

---

# Building Information Modeling 4D aplicado a una planificación con Last Planner System.

29 jul. 15

---

AUTOR:

DIANA MATEU GOZÁLVEZ

TUTOR ACADÉMICO:

MARÍA JESÚS LLEDÓ PARDO

DEPARTAMENTO: Construcciones Arquitectónicas



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR  
ENGINYERIA  
D'EDIFICACIÓ

## Resumen

Tras varios años de recesión, el sector de la construcción en España está actualmente comenzando a interesarse por nuevas metodologías, ya consolidadas en otros países, para mejorar la gestión de una obra tanto en la parte de diseño como en la de ejecución, como a realización del proyecto arquitectónico en un entorno Building Information Modeling (BIM) o la aplicación de Lean Construction y sus herramientas como Last Planner System (LPS).

El presente trabajo final de grado, gira entorno a la aplicación de Last Planner System (LPS) y BIM 4D, realizando una análisis teórico y práctico, así como de los resultados tras la aplicación conjunta de ambas.

En el marco teórico se ha realizado una revisión bibliográfica sobre Lean y su aplicación a la construcción, su herramienta LPS y su metodología, así como estudio sobre Building Information Modeling, culminando con un enfoque más preciso en BIM 3D y 4D.

Finalmente, todo este estudio teórico se aplica en un caso práctico donde se analiza el efecto que provoca en la gestión de obra la implantación de ambos sistemas, con respecto a la metodología tradicional, con la obtención final de una simulación en 4D de la obra realizada a partir de la programación resultante de la aplicación de LPS.

**Palabras clave:** Modelado con Información para la Construcción, Construcción sin pérdidas, Sistema del Último Planificador, Planificación 4D, Diseño Virtual y Construcción.

## Abstract

After several years of recession, the construction sector in Spain is starting to become interested in new methodologies, already consolidated in other countries, to improve the building work's management both in the design and the execution parts, as well as the architectural project's realization in a Building Information Modeling environment (BIM), or the application of Lean Construction and its tools, such as the Last Planner System (LPS).

This TFG contemplates the application of Last Planner System (LPS) and BIM 4D, conducting a practical and theoretical analysis, as well as the results after the joint application of both.

In the theoretical framework, a bibliographical revision about Lean and his application on construction, his LPS tool and its methodology, as well as a study about Building Information Modeling, end with a more accurate stance on 3D and 4D BIM.

Finally, the whole theoretical study is applied is applied to practical case, where an analysis is carried out on the effects of the application of both systems on the building work's management regarding the traditional methodology, obtaining a 4D simulation of the realized work based on the programation resulting from the LPS application.

**Word key:** Building Information Modeling, Lean Construction, Last Planner System, 4D, Virtual Design & Construction.

## Agradecimientos

Reconocer en primer lugar que no habría llegado a este momento académico y de madurez personal de no haber sido por la colaboración de todos aquellos que me han prestado su apoyo desinteresado, quedando particularmente en deuda con esa persona que me ha ayudado, cada día, a sacar lo mejor de mí. No debo olvidar a quien, aunque ya no se encuentre entre nosotros, ha sido un pilar fundamental en mi vida y a quienes, en casa, han sabido entenderme y proporcionarme el entorno material y afectivo necesario para progresar en mis estudios.

A todos, muchas gracias.

## Acrónimos utilizados

**AIA:** The American Institute of Architects / Instituto Americano de Arquitectos.

**LPDS:** Lean Project Delivery System (LPDS).

**IPD:** Integrated Project Delivey.

**LPS:** Last Planner System / Sistema del Ultimo Planificador.

**PPC:** Plant Percent Complete / Porcentaje de Plan Completado o Porcentaje de Promesas Cumplidas.

**JIT:** Just In Time / Justo a Tiempo.

**TQM:** Total Quality Management / Control Total de la Calidad.

**BIM:** Building Information Modeling / Modelado con Información para la Construcción.

**CAD:** Computer Aided Design / Diseño Asistido por Ordenador.

**MEP:** Mechanical, Electrical & Plubingc / Conductos, Cables y Tuberías.

**2D:** Two Dimensions / Dos Dimensiones.

**3D:** Three Dimensions / Tres Dimensiones.

**LOD:** Level of Development / Nivel de Desarrollo.

**PDF:** Portable Document Format / Formato de Documento Portátil.

**VD&C:** Virtual Desing & Construction / Diseño Virtual y Construcción.

**LCI:** Lean Construction Institute / Instituto de Lean Construction.

**IGLC:** Internacional Group for Lean Construction / Grupo Internacional de Lean Construcción.

**TPS:** Toyota Production System / Sistema de Producción Toyota.

# Índice

1. INTRODUCCIÓN.....	8
1.1 Antecedentes.....	8
1.2 Motivación del proyecto.....	13
1.3 Objetivos.....	15
1.4 Metodología empleada.....	17
1.5 Plan de trabajo.....	18
2. LA FILOSOFÍA LEAN APLICADA A LA PLANIFICACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN.....	21
2.1 Introducción .....	21
2.2 Filosofía lean.....	23
2.3 Lean Construction.....	27
2.4 Integrated Project Delivery.....	30
2.5 Last Planner System.....	33
3. BUILDING INFORMATION MODELING APLICADO A LA PLANIFICACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN.....	45
3.1 Introducción.....	45
3.2 Building information modeling .....	47
3.3 Las dimensiones de BIM.....	51

4. CASO PRÁCTICO: 4D EN UNA OBRA PLANIFICADA CON LAST PLANNER SYSTEM.....	60
4.1 Introducción .....	60
4.2 Datos de la obra .....	63
4.3 Modelado en BIM del edificio .....	67
4.4 Planificación realizada .....	73
4.5 Aplicación de BIM 4D en el caso de estudio .....	78
5. CONCLUSIONES.....	100
6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFÍA.....	104
7. ÍNDICE DE IMÁGENES.....	107
8. ÍNDICE DE FIGURAS.....	111
ANEXO: GANNTS.....	112

# Capítulo 1.

## Introducción.

### 1.1 ANTECEDENTES.

*Este primer apartado del proyecto tiene como objetivo describir la situación actual en el sector de la construcción, explicando algunos de sus problemas.*

Durante las últimas décadas en España, el sector de la construcción ha experimentado una producción a todas luces excesiva. Se trata de un período caracterizado por el mantenimiento de una siempre creciente oferta de trabajo y la obtención rápida de elevados beneficios; por otra parte, la baja calidad de las obras, sobrecostes y los retrasos en la ejecución fueron características comunes de las obras de este período. Sin embargo, después del boom producido en 2007, este desequilibrio ha comenzado a ser tenido en cuenta y a procurarse su corrección.

Cada vez es más evidente el hecho de que este sector necesita de cambios estructurales profundos. Ya no es posible enfrentar la complejidad de los proyectos actuales con técnicas de diseño y gestión de hace más 15 años. La falta de capacidad de estos sistemas queda reflejado en un estudio realizado por el Construction Industry Institute y el Lean Construction Institute en el año 2004 donde se muestra que hasta el 57% del tiempo, el esfuerzo y el material de la inversión en proyectos de construcción no

añade valor al producto final mientras que en otras industrias de fabricación esta cifra corresponde al 26%.

Para lograr la solución de estos problemas, primero es necesaria su identificación. A continuación se citan algunos de los más comunes.

- **Errores:** A menudo se cometen errores en el desarrollo de los proyectos, pero en lugar de subsanarlos se ocultan, intentando obviar el hecho de que si hay un fallo, éste acabará manifestándose: cuanto más se demora la solución de un problema, más costosa -en términos de tiempo y coste- será su solución. En el siguiente gráfico se visualiza este hecho, y cómo la capacidad de impactar sobre el coste y la funcionalidad es menor conforme avanza el desarrollo de la obra, siendo mucho mayor si el error se detecta en una fase más temprana.

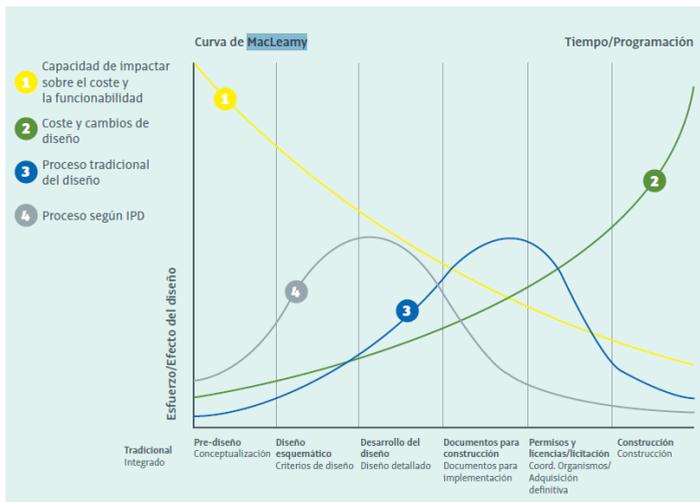


Imagen 1. Curva de MacLeamy. Año 2007. The American institute of Architects (AIA)

- Sobrecostes: Ya sea por retrasos, por partidas no contempladas o por precios contradictorios, es un hecho bastante habitual que los proyectos terminen costando más de lo que se presupuestaron en un principio. Como consecuencia de este incremento de coste, el beneficio de la obra se reduce.
- Falta de adecuación a lo que quiere el cliente: La escasa fluidez en la comunicación entre agentes, debido a un deficiente contacto durante la elaboración del proyecto, puede ocasionar que el resultado final no satisfaga las necesidades u objetivos del cliente. En la siguiente imagen se observa de forma amena, cómo cada agente puede llegar a imaginar de forma diferente el proyecto si no hay comunicación entre ellos.

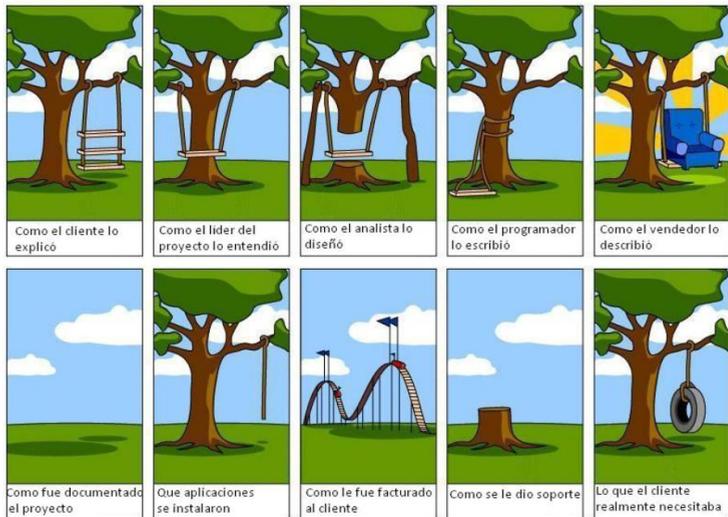


Imagen 2. Interpretaciones de un proyecto según los diferentes agentes. Año 2015.

Fuente: Apuntes gestión integral del proceso. Módulo II. ETSIE UPV.

- Duplicidad de esfuerzos: Ha resultado bastante habitual que las tareas, se realicen más de una vez, porque no se han programado correctamente o simplemente porque no se han analizado o consultado, por ejemplo, mover material de un lugar a otro con la única finalidad de que no moleste. Son actividades que no agregan ningún valor al producto final, por lo que se deben evitar. Sería interesante que en la organización inicial de la obra, se tuvieran en cuenta estos aspectos para tratar de que sea más eficiente.
- Falta de información: Otro de los problemas habituales consiste en que el proyectista no detalle correctamente la información de la obra, que ésta haya sido copiada de otro proyecto y no corresponda con el edificio en cuestión, o que se produzcan incongruencias entre dos planos diferentes y no resulte claro cuál prevalece.
- Seguridad: La tendencia en las constructoras solía ser ahorrar dinero en este campo, sin embargo, esto puede acabar encareciendo el resultado, sea por una sanción a causa del incumplimiento normas, por incidentes o por accidentes graves que afecten a los operarios, generando una paralización temporal de los trabajos con el debido sobrecoste ello implica.

Estos son algunos de las cuestiones por lo que es tan interesante implementar una nueva filosofía de trabajo donde todos los agentes trabajen sinérgicamente y de forma colaborativa, para la solución de los problemas, consiguiendo para el cliente un producto a su entera

satisfacción, ajustado a los parámetros de calidad, precio, plazo y coste establecidos.

## 1.2 MOTIVACIÓN DEL PROYECTO

*A lo largo de este punto se explican las motivaciones y razones que han llevado a la elaboración de este trabajo.*

El presente trabajo se engloba dentro de la modalidad de desarrollo de Proyectos Técnicos de Construcción, y más concretamente en el área dedicada a la gestión. En cuanto a bloques temáticos, este estudio se centra en la parte organizativa de procesos aplicada a la construcción, no obstante, también se ocupa, bien que de manera complementaria, del desarrollo de otras áreas, como son las de calidad, expresión gráfica, ejecución y construcción.

Para la realización de este trabajo se ha contado con la ayuda de María Jesús Lledó Pardo y Fernando Cerveró Romero, quienes me han guiado durante su elaboración, siempre con el objetivo de alcanzar la calidad total.

El presente proyecto supone la culminación de una etapa de estudios que comenzó hace cuatro años, con la matrícula en el grado de Arquitectura Técnica. Con su presentación, querría dejar constancia que no pretendo que sea una mera recopilación de los conocimientos adquiridos durante la carrera, sino una oportunidad para la adquisición de nuevos conocimiento y habilidades. Es por ello que he optado por profundizar en dos campos tan importantes como son la calidad total y las nuevas tecnologías, útiles imprescindibles para corregir en un futuro inmediato e inminente las consecuencias perniciosas ocurridas por descuidar los tres pilares básicos de la construcción: calidad, tiempo y coste.

Se hace evidente la necesidad de un cambio, evitando la repetición de errores. Conocer y utilizar las herramientas que nos pueden ayudar a

gestionar los proyectos actuales es fundamental para la mejora y modernización del sector de la construcción, tan retrasado con respecto a otros sectores punteros como pueda ser el del automóvil. Ha llegado el momento de marcar un antes y un después en la estandarización de los procesos, la planificación de los proyectos, las mejoras en la fase de diseño y un largo etcétera que procure y consiga la calidad en el producto final.

Desearía que el resultado del esfuerzo invertido se acerque a las expectativas del lector.

### 1.3 OBJETIVOS.

*Como su nombre indica, en el siguiente apartado se comentan las metas que se pretenden alcanzar con el desarrollo de este trabajo.*

El objetivo principal que se pretenden alcanzar con este trabajo, no es otro que:

**Analizar qué ocurre en una obra cuando se utilizan herramientas lean combinadas con el modelado de información de edificación y la aplicación del factor tiempo a ese modelo.** En este caso en concreto, las herramientas utilizadas por su aplicación en la fase de ejecución son; Last Planner System (LPS) y Navisworks.

Para poder alcanzar esta meta, antes será necesario cumplir otros objetivos más específicos.

- Estudiar la filosofía lean, conocer en qué consiste y saber qué ventajas tiene para poder determinar si en este caso concreto resultará beneficiosa o no.
- Investigar sobre la metodología de Last Planner System (LPS) y su aplicación en proyectos de construcción.
- Comprender de forma clara que es Building Information Modeling (BIM), pues resulta un término muy amplio y complejo que no siempre se define correctamente y entenderlo de manera adecuada se presenta como un objetivo necesario.

- Conocer los diferentes niveles de desarrollo (LOD) con los que se puede modelar un proyecto.
- Aprender a trabajar con las dimensiones de 3D y 4D de BIM.
- Aplicar los conocimientos adquiridos a un caso práctico real, de una obra de ejecución.

## 1.4 METODOLOGIA DE TRABAJO

*Seguidamente se expone el proceso aplicado en este trabajo.*

Para realizar la elaboración de este trabajo, ha sido necesario dividirlo en dos grandes bloques.

En primer lugar se llevará a cabo una revisión bibliográfica, tanto en la filosofía lean, como en Building Information Modeling, para posteriormente poder desarrollar la parte teórica del trabajo y tener los conocimientos suficientes, con el fin de poder aplicar estos conceptos.

Seguidamente se profundizará en la investigación de la herramienta de Lean denominada Last Planner System y su aplicación a los proyectos de construcción, así como en los software basados en BIM.

Una vez adquiridos los conocimientos necesarios, se aplicará a un caso práctico en el cual se realizará el modelado BIM, la aplicación de la planificación sobre este modelo y posteriormente la construcción virtual, según la planificación realizada de un edificio de viviendas en construcción, en Madrid.

Con ésto se pretende observar cuáles son los resultados de, por una parte realizar el modelado en BIM del edificio para encontrar interferencias que no se hayan detectado en la redacción del proyecto ni en su estudio posterior, ya que los técnicos involucrados trabajan con documentación en dos dimensiones y por otra parte introducir los datos de la planificación realizada con Last Planner System (LPS), al modelo realizado en Building Information Modeling, haciendo una simulación en tiempo real, para conocer si esta visualización ayuda en la ejecución de las obras.

## 1.5 PLAN DE TRABAJO

*Llegados a este punto solo nos queda comentar los pasos que se han seguido para el desarrollo del caso práctico.*

- Revisión Bibliográfica:

Se realizará una revisión bibliográfica sobre la filosofía Lean y su aplicación al sector de la construcción y sobre Building Information Modeling, centrándose en ambos casos en las herramientas y soluciones que existen en cuanto a la planificación.

- Modelado de un edificio en 3D:

Se moldeará el edificio objeto del caso de estudio a partir de los planos en 2D que la empresa constructora proporciona en PDF, realizando un levantamiento virtual del edificio con la ayuda del software Revit de Autodesk. Este paso resulta necesario para alcanzar el objetivo principal de este trabajo, la visualización de la obra en tiempo real.

- Detección y subsanación de interferencias en el modelo:

Mientras se está modelando, se van descubriendo una serie de indefiniciones o interferencias entre diferentes documentos del proyecto, que ayudará a detectar errores que con un sistema tradicional es más difícil.

- Recopilación de todos los datos de la planificación:

Se recopilarán todos los datos relativos a la planificación colaborativa que está implementada en la obra, mediante Last Planner System. Tanto de la planificación inicial resultante de la Pull Session, como de la planificación general a la que se alcanzó tras dos negociaciones, como por último las planificaciones semanales que se han realizado durante el tiempo de redacción del presente trabajo.

- Simulación en tiempo real de la construcción del edificio:

Una vez realizado el modelo BIM en 3D y conocida la planificación de la obra, se añadirá la dimensión del tiempo al modelo. A partir de los diagramas de Gantt facilitados por la constructora, generados en cada una de las reuniones de planificación realizadas aplicando Last Planner System, se aplican al modelo mediante Navisworks y se genera un video en el que se observa cómo el edificio se va construyendo conforme transcurre el tiempo asignado a cada tarea.

- Construcción virtual de una vivienda:

Utilizando el mismo modelo de BIM, se realizará la construcción virtual de una vivienda, dada la peculiaridad con la que el equipo ha planificado la secuencia de actividades del proceso constructivo, para que sea entendida por todos los participantes.

- Conclusiones

Al finalizar el estudio se extraerán una serie de conclusiones respecto a si puede resultar beneficioso aplicar en un edificio las metodologías de trabajo de lean y los softwars de BIM, y si la visualización de un proceso constructivo, en construcción virtual, puede llegar a resultar interesante en la fase de ejecución de obra.

## Capítulo 2.

# La filosofía Lean aplicada a la planificación en la construcción.

### 2.1 INTRODUCCIÓN

*En el siguiente apartado se trata de exponerle al lector los motivos por los cuales resulta interesante la aplicación de una nueva filosofía de trabajo.*

Actualmente la tecnología ofrece un nivel de desarrollo suficiente como para permitir la construcción de edificios con mayores estándares de calidad, más efectivos energéticamente y respetuosos con el medio ambiente. Obras en las que se eliminen los problemas en la fase de ejecución gracias a evitar los fallos en la etapa de diseño y donde desaparezca la incertidumbre del momento de finalización de la obra por la eliminación de los retrasos provocados por una organización ineficiente. Se pueden reducir los costes porque es posible minimizar las pérdidas, y ello con medidas como desestimar tareas no funcionales o ajustar con precisión actividades consecutivas que eviten los molestos tiempos muertos entre una y otra.

Hay que reconocer, no obstante, un problema pertinaz: habiendo herramientas que ayudarían a conseguir una mejora importante en los proyectos y la construcción, todavía no hay determinación para utilizarlas.

¿El motivo? Básicamente, la falta de implicación de los agentes que van a intervenir en el proyecto y carecer de una meta en común, de un sentimiento de equipo.

En contraste con el modelo tradicional, lo que trata de promover la filosofía lean es la participación de todos los agentes de la obra desde las etapas más tempranas de diseño, en orden a conseguir un nivel de detalle que evite las incertidumbres posteriores, buscando equipos de trabajo integrados y colaborativos que tengan un objetivo común y que repartan responsabilidades.

No se trata tanto de implantar bruscamente un cambio de modelo, sino de la introducción paulatina de las nuevas herramientas en la empresa, su implementación en la misma y aprender a utilizarlas de manera adecuada a cada organización o proyecto.

## 2.2 FILOSOFÍA LEAN

*A lo largo de este apartado se pretende introducir al lector en la filosofía lean, desarrollando qué es, cuándo surge y en qué principios se basa.*

El origen de la filosofía lean es el sistema de producción industrial de Toyota o Toyota Production System (TPS). Este sistema demostró su viabilidad cuando acabada la Segunda Guerra Mundial fue capaz de obtener beneficios pese a la gran recesión económica global producida tras el conflicto, gracias a la producción de pequeñas cantidades de una gran variedad de productos frente a la predominante producción en masa que caracterizaba a la época.

Dentro de esta empresa, fue la figura de un ingeniero llamado Taiichi Ohno quien desarrolló este concepto tan innovador, tratando de mantener la menor cantidad de productos en stock, facilitando el incremento de beneficios y la actualización del producto. Expresado de otra manera, si no se mantiene mercancía acumulada, no se precisa lugar para guardarla ni se corre el riesgo de que se deteriore o se quede obsoleta y, lo más importante, se está en condiciones de ofrecer un producto que se adapte a las necesidades del cliente, en el momento que lo pida y según sus demandas específicas.

Sin embargo, no fue hasta 1988 cuando John Krafcik publica un artículo llamado “Triunfo del Sistema de Producción Lean” (Krafcik, 1988), gracias al cual termina de acuñarse el término lean.

Posteriormente, JP Wokmack y Daniel Jones, pioneros en este campo, difunden este concepto a través de sus libros “La máquina que cambió el mundo” y “Lean Thinking” publicados respectivamente en 1992 y en 2003. Como ellos comentan en su manuscrito, Lean (en inglés magro) es una filosofía que propone minimizar las pérdidas durante el proceso de

fabricación, de manera que se le añada valor al producto final, debiendo, por consiguiente, ser eliminadas todas aquellas actividades que utilizan recursos sin incrementar dicho valor. En párrafos posteriores se menciona una clasificación de los principales desperdicios que se dan en los procesos de elaboración de productos.

A partir del éxito de esta filosofía, han sido muchos los estudios realizados sobre la misma, pudiendo extraerse lo esencial del planteamiento lean en 14 principios, que James Morgan y Jeffrey k. Liker recopilan en su libro publicado en Marzo de 2006 “The Toyota Product Development System” (Morgan & Liker, 2006).

- *1. Basar las decisiones de gestión en una filosofía de largo plazo, aún a costa de las metas financieras de corto plazo.*
- *2. Convertir los flujos de procesos en flujos continuos para hacer que los problemas salgan a la superficie.*
- *3. Utilizar sistemas Pull: programación tensa para evitar tareas que no añadan valor.*
- *4. Nivelar la carga de trabajo. (heijunka). (Trabajar como la tortuga, es decir, de una manera constante, y no como la liebre, a golpes).*
- *5. Crear una cultura de gestión a fin de resolver los problemas anticipadamente, para lograr calidad de ejecución a la primera.*
- *6. Las tareas estandarizadas son el fundamento de la mejora continua y de la autonomía del empleado.*
- *7. Usar el control visual de modo que no se oculten los problemas.*
- *8. Utilizar tecnología fiable y absolutamente probada que dé servicio a la gente y los procesos.*
- *9. Hacer crecer a líderes que comprendan perfectamente el trabajo, vivan la filosofía y la enseñen a otros (Kata).*

- *10. Diseñar personas y equipos excepcionales que sigan la filosofía de su empresa.*
- *11. Respetar a la red de socios y proveedores, desafiándoles y ayudándoles a mejorar.*
- *12. Ir a verlo por uno mismo para comprender a fondo la situación.*
- *13. Tomar decisiones por consenso lentamente, considerando concienzudamente todas las opciones e implementarlas rápidamente.*
- *14. Convertirse en una organización que aprende mediante la reflexión constante (Hansei) y la mejora continua (Kaizen).*

Sin embargo, aun sabiendo qué es lean y cómo se aplica, las empresas no terminan de detectar cuándo realizan actividades que no aportan valor al producto final o, sospechando de su existencia, no son capaces de identificarlas, acabando por aceptarlas como buenas prácticas o habituales.

Fue Taiichi Ohno quien descubre o asume que se realizan actividades que no aportan ningún valor añadido. A partir de ese momento, el ingeniero japonés clasifica, para su mejor identificación y solución, en siete categorías las causas de las interrupciones de flujo de trabajo.

- Sobreproducción
- Transporte innecesario
- Exceso de inventario
- Esperas o tiempo de inactividad
- Sobreprocesamiento
- Defectos de calidad
- Movimientos innecesarios



*Imagen 3. Los siete desperdicios. Año 2007. Fuente: Jose Manuel Yagüe.*

Posteriormente otros autores han hablado sobre el tema, añadiendo un desperdicio más a los establecidos por Taiichi Ohno en su día. Por ejemplo Enrique Muñoz, en el año 2013 publicó un artículo “Los 8 desperdicios del Lean Manufacturing” (Muñoz, 2013), en el que habla de un octavo desperdicio correspondiente al potencial humano o talento. Esto se puede resumir en asignar tareas a personas que no estén capacitadas para ello, o por el contrario, que tengan una capacidad muy superior, por lo que no se aprovecha todo su potencial.

Por tanto, analizar los procesos de producción teniendo en cuenta este listado de desperdicios posibilita encontrar qué se hace de manera inadecuada y, por tanto, intervenir directamente sobre el problema, corrigiéndolo.

## 2.3 LEAN CONSTRUCTION.

*En esta sección se desarrolla la aplicación de la filosofía lean al sector de la construcción, analizando en qué momento se puede intervenir a lo largo de la vida de un edificio y qué herramientas utilizar en cada situación.*

Lean Construction consiste en la aplicación de la ideología lean y sus técnicas a lo largo del ciclo de vida de un proyecto de construcción.

Como define Juan Felipe Pons en su libro publicado en 2014 “Introducción a Lean Construction” (Pons 2014), este pensamiento abarca: *la aplicación de los principios y herramientas Lean al proceso completo de un proyecto desde su concepción hasta su ejecución y puesta en servicio. Entendemos Lean como una filosofía de trabajo que busca la excelencia de la empresa, por lo tanto, sus principios pueden aplicarse en todas las fases de un proyecto: diseño, ingeniería, pre-comercialización, marketing y ventas, ejecución, servicio de postventa, atención al cliente, puesta en marcha y mantenimiento del edificio, administración de la empresa, logística y relación con la cadena de suministro.*

Este nuevo concepto surge de manos de Lauri Koskela en 1992 cuando presenta el estudio “Application of the new production philosophy to construction” (Koskela, 1992), donde después de analizar los principios y aplicaciones del Just In Time (JIT) o justo a tiempo y del Total Quality Management (TQM) o control total de la calidad, identifica las bases de esta nueva ideología, empeñado en la consecución de un flujo continuo de trabajo y una mejora de la productividad. Posteriormente, en 1997, surge el Lean Construction Institute (LCI) una organización sin fines de lucro cuyo objetivo es aplicar los principios de Lean en sus proyectos. A partir de ese momento aparecen diferentes asociaciones en todo el mundo con el objetivo de difundir dicha filosofía, como por ejemplo el

Spanish Group for Lean Construction, fundado por un conjunto de profesores y estudiantes que tratan de conectar a investigadores, empresas y profesionales del sector interesados en aplicar Lean en sus proyectos. A día de hoy este grupo forma parte de la comunidad de lean construction internacional (IGLC) y se compone de más de 1500 personas de todo el mundo

La adaptación de la filosofía lean al sector de la construcción se realiza mediante la aplicación de algunas de las herramientas que la componen, tales como el Last Planner System (LPS) o último planificador –la más utilizada-, el Integrate Project Delivery (IPD), Project Delivery System (LPDS) o el Integrate Costing (IC) o coste objetivo.

Señalar que, además de estos métodos de trabajo mencionados, el software también ha evolucionado considerablemente, ayudando en gran medida al desarrollo de proyectos, hasta tal punto que actualmente se ha convertido en imprescindible el uso del Building Information Modeling (BIM), todavía no en España, pero sí en otros países más avanzados como en Estados Unidos Relaciona el BIM como la filosofía que facilita la aplicación de IPD y LPDS. Por tanto, para concretar la equiparación a esas vanguardias se impone la aplicación tanto de las técnicas de gestión y planificación modernas como de los soportes informáticos actuales. En la siguiente figura se observan algunas de las herramientas que podemos aplicar en las diferentes fases de un proyecto, tanto de software como de Lean.

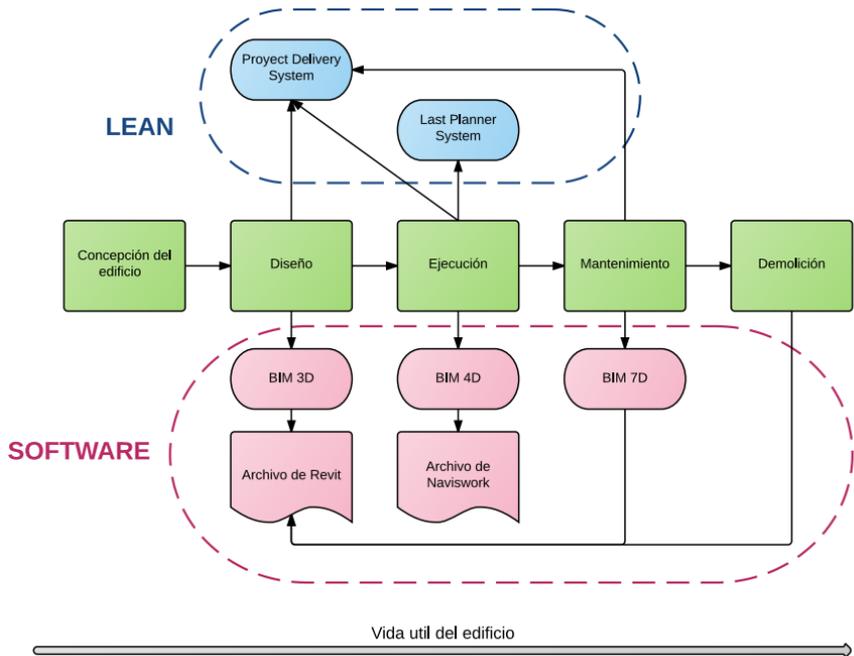


Figura 1. Tecnología y filosofía durante la vida útil de un edificio. Año 2015. Elaboración propia

Como se desprende del esquema, y cualquiera que sea la herramienta utilizada, la optimización de los parámetros de tiempo, calidad y coste pasan necesariamente por una ajustada organización. Y aunque el propósito principal de este estudio se centra en la parte de ejecución, es preciso tratar, aunque de forma general, el Integral Project Delivery.

## 2.4 INTEGRATED PROJECT DELIVERY.

*En esta sección se habla sobre una de las herramientas de lean que se aplican desde la fase de diseño, ampliándose a las demás fases del proyecto.*

El Lean Project Delivery System (LPDS) es una herramienta de lean que se aplica desde la fase de diseño y se prolonga durante la ejecución de la obra y el mantenimiento del edificio, por lo que se considera un método integrador que ofrece una visión de conjunto de todas las fases del proyecto. *El objetivo que persigue este sistema no es otro que el de emplear un equipo en todo el proceso para alinear fines, recursos y restricciones, por tanto, la diferencia principal con respecto a un sistema tradicional se puede observar en las fases.* (Pons, 2014).

Mientras que, tradicionalmente, los proyectos se concebían como pre-diseño, diseño, contratación y ejecución, el LPDS redefine esta cadena para darle un enfoque diferente en el que tanto las fases como los participantes en cada una de ellas cambia para lograr un proceso colaborativo en la gestión integral. Las etapas resultante son; definición del proyecto, diseño lean, suministro lean, ensamblaje lean y uso.

Una evolución de LPDS, ha dado como resultado el Integral Project Delivery (IPD) o gestión y ejecución integrada del proyecto, como afirman Matthews. O y Howell. G. A. en su artículo de 2005 "Integrated project delivery an example of relational contracting" (Matthews & Howell, 2005). Esta herramienta ayuda a ensamblar personal, estructuras y sistemas en un proceso que trata de conseguir calidad con la ayuda del punto de vista y el talento de todos los participantes. Para lograrlo, el IPD junta desde las primeras etapas al propietario o promotor con los diseñadores, el

contratista, los subcontratistas, los proveedores, logrando con este método una colaboración excepcional.

En los siguientes dos diagramas, se muestra el momento en el que comienzan a intervenir los agentes al proceso constructivo, tanto en un sistema tradicional como uno en el que se ha realizado utilizando el Integral Project Delivery, pudiéndose observar en este último que la mayoría de los agentes intervienen desde las etapas iniciales del proyecto con el fin de poder definir el proyecto mucho mejor, resolver problemas, así como concienciarse de las características del proyecto.

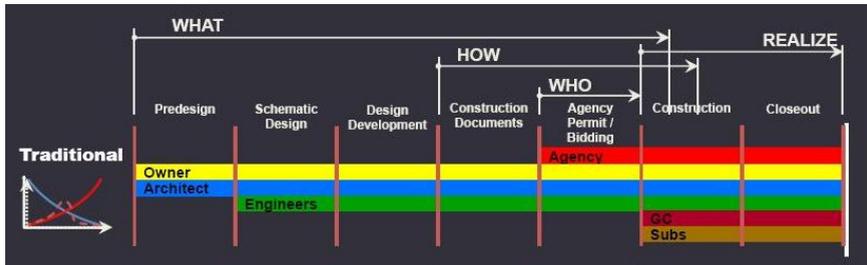


Figura 2. Proceso tradicional de diseño. Año 2007. Fuente: *Integrated Project Delivery: A Guide*

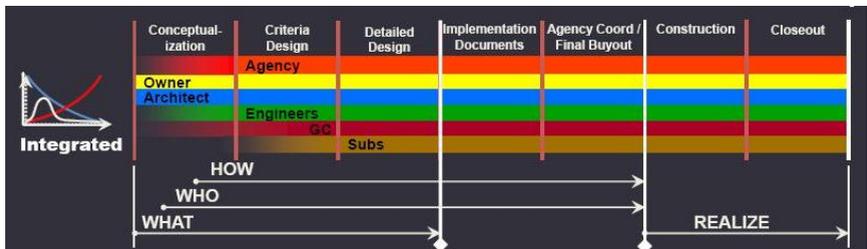


Figura 3. Proceso integral de diseño. Año 2007. Fuente: *Integrated Project Delivery: A Guide*.

Puntualizar que como comentan Forbes, L. H., & Ahmed, S. M en su libro publicado en 2010 “Modern construction: lean project delivery and integrated practices” (Forbes & Ahmed, 2010), para la correcta utilización de este recurso no basta con juntar a todos los agentes en el comienzo del proyecto, sino que es necesario que todos ellos sigan los principios del IPD. Dichas bases son:

- Respeto mutuo y confianza
- Beneficio mutuo y recompensa
- Innovación colaborativa y toma de decisiones
- Participación temprana de los participantes
- Definición temprana de los objetivos
- Planificación intensificada
- Tecnología adecuada
- Organización y liderazgo

Con todo ello se consigue un ambiente de trabajo en el que se propicia el intercambio libre de ideas entre los participantes independientemente del rol que ocupen, por lo que el talento de cada persona es aprovechado al máximo. Esto provoca que la figura de jefe cambie por la del líder, lo que, unido a una cultura de no identificar culpables, hace que la calidad de los trabajos de este equipo colaborativo sea superior a los resultados de los equipos individuales tradicionales.



*Imagen 4: Diferencia entre un jefe y un líder. Año 2014. Fuente: Facebook of Spanish Group For Lean Construction.*

## 2.5 LAST PLANNER SYSTEM. METODOLOGÍA.

*Una vez introducida la filosofía, en este apartado se trata de explicar y familiarizarse con una de sus herramientas más utilizadas en la construcción, en concreto el Sistema del Último Planificador o Last Planner System, que es la que ha sido utilizada en el caso práctico.*

A pesar de las ventajas manifiestas de la aplicación de la filosofía lean en los procesos constructivos, puede resultar difícil su implantación en un sector, de enfoque tan tradicional y reacio a los cambios. Por ese motivo empezar con un tipo de herramienta sencilla y que de resultados en poco tiempo puede resultar una buena manera de introducir lean en las empresas.

La herramienta planteada en este caso es el último planificador o Last Planner System (LPS), una de las técnicas más conocidas y divulgadas dentro del lean, que se presenta como un excelente recurso para dar a conocer la nueva metodología de trabajo ya que es totalmente compatible con los diagramas de barras y redes usados tradicionalmente, enriqueciendo y mejorando la programación inicial al lograr un mayor rendimiento y efectividad en el cumplimiento de los plazos de entrega.

Como explica Herman Glenn Ballard en su tesis doctoral “The Last Planner System of production control” en el año 2000 (Ballard, 2000), el LPS es un sistema de gestión y control de proyectos de construcción que fue desarrollado por él en 1992, aunque no fue hasta el año siguiente, en 1993, que escribió un documento sobre este tema y lo publicó en el Grupo Internacional de Lean Construcción (IGLC). Este sistema de trabajo tiene como objetivo mejora sustancialmente el cumplimiento de actividades y la correcta utilización de recursos de los proyectos de construcción.

Puntualizar que el uso de esta herramienta no conlleva ninguna dificultad conceptual o de aplicación, puesto que no es más que una técnica sencilla que facilita el establecimiento de un flujo continuo de trabajo, siendo la participación de los agentes y trabajadores el factor determinante para que su implementación sea una realidad. No obstante, aunque parezca un requisito sencillo, romper la inercia del “yo siempre lo he hecho así” acaba siendo el principal obstáculo para su aceptación.

El siguiente diagrama muestra la diferencia entre una planificación en la que se ha aplicado LPS y otra en la que no. A simple vista es posible observar que la figura de la izquierda, ajena a lean, la distribución es mucho más desordenada que la de la derecha, donde ya se ha aplicado. En los siguientes apartados se explicará con detalle la causa de tal diferencia y qué pasos se deben seguir para que nuestra organización se parezca a la segunda imagen en vez a la primera.



*Figura 4. Filosofía de la planificación usual.  
Año 2011. Fuente: Revista obras públicas*



*Figura 5. Filosofía de planificación Lean.  
Año 2011. Fuente: Revista obras públicas.*

## PLANIFICACIÓN TRADICIONAL.

*En la gestión tradicional, jefes de terreno, capataces y otras personas que participan directamente en la ejecución del trabajo planifican las tareas a ejecutar en función de aquello que DEBE ser hecho, dando por supuesto que los recursos necesarios estarán disponibles cuando se precisen, sin tener en consideración si realmente PUEDE ser hecho (Sanchis 2013).* Esto queda reflejado en la imagen de la derecha, donde se observa que el PUEDE y el SE HARA no coinciden. Obviamente este sistema no es viable y conlleva que la planificación no se adapte a la realidad de la obra, con la consiguiente demora en tiempos de ejecución.

Son diversos los motivos susceptibles de provocar esta paralización en el flujo de trabajo, aunque su origen común es la falta de planificación. Por ejemplo, la causa por la que no sea posible realizar una actividad se puede deber a que dependa de otras que aún no se han terminado (actividad no liberada), que falte alguna definición para poder acometerla, que no se disponga del material necesario en obra porque se ha pedido demasiado tarde a los suministradores, o que, teniendo el material preciso, falte mano de obra porque está realizando otra tarea.

Esta organización ineficaz es el resultado de elaborar un único Planning General, habitualmente en diagrama de Gantt, para toda la obra realizado en etapas tempranas de construcción, no actualizándose cuando se producen modificaciones y, consecuentemente, desajustándose de la realidad. Así, desde el momento en que se desconoce qué va a ocurrir, aparece la incertidumbre y se interrumpe el flujo continuo de trabajo, con su respectivos retrasos, entrega de obras fuera de plazo, penalizaciones y, en definitiva, sobrecostes del proyecto.

Por tanto, es necesario dejar de continuar ejecutando sin planificar y empezar a asumir que si no se prevé con anterioridad, una vez en la obra no se podrá realizar todo lo que está previsto hacer.

### **Planificación con lean: Last Planner System**

Como explica Luis Fernando Alarcón en su artículo “La gestión de la obra desde la perspectiva del último planificador” publicado en la revista Ciencia y Técnica de la Ingeniería Civil (Alarcón 2011), esta filosofía de trabajo supone un cambio sustancial con respecto a la manera de organizar las obras. Mientras que, tradicionalmente, se establecía en primer lugar lo que se iba a hacer y, una vez iniciada la actividad, comprobar si realmente se podía llevar a cabo, con el LPS la manera de relacionar las actividades cambia, pues el objetivo ya no es empujar sino tirar de las mismas. Esto quiere decir que la obra empieza a organizarse de atrás hacia delante: primero se planifica lo que debería hacerse para terminar la obra, posteriormente lo que realmente se puede hacer y, al final, se concreta qué es lo que se hará en función de los medios disponibles.

El objetivo primario de este método es conseguir un flujo continuo de trabajo que permita reducir la incertidumbre y los consiguientes retrasos en obra. En este sistema, la planificación original sirve de guía para conocer todas las actividades que aparecerán a lo largo de la obra y su duración. Como indica Inmaculada Sanchis (Sanchis, 2013) en su trabajo final de grado: *desde el programa general cuyas actividades son generales y de larga duración, se aumenta el nivel de detalle y se acorta la duración de las mismas conforme pasamos al programa a corto plazo y al programa semanal.*



Figura 6. Variación del grado de detalle en la planificación. Año 2013. Fuente: José Luis Ponz.

El resultado de tal planificación mucho más detallada es que todo lo que está programado que se haga realmente puede hacerse, aunque después haya que enfrentar las circunstancias que dictarán que se ejecute más o menos trabajo. Esto implica que, llegado el momento de realizar una actividad, todas las que la preceden estarán terminadas, los materiales necesarios, solicitados con la suficiente antelación, estarán en obra y habrá mano de obra disponible.

¿Qué es, por tanto, lo fundamental del sistema? Que el conjunto de actividades que se “puedan” realizar sea lo más numeroso posible para añadirlas en la planificación semanal y que la obra avance. Además, el sistema permite que, si se concluyen todas las actividades programadas antes de lo previsto, se disponga de un colchón de actividades liberadas cuya realización mantenga ininterrumpido el flujo de trabajo.

## Fases de la planificación LPS

El LPS se sirve de tres fases para controlar el avance de la obra de una manera minuciosa y evitar los retrasos. En este apartado explicaremos con detalle cuál es el objetivo y alcance de cada etapa, qué tipo de planificación debe desarrollarse en cada una y con qué frecuencia debe realizarse. Para ello nos apoyamos nuevamente en el artículo que Luis Fernando Alarcón publicó en la revista Ciencia y Técnica de la Ingeniería Civil en el año 2011 “La gestión de la obra desde la perspectiva del último planificador”.

- 1ª FASE: El objetivo de esta primera etapa es el de reunir a todos los agentes intervinientes en el proceso constructivo en una reunión, cuyo propósito es elaborar una planificación general de la obra, en la que aparezcan todas las actividades que los últimos planificadores necesitan para realizar la edificación, sus dependencias y su duración. De esta forma, en esta primera reunión, se consigue el compromiso del equipo con la planificación resultante, en cuanto a secuencia y duraciones. Si en esta primera reunión no se alcanza la fecha objetivo, se realizarán otras reuniones, denominadas “negociaciones”, en las que el equipo revisa la secuencia, los solapes entre actividades y sus duraciones, para tratar de elaborar el Plan Maestro, que se ajuste a la fecha comprometida, al tiempo estimado de realización de los trabajos.

Se trata, por tanto, de una programación a largo plazo con poco detalle que se realizará una única vez al principio de la obra.

Este programa será revisado cuando se lleven a cabo las otras dos fases (intermedia y semanal) y podrá ser modificado por éstas.

- 2ª FASE: En esta etapa se realiza una planificación intermedia de la obra o programación a medio plazo. El alcance puede variar, pudiendo analizar una ventana en la planificación de 6 semanas a 2 meses vista.

En esta fase, los agentes que van a intervenir en algún momento durante este período, se reúnen y analizan cada actividad de manera detallada, identificando suministradores, agentes encargados de la seguridad, ensayos que se deban realizar y sus permisos correspondientes, actividades que la preceden... Una vez se han clarificado todos estos puntos se está en disposición de detectar dónde están los cuellos de botella o restricciones y eliminarlos.

En resumen, el objetivo de esta fase es conseguir una lista de actividades que “puedan” hacerse, es decir, que estén liberadas y se genere el flujo.

- 3ª FASE: Es una programación a corto plazo que se hace una vez a la semana. Para realizarla, los capataces, los encargados, los subcontratistas, los jefes de personal... se reúnen y organizan las actividades a realizar la semana siguiente, con la peculiaridad de que todo lo que se diga que se va a hacer realmente puede hacerse ya que estarán liberadas las restricciones.

Al organizar la programación semanal lo que se pretende es definir “qué se hará” en función de lo previsto en el plan maestro y “lo que sea posible hacer” según la planificación intermedia. Además, los agentes se hacen responsables de que se ejecute lo programado, adquiriendo un nuevo nivel de compromiso que refuerza el nivel de implicación que potencia, a su vez, la efectividad del trabajo y se generan las promesas del equipo.

- Para finalizar el ciclo, o lo que podría ser la 4ª FASE, se realiza un control de lo que se ha ejecutado durante la semana a través del porcentaje del plan completado o PPC. Éste se lleva a cabo al finalizar el período semanal y antes de planificar el siguiente, permitiendo detectar qué porcentaje de lo planeado se ha alcanzado. También se aprovecha para analizar las causas de los eventuales incumplimientos de la programación y se buscan soluciones para que, gracias a la mejora continuada tras cada chequeo, dichos contratiempos no se repitan.

Para finalizar este apartado, y a modo de resumen, en el siguiente cuadro sinóptico se muestra en qué fase se establece lo que debería hacerse, puede hacerse y se hará.

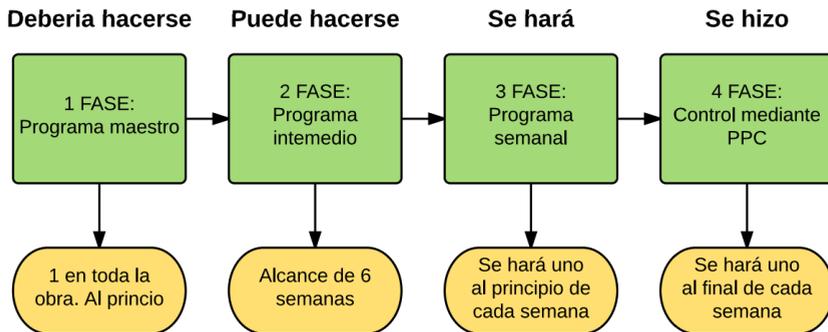


Figura 7. Fases y alcance de Last Planner System. Año 2015. Fuente: Elaboración propia.

### Cómo realizar estas reuniones.

Con la colaboración de los tutores de este proyecto, M<sup>a</sup> Jesús Lledó Pardo y Fernando Cerveró Romero y gracias a su experiencia implementando Last Planner System en diferentes obras, se ha podido definir el modo de proceder en estas reuniones, sintetizándolo en los siguientes párrafos.

Las reuniones iniciales, se realizan para la **elaboración del Plan Maestro, para ello**, todos los intervinientes del proceso constructivo se reúnen en una sala habilitada para las reuniones de Last Planner System, que se denomina “Big Room”, para realizar en primer lugar la Pull Session o primera reunión de planificación, donde se establece el compromiso del equipo. Esta reunión no suele llevar más de 4 ó 5 horas y en ella se planifica, en líneas generales en cuanto a definición de las actividades, toda la obra. Este tipo de reunión se realiza una única vez a lo largo de toda la obra. Para alcanzar la fecha requerida, en el caso de que en la Pull Session no se haya conseguido, se convocarán nuevas reuniones o reuniones de negociación, en la que se trata de ajustar entre todo el equipo las actividades en cuanto a solapes, duraciones y secuencia.

Las **reuniones semanales** se suelen organizar en la “Big Room” o habitación grande, pudiendo realizarse en la misma caseta de obra si ésta cuenta con el espacio suficiente para albergar a todos los participantes. Es recomendable que esté situada lo más cerca posible del lugar de la obra y que los encuentros no sean superiores a 2 horas. Se suelen realizar al final de la semana para poder repasar lo realizado en la semana en curso, actualizar el Plan Maestro y poder planificar la semana siguiente.

En esta misma reunión semanal, se repasa la planificación intermedia, es decir la ventana en la planificación, a seis semanas vista (habitualmente), para tratar las restricciones que van surgiendo y liberarlas si es posible en

la misma reunión o conseguir el compromiso de liberación para la fecha requerida.

Aquí es muy importante el trabajo colaborativo, suponiendo un gran cambio con respecto al sistema tradicional donde una única persona se encargaba de planificar la obra mediante una red de flechas o un diagrama de Gantt. Ahora, la programación es el resultado de un equipo colaborativo que trabaja conjuntamente y son ellos mismos los encargados de ejecutar dichas tareas.

En la siguiente imagen, se puede ver una instantánea de cómo se trabaja en estas sesiones con la ayuda de pizarras y post-its.



*Imagen 5. Programación en colaboración. Año 2010. Fuente: Trabajo final de master de Fernando Cervero Romero*

### Ventajas de utilizar Last Planer.

Como comenta Pedro Botero Toro en su trabajo final de carrera “Un proyecto en marcha con Last Planner System” (Botero, 2014), en las obras en las que se ha implementado LPS, se han realizado las reuniones iniciales y las reuniones semanales, se ha detectado que se consiguen las siguientes ventajas:

- Se consigue entregar los proyectos en la fecha acordada, lo que evita los sobrecostos derivados de los retrasos, hecho bastante habitual con el sistema tradicional.
- Disminuyen los pedidos urgentes a los proveedores gracias a la planificación y, por consiguiente, disminuyen en la misma medida los atrasos por falta de material.
- Mayor productividad de los procesos.
- Aumenta la implicación de los agentes intervinientes y aparecen objetivos conjuntos que reducen la preocupación por los propios beneficios.
- Se mejora la gestión y el control de los proyectos, ayudando a crear un flujo continuo de trabajo y eliminando la incertidumbre.

Antes de cerrar el presente capítulo, incidir en que, si bien la resistencia al cambio es grande, conforme se aplican los métodos de trabajo de la filosofía lean se produce una mejora sustancial de los resultados, lo que acelera la implicación de los agentes, de tal manera que, alcanzados los

objetivos iniciales, se mantiene la progresión hacia la correcta implementación del sistema. Por esta razón la mejora continua y la constancia son dos conceptos importantes que no se deben dejar de lado.

# Capítulo 3.

## Building Information Modeling aplicado a la planificación en la construcción.

### 3.1 INTRODUCCIÓN

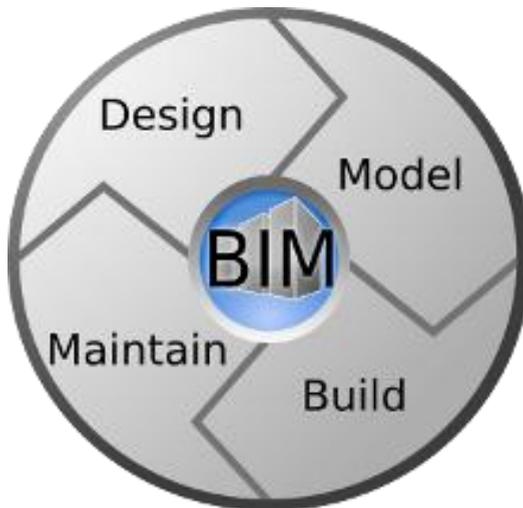
*A continuación, se comenta brevemente las características más relevantes del building information modeling a modo de introducción.*

Ya se han comentado los beneficios incuestionables de una buena organización; en este capítulo se tratará la ayuda específica que pueden aportar algunas de las herramientas informáticas presentes hoy en día en el mercado.

Uno de los objetivos actuales en el sector de la construcción es el de conseguir un modelo donde toda la información este coordinada. Esto es posible obtenerlo gracias a la llegada de metodologías y herramientas BIM (Building Information Modeling) que representa nuevas formas de diseñar, planear, ejecutar y operar proyectos de construcción, gracias a que elaboran un único archivo en el que se introduce toda la información.

Sin embargo, lo que resulta realmente novedoso de este sistema son las nuevas dimensiones que está aportando dentro de un mismo modelo.

Con todo esto es fácil de intuir que BIM marcará una nueva era en el sector de la construcción, pues con todas las dimensiones que incorpora es posible documentar cada proyecto durante toda su vida útil, y es que los edificios son grandes infraestructuras que hay que mantener por un largo período de tiempo y que no se deben descuidar una vez terminada su construcción. Su mantenimiento y conservación es una tarea primordial que debe de empezar a tenerse en cuenta de una manera mucho más rigurosa.



*Imagen 6. Campos de aplicación de BIM. Año 2009. Fuente: Artículo, BIM – How do you know?*

### 3.2 BUILDING INFORMATION MODELING

El objetivo de este apartado es explicar qué es el BIM y los beneficios de su empleo en el sector de la construcción.

#### ¿QUE ES BIM?

Antes de nada se hace necesario explicar este concepto tan importante hoy en día dentro del sector de la construcción. Tal como expone Eloi Coloma en su libro “Introducción a la tecnología BIM” (Coloma, 2008): *BIM es el acrónimo de Building Information Modeling (modelado de la información del edificio) y se refiere al conjunto de metodologías de trabajo y herramientas caracterizado por el uso de información de forma coordinada, coherente, computable y continua; empleando una o más bases de datos compatibles que contengan toda la información en lo referente al edificio que se pretende diseñar, construir o usar.*

Esta nueva metodología de trabajo se caracteriza por:

- Única base de datos: Tal como explicaba Javier Alonso Madrid en una conferencia del colegio oficial de Arquitectos de Madrid en el año 2012 (Alonso 2012), BIM no es un único software, ni un modelo en 3D, ni una base de datos, sino que es una metodología de trabajo que engloba éstos y otros muchos conceptos. Se basa en la acumulación de información para poder elaborar un modelo virtual único, que adquiere un mayor nivel de detalle según avance el proyecto para que posteriormente genere y produzca más información.

- Diseño paramétrico: Esto implica la interconectividad entre todos los elementos de un mismo modelo, que permiten que al desplazar un objeto este lo haga en todo el proyecto.
- Interoperabilidad entre diferentes programas: Esto se define como la capacidad de compartir datos y posibilitar el intercambio de información y conocimiento entre diferentes herramientas.

## ORIGEN

El origen del término BIM es relativamente nuevo, no obstante, el significado de este concepto ya se viene utilizando desde hace años. Fue en 1975 cuando empiezan a verse las primeras publicaciones sobre el tema, como la de Charles, M por la American Institute of Architects (AIA). Sin embargo, fue algunos años después cuando Jerry Laiserin popularizó este término.

Actualmente son cada vez más las empresas que están integrando este tipo de software, no obstante, aún falta mucho por hacer. La situación idílica no sería otra que apostar por la innovación tecnológica en el sector para adaptarse a las exigencias de los retos actuales, de manera que a medida que el software evoluciona, los profesionales lo hagan con él.

Países como Inglaterra ha apostado por este tipo de desarrollo, mediante la implantación de BIM de manera obligatoria, en todos los proyectos de obras públicas a partir de 2016.

## CLASIFICACIÓN: NIVEL DE DESARROLLO

Una vez sabemos que es BIM y de donde viene, es necesario hablar de cómo clasificar los proyectos realizados con este tipo de software, para ello a continuación se explica el Level of Development (LOD) o nivel de desarrollo

Según se explica en el blog titulado BIM y VDC para profesionales del sector, este concepto ha ido cambiando con el tiempo, pues en un primer momento esta abreviatura hacía referencia a nivel de detalle. Este cambio realizado por el American Institute of Architects (AIA) supone dejar de contabilizar la cantidad de información que se introduce en un proyecto para pasar a definir cinco categorías según el objetivo para el que se ha elaborado el modelo. Los niveles de desarrollo que se establecen son:

- LOD 100: Es un nivel de detalle muy general donde únicamente se define la geometría que tendrá el edificio, el área y la orientación. Con esto se trata de dar una visión muy general de cómo puede llegar a ser el edificio.
- LOD 200: Aunque sigue siendo un modelo general, en este nivel se tratan de matizar otros aspectos como tamaño, magnitudes aproximadas, forma o localización.
- LOD 300: Alcanzar este nivel supone que el proyecto empieza a definirse de un manera mucho más precisa, aunque sigue sin estar completo. En este punto, la geometría del edificio es precisa y el modelo empieza a ser capaz de dar información.

- LOD 400: Contiene suficiente información como para que el elemento realizado pueda fabricarse o construirse. Las mediciones deben ser exactas.
- LOD 500: En este último nivel el edificio ya se ha construido y el modelo virtual será una representación completa y verdadera sobre la que se ha construido. El uso que se le da a este tipo de archivo es para el mantenimiento del edificio e instalaciones.

Los límites de cada nivel de desarrollo se pueden ver de manera clara en la siguiente imagen:



*Imagen 7. Nivel de desarrollo de un proyecto. Año 2015. Auditoría técnica y legal de archivos BIM.*

### 3.2 LAS DIMENSIONES DE BIM

A continuación se explican con detalle algunas de las dimensiones que se pueden encontrar en un modelo BIM.

Se está acostumbrado a trabajar en dos dimensiones y complementar esta información con una memoria, un presupuesto y una planificación, pues bien, lo que permite BIM es juntar toda esta documentación en un solo archivo de manera que cuando se cambie un dato, éste se actualice en todo el proyecto, consiguiendo más fiabilidad de los planos y presupuestos aún en momentos avanzados de la obra. Esto es posible gracias a las nuevas dimensiones que desarrolla BIM, que son; 3D (diseño), 4D (tiempo), 5D (coste), 6D (eficiencia energética) y 7D (libro del edificio). A lo largo de este punto se desarrollaran las dos primeras, puesto que son las más utilizadas actualmente.



Figura 8. Dimensiones de BIM. Año 2014. Fuente: BIM me! Otro sitio más de BIM

### **3D: ESPACIO**

Como comenta Eloi Coloma en su libro “Introducción a la tecnología BIM” (Coloma, 2008), si comparamos la arquitectura con la industria, se observa que el sector de la construcción se está quedando retrasado, pues sigue empleando las mismas herramientas de hace 15 años. El sistema, revolucionario en su día, que sustituyó el dibujo sobre papel por los planos virtuales mediante la utilización del diseño asistido por ordenador (CAD), permitía la rectificación de errores de una manera mucho más rápida y limpia, y una mejora del rendimiento. Pero lo cierto es que este software es limitado, pues únicamente cambia el soporte sobre el que se modela sin aportar más información, por lo que las vistas siguen sin estar conectadas y el número de errores todavía es elevado.

Ante este tipo de problemas surgen nuevos softwares capaces de dar solución mediante el uso de modelos únicos que contienen toda la información. Entre este tipo de herramientas podemos destacar Autodesk (Revit), Graphisoft (ArchiCAD), Bentley y Nemetschek (Allplan), solo por mencionar algunos.

Cabe destacar la importancia del 3D a la hora de gestionar un proyecto con herramientas BIM. Esta primera dimensión es la más importante ya que supone un punto de partida y base para todas las demás, por lo que es primordial tener claro el uso final que se le vaya a dar al modelo, en función de lo cual se planteará el diseño.

Como enumera Óscar Arenal en el artículo “BIM. La Herramienta del Presente... más que del Futuro...” (Arenal, 2012), las ventajas derivadas del uso de herramientas BIM a lo largo de la elaboración de proyectos en 3D son:

- Al trabajar sobre un único archivo disminuyen considerablemente las discrepancias de información entre los diferentes planos del proyecto. Por ejemplo, donde más efectivo se manifiesta un modelo (en cuanto a incongruencias se refiere) es en la parte de MEP (mechanical, electrical & plumbing).  
Normalmente se trabaja con archivos en el que el solapamiento entre estructura e instalaciones no se detectaba hasta la fase de ejecución, donde provocaba problemas de difícil solución, con esta herramienta se detecta inmediatamente, por lo que la solución resulta fácil, rápida y económica.
- Por otra parte, este tipo de software (para modelar en 3D), al ser una de las herramientas de BIM, posteriormente puede completarse con otras que ayudan considerablemente a la hora de medir la obra con una precisión exacta. O simplemente, va integrada dentro del mismo programa de modelado.
- Otro punto muy importante es el hecho de que modelar en 3D, permite introducir información sobre cada material que se va a utilizar. Por tanto, si el modelo se desarrolla de manera adecuada, el grado de detalle del proyecto es infinitamente mayor que en 2D, en el que se necesita por un lado de los planos y, por otro, de la memoria y demás documentos del proyecto para figurar la idea completa del edificio a construir.  
A continuación se demuestra la diferencia de concepto (además de la calidad gráfica) que supone un elemento dibujado en 2D y otro dibujado con un programa de dibujo en 3D con la ayuda de las siguientes imágenes:

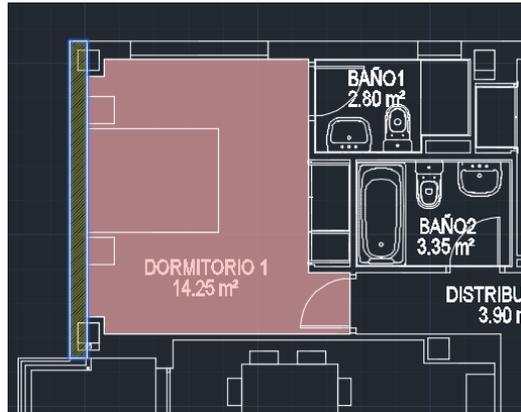


Imagen 8. Dibujo realizado con CAD. Año 2015. Fuente: Elaboración propia.



Imagen 9. Dibujo realizado con Revit. Año 2015. Fuente: Elaboración propia.

La diferencia de información entre una y otra es, aparentemente, inapreciable, pero nada más lejos de la realidad.

La primera imagen, realizada con Autocad (2D), lo que muestra son líneas que representan muros, puertas y otros elementos

constructivos sin ningún tipo de información extra que no esté relacionada con su visualización a la hora de ser interpretada o impresa.

Estas mismas líneas, en un modelo 3D como Revit o Archicad significan mucho más: son muros con una serie de características técnicas, unas puertas con unas dimensiones y un fabricante, una habitación con una orientación específica... es decir, hay mucha más información sobre algo que es aparentemente lo mismo.

- Produce un gran ahorro de tiempo, puesto que cuando se modifica un elemento, éste se actualiza en todo el modelo de manera automática, evitándose de esta forma los archivos desfasados. Además elaborando un buen modelo se puede reducir considerablemente el tiempo en las etapas posteriores: documentación y coordinación, como se muestra en la imagen.

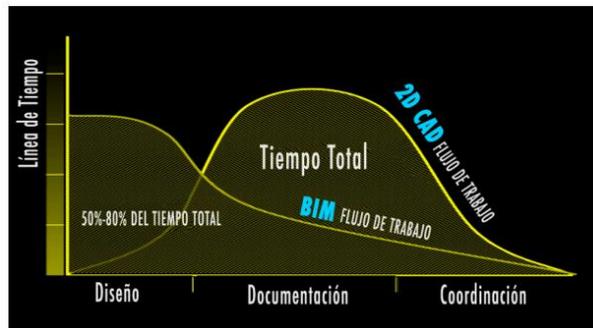


Imagen 10. Distribución de tiempos en BIM y CAD. Año 2014.

Fuente: Gabener, Gabinete Técnico y Consultoría Energética

- Y, ya para finalizar, unas palabras sobre la característica más conocida de este programa: la visualización en 3D. Esta poderosa herramienta permite, antes de que la obra esté terminada, observar el resultado final. Gracias a este modelo en tres dimensiones, es posible hacer pruebas virtuales con diferentes tipos de material, simulaciones energéticas o simplemente estudiar si el diseño final adoptado cumple con las exigencias del cliente.

## 4D: TIEMPO

Hoy en día, lo más novedoso en planificación, gestión y presentación de proyectos, es la simulación en 4D (3D más planificación temporal), cuyo objetivo principal es el de definir una visión general del plan de construcción.

Como explica Eugenio Rodríguez en su artículo BIM-4D: El tiempo añadido al modelado de información de construcción (Rodríguez 2012): *esta nueva dimensión aporta un alto nivel de inteligencia en el procesado y una fácil colaboración para el diseño y construcción de edificios, la cuarta dimensión entrelaza esta información con la programación del método de ruta crítica (CPM) del proyecto, optimizando la cadena de suministro, los plazos y las operaciones de la obra, colocando todos los datos en un modelo 3D visualmente digerible.*

Las principales aplicaciones de este software son:

- Simulaciones animadas en las que se indica el orden en que los trabajos van a ser completados: El hecho de ser capaces de ver que está pasando en la obra, antes si quiera que empiece, será de gran ayuda a la hora de detectar errores en la organización, de modo que podrán ser solucionados antes de que supongan un incremento del coste o un retraso en la obra. Además este modelo se puede ir adaptando a las modificaciones que se realicen durante la ejecución del proyecto con el fin de ir actualizándolo y que sirva de herramienta para aplicar en las reuniones semanales de LPS.

- Elaboración de guías sencillas y visualmente intuitivas: Con la ayuda de este software es posible introducirse dentro del edificio y pasear por su interior en tiempo real, produciendo una animación que puede ser muy interesante de cara al propietarios o interesados en la obtención de un análisis detallado de ejecución constructiva.
- Ayuda visual para la comprensión de las actividades en obra: Otro enfoque que se puede dar a las simulaciones que se realicen y que puede ser muy interesante de cara al buen funcionamiento en obra, es servirse de estos videos para mostrar a los trabajadores qué es qué y cómo se ha de hacer el trabajo programado. Al contrario que la dirección facultativa, el personal a pie de obra no posee estudios superiores y no tienen la misma capacidad para interpretar planos e información técnica, por ello mostrarles, de una manera visual y dinámica el trabajo que se tiene que realizar puede ser una práctica muy positiva.

De entre los diferentes softwares en el mercado, cada uno aplica la 4ª dimensión de una manera. Mientras hay software que en la misma plataforma integran el 3D con el 4D, otros lo solucionan con dos programas diferentes. Este es un concepto que hay que tener en cuenta en el sentido económico, ya que a pesar de las ventajas que proporciona este software, su coste es algo a tener en cuenta.

Puede resultar complicado para empresas pequeñas soportar el coste económico que las herramientas avanzadas de BIM pueden conllevar, no obstante, como dice Eugenio Rodríguez (Rodríguez 2012), es probable

que cada vez su utilización sea mayor, y deje de reducirse su uso a proyectos de gran escala o mega-proyectos y se popularice.

# Capítulo 4.

## Caso práctico: 4D en una obra planificada con Last Planner System.

### 4.1 INTRODUCCIÓN AL CASO PRÁCTICO

Se razonan los motivos por los que se ha planteado este caso práctico.

En todo el marco teórico del presente trabajo, se han visto diferentes filosofías o metodologías, para conseguir que el proceso constructivo sea más productivo y eficiente, que la información con la que se proyecta, sea más completa y más ágil su gestión, pero, ¿por dónde empezar?, ¿por cuál decantarse?, ¿se podrían aplicar de forma conjunta tecnología BIM y metodología LPS en un mismo proyecto?

Esta es la principal pregunta que se formula el autor al elegir el caso práctico objeto de este trabajo final de grado.

Pues bien, si el objetivo de cualquier organización, es alcanzar la calidad total, y como decía el ingeniero estadounidense Robert William Kearns “En la carrera por la calidad no hay línea de meta”, qué mejor que unir las ventajas de ambos métodos, intentando que las pérdidas y la improductividad se reduzcan al mínimo con el objetivo de lograr una evolución significativa en el sistema de construcción actual.

Sin embargo, cabe destacar una idea: aunque los dos sistemas son muy potentes, cada uno tiene su propio campo de aplicación. Esto supone que, mientras LPS se especializa en lograr progresos significativos en el cumplimiento de plazos, compromiso de equipo, gestionar el flujo y mejorar la productividad, BIM se orienta hacia la elaboración de un único modelo que, de forma colaborativa entre los diferentes agentes, recoja toda la información del proyecto, por lo que la integración de las distintas disciplinas así como la prevención y detección de errores, es mucho más fácil y eficaz. Esto no implica que no puedan actuar en otro campo, sino que son más efectivos cuando lo hacen en el suyo propio.

Al realizar las simulaciones en 4D de lo que se va a construir, se pueden detectar errores de planificación, de secuencia y corregirlos antes de que éstos pasen en la obra. Pero para que los resultados que se obtengan de la aplicación de una planificación al modelo BIM, sean coherentes, han de partir de una buena planificación, como lo que ocurre tras aplicar Last Planner System en una obra. Es decir, aunque el software de simulación, permite visualizar el proceso constructivo y sus eventuales fallos en tiempo real, si las actividades no se planifican adecuadas a la realidad, a lo que “se puede hacer”, es posible que el modelo 4D, no esté ayudando realmente.

Añadir que estas plataformas de simulación tienen la capacidad de ir actualizándose a los cambios en ejecución, ya que disponen de celdas para la introducción de datos temporales reales y de planificación tanto para el inicio como para el fin de las actividades.

Lo expuesto no pretende sugerir que este tipo de software de simulación no sea un buen sistema de trabajo, sino que es conveniente la aplicación previa de otra herramienta, por ejemplo Last Planner System (LPS), para

que lo visualizado se acerque más a lo que ocurrirá en la obra, y posteriormente aparezcan menos cambios respecto a la realidad. Así pues, para tender a la calidad total se hace imprescindible el uso inteligente de todos los recursos a nuestra disposición para marcar la diferencia un trabajo bueno y uno excepcional.

A lo largo de este capítulo se expondrá un caso concreto donde se han usado conjuntamente LPS y BIM 4D, llevando a la práctica los conocimientos aprendidos.

## 4.2 DATOS DE LA OBRA

En este apartado se realiza a modo de presentación una breve introducción a la obra sobre la cual se va a trabajar a lo largo de este capítulo.

La obra objeto del caso de estudio, se trata de un residencial de 94 viviendas, en Madrid, España, ejecutado con un presupuesto de 8,5 millones de euros.

La empresa THiNK productivity S.L., es la encargada de la implementación del Sistema del Último Planificador en esta obra y la que plantea a la autora del presente TFG, el reto de modelar el edificio en 3D y aplicar las planificaciones resultantes de las reuniones de planificación que van sucediéndose en la obra, con Last Planner System, al modelo realizado, para analizar si realmente ayuda a los intervinientes en la obra la visualización de la planificación en BIM 4D.

El solar es una manzana completa, recayendo a cuatro calles. El edificio está compuesto por ocho portales, repartidos en 4 bloques con diferentes alturas, dada la topografía del terreno.

Se compone de un bloque (portales 7 y 8) de planta baja, más dos alturas y un ático retranqueado; de dos bloques (portales 1 y 2 y portales 4 y 5), de planta baja, tres alturas y ático retranqueado y un último bloque, compuesto por los portales 3 y 4, con planta baja, cuatro alturas y ático retranqueado. En la planta baja, existe una zona común con actividades para los vecinos y piscina comunitaria. Las plantas bajas y la zona común están destinadas a viviendas residenciales, mientras que el semisótano se destina a uso comercial y los 2 sótanos a aparcamiento.

Del proyecto de ejecución, se extraen las principales tipologías constructivas presentes en este edificio:

La cimentación se realiza mediante zapatas de hormigón armado, aisladas en pilares y corridas bajo los muros de sótano. Dichos muros se ejecutan con pantallas de pilotes gunitadas, las cuales se trasdosa dejando entre ambas una cámara bufa.

La estructura está compuesta en su totalidad por hormigón armado, destacando las losas de hormigón para la composición de los forjados plantas de sótanos y forjados unidireccionales de hormigón armado, a base de viguetas "in situ" y bovedillas de hormigón en el resto de plantas.

La fachada se compone de las siguientes capas (nombradas de exterior a interior): ladrillo caravista, mortero hidrófugo, aislamiento térmico, y trasdosado interior con perfilera de acero galvanizado, aislante térmico y placa de yeso laminado.

Para la cubierta del edificio se proyecta una cubierta invertida plana, con formación de pendientes con hormigón celular, impermeabilización, aislamiento térmico y acabado en grava. Para los áticos en concreto se utiliza la misma tipología de cubierta pero con un remate de solado para exteriores sobre motero de agarre.

En cuanto a acabados, destacar:

- Falsos techos de escayola en pasillos, baños y cocinas; enlucido de yeso en el resto de la vivienda. Ambos tipos se recubren con una pintura plástica lisa.

- Para pavimentos se diseña parquet laminado flotante sobre solera con rodapié en DM lacado en la mayoría de la vivienda. En cocina, tendedores, baños y terrazas de viviendas, se colocará gres con las características específicas necesarias para cada ambiente (antideslizante, exteriores, etc).
- Los revestimientos se componen de un alicatado de azulejo en baños, en cocinas se colocará un revestimiento de granito similar a encimera de cocina en el frente de la misma y en el resto pintura plástica lisa.

En particiones interiores, diferenciar tres tipos diferentes:

- Separación de las viviendas con zonas comunes: se resuelve con ladrillo cerámico acabado con enlucido de yeso por el exterior, trasdosado por el interior con perfilería de acero galvanizado, con aislamiento interior y una placa de yeso laminado.
- Separación entre viviendas: compuesto por doble estructura autoportante con aislamiento térmico y doble placa de yeso en ambas caras exteriores separas ambas estructuras por medio de una placa de yeso laminado y otra de acero.
- Divisiones interiores de viviendas: formadas por perfilería de acero galvanizado, con aislamiento interior y una placa de yeso laminado en cada lado.

La carpintería exterior se compone de perfiles extrusionados de aluminio lacado con rotura de puente térmico y persianas enrollables de lamas de

aluminio. Para la interior, se utilizan tableros aglomerados macizos y puertas blindadas a la entrada de la vivienda.

Por concluir este apartado, se muestra una vista general del edificio con la finalidad de dar una idea del proyecto que se va a estudiar en el caso práctico.



*Imagen 11. Edificio en 3D realizado con Revit. Año 2015. Fuente: Elaboración propia.*

### 4.3 MODELADO EN BIM DEL EDIFICIO.

*En este apartado se incluyen todos los trabajos que se han realizado con Revit (Autodesk) y se comentan los errores que se han encontrado gracias a dicho software.*

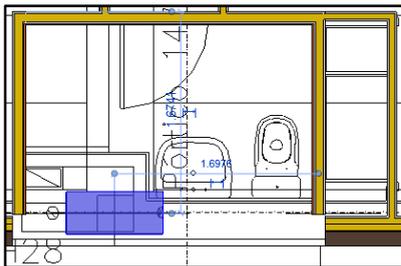
La construcción del modelo de edificio es la primera fase en este caso práctico. Para ello, se ha utilizado el software Revit de Autodesk. Puntualizar, sin embargo, que el objetivo no es realizar un modelo muy detallado, pues la finalidad de este archivo es realizar posteriormente la simulación, por lo que el edificio no irá más allá de un LOD 200 o LOD 300 (se recomienda repasar el apartado 3.2), dependiendo de la zona en la que nos centremos.

Partiendo de los planos en archivo PDF que nos facilita la empresa constructora, previamente al modelado, se impone la preparación de los planos en CAD para su manipulación. Cabe mencionar que se realizará únicamente la parte correspondiente a estructura y arquitectura, dejando de lado todo lo que son instalaciones (excepto en la construcción virtual de la vivienda).

A medida que se ha ido desarrollando el modelo ha sido posible encontrar errores de diferentes tipos debido, en su mayor parte, a no tener en un mismo modelo toda la información del proyecto, y aunque muchos son repetitivos y se han ido solucionando conforme evolucionaba el modelo del edificio, a continuación se muestran cuatro ejemplos que aparecen frecuentemente en la fase de ejecución de obras y que con un software del entorno BIM es muy fácil de detectar durante la concepción del edificio.

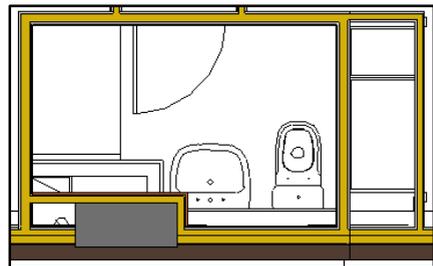
## PRINCIPALES ERRORES ENCONTRADOS.

1.- El pilar destacado en las siguientes imágenes tiene una dimensión mayor a la dibujada en el plano de arquitectura. En la imagen de la izquierda se observa el pilar sombreado en azul, correspondiente al plano de estructura y debajo de este sombreado, en negro, la dimensión que tendría el pilar según el plano de arquitectura. Esta diferencia de tamaño provoca que el lavamanos y el inodoro no puedan colocarse en el lugar planificado puesto que intersectan con la pared (imagen de la derecha). El error, podría ocasionar tener que mover los aparatos sanitarios porque no cumplen con los espacios mínimos exigidos y, en el peor de los casos, desplazar los tabiques para poder dar una solución o incluso tener que encargar otro tipo de lavamanos, diferente al de la memoria de calidades del proyecto incluso cuando ya está en obra el lavabo previsto.



*Imagen 12. Diferencia de tamaño entre un pilar en el plano de arquitectura y otro del plano de estructura. Año 2015.*

*Fuente: Elaboración propia.*



*Imagen 13. Solapamiento de un tabique con los aparatos sanitarios. Año 2015.*

*Fuente: Elaboración propia.*

2.- El siguiente caso, constituye un ejemplo más de los errores que se cometen cuando separamos la información en diferentes planos. Como se muestra en las imágenes, mientras que en el plano de arquitectura se han dibujado dos pilares, en el de estructura solo ha sido uno.

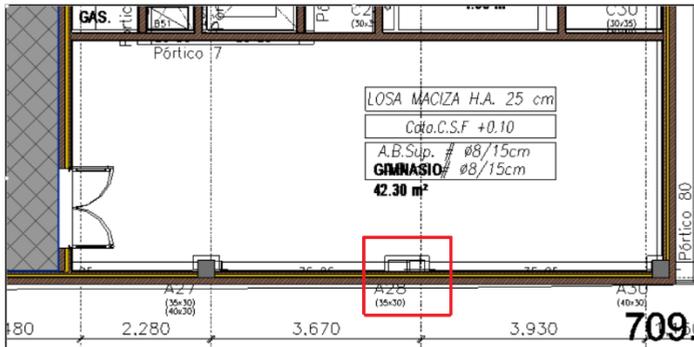


Imagen 14. Dibujo sobre plano de arquitectura. Año 2015. Fuente: Elaboración propia.

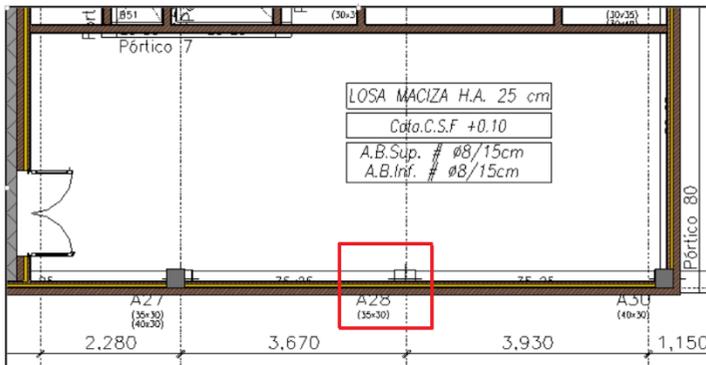
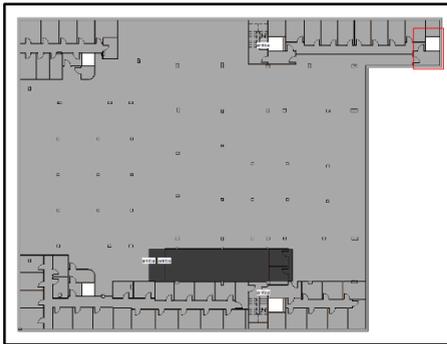


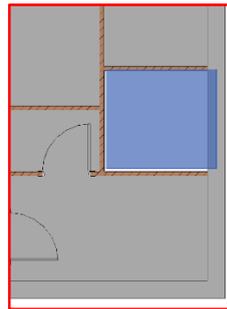
Imagen 15. Dibujo sobre plano de estructura. Año 2015. Fuente: Elaboración propia.

3.- En este caso el error se encuentra en el hueco del ascensor. En las siguientes imágenes se puede observar como en la planta sótano, el hueco del ascensor invade el muro de contención, mientras que en la planta primera el hueco encaja perfectamente entre los muros.

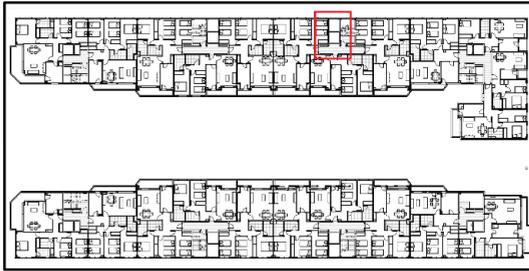
Obviamente es necesario que el ascensor disponga de un hueco con unas dimensiones mínimas y constantes en todas las plantas, ya que éste se mueve verticalmente, no obstante, hay ocasiones en la que los tabiques u otros elementos interfieren con este hueco, siendo ésto imposible de llevar a cabo en la práctica. En el peor de los casos, podría darse la situación en la que para resolver el problema sea necesario ocupar espacio de un pasillo o de unas escaleras, que son lugares que necesitan unos anchos mínimos para poder cumplir con la normativa.



*Imagen 16. Planta sótano -1. Año 2015.  
Fuente: Elaboración propia*

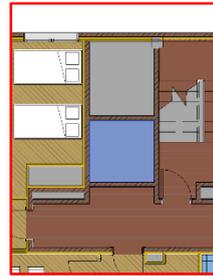


*Imagen 17. Detalle del error en sótano -1.  
Año: 2015. Fuente: Elaboración propia*



*Imagen 18. Planta 1. Año 2015.*

*Fuente: Elaboración propia*



*Imagen 19. Detalle del error en planta 1*

*Año: 2015. Fuente: Elaboración propia*

4.- Otro error que se ha detectado en el mismo momento en el que se modeló en 3D y que en esta obra en concreto que estamos analizando no descubrió hasta la fase de ejecución, lo encontramos en la rampa que conecta el sótano -1 con el semisótano. Al elaborar el modelo se podía constatar que con las pendientes dadas en los planos era imposible salvar dicho desnivel, pudiendo este tipo de errores conllevar un incumplimiento de normativas de accesibilidad o de cualquier otra índole.

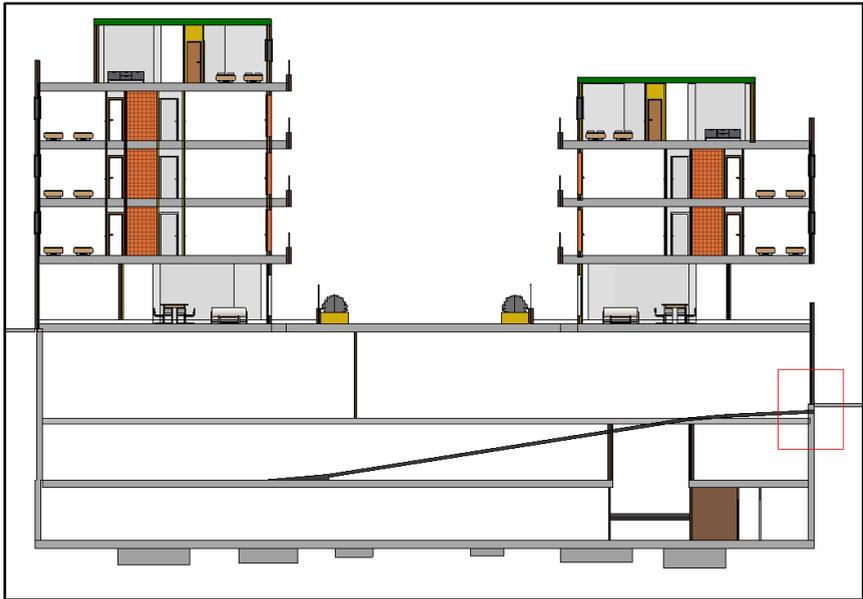


Imagen 20. Sección constructiva de la rampa de sótano. Año 2015. Fuente: Elaboración propia.

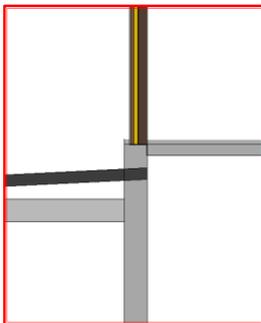


Imagen 21. Detalle error rampa.  
Año 2015. Fuente: Elaboración propia.

#### 4.4 PLANIFICACIÓN REALIZADA

*A lo largo de este apartado se explica que proceso se ha seguido para la elaboración del diagrama de Gantt, el cual se usará para la simulación en tiempo real.*

La empresa constructora, decide implementar Last Planner System en la obra, para tratar de reducir el plazo de ejecución de la misma, pasando de 20 meses previstos, a 16,5 meses como objetivo.

Toda la información relativa a las reuniones de planificación, las planificaciones obtenidas en cada una de ellas, se han ido recabando semanalmente, en las reuniones y entrevistas que se han ido teniendo con María Jesús Lledó y con Fernando Cerveró, quienes estaban dirigiendo, facilitando e implementando la metodología Last Planner System en la obra. La autora del presente TFG, no ha intervenido en la gestión ni elaboración de los diagramas de Gantt que se manejan en esta obra, sino que los ha ido recopilando e introduciendo en el modelo BIM realizado.

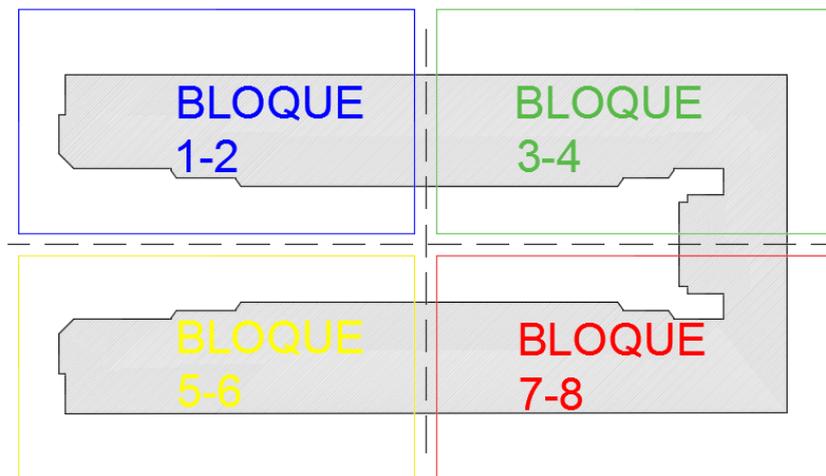
La obra ya se encuentra en estado de ejecución, con la pantalla de pilotes realizada, el vaciado e iniciando la cimentación del edificio. Para tomar como inicio de la planificación con Last Planner System, se establece que la fase anterior concluirá con el hormigonado del forjado de la planta baja y que a partir de ese momento, será el punto de partida para la planificación colaborativa.

Los datos de partida en cuanto a la planificación prevista eran:

- ✓ Fecha de inicio: 14 de octubre de 2014
- ✓ Fecha prevista de finalización: 14 de junio de 2016
- ✓ Fecha objetivo de finalización: 29 de febrero de 2016

A partir de estas premisas y con una gran predisposición hacia aplicar el sistema LPS en su obra, se convoca a los subcontratistas que van a intervenir en. La obra, a una reunión inicial de planificación, que el LPS se denomina Pull Session.

Previa a la celebración de la reunión, se define la estrategia a seguir, las zonas a considerar (edificio, núcleos de escaleras, garajes y urbanización) y se establece la codificación por zonas, según portales y se asigna un color a cada una de ellas, de forma que se utilizan técnicas de gestión visual que posteriormente ayudarán al quipo en la designación de las tareas semanales a realizar en cada zona. El plano de zonificación que se ha establecido en la obra es el siguiente:



*Imagen 22. Plano de zonificación. Año 2015. Fuente: Elaboración propia.*

**La Pull Session se celebra en las instalaciones de la constructora el día 20 de abril de 2015**, a la que acuden los responsables tanto de la constructora, como de las subcontratas que ejecutarán la obra, ésto es lo que en LPS se conoce como “los últimos planificadores”. La reunión dura algo más de tres horas y se consiguen identificar las actividades principales del proyecto, su duración, la cantidad de recursos que se destinarán a ella y la secuencia entre tareas. En estas reuniones, se gestionan a las personas, las cuales empiezan a verse y sentirse como un equipo de “clientes” y se genera la red de compromisos a través de las actividades que cada subcontratista indica que ha de realizar y lo que necesita para poderlo llevar a cabo. El resultado de esta reunión es una planificación en un diagrama de Gantt (que se adjunta en anexo I), con actividades que se relacionan casi en su totalidad con fin-comienzo.

- ✓ Fecha alcanzada en la Pull Session: 18 de septiembre de 2019.

Para poder lograr el objetivo de finalización de la obra (día 29 de Febrero de 2016), se lleva a cabo una **segunda reunión, el día 29 de abril de 2015**, donde todos los agentes intervinientes revisan la planificación resultante de la reunión anterior y se repasa entre todos si la secuencia es correcta, así como las duraciones y posibles solapes entre actividades. Tras casi cuatro horas de reunión, por muy poco no se alcanzó la fecha requerida. En el anexo I, se incorpora el Gantt resultante de la primera negociación.

- ✓ Fecha alcanzada en la 1ª negociación: 17 de marzo de 2016.

Para tratar de solucionar esta demora en el plazo de entrega y ajustar el planning, se realiza una **tercera reunión**, denominada 2ª negociación. Para este caso, se ha convocado únicamente a los subcontratistas responsables de la estructura, para tratar de optimizar los procesos y reducir unos días el plazo. La reunión se celebró el 12 de mayo y finalmente se consiguió no solo alcanzar el hito de entrega, sino mejorarlo. El planning resultante de esta segunda negociación, pasa a ser el PLAN MAESTRO, que guiará toda la obra, y sobre el que se planificará y se actualizará semanalmente. Este Plan Maestro se adjunta en el Anexo I.

- ✓ Fecha alcanzada en la 2ª negociación: 18 de febrero de 2016.

Una vez establecido el Plan Maestro, se inician las reuniones semanales. La fecha establecida para el inicio de la obra planificada con LPS fue el 25 de mayo de 2015, por lo que el jueves inmediatamente anterior se celebró la primera reunión de planificación. A ella asisten los implicados en la estructura, que son el único oficio que actualmente y por un largo tiempo aún están en la obra y se repasan las restricciones que puedan tener, para asegurar que los trabajos que se planifiquen, “se puedan” hacer. Seguidamente, se desglosan las tareas que según lo planificado en el Plan Maestro, se pueden hacer en la semana siguiente. Se coordinan los oficios de encofradores, ferrallas y colocadores de protecciones colectivas y resulta una planificación, que “se puede” hacer.

Cada semana, se han seguido realizando estas reuniones de planificación, haciendo la ventana intermedia a 6 semanas vista en este caso, para detectar las restricciones que puedan comprometer el flujo y gestionarlas,

actualizando la planificación general con lo realmente ocurrido cada semana y por último, realizando la planificación de la semana siguiente.

De esta forma, se está consiguiendo que el equipo “prometa” las actividades que pueda realmente realizar.

El grado de compenetración que se genera en el equipo es muy importante y las conversaciones que surgen de las reuniones, son realmente ricas, ya que entre los propios subcontratistas comienzan a apoyarse, a organizarse sobre todo con la disponibilidad de medios auxiliares y a tratar de conseguir los objetivos de planificación, semana a semana, viéndose muy reconfortados, cuando finalmente los alcanzan.

Todas las planificaciones semanales que se han generado en las reuniones denominadas “Weekly Work Plan”, han sido recopiladas por la autora de este TFG, para aplicarlas al modelo BIM realizado del edificio y visualizar el avance de la construcción de la obra.

#### 4.5 APLICACIÓN DE BIM 4D EN EL CASO DE ESTUDIO

*A continuación se muestra el trabajo que se ha realizado con la herramienta de simulación 4D (Naviswork) y la función que tiene cada una de las simulaciones elaboradas.*

una de la obra en general, donde se podrá observar el avance de la misma en tiempo real, hasta la construcción de las fachadas y posteriormente se mostrará el proceso constructivo seguido para realizar las viviendas, teniendo en cuenta la tabiquería, la instalación eléctrica, de fontanería, de teleco y desagües, así como acabados tanto de suelo, paredes y techos.

#### SIMULACIÓN EN TIEMPO REAL DE LA CONSTRUCCIÓN DEL EDIFICIO.

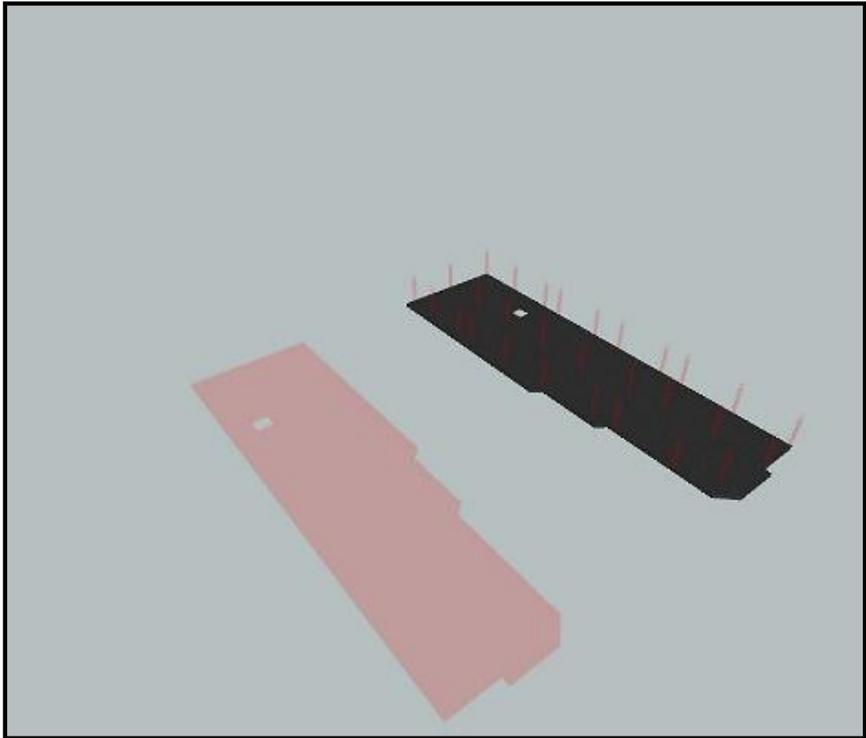
Elaborado un modelo sobre el que trabajar y obtenido un Gantt, (a partir de LPS), de las actividades que se van a ejecutar, se procede a llevar a cabo la visualización en 4D de la obra. Para la introducción de esta cuarta dimensión se ha utilizado Navisworks de Autodesk.

Una vez importado el modelo a esta plataforma de trabajo, el siguiente paso a consistido en asignar los elementos del edificio (tales como pilares, muros, suelo...) a las diferentes tareas establecidas con LPS, para posteriormente situarlas temporalmente y que en el momento de la simulación se visualice la secuencia constructiva.

A continuación, se explica mediante el uso de imágenes la evolución de la obra durante las nueve primeras semanas en las que se ha aplicado LPS, pues no ha sido posible englobar más fases porque en la fecha de entrega de este trabajo no se habían ejecutado más. No obstante, y sin usar como base los planning realizados en las reuniones semanales ya que aún no se

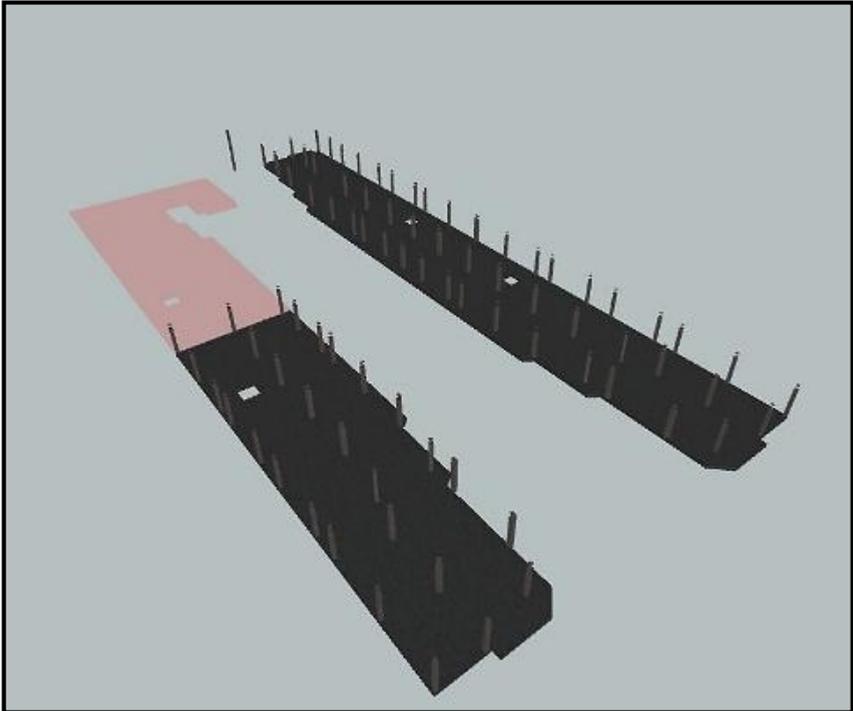
han producido las relativas a la ejecución total de la fachada, también se ha realizado la simulación de cómo se ejecutara la fachada. La primera planificación semanal con LPS, se realizó el 21 de mayo, planificándose la semana siguiente que era el hito de inicio de la obra con LPS, El trabajo de visualización de la planificación semanal se ha desarrollado durante 9 semanas, que son las que han coincidido con la realización del presente TFG. Como nomenclatura general para la descripción de las imágenes, se utilizara el color negro para representar los elementos ya construidos y rosáceo o rojo para los que se encuentran en ejecución ese mismo día de observación. La imagen está tomada con lo realizado en la semana, el último día laborable de la semana.

El primer viernes (día 29/05/2015) se encontraba realizado el forjado de planta baja del bloque 7-8 y se preveía realizar ese día tanto los pilares de dicha planta como el forjado de planta baja del bloque 1-2.



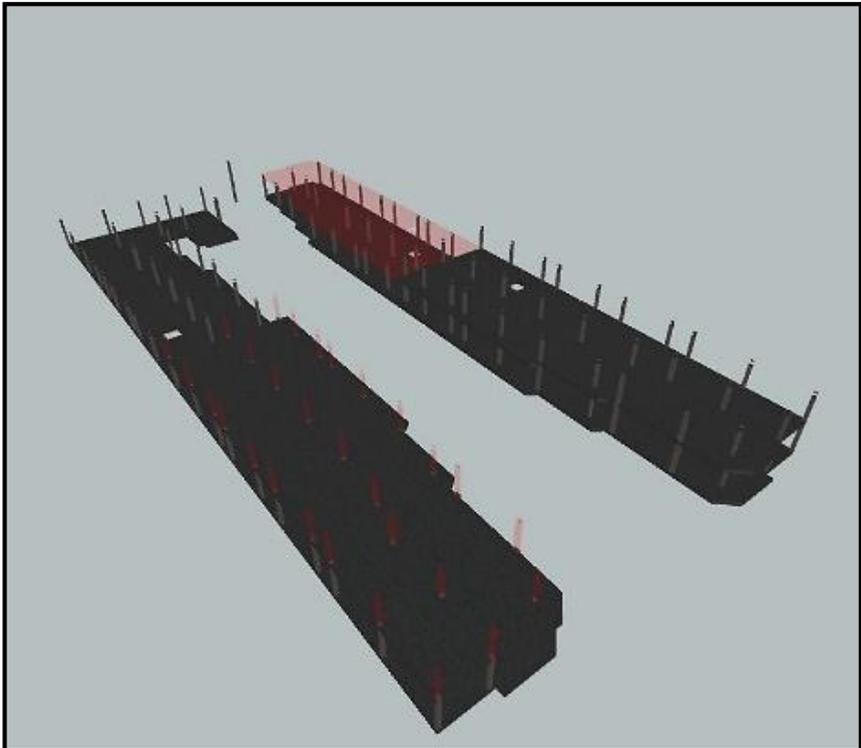
*Imagen 23. Simulación viernes 29/05/2015. Año 2015. Fuente: Elaboración propia.*

Tras concluir la segunda semana de ejecución (viernes 05/06/2015), los forjados de planta baja se encuentran casi contruidos, a excepción del bloque 3-4 que se encuentra en proceso de elaboración.



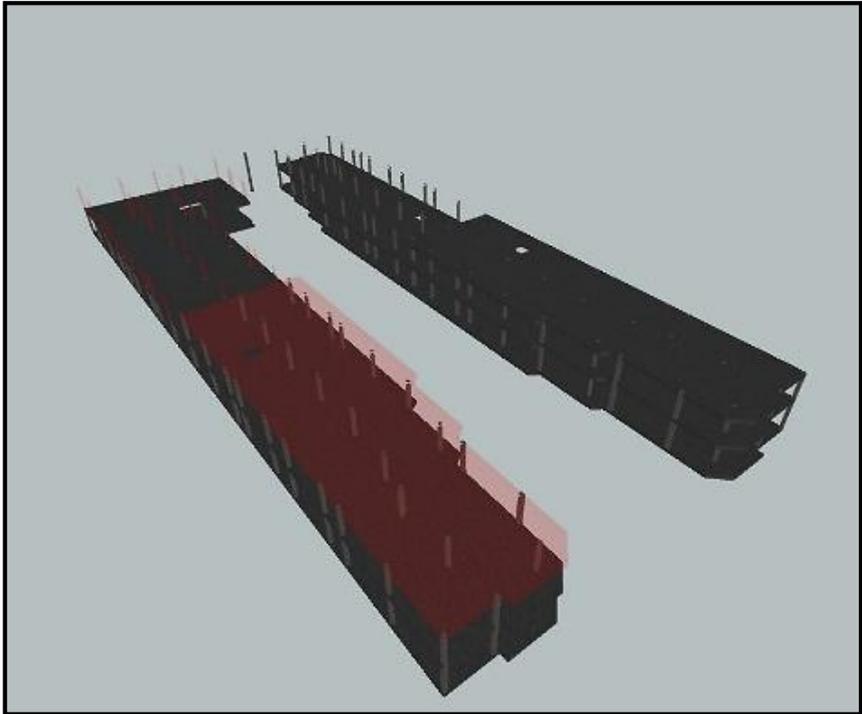
*Imagen 24. Simulación viernes 05/06/2015. Año 2015. Fuente: Elaboración propia.*

En la tercera semana (viernes 12/06/2015) se puede visualizar como ya se encuentran totalmente ejecutados pilares y forjados de planta baja, así como los forjados de planta primera de los bloques 7-8 y 1-2. En ejecución, forjado del bloque 5-6 y pilares de planta primera.



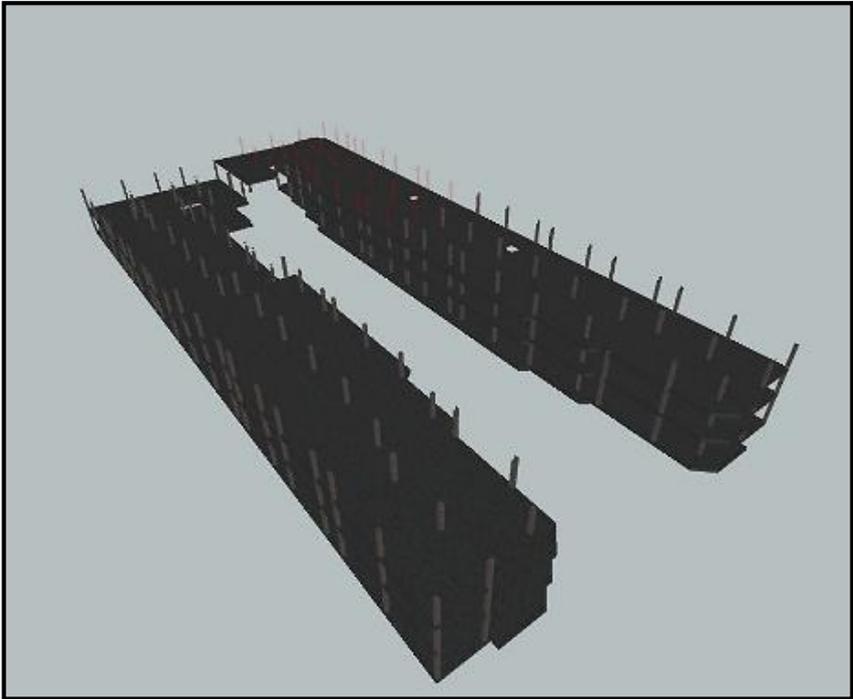
*Imagen 25. Simulación viernes 12/06/2015. Año 2015. Fuente: Elaboración propia.*

Finalizando la cuarta semana (viernes 19/06/2015), la primera planta está casi completa, a falta de los pilares del bloque 3-4 que se encuentran en ejecución y ya se ha comenzado con los forjados de la planta segunda, concretamente se está ejecutando el del bloque 1-2.



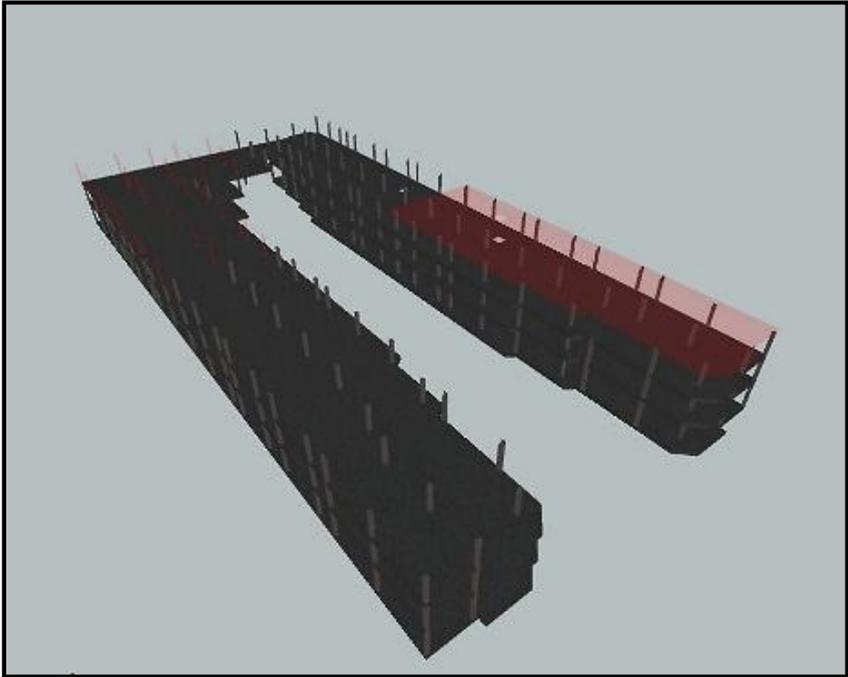
*Imagen 26. Simulación viernes 19/06/2015. Año 2015. Fuente: Elaboración propia.*

En la quinta semana de estudio (viernes 26/06/2015), la segunda planta se encuentra totalmente acabada, y ya se han ejecutado casi todos los forjados de la planta 3 (a excepción del bloque 3-4) y gran parte de los pilares.



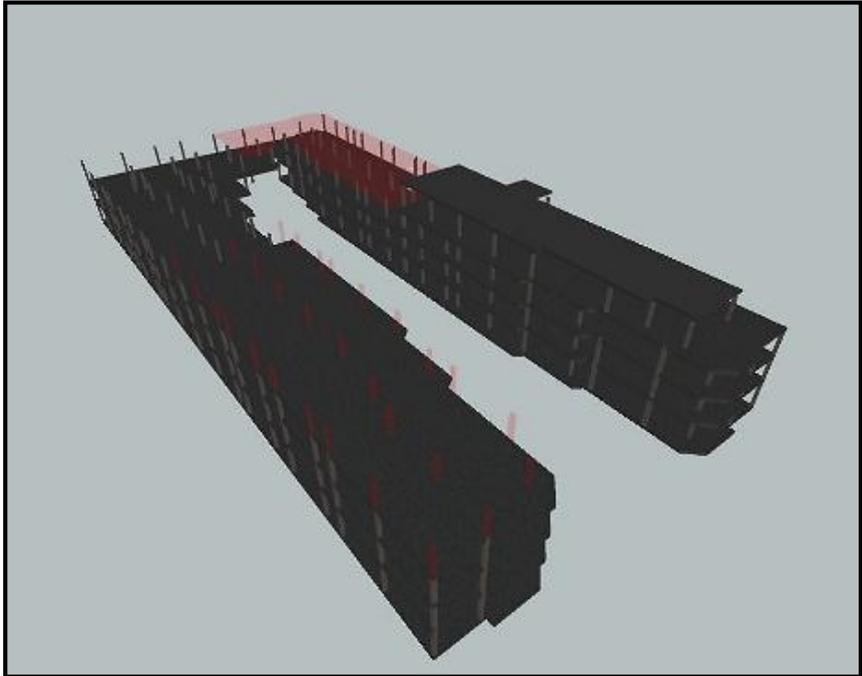
*Imagen 27. Simulación viernes 26/06/2015. Año 2015. Fuente: Elaboración propia.*

Durante la sexta semana (viernes 03/07/2015), se finaliza la planta segunda y se comienza con el forjado de la siguiente planta del bloque 7-8.



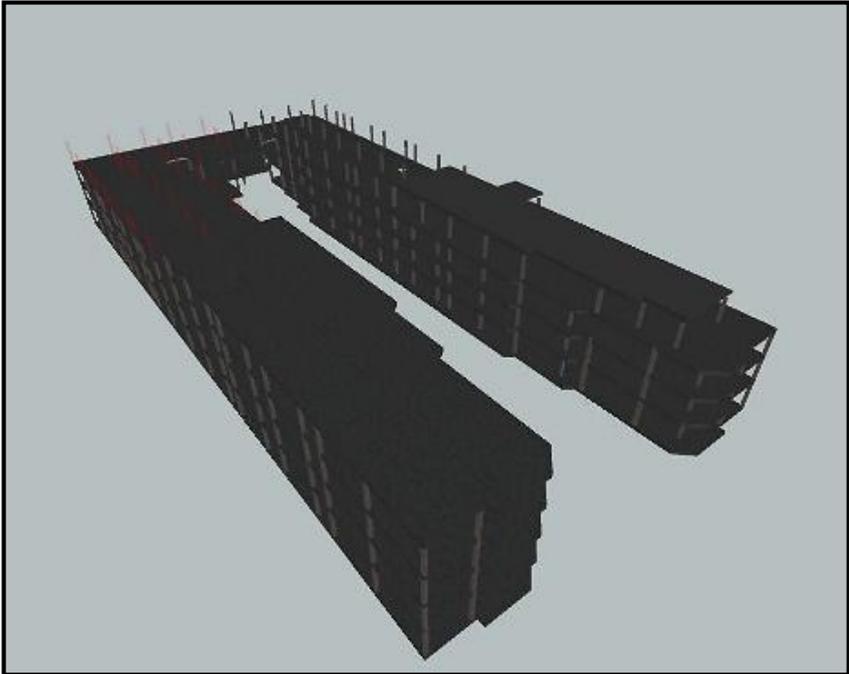
*Imagen 28. Simulación viernes 03/07/2015. Año 2015. Fuente: Elaboración propia.*

Tras concluir la séptima semana de estudio (viernes 10/07/2015), se continúa con la elaboración de forjados y pilares de la tercera planta, habiéndose finalizado la parte de estructura del bloque 7-8.



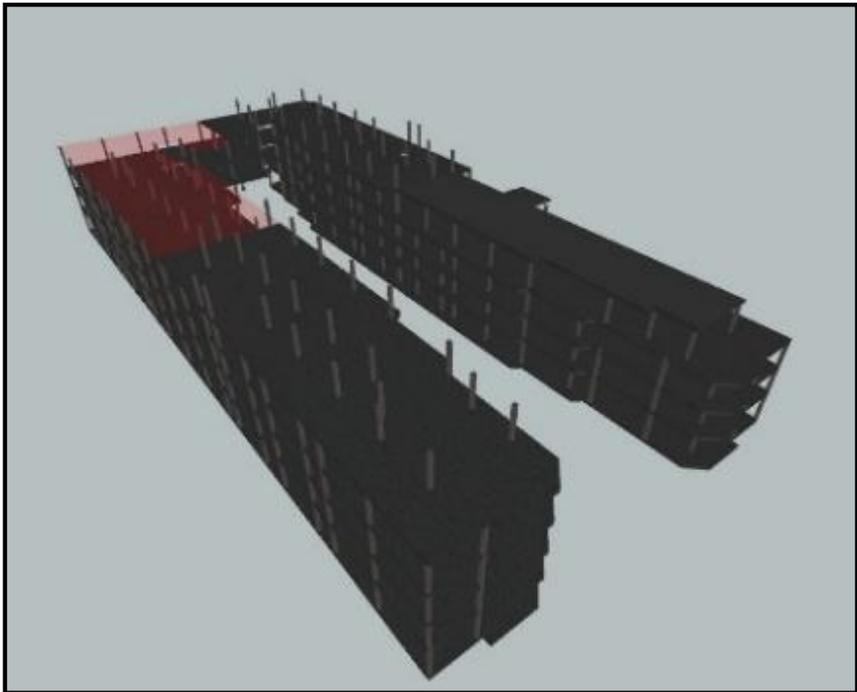
*Imagen 29. Simulación viernes 10/07/2015. Año 2015. Fuente: Elaboración propia*

Finalizada la octava semana (viernes 17/07/2015), la planta tercera se encuentra prácticamente acabada y ya se ha ejecutado el forjado de planta ático del bloque 1-2.



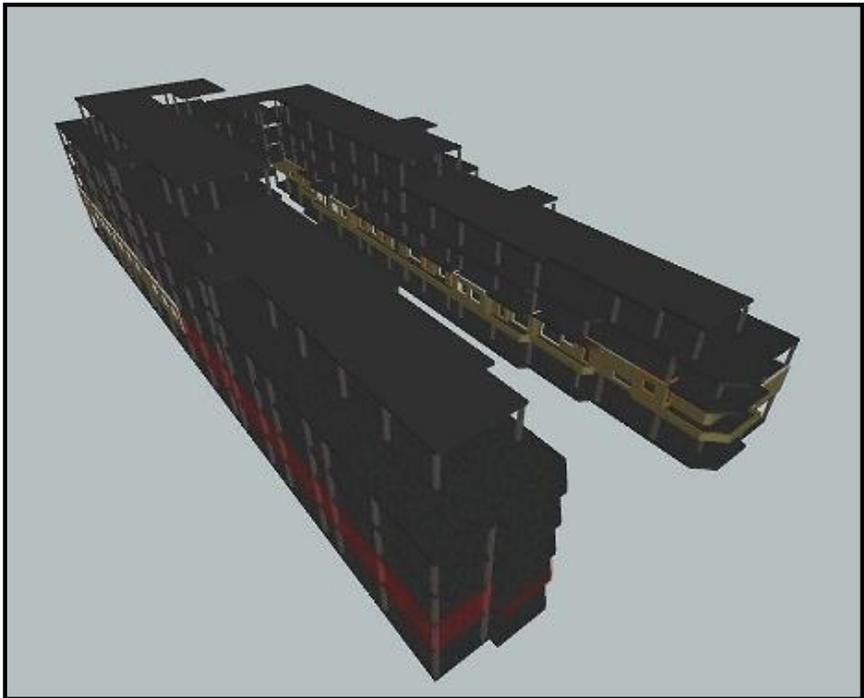
*Imagen 30. Simulación viernes 17/07/2015. Año 2015. Fuente: Elaboración propia.*

Tras la labor de la novena semana (viernes 24/07/2015), los forjados y pilares de planta ático de los bloques 1-2 y 5-6 se encuentran acabados, trabajando ya ese mismo día en la ejecución del forjado de planta 4 del bloque 3-4.

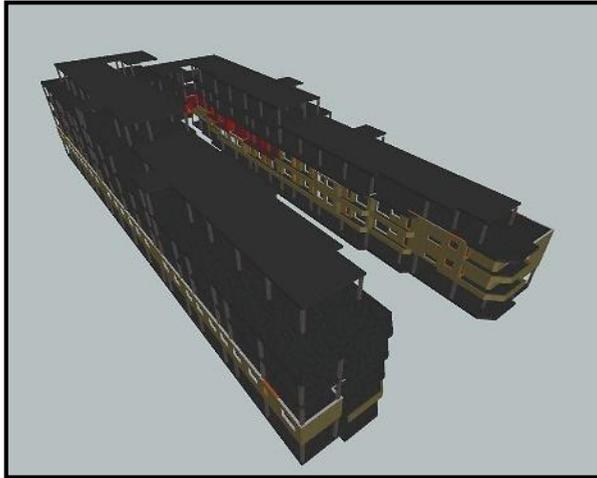


*Imagen 31. Simulación viernes 24/07/2015. Año 2015. Fuente: Elaboración propia.*

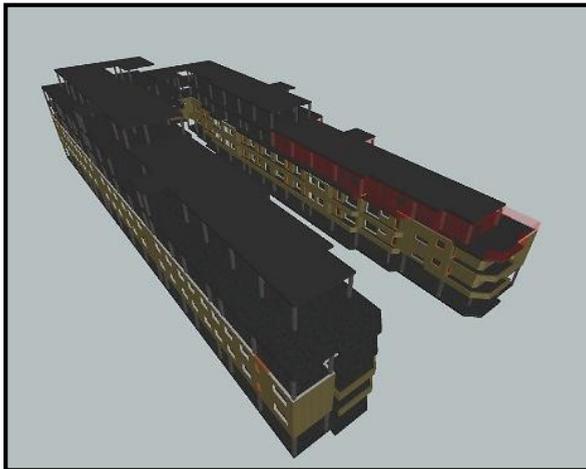
Como actualmente se está trabajando prácticamente en estructura únicamente, se ha procedido a, con la información del plan maestro, a realizar la simulación de cómo debería ir avanzando la ejecución del cerramiento exterior semana tras semana:



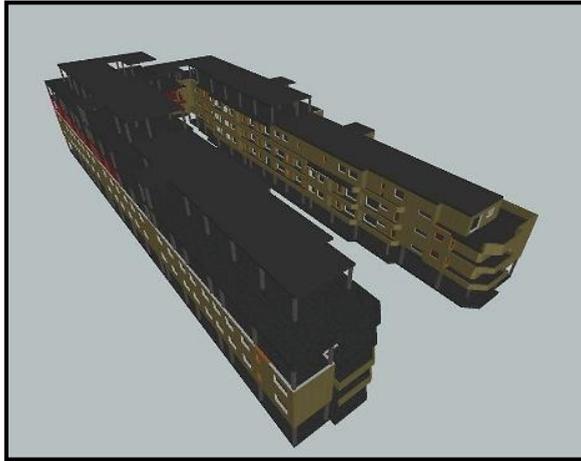
*Imagen 32. Simulación viernes 07/08/2015. Año 2015. Fuente: Elaboración propia.*



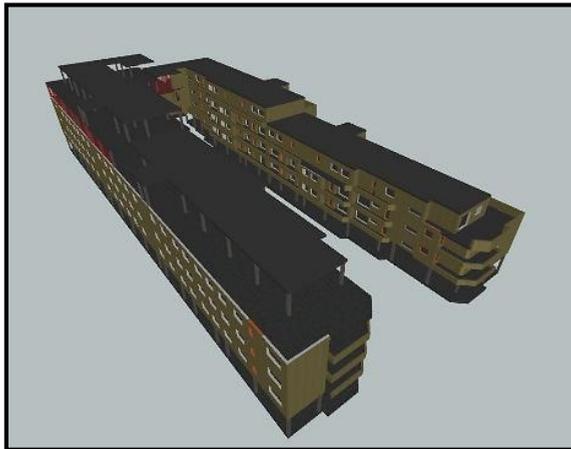
*Imagen 33. Simulación viernes 14/08/2015. Año 2015. Fuente: Elaboración propia.*



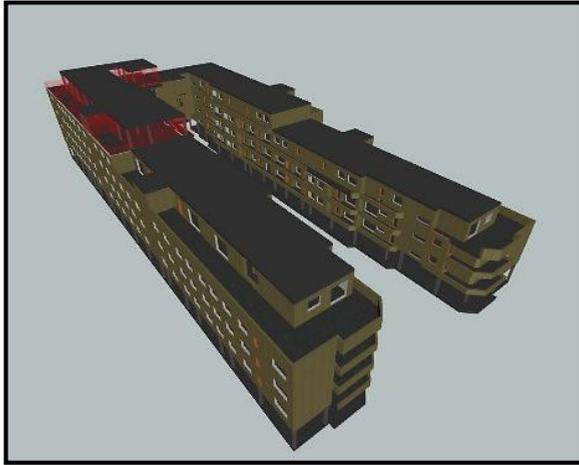
*Imagen 34. Simulación viernes 21/08/2015. Año 2015. Fuente: Elaboración propia.*



*Imagen 35. Simulación viernes 28/08/2015. Año 2015. Fuente: Elaboración propia.*



*Imagen 36. Simulación viernes 04/09/2015. Año 2015. Fuente: Elaboración propia.*



*Imagen 37. Simulación viernes 11/09/2015. Año 2015. Fuente: Elaboración propia.*

Para más información se deja un enlace donde es posible ver la visualización de este proceso:

<http://trabajo-final-de-grado.webnode.es/>

Debido a la fase en la que se encuentra la obra . las simulaciones, aunque han sido útiles, podrían serlo mucho más en el momento en que concurren muchos oficios y existan diferentes tajos abiertos, para que visualicen cómo han de organizarse entre ellos. Actualmente sólo intervenían el estructurista y el ferralla, siendo quien realmente “manda” en la secuencia y las duraciones el estructurista, teniendo que “acoplarse” a sus ritmos la empresa de ferralla.

Cabe indicar también que, durante la construcción virtual, ha sido posible detectar errores de secuencia de planificación, producidos por transferir la documentación generada en las planillas de trabajo semanales, en formato .xls, a la planificación general en formato .mpp. Gracias al a la realización de esta simulación semanal, se han podido corregir e incluso prevenir en otros casos, errores típicos administrativos.

### CONSTRUCCIÓN VIRTUAL DE UNA VIVIENDA.

El objeto de este trabajo, ha sido el de aplicar 4D a una obra en la que se está implementando el sistema del último planificador (SUP) y que previamente ha sido modelada en BIM. El alcance planteado ha sido el de hacer el seguimiento semanal del progreso de la planificación con LPS, realizar la visualización y analizarla por parte del equipo de implementación de SUP y de la autora de este escrito. Pero gracias a haber adquirido los conocimientos necesarios en este tiempo y a la aplicación práctica de ellos, la autora considera que puede ser de gran ayuda realizar la construcción virtual de las siguientes fases de la obra tales como fachadas, albañilería, instalaciones, etc. Así se podrá detectar posibles errores de secuencia, incidencias y oportunidades de mejora.

Si se puede simular la construcción, para analizar el avance de la ejecución, se podrían realizar estas simulaciones para tratar de optimizar los procesos, probando, analizando y obteniendo resultados sobre qué secuencia es la óptima, cuál es la que asegura mayor calidad o menor plazo, etc.

Para iniciarse en este campo, aunque se escapa del alcance del TFG, la autora ha querido simular la construcción de una de las 94 viviendas del edificio. Para ello, siguiendo la planificación y la secuencia que indica el plan general, se ha incorporado al modelo 4D, para generar la simulación.

Lo interesante en este momento, es que el equipo de obra, staff de la constructora y subcontratistas involucrados e incluso Dirección Facultativa, a la vista de la simulación, comiencen a aportar ideas que tienda a optimizar los tiempos. Simplemente con acortar mínimamente la duración desde que se coloca 1ª cara de tabiquería, hasta que se acaba el último revestimiento, en una vivienda, el impacto en la planificación general es muy importante al multiplicarlo por las 94 a realizar.

Para la segunda simulación analizaremos como se construye una de las 94 viviendas que componen el edificio. El fin último que se pretende con ello es el de intentar mejorar los procesos constructivos.

Pero además, estas simulaciones pueden servir como instrucciones de trabajo ya que facilitan el entendimiento para los trabajadores que están a pie de obra, de manera que tengan mucho más claras y concisas, las indicaciones, favoreciendo el aprendizaje y comprensión de los trabajadores.

En la vivienda de estudio, en la que se va a realizar la simulación y siguiendo la planificación general, el proceso a seguir para la ejecución de la misma es el siguiente:

- En primer lugar se replantean en planta los tabiques.

- Posteriormente, y “subiendo a techo” el replanteo inicial, se fijan al forjado la perfilería de canales horizontales de techo, que sustentarán las placas de yeso laminado.
- Se colocan las instalaciones eléctricas que van por el techo.
- A continuación se realiza el enlucido de yeso, acabado final en las zonas secas.
- Antes de seguir avanzando, será necesario limpiar los restos de suciedad en el suelo producidos al colocar la instalación eléctrica y el yeso. Acto seguido se procede con la instalación de fontanería y de telecomunicaciones. Esta instalación (la cual discurre por el suelo) necesitará una capa a modo de solera para proteger las tuberías.
- Sobre el nuevo firme que proporciona esta última capa, se terminaran de ejecutar los trasdosados y la tabiquería (tanto estructura portante con aislamiento y las correspondientes placas de yeso laminado de cierre) y simultáneamente la instalación de electricidad.
- Ya con la tabiquería colocada, se procederá a colocar falsos techos y alicatados en zonas húmedas.
- Y por último, para poder finalizar la construcción de la vivienda, se ejecutan pavimentos, teniendo en cuenta que se usan diferentes tipos de solados dependiendo la habitación.

- Terminada la vivienda, la constructora aún tendrá que colocar los aparatos sanitarios y puertas.

La simulación en 4D de todo el proceso descrito anteriormente se puede resumir a modo de viñetas de la siguiente manera:



*Imagen 38. Situación de la que se parte. Año 2015. Fuente: Elaboración propia.*



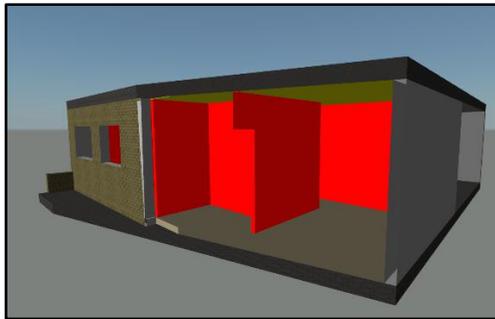
*Imagen 39. Fase 1, Enlucido de yeso. Año 2015. Fuente: Elaboración propia.*



*Imagen 40. Fase 2, Instalación de fontanería. Año 2015. Fuente: Elaboración propia.*



*Imagen 41. Fase 3, Solado de protección. Año 2015. Fuente: Elaboración propia.*



*Imagen 42. Fase 4, Colocación de tabiquería. Año 2015. Fuente: Elaboración propia.*



*Imagen 43. Fase 5, Estructura del falso techo. Año 2015. Fuente: Elaboración propia.*



*Imagen 44. Fase 6, Colación placas del falso techo. Año 2015. Fuente: Elaboración propia.*



*Imagen 45. Fase 7, Acabados de suelo. Año 2015. Fuente: Elaboración propia.*



*Imagen 46. Fase 8, Instalación de aparatos sanitarios y puertas. Año 2015. Fuente: Elaboración propia.*

Después de haber desarrollado esta construcción virtual del proceso que se seguirá en esta obra para la construcción de las viviendas, se ha observado que ésto apenas es el principio. Las mejoras que pueden llegar a introducirse con un software tan potente como los que trabajan en entorno BIM, en el sector de la construcción, todavía pueden llegar a sorprender mucho más.

Si se utilizasen este tipo de simulaciones, para analizar y estudiar diferentes formas de ejecutar un mismo proceso, y de entre todas las posibilidades se escogiera la más adecuada, se podrían llegar a encontrar soluciones mucho más adecuadas y eficientes.

Para más información, se puede consultar el siguiente enlace, donde se muestra este proceso un video, para facilitar la visualización:

<http://trabajo-final-de-grado.webnode.es/>

# Capítulo 5.

## Conclusiones.

Una vez llegados a este punto, se considera interesante, realizar un breve resumen, a modo de conclusión de los aspectos tratados a lo largo de este trabajo final de grado. Como se ha indicado en el capítulo inicial, en España está empezando a notarse un creciente interés por las nuevas metodologías, las nuevas herramientas y los nuevos sistemas de gestión del proceso constructivo, que muchos de ellos están presentes y ya consolidados en otros países. Las empresas están concienciadas de que ya no se pueden "hacer las cosas como antes" y que un cambio en el modelo de gestión es necesario. Existen varias corrientes en cuanto a modelos de gestión, pero en este trabajo se han tratado de aunar dos de ellas, para analizar el comportamiento y los resultados de aplicarlos en un caso práctico.

Se ha podido comprobar la gran utilidad que tiene el modelado en BIM 3D.

- i) En primer lugar, detectando en una fase temprana las interferencias entre los documentos de un proyecto tradicional en 2D.

- ii) En segundo lugar, el propio modelado obliga al modelador a definir con mayor detalle los elementos que componen el edificio y comprender así mucho mejor el producto final a desarrollar.
- iii) Por último, el correcto desarrollo inicial de la dimensión 3D en BIM es fundamental para que sirva como base al resto de dimensiones.

Respecto a la planificación, según se desprende de las conversaciones mantenidas con el equipo implementador de LPS (Cerveró, Lledó. 2015), el valor que aporta a la ejecución, el adoptar metodologías de trabajo y de planificación colaborativa, como Last Planner System.

- i) Uno de esos valores fundamentales es el compromiso. Los agentes intervinientes generan un espíritu de equipo basado en la confianza y en el compromiso gracias a las reuniones de planificación
- ii) Otro valor importante es la gestión semanal, donde a través de la liberación de restricciones se genera el flujo de trabajo.
- iii) Un tercer valor que aporta LPS o SUP, es la creación de planillas de trabajo semanal claras y concisas.
- iv) Pero sin duda, la mayor de todas, es la propia gestión de las personas. En este tipo de planificación son los subcontratistas los que deciden, en consenso, la secuencia de las actividades entre otras cosas.

Respecto a la simulación BIM 4D del edificio se extraen las siguientes conclusiones:

- i) La propia visualización podría ayudar de forma gráfica y sencilla a detectar errores en la secuencia constructiva. Por lo tanto previene de posibles problemas futuros que afectan al tiempo, coste y calidad. En este caso de estudio ayudó a detectar una deficiente transcripción de las planillas de LPS donde se había olvidado la ejecución de unos pilares.
- ii) Esa misma visualización puede utilizarse para la creación de instrucciones de trabajo que facilitarían el tajo a las empresas y aumentaría la calidad de lo ejecutado.

Finalmente se concluye tras el estudio teórico, el desarrollo práctico incluyendo tanto el modelado como la simulación temporal y las conversaciones mantenidas con las personas involucradas en obra lo siguiente:

- i) La metodología BIM y BIM 4D, añaden un valor imprescindible ya en estos momentos al sector de la construcción. En este trabajo se han utilizado dos de las siete dimensiones de BIM y ambas han sumado y nunca restado.
- ii) La filosofía Lean y más concretamente Last Planner System, han generado una planificación fiable en obra y con un compromiso mayor que en el sistema tradicional.
- iii) La combinación de ambas tienen un potencial enorme y a juicio de la autora se ha de implementar en este mismo proyecto de aquí en adelante.

Por último señalar que una posible línea de continuación de este estudio en el futuro sería el análisis y uso del Virtual Desing &Construction (VD&C) o Diseño Virtual y Construcción, donde se combina el uso de las dos metodologías estudiadas y aplicadas en este trabajo.

## Capítulo 6.

### Referencias bibliografía.

- Krafcik, J. (1988). Triunfo del sistema de producción lean.
- Womack, J. P., Jones, D. T., Roos, D., & Chaparro, F. O. (1992). *La máquina que cambió el mundo*. McGraw-Hill.
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (2010). *Lean thinking: banish waste and create wealth in your corporation*. Simon and Schuster.
- Morgan, J. M., & Liker, J. K. (2006). The Toyota product development system. *New York*.
- Muñoz, E. (2013). Los 8 desperdicios del lean manufacturing.
- Pons, J. F. (2014). Introducción a Lean Construcción.
- Cerveró Romero, F., & Lledó Pardo, M. (junio y julio, 2015). Entrevista de implementación de Last Planner System. (D. Mateu, Entrevistadora) Valencia, España.
- Koskela, L. (1992). *Application of the new production philosophy to construction* (No. 72). Stanford, CA: Stanford university.
- Forbes, L. H., & Ahmed, S. M. (2010). *Modern construction: lean project delivery and integrated practices*. CRC Press.

- Matthews, O., & Howell, G. A. (2005). Integrated project delivery an example of relational contracting. *Lean Construction Journal*, 2(1), 46-61.
- Ballard, H. G. (2000). *The last planner system of production control* (Doctoral dissertation, The University of Birmingham).
- Sanchis Mestre, I. (2013). *Last Planner System: un caso de estudio* (Doctoral dissertation).
- Fernández, A. D. R., Cárdenas, L. F. A., & Armiñana, E. P. (2011). La gestión de la obra desde la perspectiva del último planificador. *Revista de Obras Públicas*, 158(3.518).
- Toro, P. B. (2014). Un proyecto en Marcha con Last Planner System.
- Cerveró, F. (2010). Nueva filosofía de gestión en la construcción Española
- Cárdenas, L. F. A., & Armiñana, E. P. (2009). Un nuevo enfoque en la gestión: la construcción sin pérdidas. *Revista de Obras Públicas: Organo profesional de los ingenieros de caminos, canales y puertos*, (3496), 45-52.
- Picó, E. C. (2008). Introducción a la tecnología BIM.
- Alonso. J. (Abril 2012). Presentación de la asociación de arquitectos. ¿Qué es BIM?
- Eastman, C., Eastman, C. M., Teicholz, P., & Sacks, R. (2011). *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors*. John Wiley & Sons.

- Muñoz, S. (Mayo de 2013). Interoperabilidad en el mundo BIM ¿mito o realidad? EUBIM 2013.
- Rodríguez, E. (2012). BIM-4D: El tiempo añadido al modelado de información de construcción. Recuperado el 22 de agosto de 2014, de: <http://www.fierasdelaingenieria.com>.
- Arenal, O. (2012). BIM..."La herramienta del presente... más que del futuro...". *Eadic formación y consultoría*. Recuperado de: <http://eadic.com/blog/bim-herramienta-mas-potente/>
- Dataedro (2013). BIM: ¿Qué es el LOD? Nivel de detalle y nivel de desarrollo. *BIM y VDC para profesionales del sector*. Recuperado de: <http://dataedro.blogspot.com.es/2013/03/bimque-es-el-lod-nivel-de-detalle-nivel.html>
- Muñoz, S. (Mayo de 2013). Interoperabilidad en el mundo BIM ¿mito o realidad? EUBIM 2013.
- Cerdán, A. (16 de Enero de 2014). Cr. CO Edificación. Recuperado el 25 de Agosto de 2014, de Consultoría técnica en edificación: <http://crcoedificacion.wordpress.com/2014/01/28/elverdadero-valor-del-bim-la-gestion-de-los-datos/>

# Capítulo 7.

## Índice de imágenes.

Imagen 1. Curva de MacLeamy. Año 2007. The American institute of Architects (AIA).....	9
Imagen 2. Interpretaciones de un proyecto según los diferentes agentes. Año 2015. Fuente: Apuntes gestión integral del proceso. Módulo II. ETSIE UPV. ....	10
Imagen 3. Los siete desperdicios. Año 2007. Fuente: Jose Manuel Yagüe. ....	26
Imagen 4: Diferencia entre un jefe y un leader. Año 2014. Fuente: FacebookK of Spanish Group For Lean Construcion. ....	32
Imagen 5. Programación en colaboración. Año 2010. Fuente: Trabajo final de master de Fernando Cervero Romero.....	42
Imagen 6. Campos de aplicación de BIM. Año 2009. Fuente: .....	46
Artículo, BIM – How do you know? .....	46
Imagen 7. Nivel de desarrollo de un proyecto. Año 2015. Auditoría técnica y legal de archivos BIM. ....	50
Imagen 8. Dibujo realizado con CAD. Año 2015. Fuente: Elaboración propia.....	54
Imagen 9. Dibujo realizado con Revit. Año 2015. Fuente: Elaboración propia.....	54

Imagen 10. Distribución de tiempos en BIM y CAD. Año 2014. ....	55
Imagen 11. Edificio en 3D realizado con Revit. Año 2015. Fuente: Elaboración propia.....	66
Imagen 12. Diferencia de tamaño entre un pilar en el plano de arquitectura y otro del plano de estructura.....	68
Imagen 13. Solapamiento de un tabique con los paratos sanitarios .....	68
Imagen 14. Dibujo sobre plano de arquitectura. Año 2015. Fuente: Elaboración propia.....	69
Imagen 15. Dibujo sobre plano de estructura. Año 2015. Fuente: Elaboración propia.....	69
Imagen 16. Planta sótano -1. Año 2015. Fuente elaboración propia.....	70
Imagen 17. Detalle del error en sótano -1. Año 2015. Fuente : Elaboración propia.....	70
Imagen 18. Planta 1. Año 2015. Elaboración propia.....	71
Imagen 19. Detalle del error en planta 1. Año 2015. Fuente: Elaboración propia.....	71
Imagen 20. Sección constructiva de la rampa de sótano. Año 2015. Fuente: Elaboración propia. ....	72
Imagen 21. Detalle error rampa. Año 2015. Fuente: Elaboración propia.....	72
Imagen 22. Plano de zonificación. Año 2015. Fuente: Elaboración propia.....	74

Imagen 23. Simulación viernes 29/05/2015. Año 2015. Fuente: Elaboración propia.....	80
Imagen 24. Simulación viernes 05/06/2015. Año 2015. Fuente: Elaboración propia.....	81
Imagen 25. Simulación viernes 12/06/2015. Año 2015. Fuente: Elaboración propia.....	82
Imagen 26. Simulación viernes 19/06/2015. Año 2015. Fuente: Elaboración propia.....	83
Imagen 27. Simulación viernes 26/06/2015. Año 2015. Fuente: Elaboración propia.....	84
Imagen 28. Simulación viernes 03/07/2015. Año 2015. Fuente: Elaboración propia.....	85
Imagen 29. Simulación viernes 10/07/2015. Año 2015. Fuente: Elaboración propia.....	86
Imagen 30. Simulación viernes 17/07/2015. Año 2015. Fuente: Elaboración propia.....	87
Imagen 31. Simulación viernes 24/07/2015. Año 2015. Fuente: Elaboración propia.....	88
Imagen 32. Simulación viernes 07/08/2015. Año 2015. Fuente: Elaboración propia.....	89
Imagen 33. Simulación viernes 14/08/2015. Año 2015. Fuente: Elaboración propia.....	90
Imagen 34. Simulación viernes 21/08/2015. Año 2015. Fuente: Elaboración propia.....	90

Imagen 35. Simulación viernes 28/08/2015. Año 2015. Fuente: Elaboración propia.....	91
Imagen 36. Simulación viernes 04/09/2015. Año 2015. Fuente: Elaboración propia.....	91
Imagen 37. Simulación viernes 11/09/2015. Año 2015. Fuente: Elaboración propia.....	92
Imagen 38. Situación de la que se parte. Año 2015. Fuente: Elaboración propia.....	96
Imagen 39. Fase 1, Enlucido de yeso. Año 2015. Fuente: Elaboración propia.....	96
Imagen 40. Fase 2, Instalación de fontanería. Año 2015. Fuente: Elaboración propia.....	97
Imagen 41. Fase 3, Solado de protección. Año 2015. Fuente: Elaboración propia.....	97
Imagen 42. Fase 4, Colocación de tabiquería. Año 2015. Fuente: Elaboración propia.....	97
Imagen 43. Fase 5, Estructura del falso techo. Año 2015. Fuente: Elaboración propia.....	98
Imagen 44. Fase 6, Colación placas del falso techo. Año 2015. Fuente: Elaboración propia. ....	98
Imagen 45. Fase 7, Acabados de suelo. Año 2015. Fuente: Elaboración propia.....	98
Imagen 46. Fase 8, Instalación de aparatos sanitarios y puertas. Año 2015. Fuente: Elaboración propia. ....	99

# Capítulo 8.

## Índice de figuras.

Figura 1. Tecnología y filosofía durante la vida útil de un edificio. Año 2015. Elaboración propia .....	29
Figura 2. Proceso tradicional de diseño. Año 2007. Fuente: Integrated Project Delivery: A Guide .....	31
Figura 3. Proceso integral de diseño. Año 2007. Fuente: Integrated Project Delivery: A Guide. ....	31
Figura 4. Filosofía de la planificación usual.....	34
Figura 5. Filosofía de planificación Lean.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b> 34
Figura 6. Variación del grado de detalle en la planificación. Año 2013. Fuente: José Luis Ponz. ....	37
Figura 7. Fases y alcance de Last Planner System. Año 2015. Fuente: Elaboración propia. ....	40
Figura 8. Dimensiones de BIM. Año 2014. Fuente: BIM me! Otro sitio más de BIM .....	51

## ANEXO

## GANTTS

- I. **Pull session** (*18 de Septiembre 2019*)
- II. **1º Negociación** (*17 de Marzo de 2015*)
- III. **Plan general** (*18 de Febrero de 2016*)
- IV. **Semana 9** (*24 de Julio de 2015*)