



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

Sistemas de montaje para una construcción de
"Componentes Compatibles": 3C siguiendo la
metodología Lean

Autor: Miguel Cobo Pérez-Minayo

Director: Jesús Guardiola Arnanz

Co-Director: Tamar Awad Parada

Co-Director: David Fraiz Cosano

Madrid

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
Sistemas de montaje para una construcción de "Componentes Compatibles": 3C siguiendo
la metodología Lean

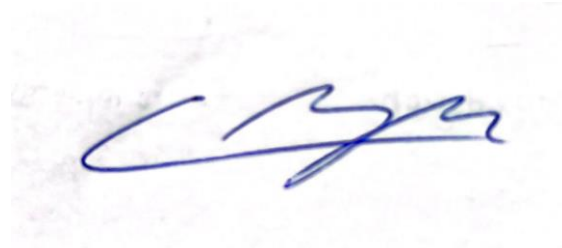
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el

curso académico 2021/22 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.

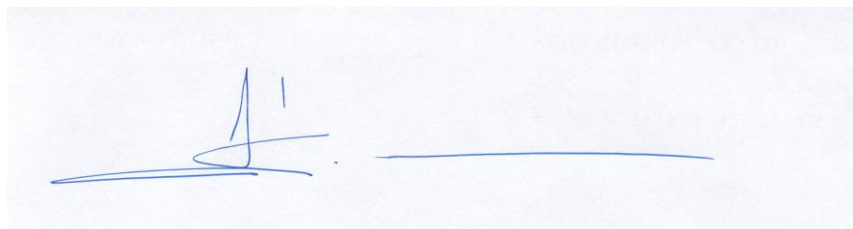


Fdo.: Miguel Cobo Pérez-Minayo

Fecha: 27/06/2022

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO



Fdo.: Jesús Guardiola Aranz

Fecha: 27/06/2022

SISTEMAS DE MONTAJE PARA UNA CONSTRUCCIÓN DE "COMPONENTES COMPATIBLES": 3C SIGUIENDO LA METODOLOGÍA LEAN

Autor: Cobo Pérez-Minayo-Miguel.

Director: Guardiola Aranz, Jesús.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

Mediante procesos de industrialización de la construcción se propone un modelo basado en la metodología lean que ofrece múltiples ventajas como la fácil reparación, mantenimiento y sustitución de los elementos de la edificación. Serán objeto de estudio en este proyecto los plazos de esta propuesta y su optimización

Palabras clave: Optimización, Lean, Módulo, Simultaneidad de procesos.

1. Introducción

Frente a los grandes avances en tecnología que podemos observar en todos los ámbitos de la ingeniería, este proyecto propone una industrialización de la construcción aplicando la metodología Lean, cuyo máximo es la eliminación de recursos y procesos que no aportan valor al producto y buscar la optimización de los mismo para un resultado de calidad con los menores costes y plazos posibles.

Además, estos componentes compatibles ofrecen múltiples ventajas como la facilidad para el mantenimiento, reparación o sustitución de elementos estropeados, obsoletos o que simplemente se quieran modificar.

2. Definición del Proyecto

Se propone un modelo de construcción basado en módulos de construcción sencilla a los que se les pueden acoplar componentes compatibles prefabricados en función de las necesidades del usuario. Estos componentes pueden tratarse desde un baño hasta una zona de trabajo y el mantenimiento de estos espacios se ve facilitado dada la gran accesibilidad que estos ofrecen al sistema eléctrico, de aguas, etc. Además, en caso de querer modificar la estructura del espacio, se pueden sustituir con gran facilidad.

También se encuentra una ventaja a nivel de plazos que será objeto de estudio en este proyecto para comprobar hasta qué punto resulta superior esta metodología en este ámbito.

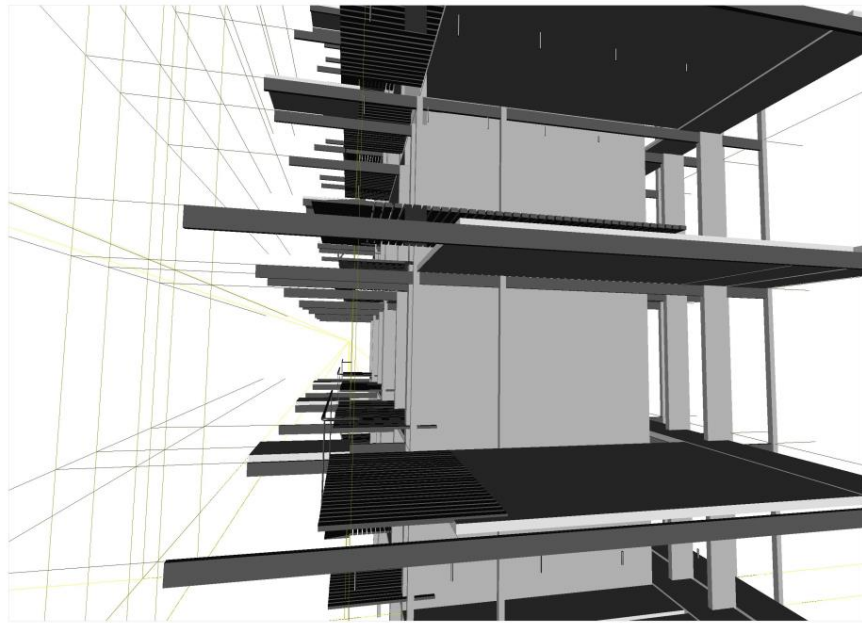


Ilustración 1 – Representación módulos

3. Descripción del modelo

Los módulos que se proponen cuentan con cinco componentes: pantallas, pilares, vigas, viguetas y tableros. Cada uno de estos tiene unos plazos de operación y algunos de ellos no pueden ponerse en marcha hasta que se haya realizado uno anterior, por ejemplo, no se pueden poner las vigas hasta que no estén listas las pantallas y pilares.

Sistemas de montaje para una construcción de "Componentes Compatibles": 3C siguiendo la metodología Lean

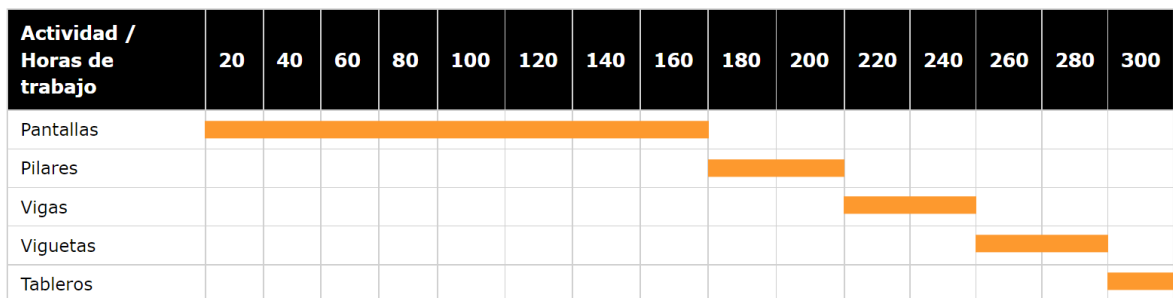


Ilustración 2 - Diagrama de Gantt serie

De este modo, se estudiará la forma de optimizar estos procesos tratando de solapar la ejecución de las cinco actividades sacando el máximo provecho a la simultaneidad de procesos para reducir los plazos al mínimo.

4. Resultados

Tras estudiar este proceso de optimización se ha conseguido reducir los plazos de construcción de un módulo de 15 semanas a 10 semanas y 2 días. Si queremos expresar esto en horas de trabajo, estaríamos hablando de una reducción de 600 horas a 416, es decir, un 30,67% menos de tiempo.

Sistemas de montaje para una construcción de "Componentes Compatibles": 3C siguiendo la metodología Lean

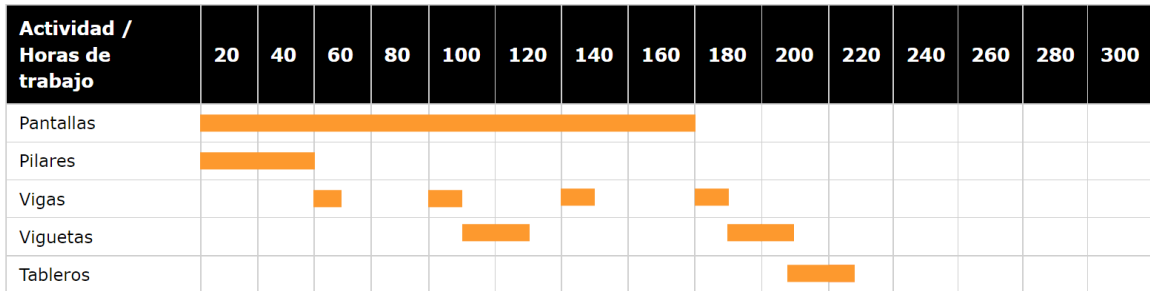


Ilustración 3 - Diagrama de Gantt paralelo

5. Conclusiones

Tras el estudio realizado se puede observar que el modelo propuesto con el uso de componentes compatibles ofrece una ventaja a nivel de plazos que aporta gran valor a esta tecnología. Además, se concluye que, aplicando la misma metodología de optimización propuesta en este proyecto, se podría generar un algoritmo para conseguir reducir al mínimo los plazos en construcciones más complejas que apliquen esta técnica de trabajo en paralelo.

ASSEMBLY SYSTEMS FOR "COMPATIBLE COMPONENTS" CONSTRUCTION: 3C FOLLOWING LEAN METHODOLOGY

Author: Cobo Pérez-Minayo-Miguel.

Supervisor: Guardiola Aranz, Jesús.

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

ABSTRACT

Through construction industrialization processes, a model based on lean methodology is proposed, which offers multiple advantages such as easy repair, maintenance, and replacement of building elements. The deadlines of this proposal will be studied in this project.

Keywords: Optimization, Lean, Module, Process Simultaneity.

1. Introduction

Faced with the great advances in technology that we can observe in all areas of engineering, this project proposes an industrialization of construction by applying the Lean methodology, whose maximum is the elimination of resources and processes that do not add value to the product and seek the optimization of the same for a quality result with the lowest possible costs and deadlines.

In addition, these compatible components offer multiple advantages such as ease of maintenance, repair, or replacement of damaged, obsolete or simply modified elements.

2. Project Definition

A construction model is proposed based on simple construction modules to which prefabricated compatible components can be attached according to the user's needs. These components can be used from a bathroom to a work area and the maintenance of these spaces is facilitated due to the great accessibility that they offer to the electrical system, water, etc. In addition, if the structure of the space needs to be modified, they can be easily replaced.

There is also an advantage in terms of time, which will be studied in this project to see to what extent this methodology is superior in this area.

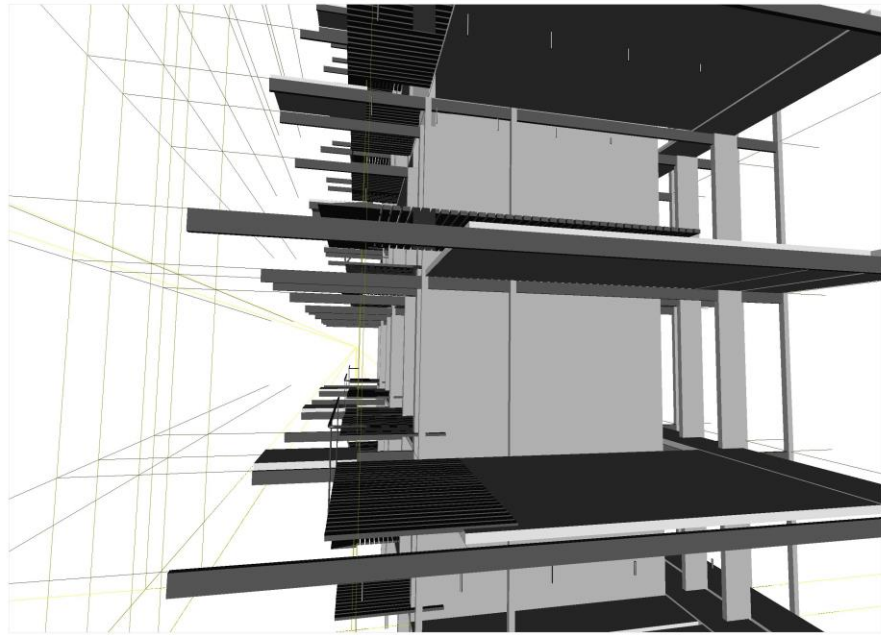


Figure 1 - Modules representation

3. Description of the model

The proposed modules have five components: screens, columns, beams, joists, and decks. Each one of these has certain operation deadlines and some of them cannot be put into operation until a previous one has been completed, for example, the beams cannot be put in place until the screens and columns are ready.

Sistemas de montaje para una construcción de "Componentes Compatibles": 3C siguiendo la metodología Lean

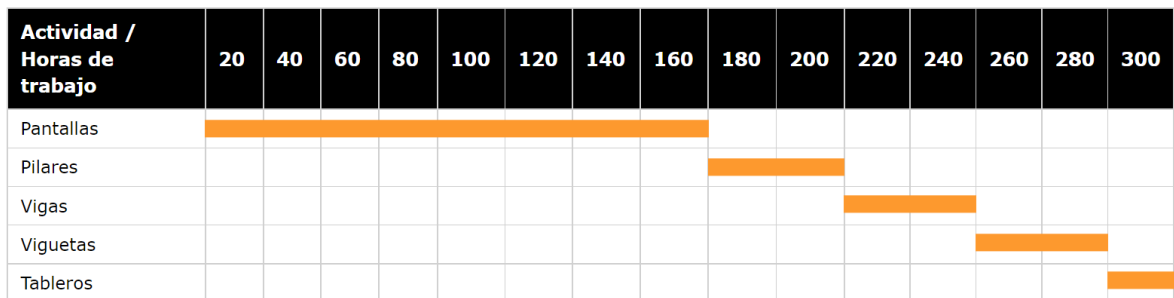


Figure 2 - Gantt chart series

In this way, we will study how to optimize these processes by trying to overlap the execution of the five activities, making the most of the simultaneity of processes to reduce lead times to a minimum.

4. Results

After studying this optimization process, it has been possible to reduce the construction time of a module from 15 weeks to 10 weeks and 2 days. If we want to express this in working hours, we would be talking about a reduction from 600 hours to 416, i.e., 30.67% less time.

Sistemas de montaje para una construcción de "Componentes Compatibles": 3C siguiendo la metodología Lean

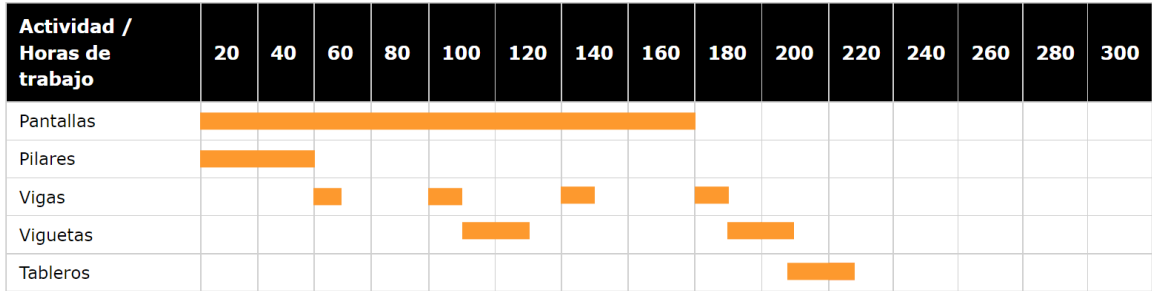


Figure 3 - Parallel Gantt Chart

5. Conclusions

After the study carried out, it can be observed that the proposed model with the use of compatible components offers an advantage in terms of lead times that provides great value to this technology. In addition, it is concluded that, applying the same optimization methodology proposed in this project, an algorithm could be generated to minimize lead times in more complex constructions that apply this technique of parallel work.

Índice de la memoria

Capítulo 1. Introducción	5
1.1 Recursos a emplear.....	6
Capítulo 2. Descripción de las tecnologías	7
2.1 Pantallas	8
2.2 Estructura: Pilares.....	9
2.3 Estructura: Vigas	10
2.4 Viguetas.....	11
2.5 Tableros	12
Capítulo 3. Estado del arte	13
Capítulo 4. Definición del trabajo.....	18
4.1 Justificación.....	18
4.2 Objetivos	18
4.3 Metodología.....	19
4.4 Alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).....	19
Capítulo 5. Optimización de los procesos	21
5.1 Análisis del sistema	21
5.2 Etapa progreso 0: Comienzo de la obra.....	22
5.3 Etapa progreso 1A: Media semana.....	23
5.4 Etapa progreso 1B: Una semana	24
5.5 Etapa progreso 2: Una semana y media	25
5.6 Etapa progreso 3: Dos semanas.....	26
5.7 Etapa progreso 4: Dos semanas y media.....	27
5.8 Etapa progreso 5: Tres semanas	28
5.9 Etapa progreso 6: Tres semanas y media	29
5.10 Etapa progreso 7: Cuatro semanas	30
5.11 Etapa progreso 8: Cuatro semanas y media.....	31
5.12 Etapa progreso 9: Cinco semanas.....	32
5.13 Etapa progreso 10: Cinco semanas y media.....	33

5.14 Etapa progreso 11: Diez semanas y media	34
Capítulo 6. Análisis de resultados	36
6.1 Conclusiones y trabajos futuros	37
Capítulo 7. Bibliografía.....	39

Índice de figuras

Figura 1. Diagrama de Gantt - Pantallas.....	8
Figura 2. Pantallas	8
Figura 3. Diagrama de Gantt - Pilares	9
Figura 4. Pilares	9
Figura 5. Diagrama de Gantt - Vigas.....	10
Figura 6. Vigas	10
Figura 7. Diagrama de Gantt - Viguetas.....	11
Figura 8. Viguetas	11
Figura 9. Diagrama de Gantt - Viguetas.....	12
Figura 10. Tableros.....	12
Figura 11. Productos y tecnología	13
Figura 12. Construcción incoherente.....	14
Figura 13. Diseño y tecnología.....	15
Figura 14. Efecto serie en construcción tradicional	19
Figura 15. Diagrama de Gantt - Procesos serie	21
Figura 16. Etapa progreso 1A.....	23
Figura 17. Diagrama de Gantt - Etapa progreso 1A	23
Figura 18. Etapa progreso 1B	24
Figura 19. Diagrama de Gantt - Etapa progreso 1B	24
Figura 20. Etapa progreso 2.....	25
Figura 21. Diagrama de Gantt - Etapa progreso 2	25
Figura 22. Etapa progreso 3.....	26
Figura 23. Diagrama de Gantt - Etapa progreso 3.....	26
Figura 24. Etapa progreso 4.....	27
Figura 25. Diagrama de Gantt - Etapa progreso 4.....	27
Figura 26. Etapa progreso 5.....	28

Figura 27. Diagrama de Gantt - Etapa progreso 5	28
Figura 28. Etapa progreso 6.....	29
Figura 29. Diagrama de Gantt - Etapa progreso 6.....	29
Figura 30. Etapa progreso 7.....	30
Figura 31. Diagrama de Gantt - Etapa progreso 7.....	30
Figura 32. Etapa progreso 8.....	31
Figura 33. Diagrama de Gantt - Etapa progreso 8.....	31
Figura 34. Etapa Progreso 9	32
Figura 35. Diagrama de Gantt - Etapa progreso 9.....	32
Figura 36. Etapa progreso 10.....	33
Figura 37. Diagrama de Gantt - Etapa progreso 10.....	33
Figura 38. Etapa progreso 11.....	34
Figura 39. Representación módulo.....	35
Figura 40. Diagrama de Gantt - Procesos serie	36
Figura 41. Diagrama de Gantt - Procesos paralelo.....	36
Figura 42. Representación varios módulos	37

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, los grandes avances en la tecnología nos han permitido experimentar una mejora de plazos en la industria, sin embargo, este cambio no ha sido tan notable en la construcción, sector en el que se siguen llevando a cabo una serie de **procesos en serie** que dependen unos de otros y que de cara al futuro aún cuentan con margen de mejora.

Con este proyecto, se busca estudiar el uso de “componentes compatibles” 3C y que beneficios pueden presentar. Estos componentes se pueden montar de manera industrial en paralelo y de este modo no depender que el proceso anterior haya finalizado para dar el siguiente paso, buscando acortar plazos mediante la metodología de ensamble de “**procesos paralelos**”.

Estos componentes 3C se montan en la zona de trabajo en el que se quiera construir la edificación dotando a esta de otras ventajas como la fácil sustitución de elementos que se quieran modificar o estén dañados. Además, estos componentes funcionan de manera totalmente independiente por lo que en caso de que uno de ellos tenga algún problema de funcionalidad el resto podrá seguir cumpliendo sus funciones perfectamente.

Todo esto se aplicará siguiendo los principios de la metodología Lean, que busca la eliminación de recursos y procesos que no aportan valor al producto y optimizarlos para la obtención de un resultado de calidad con unos costes y plazos reducidos.

De este modo, estudiaremos el impacto a nivel de costes que tiene el uso de estos Componente 3C: componentes compatibles en la construcción que se verán especialmente reducidos gracias a la fabricación en paralelo de los componentes.

1.1 RECURSOS A EMPLEAR

Para la elaboración de planos y el estudio del ensamblaje de los módulos utilizados en el proyecto mediante representaciones en 3D de los mismos se ha hecho uso de las herramientas AutoCAD y Solid Edge.

También se ha hecho uso de otros artículos, diapositivas y demás materiales facilitados por los directores, así como otros buscados en internet.

Además, se ha dispuesto de material del proyecto INVISO, premiado por el instituto Torroja en el concurso de ideas para la industrialización de la vivienda.

Capítulo 2. DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS

Los sistemas base son configuraciones funcionales, ordenadas en la jerarquía del sistema de edificación, y distinguimos:

- **Soporte** para la función estructural de direccionamiento de las fuerzas exteriores
- **Infraestructura**, que dispone de los fluidos, energías y señales
- **Hábitat**, ordena las funciones habitacionales y servicio en el contenedor global de la edificación.

Estos sistemas base son abstractos, no concretados hasta la selección de los elementos del sistema de componentes, que los definen por sus características materiales y físicas, orientados a su funcionalidad. Estos sistemas de componentes se componen de contenedores, cápsulas y piezas. Por tanto, estos tres dotan a los elementos de los sistemas “base” de funcionalidad y los configura tanto espacial como materialmente, por ejemplo:

- Una “pieza” mampara define un elemento del “hábitat”, dotándolo de un atributo del sistema, la privacidad.
- Una “cápsula”, resuelve dos atributos, uno de “infraestructura”, las instalaciones mecánicas, electricidad, etc. y otro del “hábitat”, como solución de un baño.
- Un contenedor, resuelve tres atributos, uno de cada del sistema “base”: como estructura autoportante, o semi-portante, como pieza de vivienda, e incluyendo sus instalaciones, listas para conectar con su medio exterior.

A continuación, desarrollamos del sistema base “Soporte”, unos elementos que lo componen, y de estos, su construcción en el montaje en cadena que lo desarrollan

2.1 PANTALLAS

Sistemas de montaje para una construcción de "Componentes Compatibles": 3C siguiendo la metodología Lean

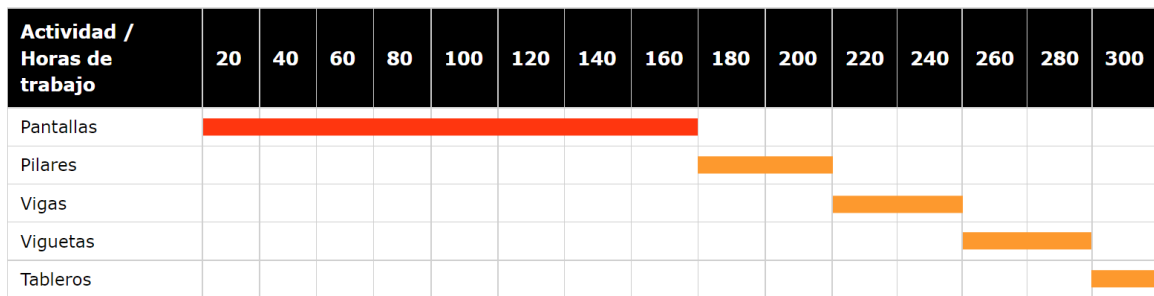


Figura 1. Diagrama de Gantt - Pantallas

Plazo:

Antecedentes: Ninguno

Descendientes: Vigas, viguetas y tableros

Coste:

Material: Pendiente de estudio

Montaje (mano de obra): 4 semanas.

$$4 \cdot 5 \frac{\text{días}}{\text{semana}} \cdot 8 \frac{\text{horas}}{\text{día}} = 160 \text{ horas}$$

Medios Auxiliares: Pendiente de estudio

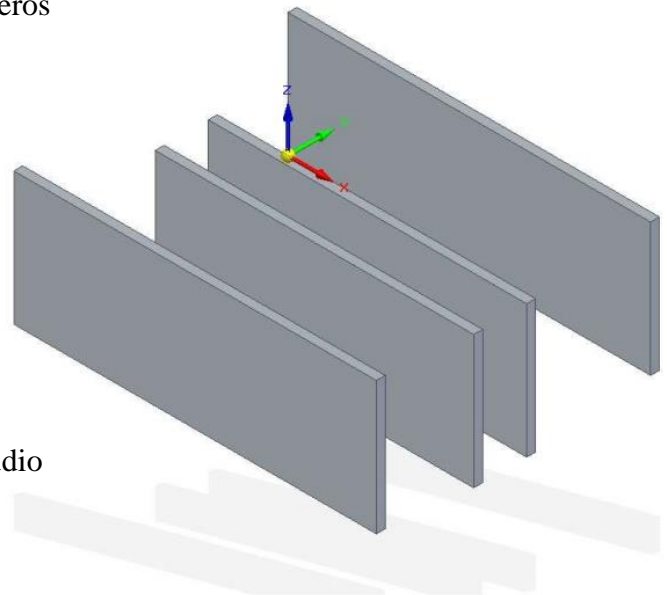


Figura 2. Pantallas

2.2 ESTRUCTURA: PILARES

Sistemas de montaje para una construcción de "Componentes Compatibles": 3C siguiendo la metodología Lean

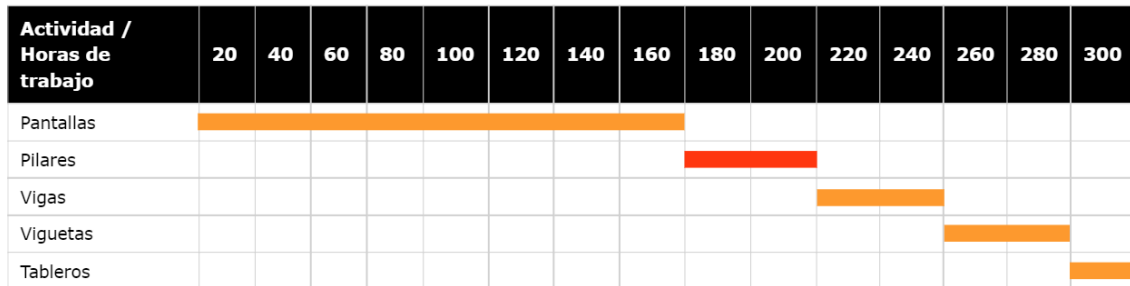


Figura 3. Diagrama de Gantt - Pilares

Plazo:

Antecedentes: Ninguno

Descendientes: Vigas, viguetas y tableros

Coste:

Material: Pendiente de estudio

Montaje (mano de obra): 1 semana.

$$1 \cdot 5 \frac{\text{días}}{\text{semana}} \cdot 8 \frac{\text{horas}}{\text{día}} = 40 \text{ horas}$$

Medios Auxiliares: Pendiente de estudio

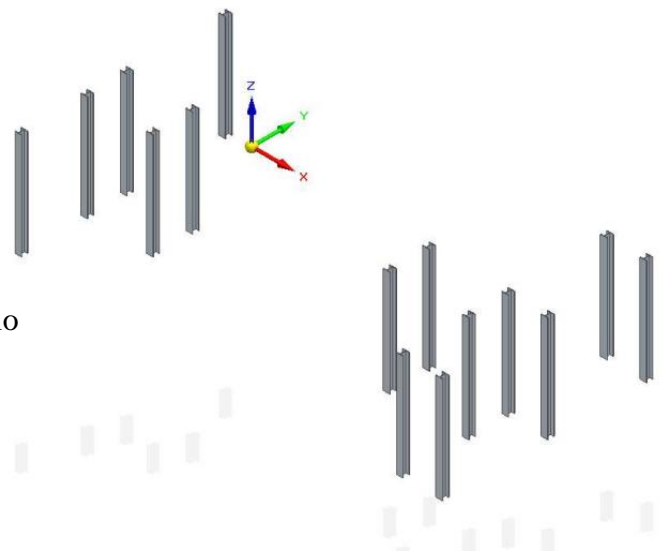


Figura 4. Pilares

2.3 ESTRUCTURA: VIGAS

Sistemas de montaje para una construcción de "Componentes Compatibles": 3C siguiendo la metodología Lean

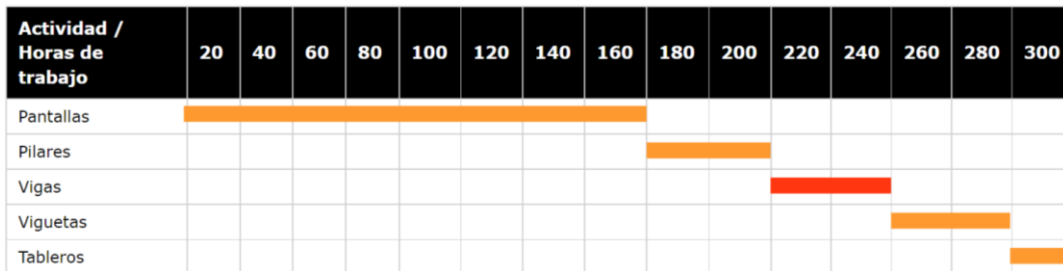


Figura 5. Diagrama de Gantt - Vigas

Plazo:

Antecedentes: Pantallas y pilares

Descendientes: Viguetas y tableros

Coste:

Material: Pendiente de estudio

Montaje (mano de obra): 1 semana.

$$1 \cdot 5 \frac{\text{días}}{\text{semana}} \cdot 8 \frac{\text{horas}}{\text{día}} = 40 \text{ horas}$$

Medios Auxiliares: Pendiente de estudio

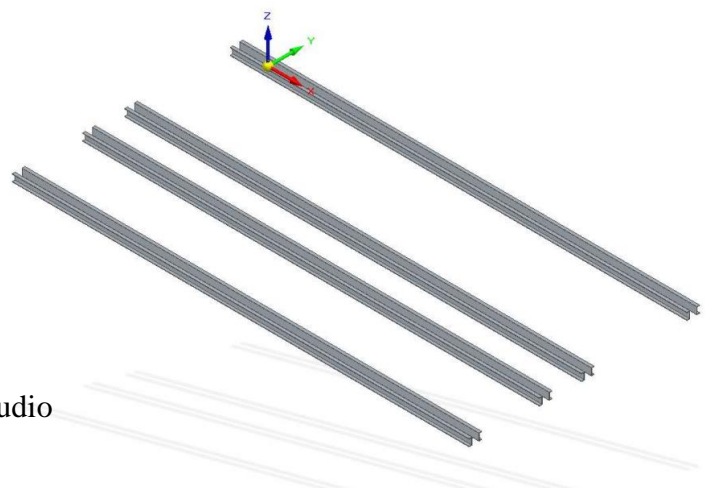


Figura 6. Vigas

2.4 VIGUETAS

Sistemas de montaje para una construcción de "Componentes Compatibles": 3C siguiendo la metodología Lean

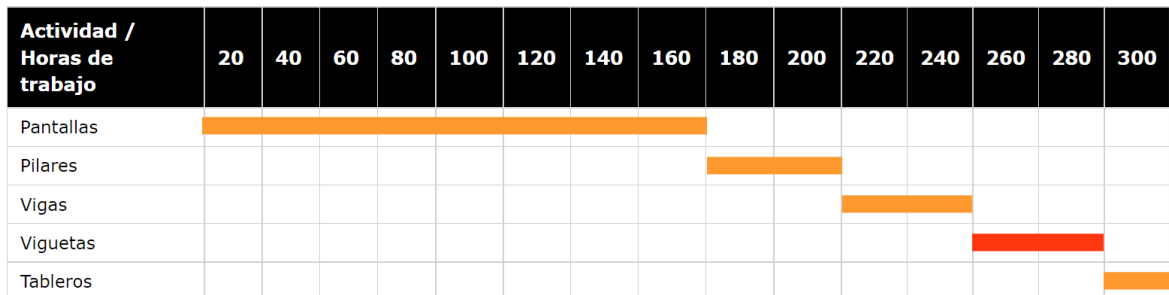


Figura 7. Diagrama de Gantt - Viguetas

Plazo:

Antecedentes: Pantallas, pilares y vigas

Descendientes: Tableros

Coste:

Material: Pendiente de estudio

Montaje (mano de obra): 1 semana.

$$1 \cdot 5 \frac{\text{días}}{\text{semana}} \cdot 8 \frac{\text{horas}}{\text{día}} = 40 \text{ horas}$$

Medios Auxiliares: Pendiente de estudio

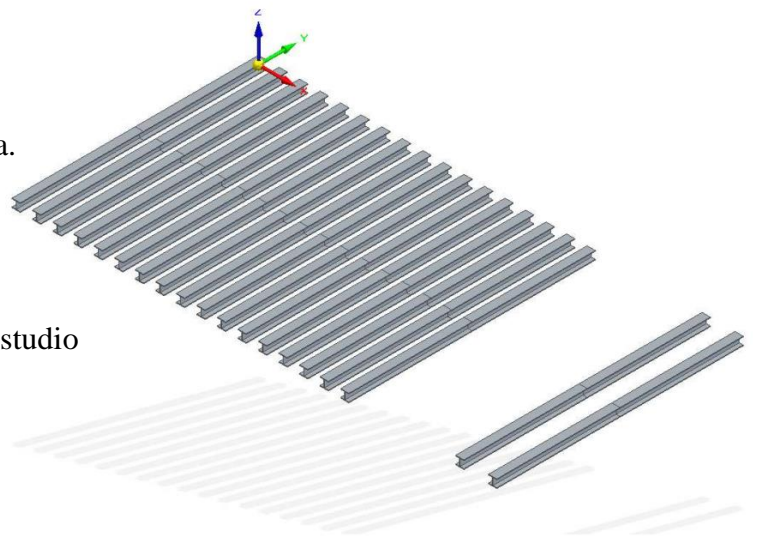


Figura 8. Viguetas

2.5 TABLEROS

Sistemas de montaje para una construcción de "Componentes Compatibles": 3C siguiendo la metodología Lean

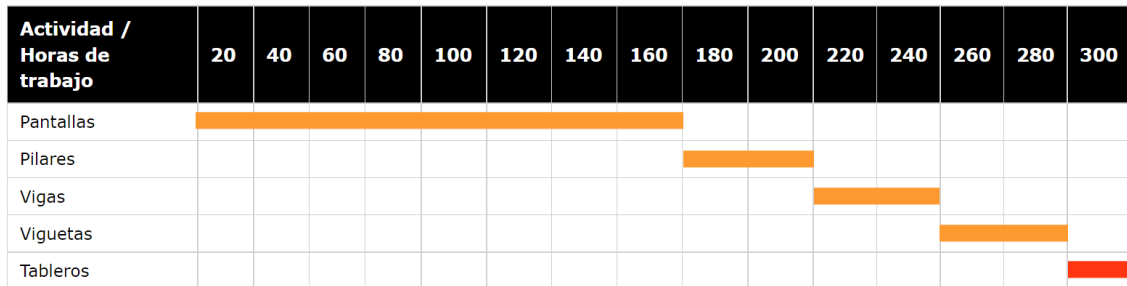


Figura 9. Diagrama de Gantt - Viguetas

Plazo:

Antecedentes: Pantallas, pilares, vigas y viguetas

Descendientes: Ninguno

Coste:

Material: Pendiente de estudio

Montaje (mano de obra): $\frac{1}{2}$ semana.

$$\frac{1}{2} \cdot 5 \frac{\text{días}}{\text{semana}} \cdot 8 \frac{\text{horas}}{\text{día}} = 20 \text{ horas}$$

Medios Auxiliares: Pendiente de estudio

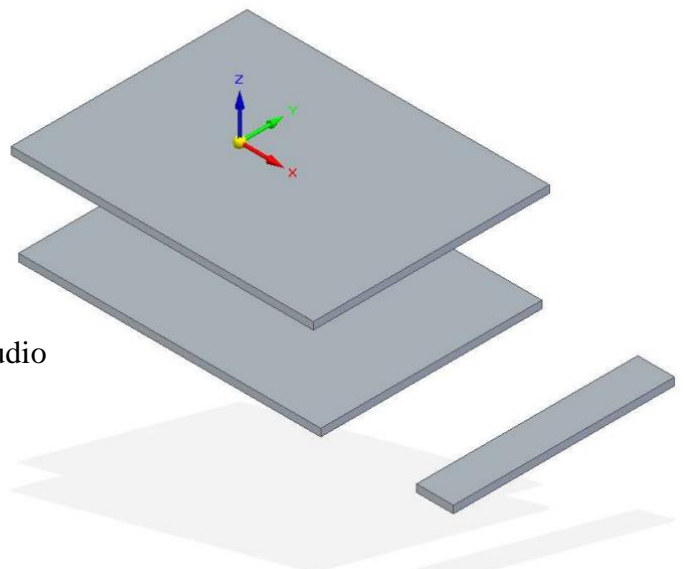


Figura 10. Tableros

Capítulo 3. ESTADO DEL ARTE

La construcción actual se puede clasificar en base a los productos y la tecnología utilizados. Los productos pueden categorizarse según su fabricación in situ, en taller o en una fábrica, cada cual más sofisticada que la anterior. En cuanto a la tecnología esta puede ser artesanal, mixta o industrial, en el mismo orden que la anterior. Una construcción in situ y artesanal podría ser clasificada como construcción de bajo nivel, por el contrario, podemos referirnos como “high tech” a una construcción en fábrica e industrial como la propuesta en este proyecto. El resto de las combinaciones resulta incoherente.

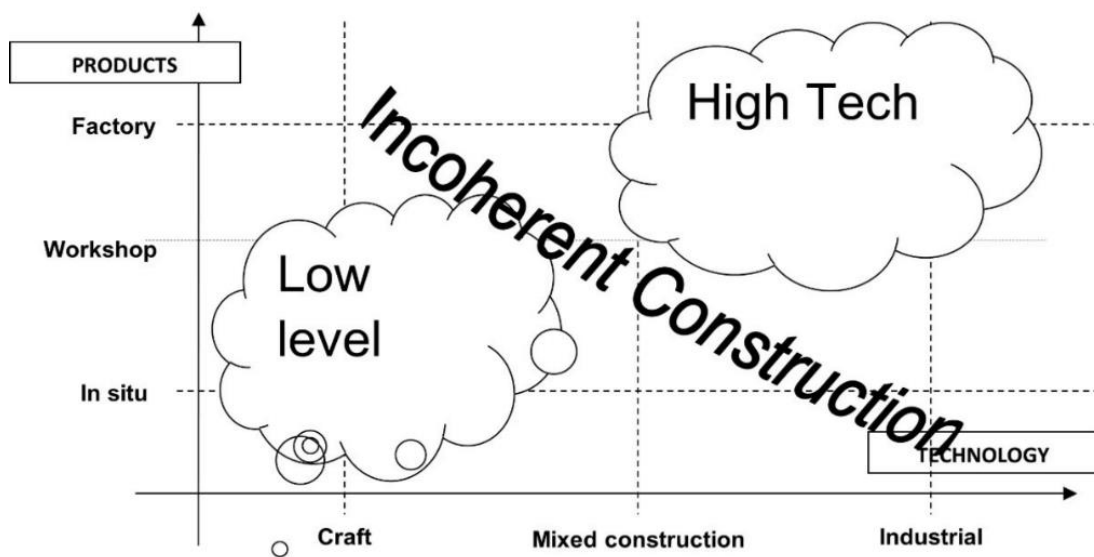


Figura 11. Productos y tecnología

El motivo de que estas otras combinaciones sea incoherente resulta sencillo. El uso de elementos fabricados de manera industrial con unos estándares de calidad, tolerancias y demás características ofrece unas prestaciones que al incorporarse a la construcción de manera artesanal se pierden. Esto se puede ver claramente en la siguiente imagen de una ventana incorporada de manera artesanal a una pared. De este modo, las características como el aislamiento que ofrece la ventana se pierden por esta incoherencia en la construcción.



Figura 12. Construcción incoherente

En el apartado de diseño también podemos hacer una clasificación entre un diseño costumbrista o racional y el uso de técnicas antiguas y modernas. El diseño tradicional es costumbrista y hace uso de técnicas antiguas mientras que el diseño avanzado es racional y hace uso de técnicas modernas. Del mismo modo estas son las únicas dos combinaciones que no resultan incoherentes.

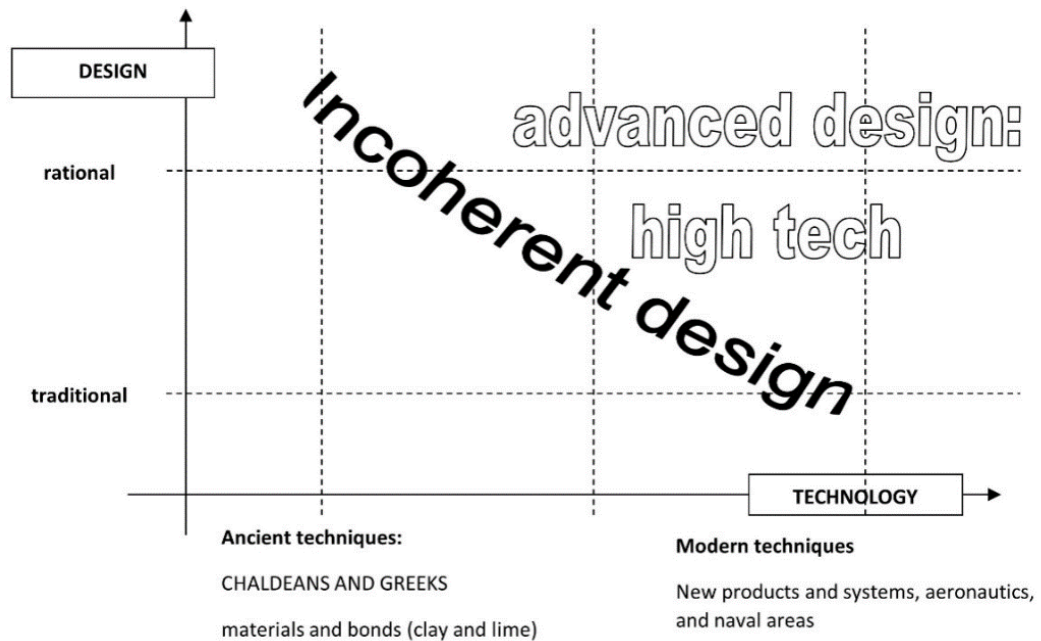


Figura 13. Diseño y tecnología

A lo largo de los últimos años la tendencia en el mundo de la construcción ha sido una mejora de la productividad. De este modo, el coste de la mano de obra se ha incrementado. Sin embargo, el coste de los materiales ha disminuido con el avance de la industrialización.

Por estos motivos, la construcción industrial no solo es superior en cuanto a prestaciones y diseño frente a la tradicional, sino que es competitiva a nivel de costes llegando en algunos casos a ofrecer costes inferiores.

Con respecto a los plazos, la construcción tradicional es lineal y no se puede avanzar en la mayoría de los procesos hasta haber terminado el anterior.

El sistema 3c (construcción de componentes compatibles) ofrece una serie de ventajas como estabilidad, cuasidescomponibilidad, especialización y modulación.

Con respecto a la estabilidad, los grupos de elementos constructivos son concebidos, diseñados y montados de manera independiente. Estos serán fabricados por entidades diferentes, siguiendo una “industrialización abierta” y se instalan sin interferencias entre montadores distintos. Se hace uso de elementos como falsos suelos, falsos techos,

mamparas y otros que representan productos industriales diferenciados y que podrán prestar la función prevista sin dependencias entre sí o con otros elementos. Otro aspecto fundamental es que el colapso o disfunción de uno de ellos no perjudica ni interfiere con el resto, pudiendo los otros seguir prestando su servicio. De este modo basta con facilitar su reparación, recambio, mantenimiento, arreglo, etc.

En el apartado de cuasidescomponibilidad, los grupos son autónomos y funcionan independientemente sin interferir con los anexos. De este modo, los distintos elementos pueden ser montados y desmontados sin afectar la función y uso de los elementos próximos o juntos a los afectados. Del mismo modo, los paramentos verticales se pueden desmontar, registrar, etc. sin que esto afecte a suelos, techos y demás elementos.

Además, ofrece un alto grado de especialización ya que cada elemento se especializa en una función dentro del grupo. En la fachada se cumplen condiciones funcionales como aislamiento, protección mecánica y visión entre otras. Adicionalmente, la fachada se dispone en capas, atendiendo cada una de ellas una función específica.

Por último, se trata de un sistema modular ya que los elementos de la construcción se agrupan en conjuntos con propiedades afines: grupo. Así, forman subconjuntos dentro del sistema general: subsistemas. Estos grupos contienen fachadas, suelos, techos, instalaciones, etc. Gracias a esto se simplifican los vínculos entre componentes y se facilita su control.

Esto reduce la complejidad del sistema y permitiendo que sea suficiente con conocer los módulos en sus características externas, sin necesidad de manejar el detalle de sus relaciones internas. Cada módulo incluye relaciones internas, que, en su manejo como conjunto unitario, no se van a ver alteradas. Además, el módulo dispone a su vez de características externas que lo definen y que se manejan para sus relaciones con otros módulos en un conjunto superior.

Por otro lado, de cara al análisis de plazos, en la actualidad, los métodos más utilizados son el diagrama de Gantt, PERT y CPM.

“Los cronogramas de barras o “gráficos de Gantt” fueron concebidos por el ingeniero norteamericano Henry L. Gantt, uno de los precursores de la ingeniería industrial contemporánea de Taylor. Gantt procuro resolver el problema de la programación de actividades, es decir, su distribución conforme a un calendario, de manera tal que se pudiese visualizar el periodo de duración de cada actividad, sus fechas de iniciación y terminación e igualmente el tiempo total requerido para la ejecución de un trabajo. El instrumento que desarrolló permite también que se siga el curso de cada actividad, al proporcionar información del porcentaje ejecutado de cada una de ellas, así como el grado de adelanto o atraso con respecto al plazo previsto.” [1]

De este modo se componen unos diagramas de barras muy visuales compuestos por un eje horizontal con los periodos de tiempo adecuados a la duración y un eje horizontal con las actividades que se van a realizar.

Por otro lado, el PERT, representa la consecución de eventos mediante una red de nodos y flechas. Las diferentes acciones se señalizan mediante nodos circulares interconectados con flechas. De este modo se puede observar que actividades se ven retrasadas por otras, pero la duración de estas no es tan visual como en el diagrama de Gantt.

Por último, el CPM representa la sucesión de actividades mediante un diagrama de red. Su principal característica es que define la ruta crítica del proyecto, es decir, aquellas actividades en las que, si se produce un retraso, se tendrá que retrasar todo el proyecto. [2]

Capítulo 4. DEFINICIÓN DEL TRABAJO

4.1 JUSTIFICACIÓN

En consonancia con lo mencionado en los capítulos anteriores, este proyecto busca implementar un modelo más eficiente y **optimizar los procesos** habituales de construcción, siguiendo la metodología Lean.

Del mismo modo, estos proyectos dejan la puerta abierta a realizar modificaciones posteriormente en las edificaciones de manera mucho más sencilla que las reformas habituales en el sector. De este modo, se podrán sustituir de manera mucho más rápida y sencilla los componentes por aquellos que se desee en función de las necesidades del usuario en cada momento determinado, flexibilizando el programa de uso, pudiendo por ejemplo ampliar el número de dormitorios o crear un espacio de trabajo.

Así mismo, el colapso o disfunción de uno de los componentes no perjudica ni interfiere con el resto, pudiendo los otros seguir prestando su servicio. En estos casos se puede facilitar su reparación y recambio o acceso, mantenimiento, arreglo, etc. de manera independiente.

4.2 OBJETIVOS

El objetivo de este proyecto es analizar los plazos de la metodología de construcción propuesta, mediante componentes 3Cy compararlos con los de la construcción convencional. Para ello se buscará optimizar el montaje mediante la ejecución de diferentes operaciones en paralelo.

Resulta importante tener en cuenta el orden de procesos y saber que procesos son dependientes de otros, ya que estos no podrán iniciar hasta que finalice su antecedente.

En la figura adjunta observar el efecto “serie” que los componentes de la construcción tardicional tiene sobre los procesos, con plazos más diferidos, al tener que respetar las esperas debidas.



Figura 14. Efecto serie en construcción tradicional

4.3 METODOLOGÍA

Para el análisis de plazos se han analizado los plazos de cada operación necesaria de manera individual para componente 3C y de su ejecución en serie. A continuación, se ha realizado una maqueta en Solid Edge para el mejor entendimiento de los procesos y de cómo se procederá a la ejecución de estos y, junto a diferentes diagramas de Gantt, se ha explicado en detalle la ejecución de las operaciones y el beneficio que esto supone a nivel de plazos.

4.4 ALINEACIÓN CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS)

Este proyecto está alineado con varios de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) establecidos en 2015 por Naciones Unidas en su agenda 2030. Principalmente los objetivos

9 “Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización sostenible y fomentar la innovación”, 11 “Lograr que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles” y 12 “Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles”

La aplicación de la metodología Lean está muy relacionada con estos ODS ya que busca la reducción de los “desperdicios” (comúnmente siete): sobreproducción, tiempo de espera, transporte, exceso de procedimientos, inventario, movimientos, defectos y la no contribución del operario en la obtención de ideas que puedan mejorar los procesos.

Del mismo modo, estos objetivos se encuentran presentes en el proyecto gracias a características fundamentales del mismo como la accesibilidad, durabilidad, independencia, entre otros. La vida útil de los módulos utilizados es larga y en caso de que sea necesario, la fácil accesibilidad permite el sencillo acceso para la sustitución o reparación de piezas de manera independiente evitando el uso de maquinaria más compleja o tener que desechar piezas mayores.

Así mismo, mediante el diseño arquitectónico del hábitat, se consigue ahorrar en los componentes superfluos, no necesarios, racionalizando su empleo con un diseño limpio de formas y elementos redundantes.

Capítulo 5. OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCESOS

5.1 ANÁLISIS DEL SISTEMA

Como podemos observar del apartado anterior y en el gráfico adjunto, la ejecución de un módulo de dos plantas en el **método de construcción serie** tendría una duración de 15 semanas, esto equivale a 600 horas de trabajo (tomando semanas de 5 días laborables y jornadas de 8 horas diarias).

Sistemas de montaje para una construcción de "Componentes Compatibles": 3C siguiendo la metodología Lean

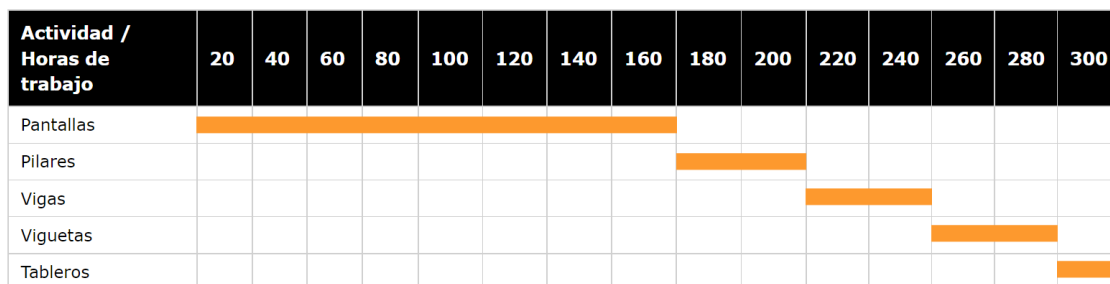


Figura 15. Diagrama de Gantt - Procesos serie

Sin embargo, pese a haber procesos que no pueden comenzar hasta haber terminado el anterior, podemos estudiar como optimizar este proceso para recortar plazos lo máximo posible. La clave para conseguir esta optimización se encuentra en la simultaneidad de procesos.

Por ejemplo, no podemos colocar las vigas hasta que no estén hechas las pantallas y pilares, pero podemos empezar a colocar las vigas de la primera pantalla en cuanto esta esté terminada, sin tener que esperar a que estén todas.

En la operación viguetas también hemos recortado plazos ya que, en lugar de colocar viguetas de 6 metros de longitud hemos utilizado unas de 3 metros de longitud, de este

modo, podemos empezar a colocarlas en cuanto estén la mitad de las vigas y de nuevo sacar provecho de la simultaneidad de procesos.

A continuación, se desarrollará la ejecución de una planta del módulo viendo detalladamente como se encuentra el proceso cada media semana

5.2 ETAPA PROGRESO 0: COMIENZO DE LA OBRA

Se ponen en marcha las operaciones pantallas y pilares. Las primera tardara cuatro semanas en finalizar (una semana por pantalla) mientras que la segunda solo tardará una semana.

5.3 ETAPA PROGRESO 1A: MEDIA SEMANA

La primera pantalla se encuentra a mitad de su ejecución y se han colocado también la mitad de los pilares (8 de 16).

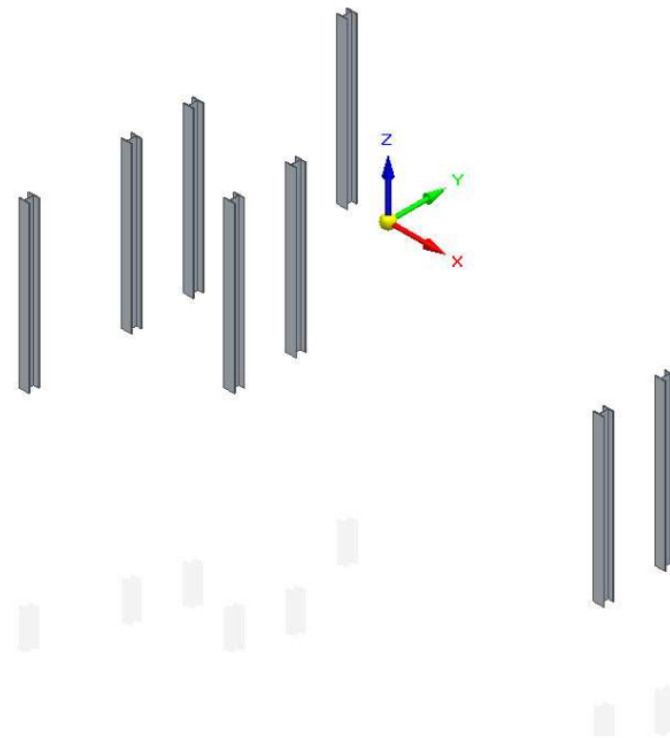


Figura 16. Etapa progreso 1A

Sistemas de montaje para una construcción de "Componentes Compatibles": 3C siguiendo la metodología Lean

Actividad / Horas de trabajo	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300
Pantallas	■														
Pilares	■														
Vigas															
Viguetas															
Tableros															

Figura 17. Diagrama de Gantt - Etapa progreso 1A

5.4 ETAPA PROGRESO 1B: UNA SEMANA

Se ha finalizado la primera pantalla y se empieza con la segunda. Por otro lado, también ha finalizado la operación pilares en el plazo de una semana estimado. Se procede a comenzar con la colocación de las vigas. Por el momento, solo se pueden colocar las dos vigas UPE del lado de la pantalla ya colocada.

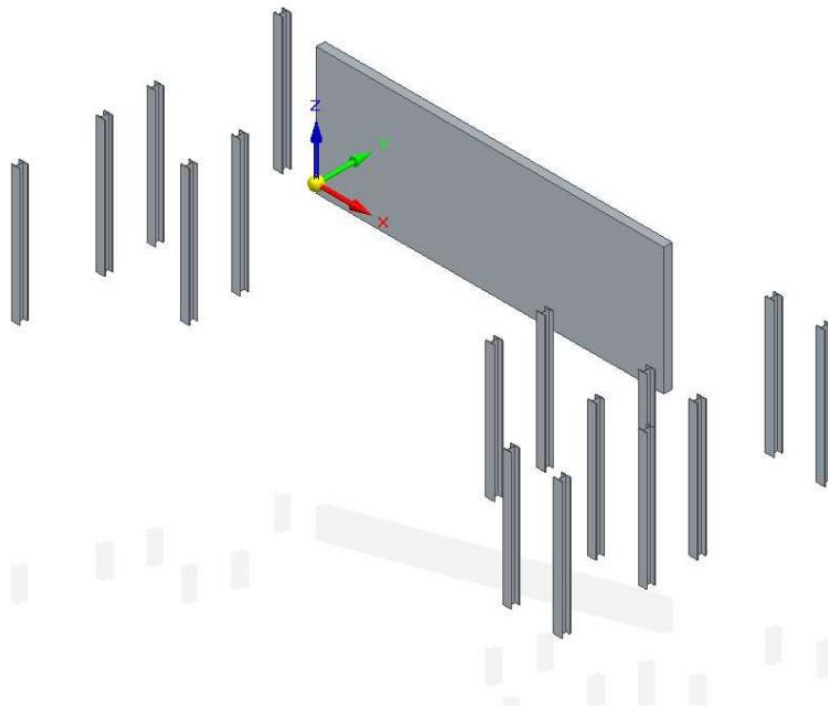


Figura 18. Etapa progreso 1B

Sistemas de montaje para una construcción de "Componentes Compatibles": 3C siguiendo la metodología Lean

Actividad / Horas de trabajo	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300
Pantallas	■														
Pilares	■														
Vigas															
Viguetas															
Tableros															

Figura 19. Diagrama de Gantt - Etapa progreso 1B

5.5 ETAPA PROGRESO 2: UNA SEMANA Y MEDIA

La segunda pantalla se encuentra a mitad de su ejecución y las dos vigas UPE ya han sido colocadas. Esto ha llevado un 25% de la semana o lo que es lo mismo 12,5 horas de trabajo.

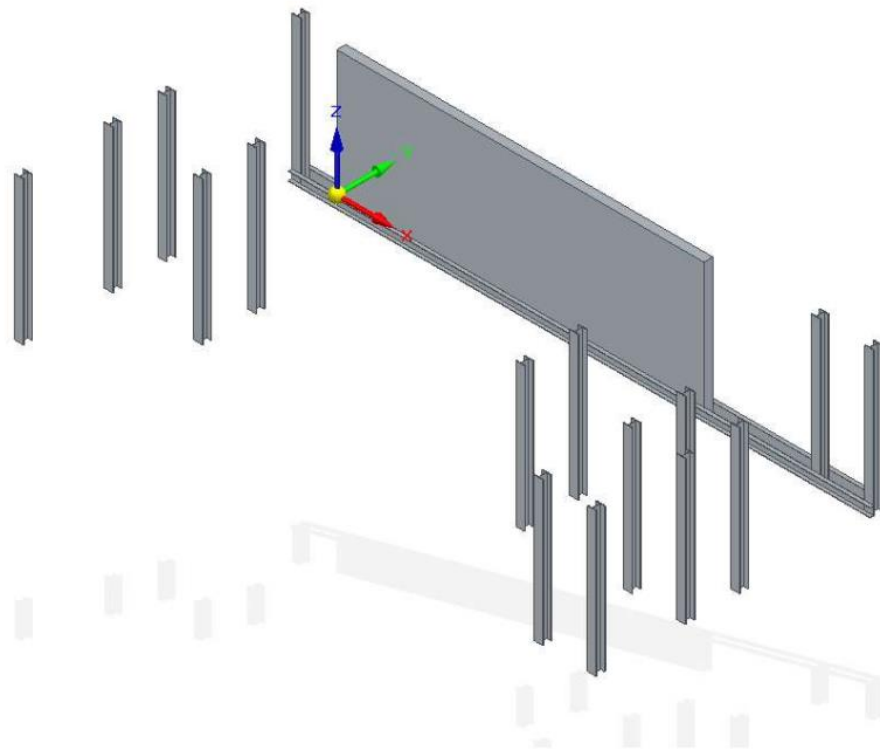


Figura 20. Etapa progreso 2

Sistemas de montaje para una construcción de "Componentes Compatibles": 3C siguiendo la metodología Lean

Actividad / Horas de trabajo	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300
Pantallas	■		■												
Pilares	■		■												
Vigas			■												
Viguetas															
Tableros															

Figura 21. Diagrama de Gantt - Etapa progreso 2

5.6 ETAPA PROGRESO 3: DOS SEMANAS

Se ha finalizado la segunda pantalla y se empieza con la tercera. Esto nos permite colocar las dos vigas UPE que la acompañan.

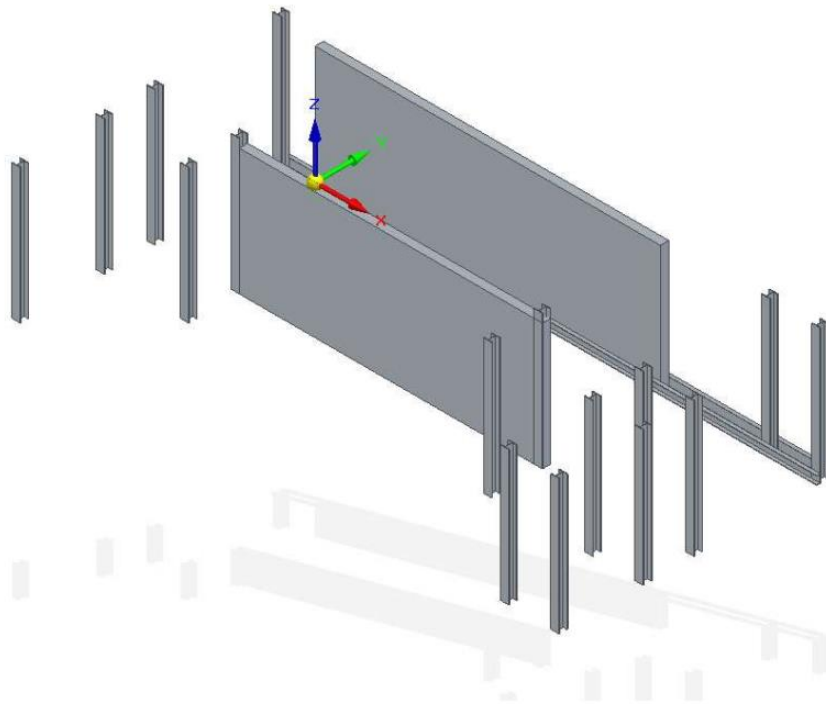


Figura 22. Etapa progreso 3

Sistemas de montaje para una construcción de "Componentes Compatibles": 3C siguiendo la metodología Lean

Actividad / Horas de trabajo	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300
Pantallas	■														
Pilares	■														
Vigas			■												
Viguetas															
Tableros															

Figura 23. Diagrama de Gantt - Etapa progreso 3

5.7 ETAPA PROGRESO 4: DOS SEMANAS Y MEDIA

La tercera pantalla se encuentra a mitad de su ejecución y las dos vigas UPE que acompañan a la segunda pantalla ya han sido colocadas. Esto de nuevo ha llevado un 25% de la semana o lo que es lo mismo 12,5 horas de trabajo. Utilizaremos viguetas de 3 metros de longitud por lo que ya podemos comenzar esta operación, colocando las viguetas que se apoyan en las cuatro vigas de la derecha. Al cabo de dos semanas y media la operación viguetas se encuentra al 25% de su ejecución.

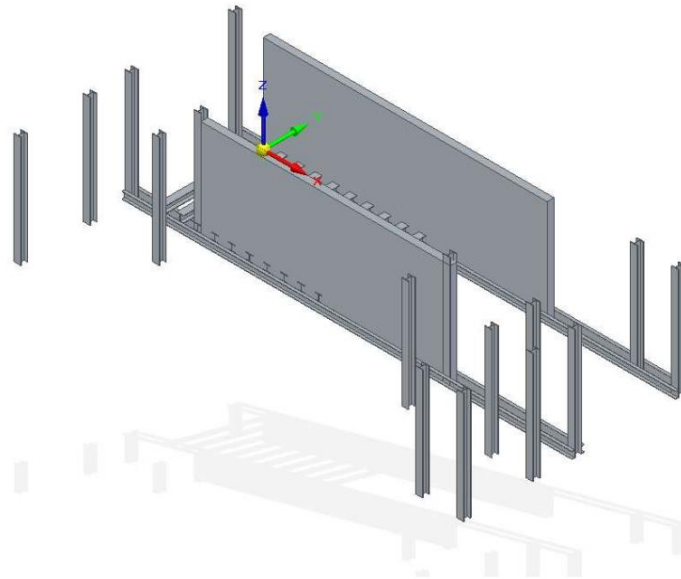


Figura 24. Etapa progreso 4

Sistemas de montaje para una construcción de "Componentes Compatibles": 3C siguiendo la metodología Lean

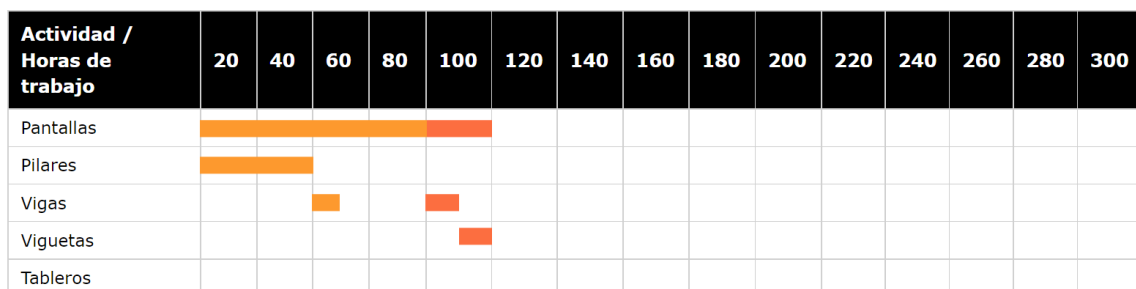


Figura 25. Diagrama de Gantt - Etapa progreso 4

5.8 ETAPA PROGRESO 5: TRES SEMANAS

Se ha finalizado la tercera pantalla y se empieza con la cuarta. Esto nos permite colocar las dos vigas UPE que la acompañan. Se ha seguido colocando viguetas y se ha alcanzado el 50% de la operación. Esta se para hasta que se coloquen el resto de vigas.

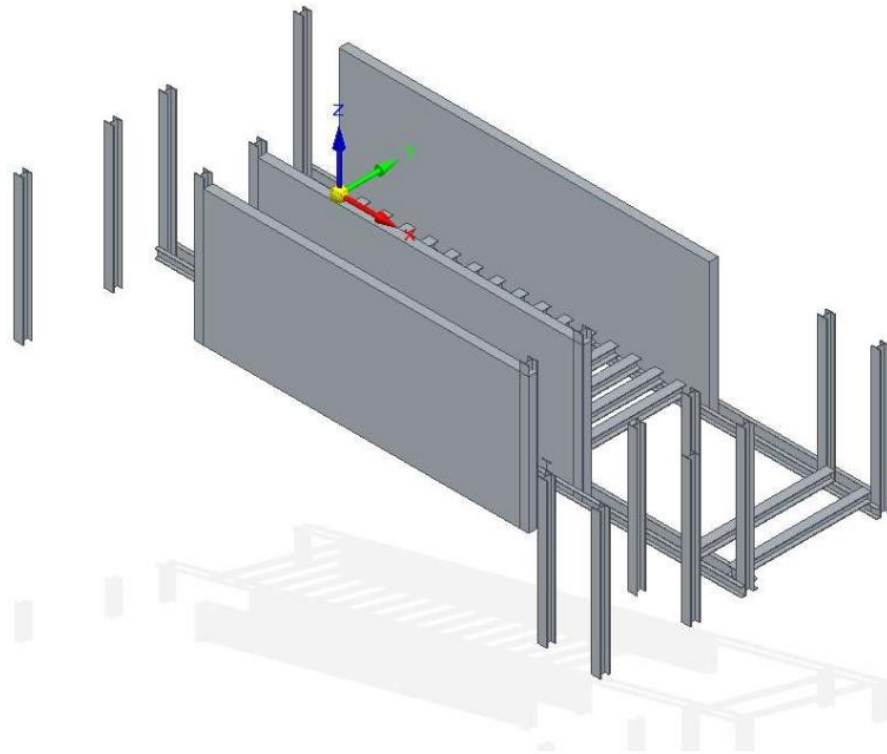


Figura 26. Etapa progreso 5

Sistemas de montaje para una construcción de "Componentes Compatibles": 3C siguiendo la metodología Lean

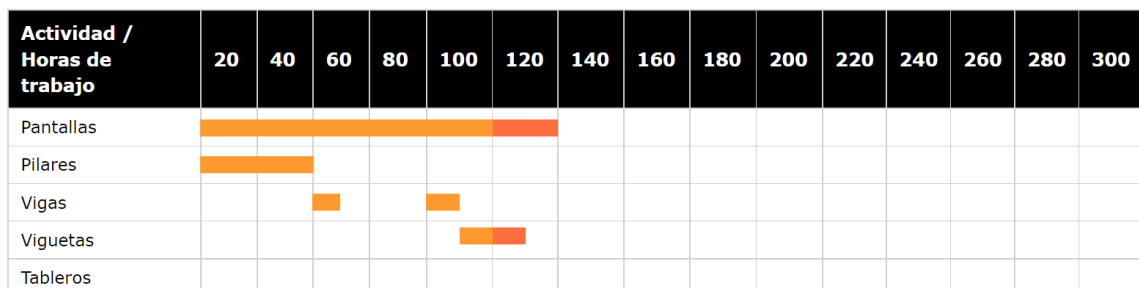


Figura 27. Diagrama de Gantt - Etapa progreso 5

5.9 ETAPA PROGRESO 6: TRES SEMANAS Y MEDIA

La última pantalla se encuentra a mitad de su ejecución y las dos vigas UPE que acompañan a la tercera pantalla ya han sido colocadas. Esto de nuevo ha llevado un 25% de la semana o lo que es lo mismo 12,5 horas de trabajo.

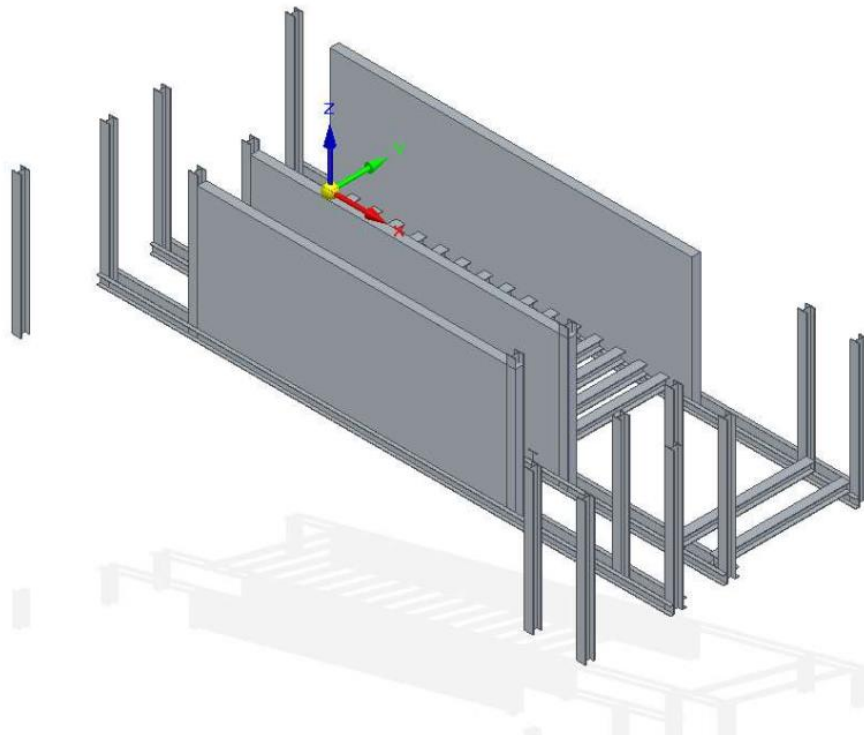


Figura 28. Etapa progreso 6

Sistemas de montaje para una construcción de "Componentes Compatibles": 3C siguiendo la metodología Lean

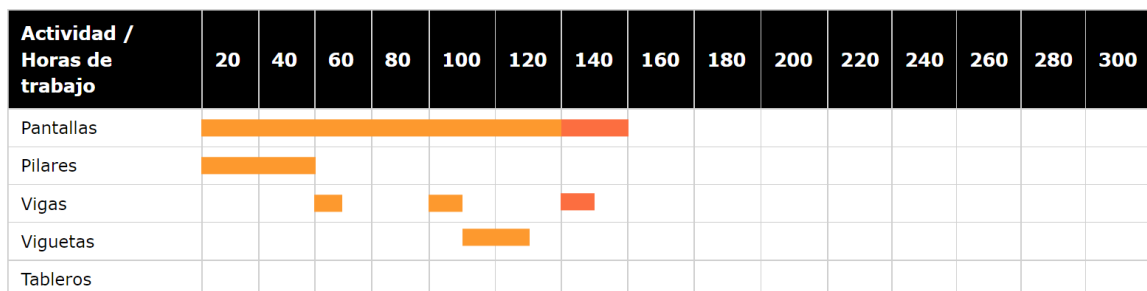


Figura 29. Diagrama de Gantt - Etapa progreso 6

5.10 ETAPA PROGRESO 7: CUATRO SEMANAS

Se ha finalizado la cuarta pantalla con ello la operación pantallas. Se procede a colocar las dos últimas vigas UPE que la acompañan.

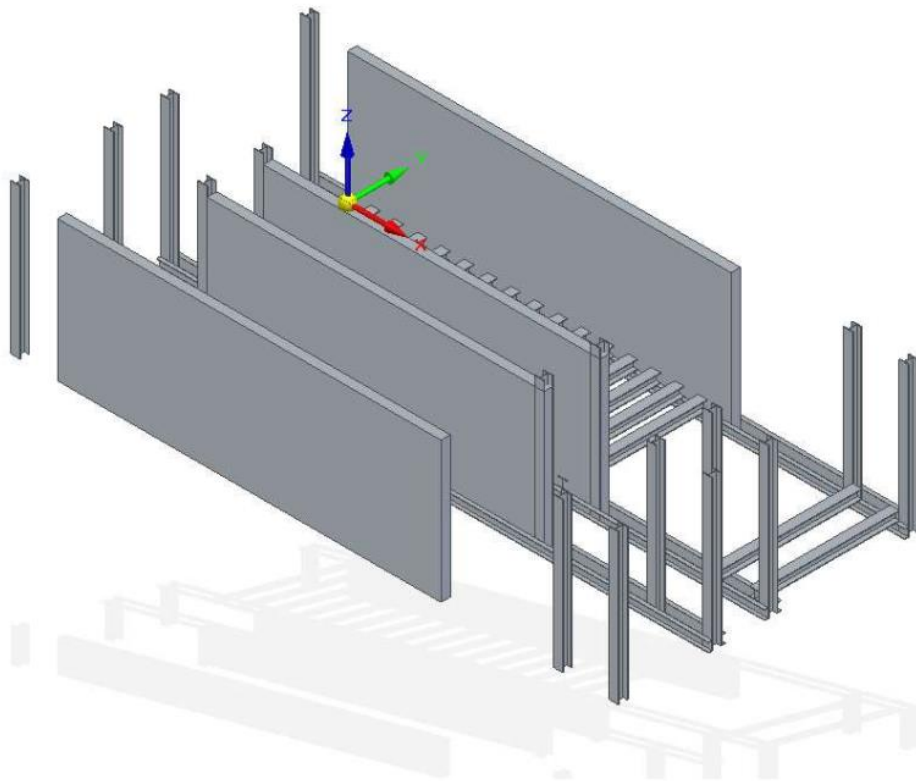


Figura 30. Etapa progreso 7

Sistemas de montaje para una construcción de "Componentes Compatibles": 3C siguiendo la metodología Lean

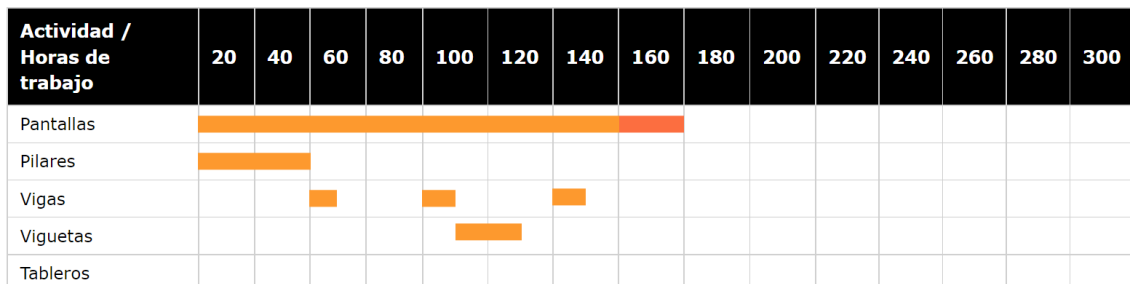


Figura 31. Diagrama de Gantt - Etapa progreso 7

5.11 ETAPA PROGRESO 8: CUATRO SEMANAS Y MEDIA

Tras un 25% de la semana o lo que es lo mismo 12,5 horas de trabajo, se terminan de colocar las últimas vigas UPE y damos por finalizada la operación vigas. Esto nos ha permitido reanudar la operación viguetas. Al cabo de cuatro semanas y media se encuentra al 75% de su ejecución.

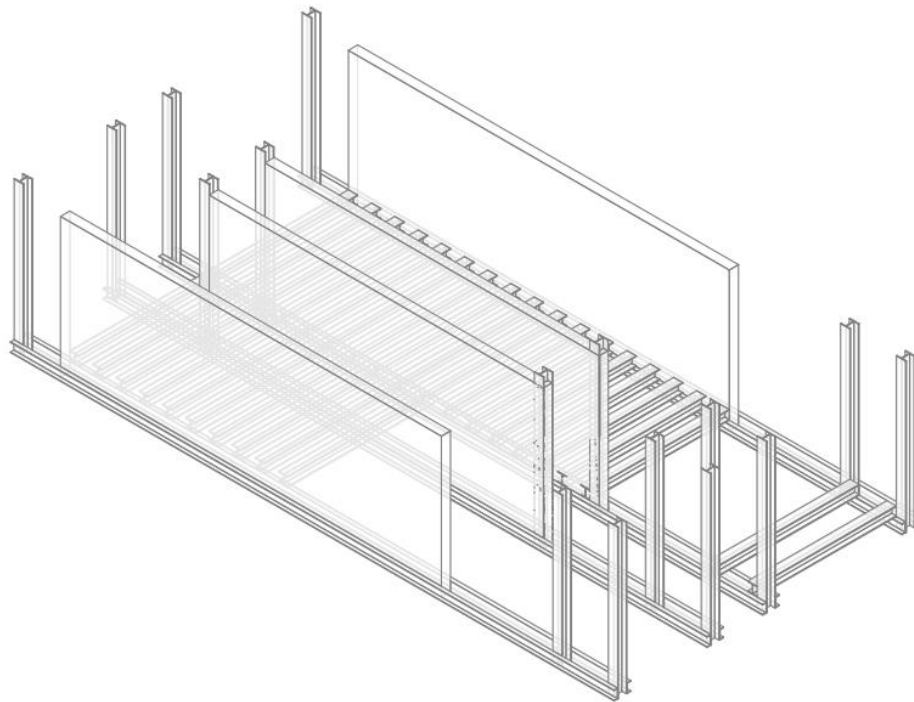


Figura 32. Etapa progreso 8

Sistemas de montaje para una construcción de "Componentes Compatibles": 3C siguiendo la metodología Lean

Actividad / Horas de trabajo	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300
Pantallas	[Barra naranja]														
Pilares	[Barra naranja]														
Vigas			[Barra naranja]		[Barra naranja]		[Barra naranja]		[Barra naranja]						
Viguetas					[Barra naranja]	[Barra naranja]			[Barra naranja]						
Tableros															

Figura 33. Diagrama de Gantt - Etapa progreso 8

5.12 ETAPA PROGRESO 9: CINCO SEMANAS

La operación viguetas finaliza al transcurrir un 75% de la cuarta semana. Antes de finalizar, cuando la operación viguetas se encontraba al 95% (colocadas 36 de 38), o lo que es lo mismo, pasado un 70% de la cuarta semana, damos comienzo a la operación tableros con la colocación del mayor de ellos ya que están terminadas todas las viguetas que lo soportan.

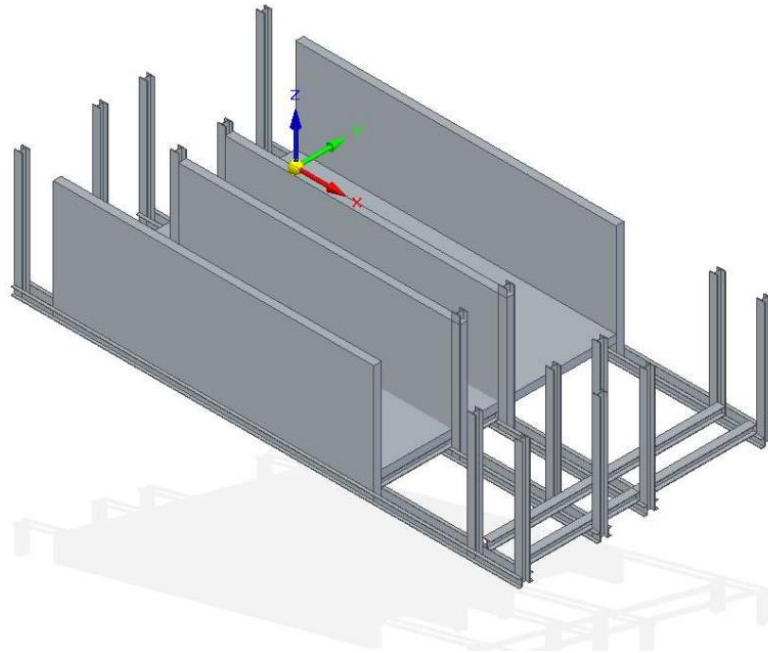


Figura 34. Etapa progreso 9

Sistemas de montaje para una construcción de "Componentes Compatibles": 3C siguiendo la metodología Lean

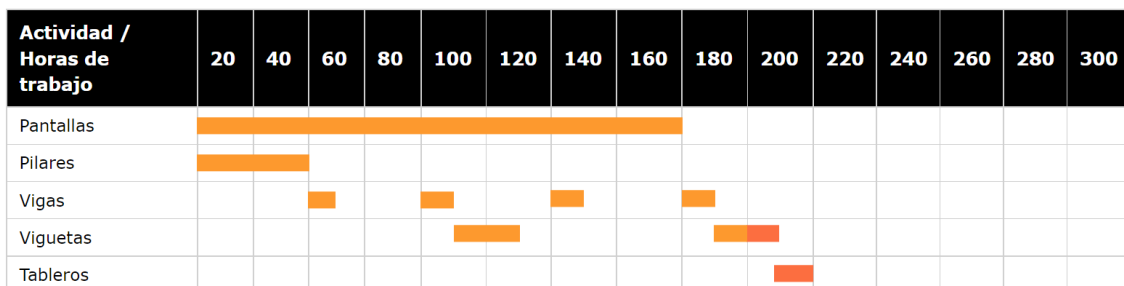


Figura 35. Diagrama de Gantt - Etapa progreso 9

5.13 ETAPA PROGRESO 10: CINCO SEMANAS Y MEDIA

La operación tableros finalizó transcurrido el 20% de la quinta semana y, con ello, la primera planta del módulo. Se empezaría ahora la colocación de la primera pantalla del segundo módulo y todo el proceso para esta planta sería idéntico a la anterior.

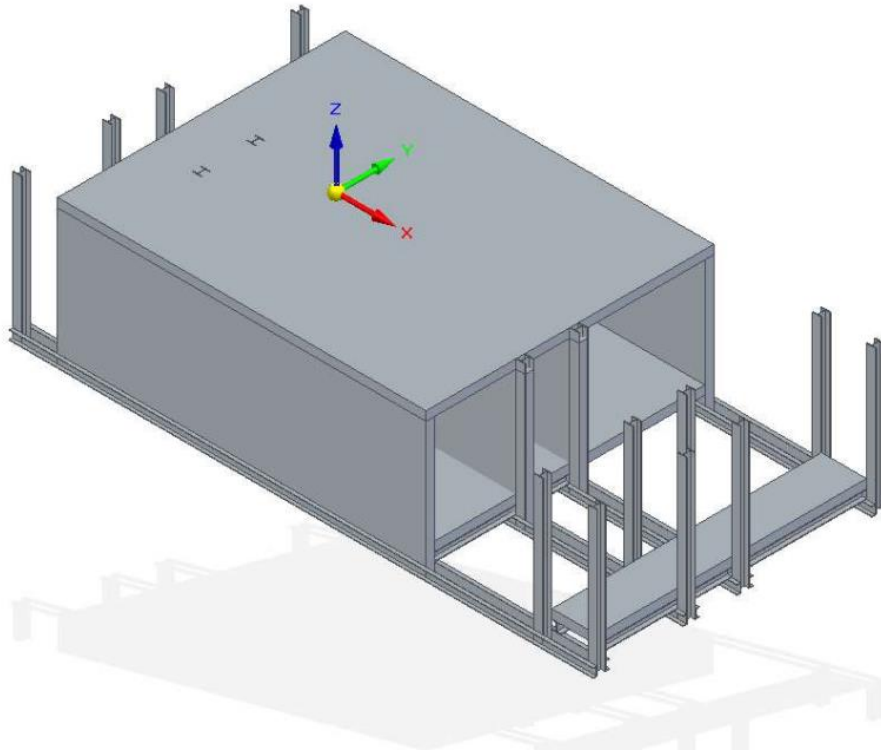


Figura 36. Etapa progreso 10

Sistemas de montaje para una construcción de "Componentes Compatibles": 3C siguiendo la metodología Lean

Actividad / Horas de trabajo	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300
Pantallas	[Barra de actividad naranja]														
Pilares	[Barra de actividad naranja]														
Vigas			[Barra de actividad naranja]		[Barra de actividad naranja]		[Barra de actividad naranja]		[Barra de actividad naranja]						
Viguetas					[Barra de actividad naranja]				[Barra de actividad naranja]						
Tableros										[Barra de actividad naranja]					

Figura 37. Diagrama de Gantt - Etapa progreso 10

5.14 ETAPA PROGRESO 11: DIEZ SEMANAS Y MEDIA

Tras diez semanas y un 40% de la semana once, se habría terminado de construir la segunda planta y daríamos por finalizado el módulo.

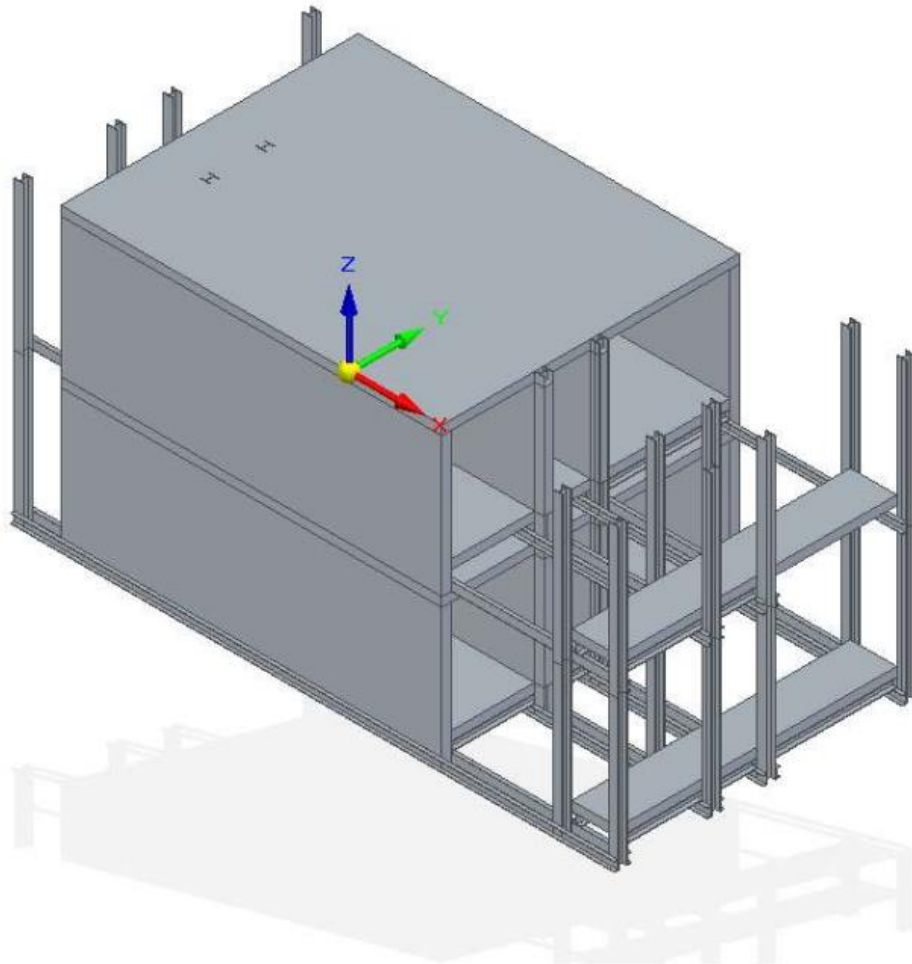


Figura 38. Etapa progreso 11

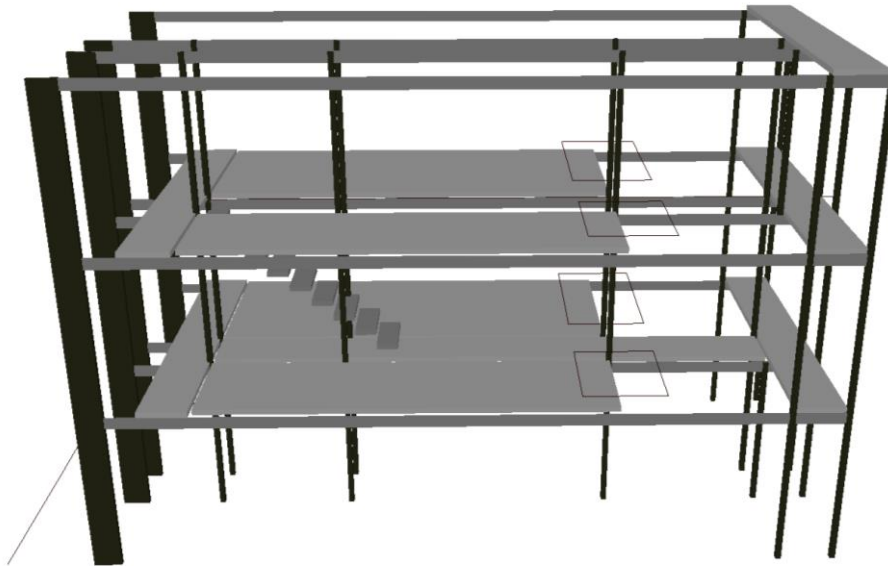


Figura 39. Representación módulo

Capítulo 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Como hemos visto en el capítulo 5, la construcción de un módulo de dos plantas ejecutando los procesos en serie tendría una duración de 15 semanas.

Sistemas de montaje para una construcción de "Componentes Compatibles": 3C siguiendo la metodología Lean

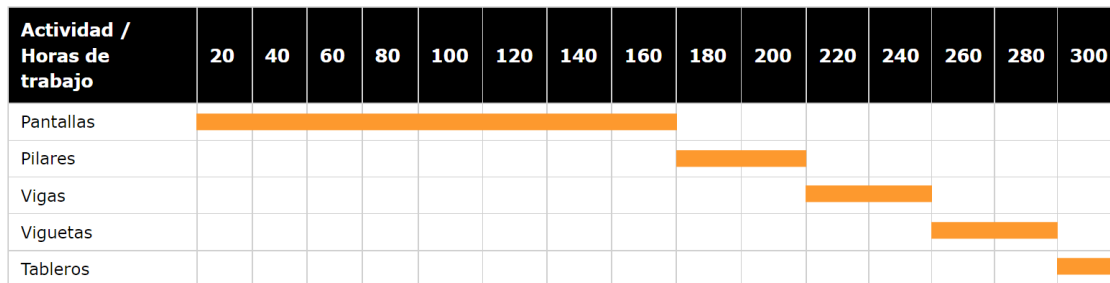


Figura 40. Diagrama de Gantt - Procesos serie

Mediante el proceso de optimización presentado en el capítulo 5, conseguimos reducir este plazo a 10 semanas y 2 días, es decir 416 horas de trabajo frente a 600 si realizáramos todos los procesos en serie. Esto supone una reducción del 30,67% del plazo.

Sistemas de montaje para una construcción de "Componentes Compatibles": 3C siguiendo la metodología Lean

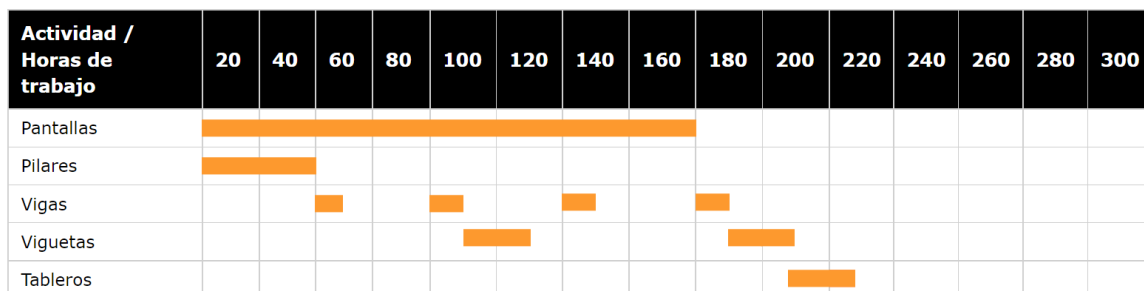


Figura 41. Diagrama de Gantt - Procesos paralelo

Esta disminución es realmente notable. En caso de querer construir un bloque de 5x5 módulos, los plazos de ejecución se reducirían de 375 a 260 semanas. Esto es una diferencia de 115 semanas, es decir, más de 2 años y 2 meses de diferencia y supone un gran ahorro de mano de obra. Todo esto, da un gran valor añadido a estas edificaciones.

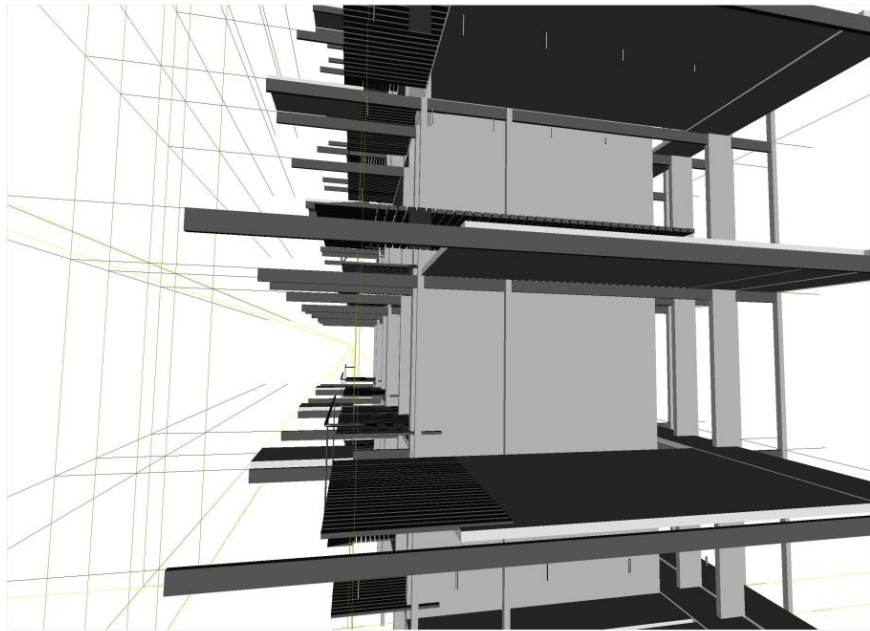


Figura 42. Representación varios módulos

6.1 CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Como se ha podido observar en los capítulos 5 y 6, en cuanto a los plazos estimados para la ejecución de un módulo, mediante el aprovechamiento de la simultaneidad de procesos se ha conseguido reducir la duración de su ejecución de 15 semanas a 10 semanas y 2 días, y en un bloque de 5x5 módulos se han ahorrado 115 semanas (más de 2 años y 2 meses), pasando de 375 semanas a 260.

Además, la gran cantidad de posibilidades que aportan los diferentes componentes que se pueden acoplar a la edificación y la facilidad de mantenimiento, reparación y sustitución de estos, también dota a este tipo de construcciones de un gran valor añadido, al evitarnos estas tener que hacer reformas en caso de querer modificar la estructura del habitáculo o requerir la reparación de algún elemento averiado.

El proceso estudiado en este trabajo contaba con cinco procesos. De cara a futuros trabajos se plantea la posibilidad de elaborar un algoritmo de procesos en paralelo con el que optimizar un proceso productivo con n componentes. Este algoritmo se basaría en tres principios.

En primer lugar, el hecho de que un proceso dependiente de otro no puede iniciar antes de que este finalice. Además, saber que todo proceso tiene antecedentes y descendentes y que estos pueden ser directos o diferidos.

El segundo es la longitud de trabajo, que consiste en que un proceso en su posición en el tiempo no debe generar discontinuidades en los procesos con los que se relaciona.

Finalmente, la simultaneidad de procesos, que dicta que dos procesos que requieran medio auxiliar no se pueden realizar a la vez, requieren cierto decalaje.

Capítulo 7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Hinojosa, M. A. (2003). Diagrama de gantt. *Producción, procesos y operaciones*, 48.
<http://www.colegio-isma.com.ar/Secundaria/Apuntes/Mercantil/4%20Mer/Administracion/Diagrama%20de%20Gantt.pdf>
- [2] Gómez, M. V. (2013). Línea de Balance aplicada a proyectos de Construcción. *Revista Digital Apuntes de Investigación* | ISSN, 2248, 7875.
https://www.academia.edu/15545060/3_L%C3%8DNEA_DE_BALANCE