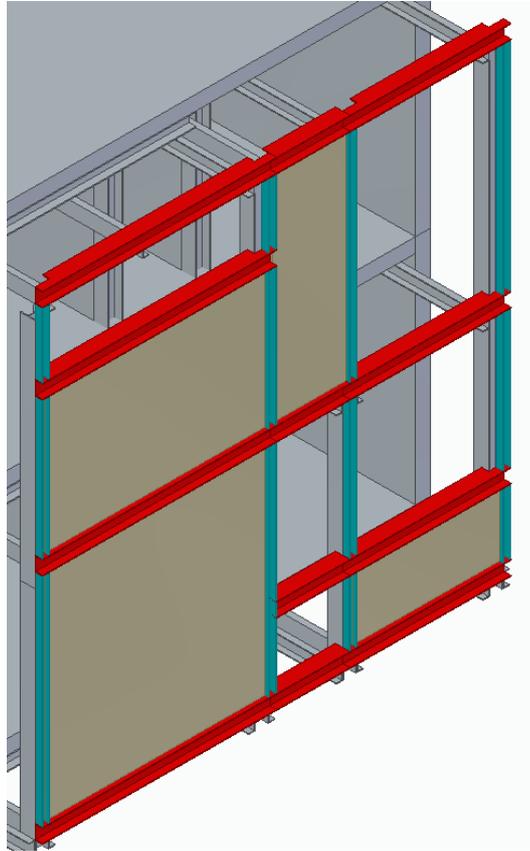


Ilustración 27: Colocación del Aislante

4. Se coloca el acabado interior, atornillado a la estructura portante.

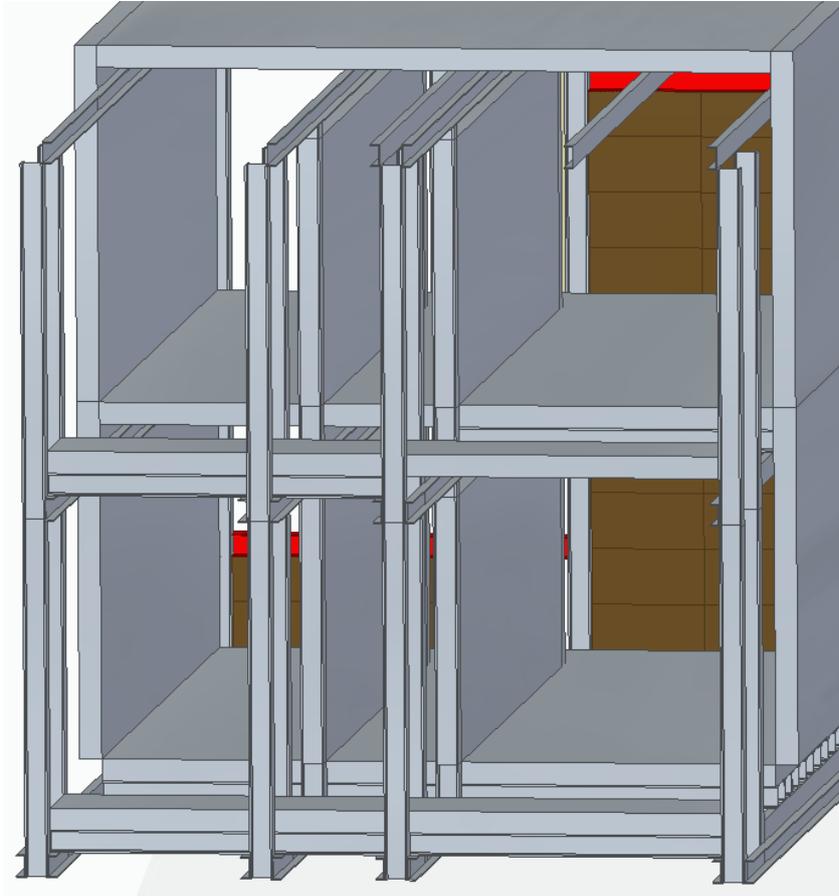


Ilustración 28: Colocación del Acabado Interior

5. Se colocan las estructuras internas, primero colocando los barrotos superior e inferior, atornillados a la estructura portante, y luego los verticales, atornillados a los horizontales.

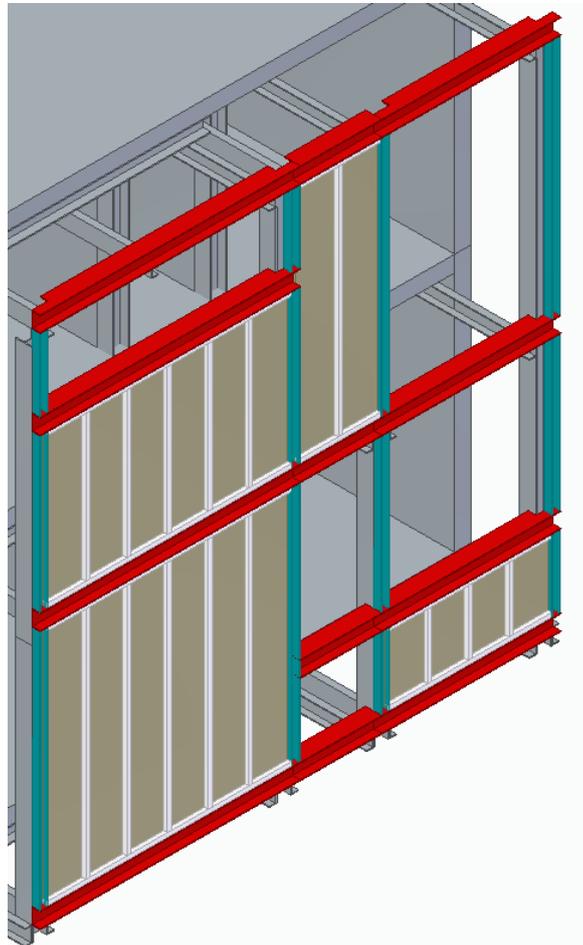


Ilustración 29: Colocación de la Estructura Interna

6. Se colocan los paneles exteriores y las ventanas, los paneles atornillados a la estructura interna y las ventanas a la estructura portante.

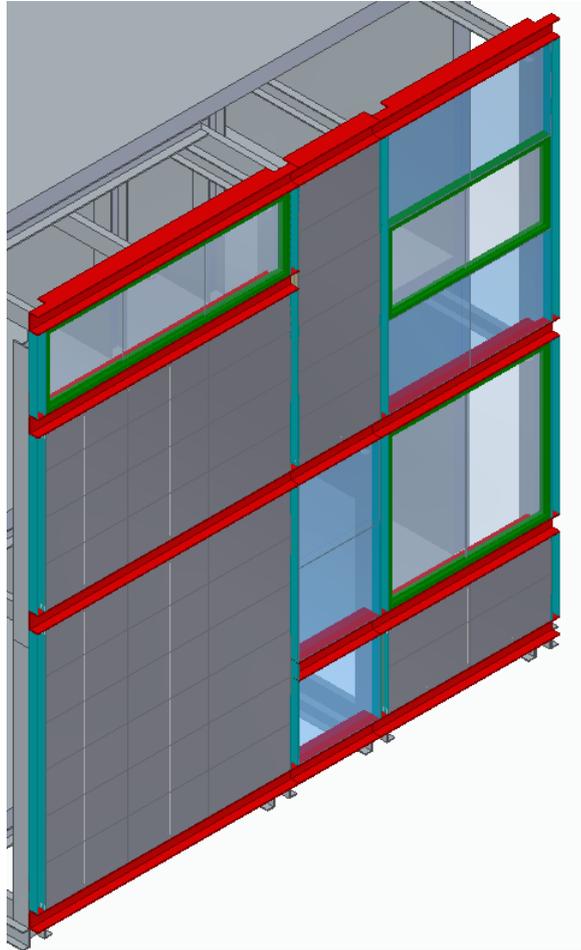


Ilustración 30: Colocación de Paneles Exteriores, Ventanas y Cristaleras

5.2.2 IMPLEMENTACIÓN DEL FALSO SUELO

1. Se colocan los soportes.

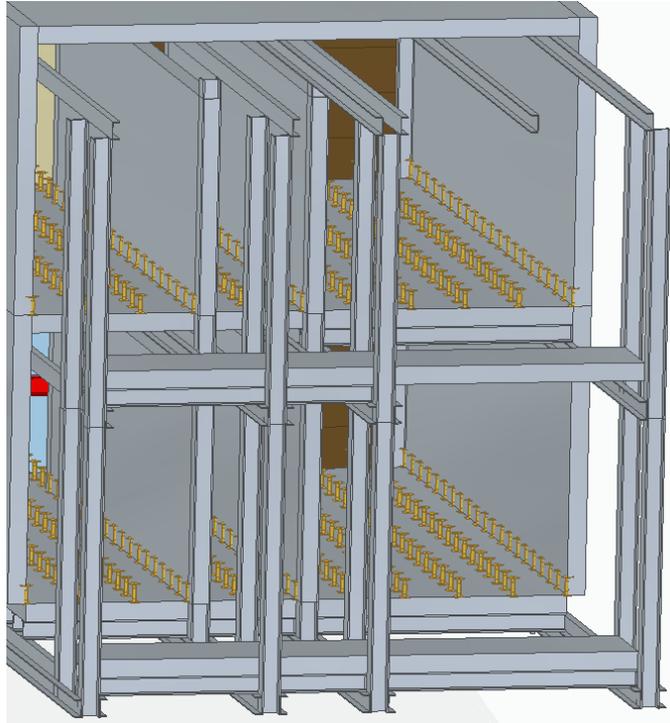


Ilustración 31: Colocación de los Soportes

2. Se colocan los perfiles principales.

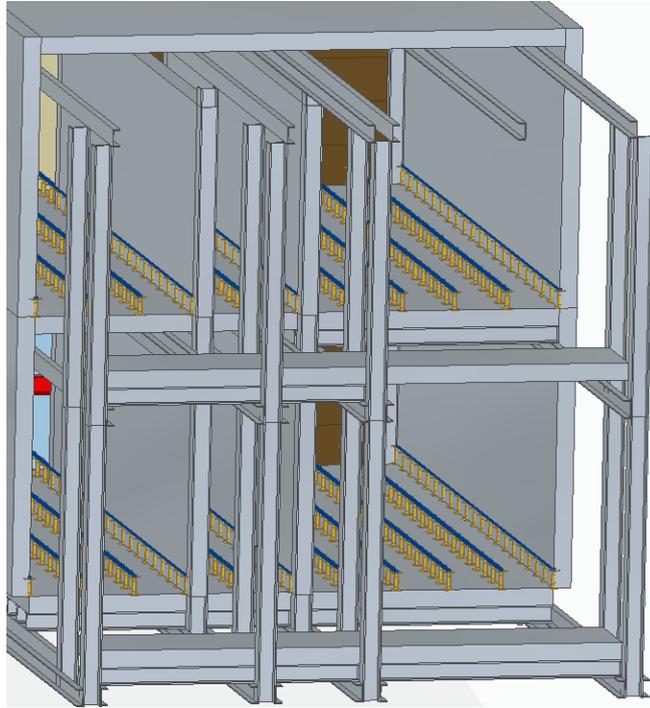


Ilustración 32: Colocación de los Perfiles Primarios del Suelo

3. Se colocan los perfiles secundarios.

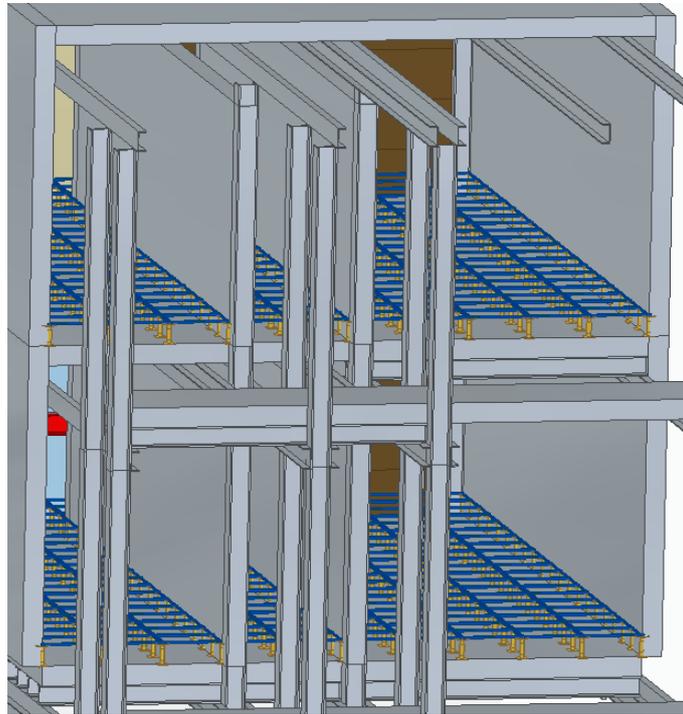


Ilustración 33: Colocación de los Perfiles Secundarios del Suelo

4. Se colocan las baldosas.

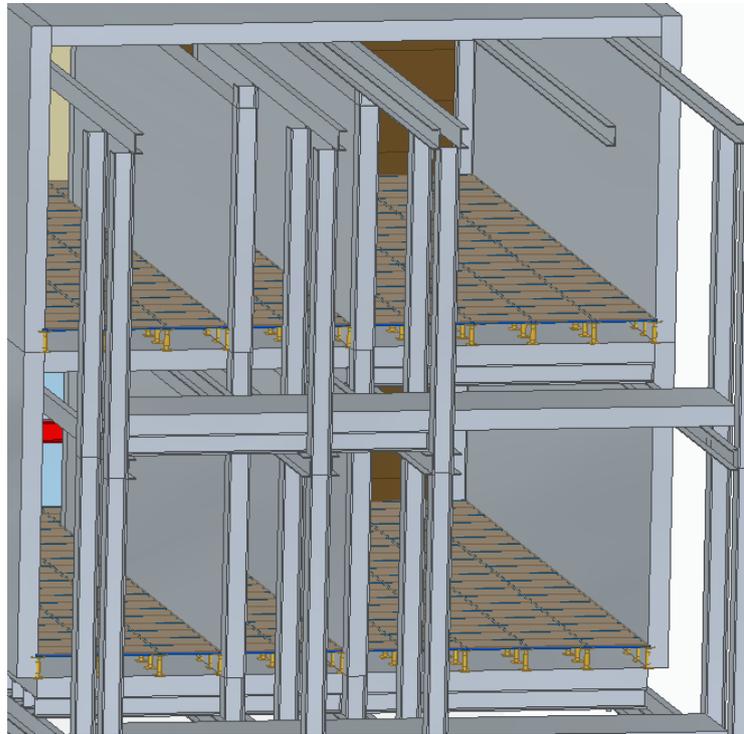


Ilustración 34: Colocación de las Baldosas del Suelo

5.2.3 IMPLEMENTACIÓN DEL FALSO TECHO

1. Se colocan los elementos de fijación.

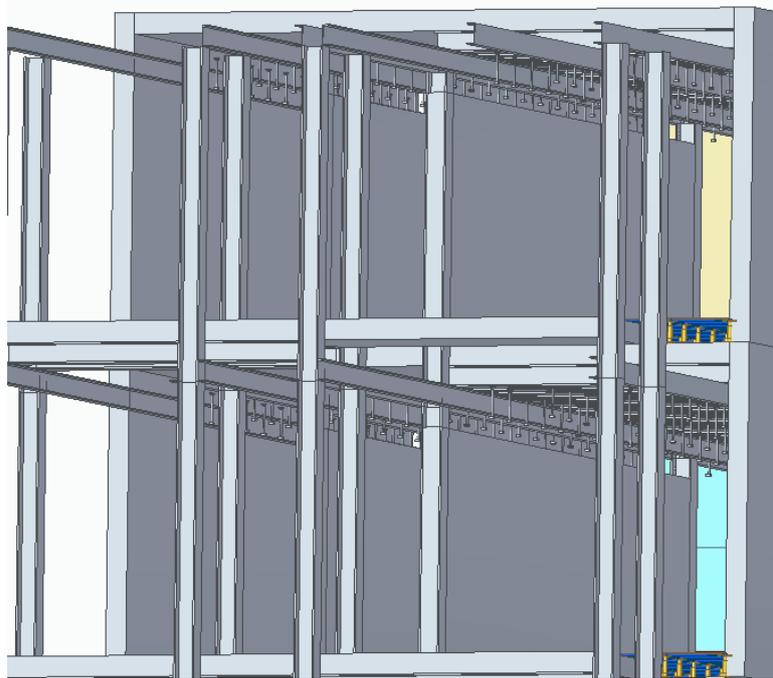


Ilustración 35: Colocación de los Elementos de Fijación

2. Se colocan los perfiles principales y los enganches para los secundarios

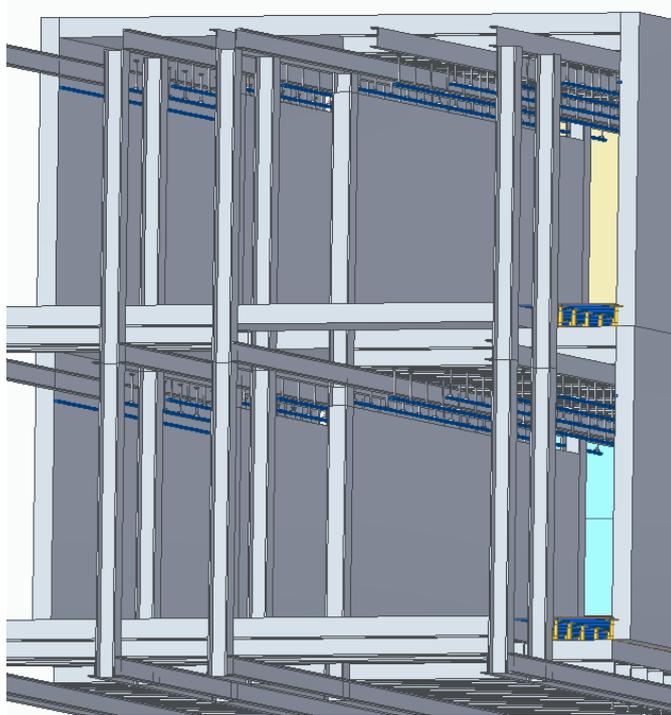


Ilustración 36: Colocación de los perfiles Primarios del Techo

3. Se colocan los perfiles secundarios

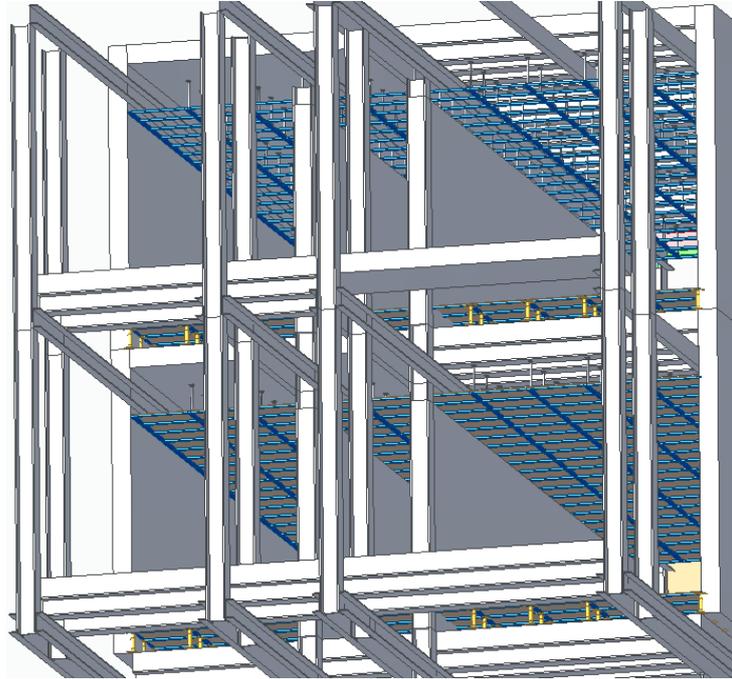


Ilustración 37: Colocación de los perfiles Secundarios del Techo

4. Se colocan las baldosas.

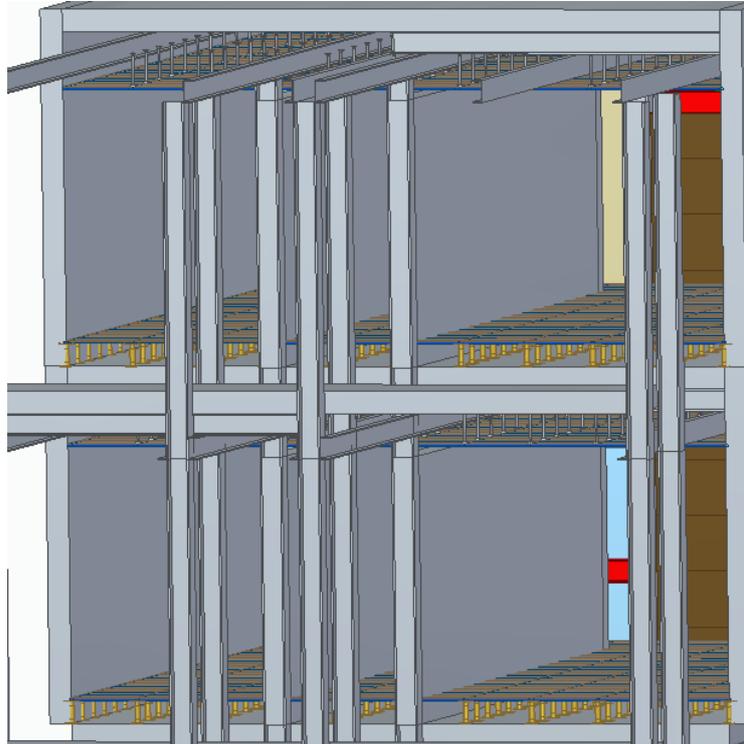


Ilustración 38: Colocación de las Baldosas del Techo

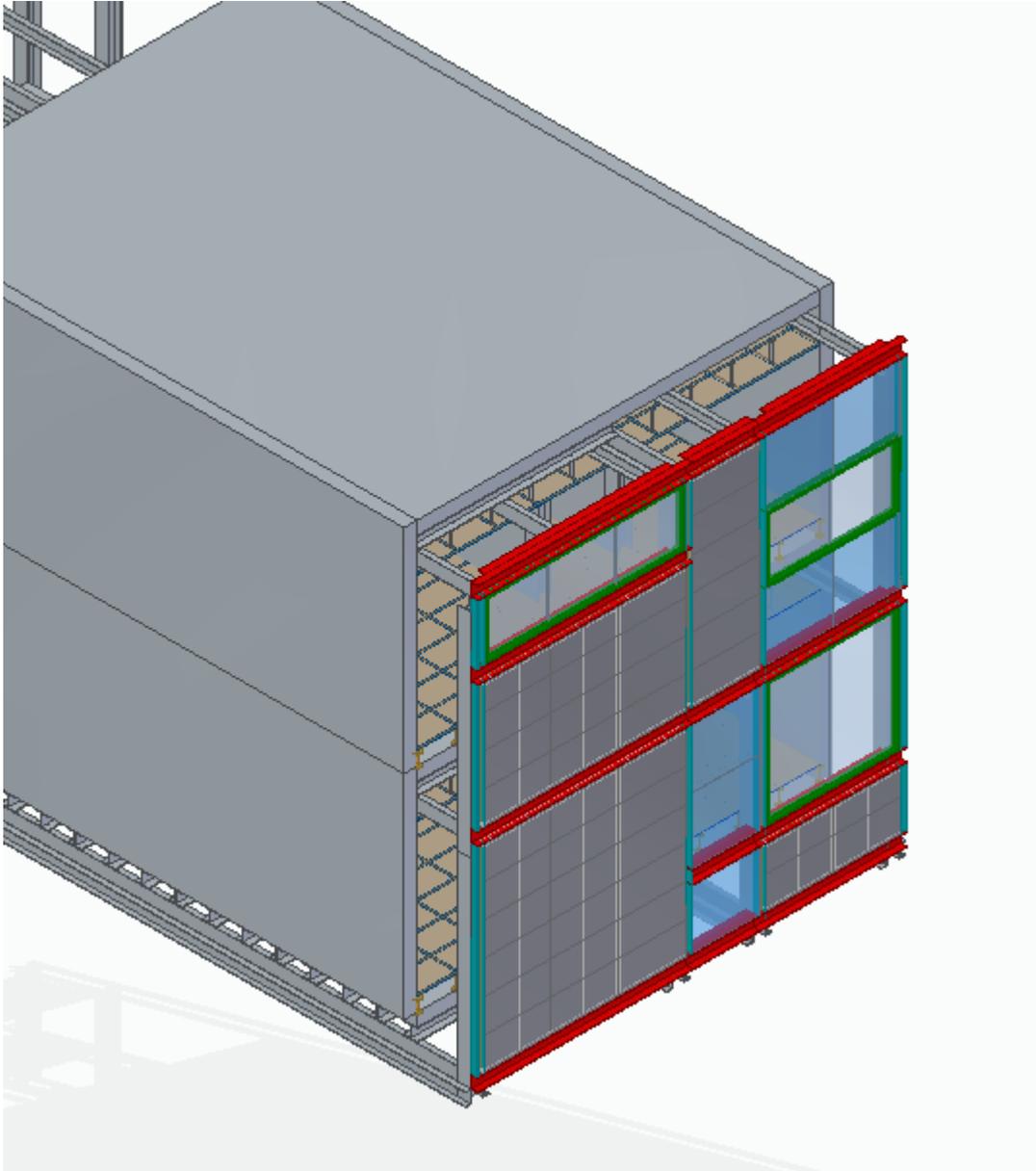


Ilustración 39: Maqueta Final

5.2.4 PLAZOS MEDIANTE INSTALACIÓN EN SERIE

En primer lugar, se tiene que dedicar un día a la preparación del área de trabajo y a la revisión del diseño, para lo cual se dedicarán 2 trabajadores.

Después se montará la estructura portante, para lo que se instalarán primero los perfiles HEB y luego los perfiles UPN, dedicando tiempo entre medias para preparar los refuerzos necesarios para la posterior instalación de las ventanas. Esta actividad se estima que durará aproximadamente 3 días y requerirá 2 trabajadores.

Lo siguiente será la instalación del aislamiento, que se estima que tardará un día con 2 trabajadores. A continuación, se instalan los paneles del acabado interior, que se estima entre 1 y 2 días requiriendo un equipo de 2 trabajadores.

Para terminar con la fachada se emplearán 3 días más, los cuales se destinarán a la instalación de las estructuras internas, los paneles exteriores y las ventanas y cristaleras. Para este proceso se requerirán otros 2 trabajadores.

Después de estos procesos, ya se habría terminado de montar la fachada, la construcción más compleja, ya solo quedan construir el falso suelo y el falso techo. Para cada uno de ellos se estima que se necesitarán unos 2 días, empleando 2 trabajadores para cada proceso.

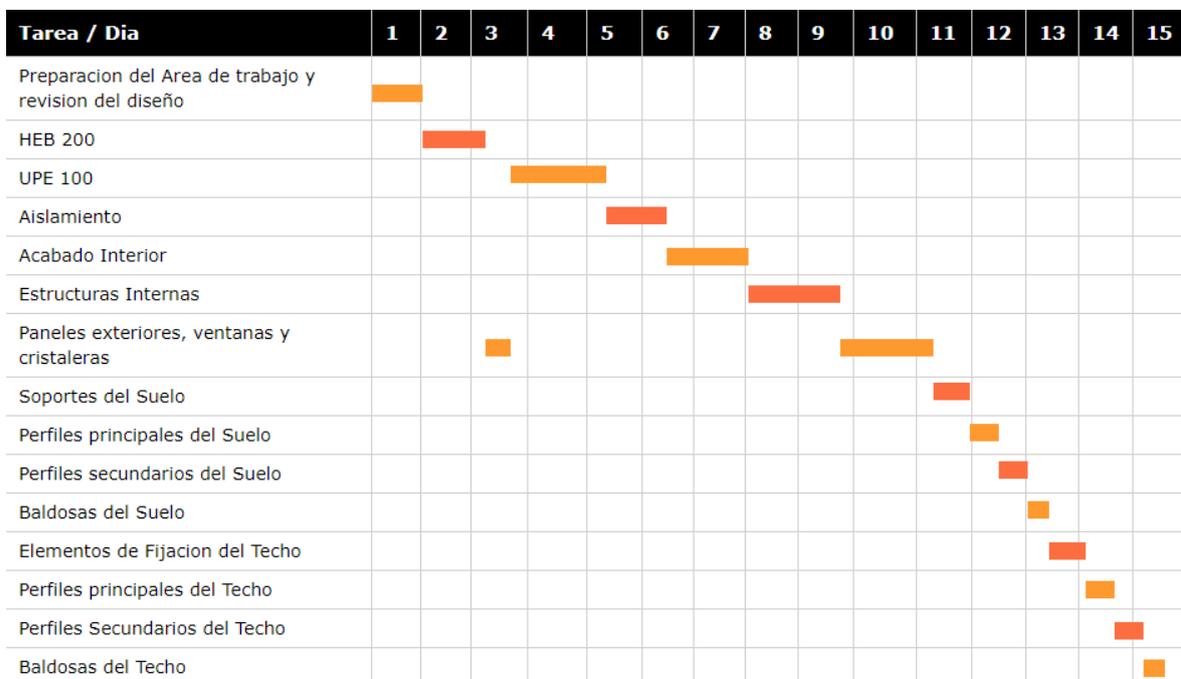


Tabla 1: Planificación de Plazos para Construcción en Serie

En vista del diagrama, se estima que construyendo todo esto en serie se dedicarían aproximadamente 15 días, siendo un plan poco eficiente

5.2.5 PLAZOS MEDIANTE INSTALACIÓN EN PARALELO

Los procesos a realizar mediante la instalación en paralelo serán los mismos que en serie, pero solapando unas actividades con otras para lograr una mayor efectividad a nivel de tiempo. Esto es posible ya que los elementos no dependen unos de otros para construirse, sino que van todos anclados al forjado.

Para empezar, el montaje del falso suelo se puede realizar a la vez que el del falso techo, pudiéndose hacer ambos en paralelo con el proceso requerido para la fachada.

Una vez ya está instalado el aislamiento, se puede iniciar el proceso de montaje de las estructuras internas. A medida que se van instalando dichas estructuras, el proceso se puede complementar con la instalación de los paneles interiores y la instalación de las ventanas y cristaleras, que no cuentan con estructura interior. Por último, se instalarían los paneles interiores.

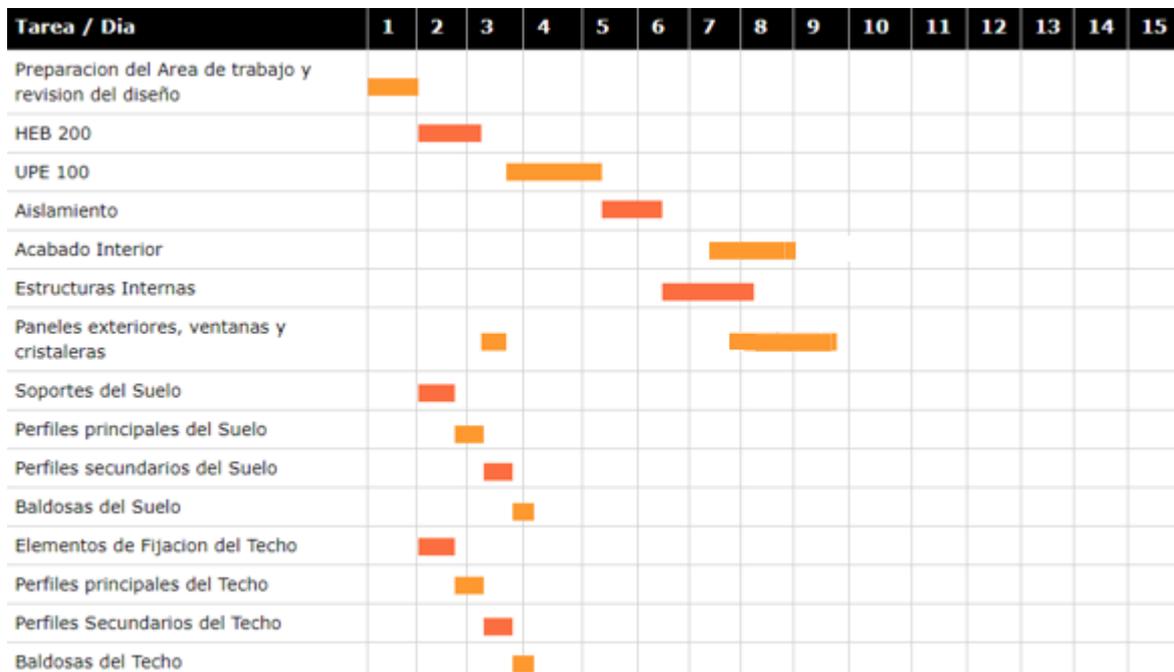


Tabla 2: Planificación de Plazos para Construcción en Paralelo

Este proceso se estima que duraría unos 9 días, lo que supone un ahorro de aproximadamente un 40% del tiempo.

Capítulo 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el capítulo previo, se mostró un diagrama de Gantt que demostraba que con la construcción en paralelo se lograba reducir un 40% el tiempo necesitado para la construcción de todo el proceso. Pese a que supone una gran ganancia, se debe hacer también un análisis económico del proceso, para así poder estudiar su viabilidad.

Empleando la herramienta de generación de precios en España, y Excel para juntar todos los gastos y calcular el precio final, se obtiene la siguiente tabla, la cual ofrece los materiales empleados, el tipo de mano de obra necesitada y los costes directos complementarios. En esta tabla se muestra la cantidad de material que se necesita, las unidades a las que esta dicha cantidad, el precio unitario y precio final.

Se ve que es un precio muy asequible para la gran cantidad de elementos que se fabrican, además de ser en un periodo breve. Mediante un proceso normal, realizar todo este proyecto suele costar un mínimo de 16450 € (*Habitissimo - Reformas y Servicios para el Hogar*, s. f.), y este proyecto presenta un presupuesto de 12370.23€, por lo que, planteando un sistema de plazos más efectivo, se tiene un precio también reducido.

Código	Unidad	Descripción	Cantidad	Precio unitario	Importe
1		Materiales			
mt07ala010dac	kg	Acero Laminado de Perfiles HEB y UPN	1737.260	2.11	3665.62
mt16aaa020ab	Ud	Fijacion para aislante	36.000	0.20	7.20
mt16lra020ack	m²	Paneles de Lana Mineral	20.000	14.39	287.80
mt07lsf005a	kg	Acero conformado en frio, galvanizado, tipo DX52D+Z275MA.	629.340	3.22	2026.47
mt21csy015jaa	m	Cristaleras y ventanas	3.000	405.50	1216.50
mt16pag010a	m²	Baldosas del Falso Techo	50.000	9.85	492.50
mt12fpg040ij	m	Perfil Primario	64.000	0.66	42.24
mt12fpg040la	m	Perfil Secundario	72.000	0.66	47.52
mt12fac020b	Ud	Anclajes del Falso Techo	250.000	0.32	80.00
mt12lfc030c	m²	Sujeccion de paneles exteriores de la Fachada	1.000	17.60	17.60
mt12lfc010ab	m²	Paneles exteriores de la Fachada	20.000	32.96	659.20
mt12psk040b	m	Perfiles del falso suelo	136.000	0.66	89.76
mt12psk060a	Ud	Pie regulable	3.000	1.14	3.42
mt12sbs010aa	m²	Baldosas del Falso Suelo	1.000	80.73	80.73
				Subtotal materiales:	8716.56
2		Mano de obra			
mo047	h	Oficial 1ª montador de estructura metálica.	24.000	22.27	534.48
mo094	h	Ayudante montador de estructura metálica.	24.000	21.15	507.60
mo054	h	Oficial 1ª montador de aislamientos.	8.000	22.00	176.00
mo101	h	Ayudante montador de aislamientos.	8.000	20.34	162.72
mo047	h	Oficial 1ª montador de estructura metálica.	12.000	22.27	267.24
mo094	h	Ayudante montador de estructura metálica.	12.000	21.15	253.80
mo011	h	Oficial 1ª montador.	4.000	22.00	88.00
mo080	h	Ayudante montador.	4.000	20.34	81.36
mo015	h	Oficial 1ª montador de falsos techos.	16.000	22.00	352.00
mo082	h	Ayudante montador de falsos techos.	16.000	20.34	325.44
mo052	h	Oficial 1ª montador de sistemas de fachadas prefabricadas.	4.000	22.00	88.00
mo099	h	Ayudante montador de sistemas de fachadas prefabricadas.	4.000	20.34	81.36
mo011	h	Oficial 1ª montador.	16.000	22.00	352.00
mo080	h	Ayudante montador.	16.000	20.34	325.44
				Subtotal mano de obra:	3595.44
3		Costes directos complementarios			
	%	Costes directos complementarios	-	2.59	0.05
	%	Costes directos complementarios	-	3.69	0.07
	%	Costes directos complementarios	-	2682.67	53.65
	%	Costes directos complementarios	-	23.73	0.47
	%	Costes directos complementarios	-	92.35	1.85
	%	Costes directos complementarios	-	106.76	2.14
				Total	12370.23

Tabla 3: Estimación de Precios

Capítulo 7. OBSERVACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Como se ha mostrado, los resultados obtenidos a nivel costes y plazos son muy positivos. Sin embargo, hay ciertas observaciones que merece la pena resaltar.

El modelo de la fachada es un modelo complejo, ya que hay muchos elementos que se deben tener en cuenta. Por ello en comparación con los otros modelos tiene una estructura y una instalación más complicada. La solución atornillada simplifica y abarata todos los procesos, pero se debe mencionar otra posibilidad que también sería factible, el sistema de railes. En lugar de lo que se ha denominado en este proyecto como estructura interna, se puede plantear un sistema de railes que se atornille a la estructura portante a ambos lados del aislamiento. Así, ya no sería necesario atornillar cada panel sino colocarlos. La gran pega que este sistema presentaría es que los paneles deberán ser más grandes o tener railes en los cantos de todos ellos para que se enganchen entre sí, por lo que resultaba mejor la opción atornillada.

Con respecto al falso suelo, también existe una alternativa. El soporte planteado tiene la cara superior girada 45° con respecto a la inferior. Esto aumenta la complejidad de la estructura, mejorando la resistencia del suelo ya que hay mayor superficie de los perfiles anclada al soporte, reduciendo los esfuerzos que sufren los perfiles. Sin embargo, puede no ser necesaria tomar esta medida. En este caso se recomienda que ambas caras no estén giradas entre sí, ya que una construcción más homogénea simplifica su aplicación.

En el falso techo también hay una estructura muy compleja. Esta estructura permite la máxima fijación de los paneles sin necesidad de unirlos con ningún método de sujeción. En caso de no requerirse tal fijación, se puede plantear una construcción alternativa en la que se omita el perfil principal, quitando así el sistema de railes y provocando que los elementos de sujeción se conecten directamente con el perfil secundario, que pasaría a comportarse como primario. Dicho perfil en T permitiría igualmente apoyar las baldosas, pero con menor restricción en el movimiento. Se ha optado por la opción más restrictiva para permitir una

mayor fiabilidad de los enganches aun cuando se introduzcan en el futuro los sistemas de cableado y ventilación.

Como se expuso en un principio, este proyecto forma parte de un proyecto más grande. Igualmente, se ha trabajado a partir de una estructura, se ha ido planificando en paralelo todo lo relacionado con las instalaciones (electricidad, agua, calefacción, etc.), y los módulos cocina, baño y estudio, que se podrán instalar directamente como habitaciones prefabricadas. En el futuro, referente al proyecto que se presenta en este documento, se deberán analizar las particiones interiores, las escaleras y los muebles de la vivienda, y más relacionado con los proyectos paralelos, la instalación de los módulos y su conexión con las instalaciones.

Capítulo 8. BIBLIOGRAFÍA

Atlántida. (s. f.). *¿Es más barata la construcción industrializada que la tradicional?* | *Atlántida Homes*. Recuperado 24 de enero de 2023, de <https://atlantidahomes.com/es-mas-barata-la-construccion-industrializada-que-la-tradicional/>

Awad, T., Guardiola, J., & Fraíz, D. (2021). Sustainable Construction: Improving Productivity through Lean Construction. *Sustainability*, 13(24), 13877. <https://doi.org/10.3390/su132413877>

CIDARK. (2016, febrero 29). Sobre el concepto de la prefabricación: Le Corbusier. *CIDARK*. <https://www.cidark.com/sobre-el-concepto-de-la-prefabricacion-le-corbusier/>

Documentos CTE. (s. f.). Recuperado 14 de junio de 2023, de <https://www.codigotecnico.org/DocumentosCTE/DocumentosCTE.html>

Generador de precios de la construcción. España. CYPE Ingenieros, S.A. (s. f.). Recuperado 9 de junio de 2023, de <http://www.generadordeprecios.info/#gsc.tab=0>

González, A. G. (2022, febrero 15). Construcción Industrializada de Viviendas ¿Qué es? | Knauf. *Knauf Blog*. <https://blog.knauf.es/despegue-construccion-industrializada/>

Habitissimo—Reformas y Servicios para el Hogar. (s. f.). Recuperado 13 de junio de 2023, de <https://www.habitissimo.es/>

Le Corbusier. (s. f.). *Précision sur un état de l'Architecture et de l'urbanisme*.

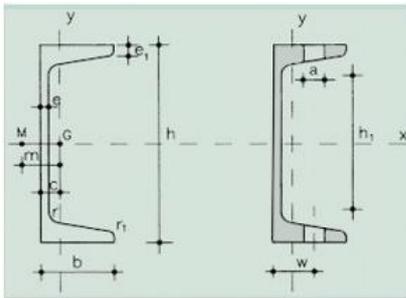
Ministerio de Derechos Sociales y Agenda 2030—Agenda 2030. (s. f.). Recuperado 24 de enero de 2023, de <https://www.mdsocialesa2030.gob.es/index.htm>

Oteiza, I., Queipo de Llano, J., & Gómez, G. (2008). Design Ideas—INVISIO 2008. *Informes de La Construcción*, 60(512), 71-86. <https://doi.org/10.3989/ic.08.042>

Sistema constructivo tradicional ¿por qué sigue siendo el más popular en España? Ventajas y desventajas de la obra húmeda / GRUPO PAGÈS BCN. (s. f.). Recuperado 15 de junio de 2023, de <https://grupo-pages.com/sistema-constructivo-tradicional-por-que-sigue-siendo-el-mas-popular-en-espana-ventajas-y-desventajas-de-la-obra-humeda/>

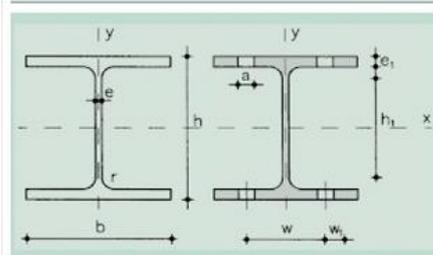
Cobo, M. (2022). *Sistemas de Montaje para una Construcción de “Componentes Compatibles”*: 3C Siguiendo la Metodología LEAN

ANEXO I: PRONTUARIO DE PERFILES



<p>A = Área de la sección S_x = Momento estático de media sección, respecto a X I_x = Momento de inercia de la sección, respecto a X $W_x = 2I_x : h$: Módulo resistente de la sección, respecto a X $i_x = \sqrt{I_x : A}$: Radio de giro de la sección, respecto a X I_y = Momento de inercia de la sección, respecto a Y $W_y = I_y : (b - c)$: Mínimo módulo resistente de la sección, respecto a Y $i_y = \sqrt{I_y : A}$: Radio de giro de la sección, respecto a Y</p>	<p>I_t = Módulo de torsión de la sección c = Posición del eje Y m = Distancia al centro de esfuerzos cortantes a = Diámetro del agujero del roblón normal w = Gramil, distancia entre ejes de agujeros h_1 = Altura de la parte plana del alma p = Peso por m u = Perímetro</p>
---	--

Perfil	Dimensiones							Términos de sección							Agujeros		Peso					
	h	b	e	$e_1=r$	r_1	h_1	u	A	S_x	I_x	W_x	i_x	I_y	W_y	i_y	I_t	c	m	w	a	p	
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	cm ²	cm ³	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm	cm	mm	mm	kp/m	
UPN 80	80	45	6,0	8,0	4,0	46	312	11,0	15,9	106	26,5	3,10	19,4	6,36	1,33	2,24	1,45	2,67	25	13	8,64	C
UPN 100	100	50	6,0	8,5	4,5	64	372	13,5	24,5	206	41,2	3,91	29,3	8,49	1,47	2,96	1,55	2,93	30	13	10,60	P



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

Perfil	Dimensiones							Términos de sección							Agujeros		Peso					
	h	b	e	e_1	r_1	h_1	u	A	S_x	I_x	W_x	i_x	I_y	W_y	i_y	I_t	I_a	w	w_1	a	p	
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	cm ²	cm ³	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ⁶	mm	mm	mm	kp/m	
HEB 100	100	100	6,0	10,0	12	56	567	26,0	52,1	450	90	4,16	167	33	2,53	9,34	3,375	55	—	13	20,4	P
HEB 120	120	120	6,5	11,0	12	74	686	34,0	82,6	864	144	5,04	318	53	3,06	14,90	9,410	65	—	17	26,7	P
HEB 140	140	140	7,0	12,0	12	92	805	43,0	123,0	1.509	216	5,93	550	79	3,58	22,50	22.480	75	—	21	33,7	P
HEB 160	160	160	8,0	13,0	15	104	918	54,3	177,0	2.492	311	6,78	889	111	4,05	33,20	47.940	85	—	23	42,6	P
HEB 180	180	180	8,5	14,0	15	122	1.040	65,3	241,0	3.831	426	7,66	1.363	151	4,57	46,50	93.750	100	—	25	51,2	P
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