



UNIVERSIDAD DE LA RIOJA

TRABAJO FIN DE ESTUDIOS

Título

Gestión de Plazos utilizando Tecnologías BIM en una PYME del Sector de la Construcción

Autor/es

ANDREINA DEL VALLE DUQUE CAICEDO

Director/es

ELISA SAINZ GARCÍA y ELISEO PABLO VERGARA GONZÁLEZ

Facultad

Escuela de Máster y Doctorado de la Universidad de La Rioja

Titulación

Máster Universitario en Dirección de Proyectos

Departamento

INGENIERÍA MECÁNICA

Curso académico

2020-21



Gestión de Plazos utilizando Tecnologías BIM en una PYME del Sector de la Construcción, de ANDREINA DEL VALLE DUQUE CAICEDO (publicada por la Universidad de La Rioja) se difunde bajo una Licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 3.0 Unported. Permisos que vayan más allá de lo cubierto por esta licencia pueden solicitarse a los titulares del copyright.

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER
GESTIÓN DE PLAZOS UTILIZANDO TÉCNOLOGÍAS BIM EN UNA PYME
DEL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN

SCHEDULE MANAGEMENT USING BIM TECHNOLOGIES IN A SME IN THE
CONSTRUCTION SECTOR

Autor: Andreina del Valle Duque Caicedo

Tutores: Elisa Sainz García / Eliseo Pablo Vergara

MÁSTER:

DIRECCIÓN DE PROYECTOS

ESCUELA DE MÁSTER Y DOCTORADO



UNIVERSIDAD
DE LA RIOJA

AÑO ACADÉMICO: 2020/2021

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	12
1. INTRODUCCIÓN	13
2. OBJETIVOS	15
2.1. Objetivo General	15
2.2. Objetivos Específicos	15
2.3. Naturaleza de la Empresa Base de la Investigación	15
2.3.1. <i>Naturaleza de la Empresa</i>	15
2.3.2. <i>Proceso industrial de fabricación de viviendas modulares de madera en “CMM”</i>	16
3. MARCO TEÓRICO.....	19
3.1. Modelación de la información en los procesos de construcción de edificaciones	19
3.2. CAD en BIM	20
3.3. Diseño paramétrico	20
3.4. Interoperabilidad.....	20
3.5. IFC (Industry Foundation Clases).....	21
3.6. Ciclo de vida de un proyecto	21
3.7. Ciclo de vida de la información de un proyecto	22
3.8. Normativa BIM.....	24
4. METODOLOGÍA BIM	25
4.1. Software de apoyo de la tecnología BIM.....	27
4.2. Ejemplos de proyectos de ingeniería basados en tecnología BIM-Gestión de plazos 4D.....	30
4.2.1. <i>Ejemplo 1. Edificio de la Fórmula Uno, en Yas Island.</i>	30

4.2.2.	<i>Ejemplo 2. Mapletree Business City II, Singapore</i>	31
4.3.	Ventajas de las metodologías BIM	32
5.	ESTADO DEL ARTE DE LA METODOLOGÍA BIM	36
5.1.	Evolución de la gestión de proyectos constructivos (con énfasis en la gestión de Plazos)	36
5.2.	Hitos en el desarrollo del BIM	47
5.3.	Antecedentes de la Programación 4D BIM	53
6.	MATERIALES Y MÉTODOS	56
6.1.	Fase 2: Apropriación de la temática conceptual base	57
6.1.1.	<i>Conceptualización sobre BIM-4D</i>	57
6.2.	Fase 3: Software correlacionado	59
6.2.1.	<i>Cadworks</i>	60
6.2.2.	<i>Microsoft Project</i>	61
6.3.	<i>Fase 4: Proceso constructivo industrializado de una casa modular en madera</i>	64
6.3.1.	<i>Características de la casa modelo</i>	64
6.3.2.	<i>Diagrama secuencial de actividades</i>	66
6.3.3.	<i>Importancia de las casas prefabricadas de madera</i>	68
6.3.4.	<i>Gestión de aproximación a la empresa CMM</i>	70
6.4.	Aplicación de la metodología 4D BIM al proceso de concepción, diseño y construcción de una casa modular en madera	70
6.4.1.	<i>Línea Base Estimada (MS Project)</i>	74
6.4.2.	<i>Seguimiento de programación (MS Project)</i>	77
6.4.3.	<i>Seguimiento final de programación real (MSroject)</i>	80
6.4.4.	<i>Generación de Modelo 3D (Cadworks)</i>	82
6.4.5.	<i>Asignación de nombre y grupo</i>	83

6.4.6.	<i>Importación de formatos IFC</i>	85
6.4.7.	<i>Aspectos constructivos específicos del inmueble modular de madera prefabricado</i>	86
6.4.8.	<i>Simulación línea base 4D BIM (Naviswork)</i>	92
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	100
8.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	104

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1. Descripción de ubicación de materiales aislantes para la casa modular en madera. Fuente: “CMM”</i>	18
<i>Figura 2. Ciclo de vida de un proyecto de construcción según el intercambio de información en cada etapa. Fuente Hoeber & Alsem, (2016)</i>	22
<i>Figura 3. Ciclo de vida de la información en BIM. Fuente: Xun, Ling, & Lieyun, (2014)</i>	23
<i>Figura 4. Ciclo de vida de la información en BIM. Fuente: Elaboración adaptada con base en Xun, Ling, & Lieyun, (2014)</i>	23
<i>Figura 5. Alcance de la base jurídica que regula la aplicación de BIM en Europa. (International Organization for Standardization (ISO), 2017. Fuente: adaptado de Zigurat Global Institute of Technology, 2020</i>	24
<i>Figura 6. Ciclo de vida del modelo BIM en el sector de la construcción. Fuente: https://ingcivileng.com/2017/12/03/bim-hacia-la-alineacion-de-intereses-en-la-construccion/</i>	27
<i>Figura 7 A y B. Edificio de la Fórmula Uno en Yas Island. Fuente: BIM Handbook.</i>	30
<i>Figura 8. Plan de seguimiento a través de BIM, controlado en 4D al edificio Mapletree Business City II, Singapore. Fuente: BIM Handbook, tercera edición, 2018</i>	31
<i>Figura 9. Diferencias entre BIM y CAD. Fuente: Elaboración Propia</i>	34
<i>Figura 10. Curva del Esfuerzo del Proceso Constructivo: (MACLEAMY). Fuente: metricobim</i>	35
<i>Figura 11. Desarrollo de la metodología BIM. Adaptación de Ahmad L, Brajim J & Fathi, M (2014)</i>	36
<i>Figura 12. Ciclo de vida BIM propuesto por Autodesk para proyectos de Ingeniería. Fuente: Autodesk Inc.</i>	59
<i>Figura 13. Diagrama de flujo que muestra a grandes rasgos las componentes y momentos de una construcción de vivienda.</i>	65
<i>Figura 14. Esquema de procedimiento 4D BIM para la fabricación de una casa modular de madera.</i>	65

Figura 15. Diagrama de flujo de la metodología para la gestión de plazos. Fuente:

<i>Elaboración propia</i>	66
Figura 16. Esquema de modelo de trabajo durante el INICIO de un proyecto. Fuente: Elaboración propia	71
Figura 17. Secuencia de actividades, fabricación casa modular en madera y predecesoras Fuente: Elaboración propia.....	72
Figura 18. Secuencia de actividades, montaje casa modular en madera y predecesoras Fuente: Elaboración propia.....	72
Figura 19. Lista de recurso humano. Fuente: Elaboración propia	74
Figura 20. Línea base estimada (Fabricación) y cadena crítica (color rojo). Fuente: Elaboración propia	75
Figura 21. Línea base estimada (Montaje) y cadena crítica (color rojo). Fuente: Elaboración propia	76
Figura 22. Seguimiento de Gantt (Fabricación) y nueva cadena crítica (color rojo). Fuente: Elaboración propia	78
<i>Figura 23. Seguimiento de Gantt (Montaje) y nueva cadena crítica (color rojo). Fuente: Elaboración propia</i>	79
<i>Figura 24. Seguimiento de Gantt final (Fabricación) Fuente: Elaboración propia</i>	80
<i>Figura 25. Seguimiento de Gantt final (Montaje) Fuente: Elaboración propia</i> ..	81
<i>Figura 26. Información del elemento dentro del modelo. Fuente: Elaboración propia</i>	82
<i>Figura 27. Conformación de grupos por elementos. Fuente: Elaboración propia</i>	84
Figura 28. Tipos de formatos en CADWORKS. Fuente: Elaboración propia	85
Figura 29. Diagrama de interfaces 4D en Naviswork. Fuente: Elaboración Propia	93
Figura 30.A y B Comparación línea base estimada respecto a la real 4D (Fabricación). Fuente: Elaboración Propia	95
Figura 31 A y B.Comparación cadena crítica línea base estimada respecto cadena crítica real 4D (Fabricación). Fuente: Elaboración Propia	96

Figura 32. A y B Comparación línea base estimada respecto a la real 4D (Montaje). Fuente: Elaboración Propia 98

Figura 33. A y B Comparación cadena crítica línea base estimada respecto cadena crítica real 4D (Montaje). Fuente: Elaboración Propia 99

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1. Software base para tecnología BIM.....</i>	28
<i>Tabla 2. Cuadro comparativo cadena crítica y ruta crítica. Fuente: (P. López ,2018).</i>	63

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Parte del bastidor de forjado de la casa prefabricada en madera.	86
Fotografía 2. Parte del muro A sobre parales, trabajo en ambas caras.	87
Fotografía 3. Parte del muro A sobre parales, colocación de aislantes.....	88
Fotografía 4. Parte del muro sobre parales, colocación de termoship	88
Fotografía 5. Muros con aislantes, pladur y redes principales terminadas, trabajo en ambas caras	89
Fotografía 6. Muros con acabados exteriores, sate y piedra en revestimiento.	89
Fotografía 7. Fabricación de la cubierta	90
Fotografía 8. Montaje de la cubierta en campo	90
Fotografía 9. Vivienda modular de madera en etapa de finalización	91

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Programas, plataformas y formatos de apoyo y desarrollo de la metodología BIM utilizadas en la gestión de proyectos según la necesidad de cada empresa

Anexo 2. Momentos del proceso constructivo - Galería fotográfica

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi madre por ser apoyo incondicional en la distancia, y por siempre estar para darme un consejo alentador.

También agradezco a mi compañero sentimental por ser ese pilar importante, por darme la confianza, y por alentarme a seguir adelante en todas las circunstancias.

Agradezco al Dr. Álvaro Orlando Pedroza Rojas, por dedicarme tiempo aportando su ayuda, apoyo incondicional y conocimientos durante la ejecución del proyecto y durante mi vida profesional.

Agradezco a la empresa PYME del sector de la construcción por darme la oportunidad de evaluar e implementar la metodología BIM en gestión de plazos, y por haberme apoyado en el proceso con el material y tiempo a disposición.

Y agradezco finalmente a mis tutores por siempre entregar tiempo de calidad en cada reunión, y por impartir sus conocimientos y apoyar mi educación.



Universidad de Oviedo
Universidá d'Uviéu
University of Oviedo



Universidad Pública de Navarra
Nafarroako Unibertsitate Publikoa



UNIVERSIDAD
DE LA RIOJA

RESUMEN

El trabajo final pretende desarrollar la metodología BIM para la gestión de plazos en proyectos, en una empresa del sector de la construcción, a través de herramientas que permitan dar seguimiento a procesos constructivos de viviendas modulares de madera. Para su desarrollo se utilizó un proyecto piloto, al cual se le hizo seguimiento a través de tecnologías BIM 4D de manera inductiva, adecuándolas a proyectos estructurales modulares en madera. También se utilizaron distintos software para esta metodología implementándolos dentro de un sistema constructivo. Se dio lugar a una planeación, ejecución, monitoreo y control y respectivo cierre utilizando MS Project Y Navisworks para controlar la programación, y Cadworks como aplicación del modelo de casa modular en madera. Por ello se da a entender lo recomendable que es para las empresas PYMEs implementar la metodología BIM 4D ya que permite reducir costos, tiempos e imprevistos durante la realización de proyectos y son realmente ágiles en procesos derivados de la construcción.

Palabras claves: BIM 4D, gestión de plazos, CMM, construcción, modular, madera, línea base

ABSTRACT

The final work aims to develop the BIM methodology for managing project deadlines, in a company in the construction sector, through tools that allow monitoring the construction processes of modular wooden houses. For its development, a pilot project was used, which was followed up through BIM 4D technologies in an inductive way, adapting them to modular structural projects in wood. Different software were also used for this methodology, implementing them within a construction system. A planning, execution, monitoring and control and respective closure took place using MS Project and Navisworks to control the programming, and Cadworks as an application of the modular wooden house model. For this reason, it is implied how recommendable it is for SMEs to implement the BIM 4D methodology since it allows reducing costs, times and unforeseen events during the execution of projects and they are really agile in processes derived from construction.

Keywords: 4D BIM, deadline management, CMM, construction, modular, Wood, baseline, linetime

1. INTRODUCCIÓN

La investigación adelantada desarrolla la metodología BIM para realizar la gestión de plazos en proyectos en una empresa tipo PYME del sector de la construcción. Esta herramienta permite a las pequeñas y medianas empresas (PYME) planificar, ejecutar, controlar y gestionar, en tiempo real, la totalidad de las actividades propias y pertinentes a los proyectos; en este caso, del sector de la construcción. Según el (Manual EU BIM Task Group, Febrero 2018), "...El valor de la producción del sector de la construcción europeo asciende a 1,3 billones EUR, lo que representa aproximadamente un 9% del PIB de la región".

En el sector económico de interés trabajan más de 18 millones de personas, y, el 95 % de ellas lo hacen en pequeñas y medianas empresas (PYMEs). La necesidad de hacer más eficientes y eficaces los procesos y de lograr resultados pertinentes y oportunos, hace necesario recurrir al uso de métodos y herramientas apropiadas, como la ofrecida por la metodología BIM (Building Information Modeling), que logra centralizar la información partiendo de un modelo 2D o boceto, el cual contiene planos en planta y alzados, y a través del mismo, utilizar un software para realizar un 3D que contenga la información imprescindible para generar el contenido básico que posibilita planificar la gestión de plazos (4D), la cual es la característica principal de la metodología BIM proyectada y empleada en la ejecución del presente trabajo de investigación aplicada.

El uso de la herramienta BIM permite analizar la dinámica interna, las falencias y fortalezas y la fluidez y/o las debilidades de los aspectos y/o procesos internos en las empresas clasificadas como PYME, en el sector de la construcción, "uno de los sectores con menor grado de digitalización, que presenta índices de productividad estancados o descendentes"; a manera de reflexión se señala que "el índice de productividad anual del sector aumentó tan solo un 1 %, en los últimos veinte años".

Referencias como la indicada llevan a reflexionar el problema que enfrentan las empresas pequeñas y medianas empresas del sector de la construcción, que no

están a la vanguardia de la tecnología y, que demandan la implementación urgente de monitoreo y seguimiento de los proyectos propios de ese sector de la economía, de modo de poder desarrollar en ellos, en forma continua, las mejoras que demandan los procesos de planificación de un proyecto, para finalizar exitosamente cada fase.

El estudio y aplicación de la metodología BIM en el marco de la presente investigación se basa en el interés de las empresas PYME del sector de la construcción en madera, de implementar dicho sistema para la gestión de plazos. La empresa que usa ese sistema de planificación puede identificar y aplicar soluciones, y conocer anticipadamente el (los) proyecto (s) en el (los) que se amerita o no el uso del método.

Reviste importancia determinar la forma como BIM facilita la implementación de procesos de monitoreo y seguimiento en tiempo real de la ejecución de proyectos, para captar oportunamente y en forma fácil, los errores o aspectos que ameriten solución, y la aplicación de la remediación apropiada, con antelación a la ejecución de las actividades que incluidas dentro de cada modelo de trabajo.

Una de las ventajas que tiene el empleo adecuado de la metodología 4D BIM o gestión de plazos para mejorar los tiempos de entrega de las estructuras consiste en su capacidad de identificar y optimizar recursos, determinar las fases y áreas del proyecto que se vuelven ruta crítica y, producir cambios positivos y, generar en los diferentes actores disposición proactiva de las PYMEs frente a la dinámica evolutiva de los desarrollos de ciencia, tecnología e innovación.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Desarrollar la metodología BIM para la gestión de plazos en proyectos, en una empresa del sector de la construcción de casas modulares de madera, clasificada como PYME.

2.2. Objetivos Específicos

- Hacer una revisión de la literatura científica existente sobre tecnología BIM como herramienta para la gestión de plazos en una PYME en el sector de la construcción.
- Aplicar la tecnología BIM a través de la gestión de plazos (4D) en una empresa del sector de la construcción de casas modulares de madera, considerada en el grupo de pequeña y mediana empresa (PYME)
- Hacer un análisis comparativo de dos escenarios de desarrollo de un proyecto de casa modular en madera en una empresa PYME. Escenario 1: análisis del proyecto en su perspectiva de planificación y ejecución tradicional vs Escenario 2: evaluación del proyecto bajo aplicación de la tecnología BIM aplicado a la gestión de plazos (4D).
- Determinar el grado de eficiencia de las tecnologías BIM en materia de gestión de plazos para las PYMES, en el caso evaluado del sector de la construcción de casas prefabricadas en madera.

2.3. Naturaleza de la Empresa Base de la Investigación

2.3.1. Naturaleza de la Empresa

La investigación fue orientada a empresas tipo PYME pertenecientes al sector de la construcción, especialmente las dedicadas específicamente al diseño, planificación y ejecución de casas modulares en madera.

Para los efectos de este informe, la empresa tipo seleccionada se denominará “CMM” que resume “Casas modulares de madera”. Se trata de una organización empresarial conformada por un equipo de ingenieros, arquitectos, y una planta importante de mano de obra calificada, que responde a los estándares de calidad en el desarrollo de los proyectos habitacionales.

2.3.2. Proceso industrial de fabricación de viviendas modulares de madera en “CMM”

Previa realización de los estudios arquitectónicos y de ingeniería pertinentes, el proceso de construcción inicia en campo con la fase de ejecución de la cimentación, la cual se apoya en los resultados de los estudios geotécnicos correspondientes, cuyo informe incluye las recomendaciones de diseño y construcción de las bases (zapatas o enanos) de la vivienda. Los estudios básicos preliminares, igualmente contempla la definición de las áreas de ventilación que permite que la estructura no sufra problemas de humedad o asentamientos diferenciales a futuro.

“CMM” implementa los pasos predefinidos para el proceso constructivo de casas con máxima eficiencia térmica. En este propósito se considera el estándar de una casa passivhaus (pacífica con el medio ambiente y por consiguiente no contaminante), la cual consigue reducir en un 75% las necesidades de calefacción y refrigeración, creando una estructura que combina un fuerte aislamiento y una relación costo/beneficio en energía aceptable, de modo que el proyecto de vivienda sea sostenible en el tiempo.

De esta forma, los aislantes, los cerramientos de ventana con triple cristal y gas argón en su interior; la ausencia de puentes térmicos en la vivienda (mediante un sellado minucioso de uniones en muro) o la hermeticidad, constituyen las características esenciales de estas viviendas catalogada como eficientes energéticamente.

Como hecho de referencia se menciona que la empresa de fabricación de casas modulares en madera, ubicada en Vitoria-Gasteiz (en el Polígono Industrial de

Júndiz), realiza el 90% del montaje en planta de: muros, suelos y cubiertas; elementos que, una vez conectados, dan forma a la vivienda.

Se completa la unidad de vivienda, en muro separado, y se adita el sistema combinado de puertas y ventanas previamente establecido y se instalan los sistemas hidráulicos, sanitarios y de iluminación.

Hecho el ensamble de los diferentes elementos se emplaza la estructura sobre la cimentación de hormigón debidamente terminada quedando debidamente fijada al sitio. Una de las fases finales de la casa en campo, consiste en hacer las instalaciones de servicios públicos (luz, agua y saneamiento). El sistema constructivo descrito permite trasladar las casas a través de cortes generales de muro y cubierta hasta los diferentes sitios donde han de quedar emplazadas, sea zona rural o urbana, previo acondicionamiento del terreno.

En el sistema constructivo empleado se hace uso de una serie de aislantes para controlar la baja conductividad térmica de los materiales, logrando que la vivienda tenga certificación energética A+. Se describen seguidamente los aislantes empleados, según el tipo de estructura:

- ✓ *Forjado sanitario bajo la vivienda:* Se crea un forjado sanitario a base de “enanos” (zapatas de hormigón) sobre el que se apoya la vivienda. Este forjado se cierra perimetralmente permitiendo una ventilación directa continua. En proceso aparece un primer aislante: el aire, con una capa de 45cm y una conductividad térmica de 0,02W/m-k.
- ✓ *Termochip 8,5cm bajo el sate:* El SATE en fachadas es utilizado como un primer aislante de base: PANEL TERMOCHIP con un núcleo de 6cm de XPS. Su conductividad térmica es de 0,06W/m-k.
- ✓ *Forjado de vivienda:* Se utiliza un XPS SIEMPRE de 10cm. Su conductividad térmica: 0,36W/m-k. También se utiliza 12cm de LANAS DE ROCA.

- ✓ Forjado en cubierta vivienda: Se utiliza un XPS de 20cm. Su conductividad térmica: 0,36W/m-k.
- ✓ Estructura de entramado ligero de madera abeto nórdico o pino radiata: Las estructuras de la vivienda son de abeto nórdico laminado. Su conductividad térmica es de 0,13W/m-k.
- ✓ Muros verticales de la vivienda: Se utilizan lanas de roca por su excelente comportamiento acústico y térmico. Su conductividad térmica es de 0,42W/.

A partir de estos materiales, se señalan las especificaciones técnicas que hacen posible que la vivienda o casa modular en madera sea más eficiente. La figura 1 muestra la estructura de la casa con los aislantes característicos:

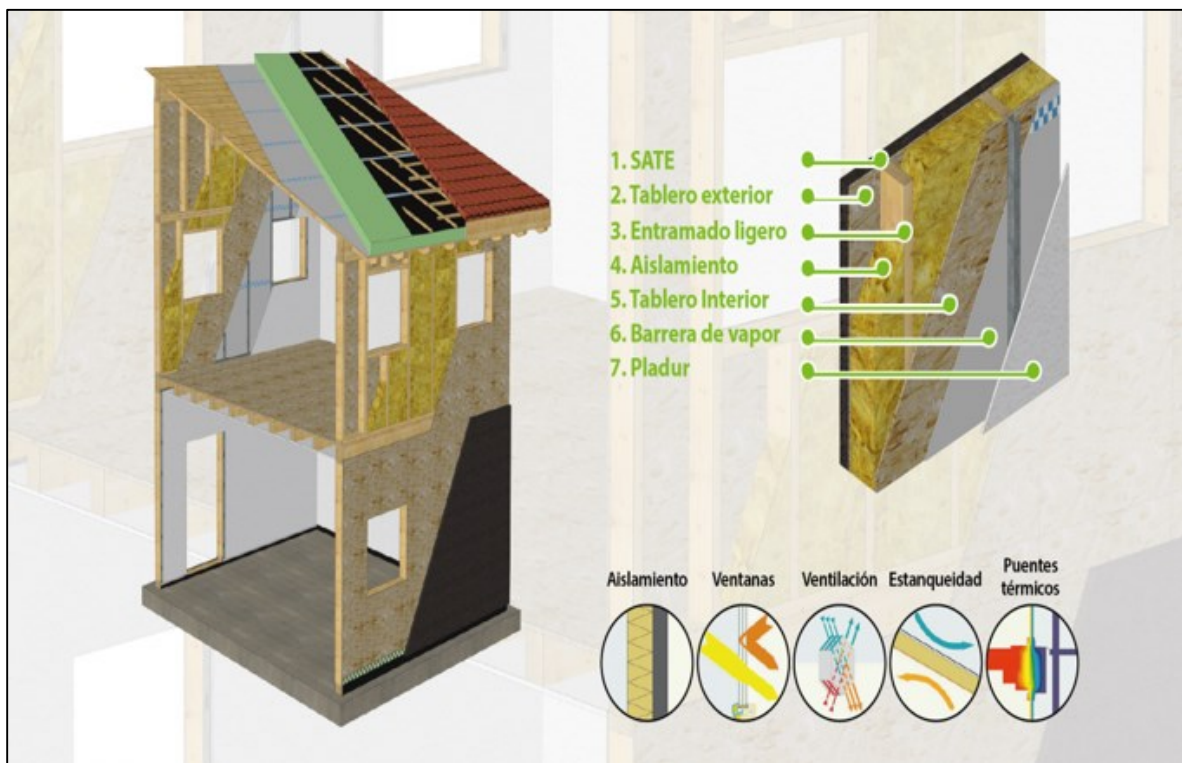


Figura 1. Descripción de ubicación de materiales aislantes para la casa modular en madera. Fuente: "CMM"

La empresa aplica, dado el tipo de construcción empleado, una secuencia óptima para la construcción de viviendas con huellas de carbono muy bajas a lo largo

del tiempo. Se trata de una “obra seca”, y se ejecuta principalmente con materiales orgánicos.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Modelación de la información en los procesos de construcción de edificaciones

Ha sido planteado por diversos académicos, investigadores, constructores y urbanistas que BIM (Building Smart Spain Chapter), es una metodología de gestión colaborativa usada para crear y gestionar proyectos de construcción, que tiene el objetivo de centralizar la información digital total creada por todos sus agentes. Lo anterior sugiere que BIM involucra todas las fases, incluida la construcción de un proyecto, sin importar su categoría, permitiéndole gestionar proyectos y, reducir costos operativos como resultado del control riguroso de los recursos. (Building Smart Spanish Chapter; 2017). La orientación de la técnica es suministrar información digital consistente, reutilizable por los actores interesados en el proyecto a través del ciclo de vida de la construcción; por consiguiente, el modelo BIM ayuda a reducir los costos, tiempos de entrega de proyectos por vía rápida, costos de implementación de calidad, y atender, con el control de activos de la obra. (Oti, Kurul, Cheung, & Tah, 2016).

Se trata de un modelo de gestión interactivo, basado en alta comunicación de la información en la construcción para desarrollar integralmente un proyecto de construcción haciendo uso eficaz y en tiempo real de la información. Los actores interesados en el proyecto interactúan de manera integrada simplificando la secuencia de construcción de proyectos, mediante control y administración. La técnica BIM no contempla la calidad de los procesos en campo con el control de mano de obra.

3.2. CAD en BIM

El diseño en BIM supone la modelación de elementos geométricos parametrizados y, la documentación apropiada para ejercicios de análisis y control de la información inherente en cada etapa de un proyecto. Modelar la información en la construcción es una evolución importante del diseño mediante software; en consecuencia, CAD en BIM es una base esencial, más no es el complemento de la metodología BIM. La fuerza del sistema BIM radica en la logística de la información parametrizada y por consiguiente susceptible de ser consultada para distintos propósitos.

3.3. Diseño paramétrico

Corresponde al ejercicio de asignar parámetros o variables a diferentes elementos o familias (por ejemplo, elementos cimentaciones, placas, columnas, vigas, etc.) para poder gestionar eficientemente sus propiedades (Building Smart Spanish Chapter, 2017). El diseño paramétrico en BIM permite gestionar, ágilmente, la información del modelo y, manipular las propiedades de las familias, para realizar análisis posteriores (como documentación de costos o control de obra en la construcción).

3.4. Interoperabilidad

Hace referencia a la capacidad de las componentes computacionales para intercambiar información e interpretar o tener la capacidad de administrar esa información intercambiada (Antonio & Goncalves, 2010). En esa instancia se debe unificar tipos de archivos para generar condiciones de compatibilidad universal y evitar que los sistemas de modelación BIM se vean afectados con la transferencia e intercambio de datos. Se han desarrollado algunas iniciativas para la universalización de los archivos. SmartBIM, organización europea sin ánimo de lucro, orienta su interés a generar o estandarizar los archivos de datos de tipo IFC (Industry Foundation Classes), como resultado de los esfuerzos de

Desarrollos de Intercambio de Datos de Productos PDE (Developing Product Data Exchange) (Robert, Mark, & Sebastian, 2011).

3.5. IFC (Industry Foundation Clases)

Según (Robert, Mark, & Sebastian, 2011), los archivos IFC cumplen la siguiente especificación:

- Estructura espacial de la construcción. Representa la arquitectura y distribución de los elementos del proyecto. Un documento en tres dimensiones es el archivo que lo representa.
- Información sobre las características de los diferentes elementos de la edificación; (propiedades de los elementos o base de datos).
- Inter correlación lógica entre elementos y espacios (flujos entre los elementos o información).
- Geometría 3D - Información geoespacial para verificar colisiones, divergencias, entre elementos.
- Diseño visual 2D y 3D. Dimensiones y distribuciones espaciales de los elementos
- Información específica de los elementos de construcción (información necesaria para el desarrollo de los procesos constructivos).
- Otros sistemas con capacidad de análisis energético, de diseño, administración, etc.

3.6. Ciclo de vida de un proyecto

La aplicación de la metodología BIM es común en las distintas fases de proyectos del sector de la construcción. El pleno conocimiento del ciclo de vida de un proyecto posibilita un mejor desempeño de la tecnología BIM. Cobra importancia el mantenimiento apropiado de la información en las distintas etapas del proyecto, por cuanto permite realizar su respectiva consulta, asegurando que esta es veraz y confiable. Durante el ciclo de vida de un proyecto, la información de la construcción puede ser utilizada mediante la captura y reúso. (Xun, Ling, & Lieyun, 2014).

Como se ilustra en la Figura 2, las componentes de un proyecto del sector de la construcción están enmarcados por: Diseño preliminar (diseño inicial); Diseño, construcción y Operación-mantenimiento. En la figura 2 se aprecian (con flechas) las relaciones entre actores (elementos de cada fase (clientes, consultores, constructores, proveedores, fabricantes, administrador de proyectos principalmente).

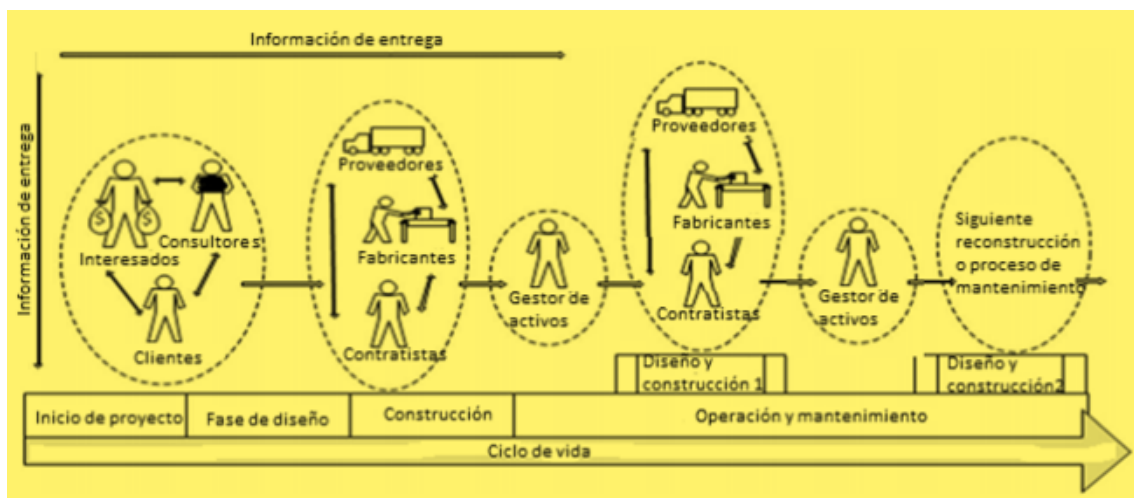


Figura 2. Ciclo de vida de un proyecto de construcción según el intercambio de información en cada etapa. Fuente Hoerber & Alsem, (2016)

3.7. Ciclo de vida de la información de un proyecto

(Xun, Ling, & Lieyun, 2014) señalan que es posible clasificar en tres las funciones de BIM en términos del dimensionamiento de la información, conforme se observa en la Figura 3: Documentación (base informativa que contiene los componentes con el fin de identidad); Información de interrelación, tiene que ver con todas las interacciones existentes y sobre cómo esa información es manipulada o transportada a lo largo de las fases del proyecto; Información de función o aplicabilidad, finalidad de la documentación. En todo el proceso (diseño, construcción u operación), se requiere el mismo esquema de información: de componentes, de flujo y función.

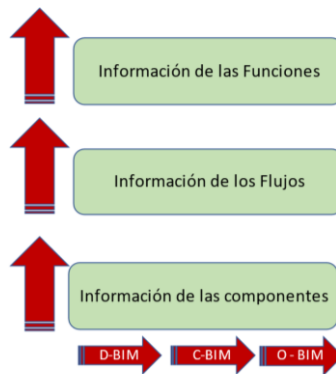


Figura 3. Ciclo de vida de la información en BIM. Fuente: Xun, Ling, & Lieyun, (2014)

De acuerdo con Xun, Ling & Lieyun, cada una de las fases (diseño, construcción u operación,) requiere el mismo esquema de información (de componentes, de flujo y de función). La Figura 4 materializa esta concepción como esquema de la modelación de información en el ciclo de vida del proyecto.

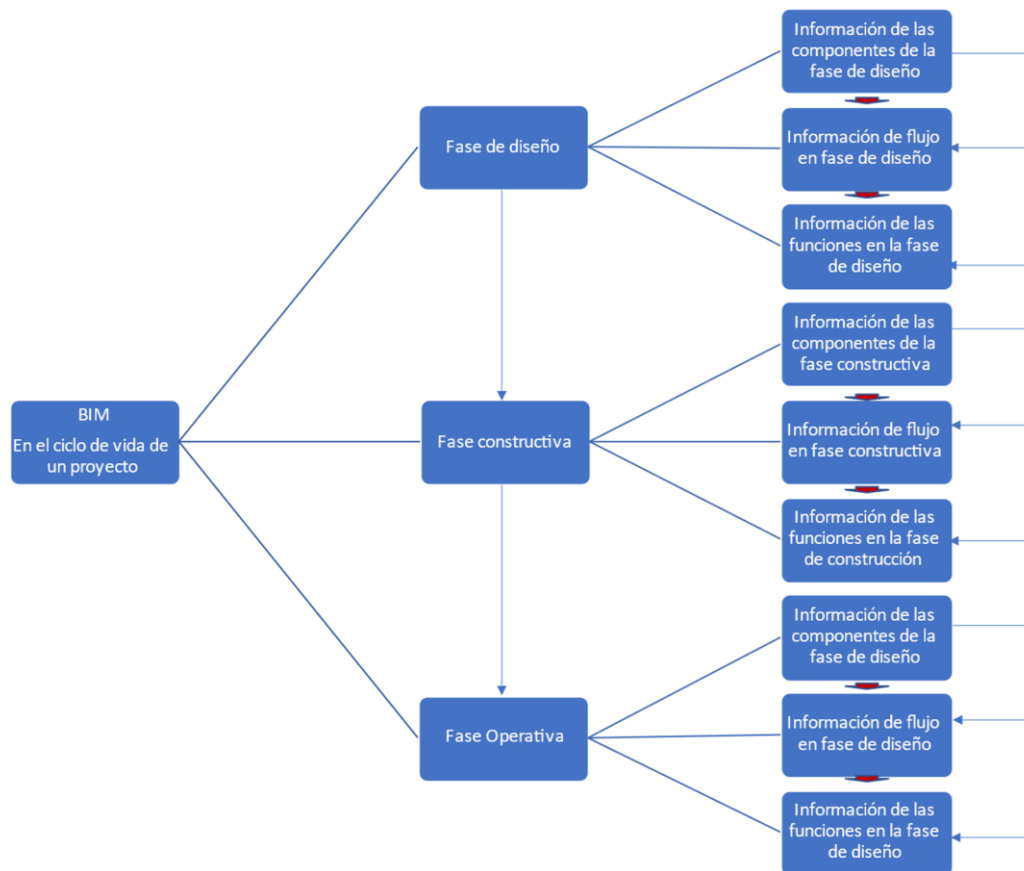


Figura 4. Ciclo de vida de la información en BIM. Fuente: Elaboración adaptada con base en Xun, Ling, & Lieyun, (2014)

3.8. Normativa BIM

La implementación de las tecnología BIM en Europa se rige por la legislación “Directiva 2014/24UE del departamento europeo y del consejo” (Building Smart Spain Chapter, 2017) publicado de 26 de febrero de 2014 sobre la contratación pública (Parlamento europeo y del concejo, 2014) concerniente a las iniciativas que desarrollen la metodología BIM en proyectos públicos según las licitaciones de cada país. (Building Smart Spain Chapter, 2017).

La estandarización por parte ISO recaen en el subcomité ISO/TC 59/SC 13 “Edificación y obra civil. Organización de la Información de los trabajos de construcción”. Las características principales de estas normas están contenidas en (International Organization for Standadization (ISO), 2017) y se muestran en la Figura 5

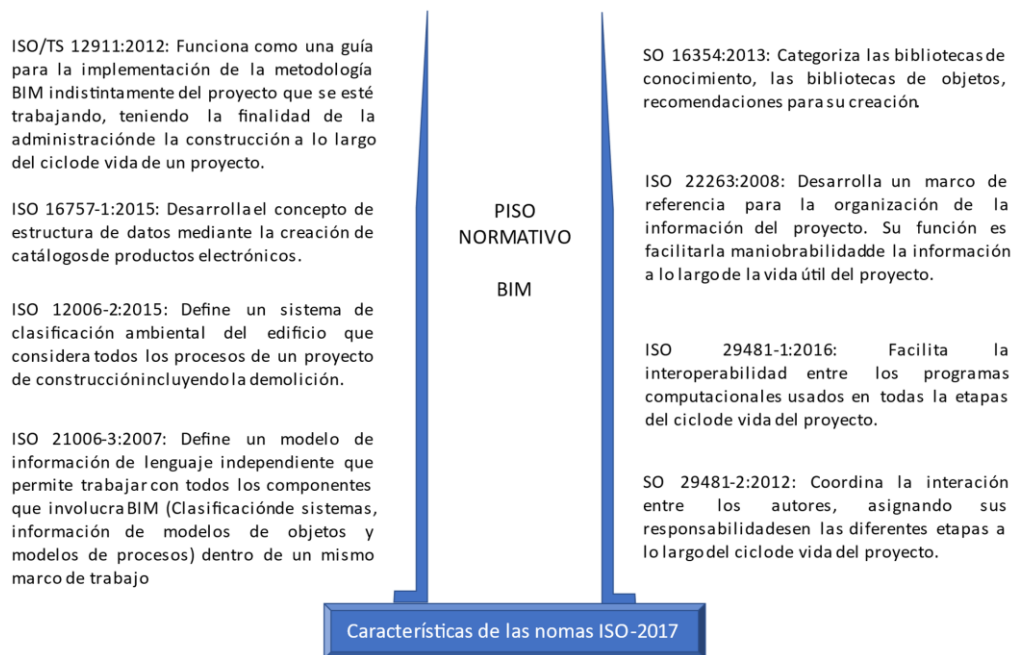


Figura 5. Alcance de la base jurídica que regula la aplicación de BIM en Europa. (International Organization for Standadization (ISO), 2017. Fuente: adaptado de Zigurat Global Institute of Technology, 2020

4. METODOLOGÍA BIM

En el sector de la construcción es común la búsqueda continua de mejoramiento del ciclo de vida de las estructuras, haciendo uso de un conjunto de fases y procesos constructivos, a partir del conocimiento del proyecto, de sus ventajas y desventajas y, manejando básicamente la información clave requerida para optimizar recursos, tiempos, costos, entre otros factores.

Building Information Modeling (BIM) es una metodología de trabajo colaborativa para la creación y gestión de un proyecto de construcción. Su propósito es la gestión de datos de una edificación durante su ciclo de vida empleando un software dinámico de modelado tridimensional de edificaciones y en tiempo real, para reducir la pérdida de tiempo y racionalizar los recursos en los procesos de diseño y construcción.

Es creciente el número de empresas (grandes y PYMES) que incursionan y le apuestan a la metodología BIM; por consiguiente, la demanda de profesionales idóneos y capacitados en el manejo de la citada tecnología es cada día mayor.

En la actualidad, el control y la planificación de un proyecto es esencial por cuanto comprende toda la vida útil del bien, desde el principio hasta el final de éste. Usualmente, en los procesos de planificación y control se trabajan en forma independiente aspectos como el tiempo, el alcance, la calidad, el coste, los recursos humanos, el modelo, etc. Consecuentemente, se hacen estimaciones sin analizar las interrelaciones entre los distintos factores intervinientes y sin considerar otras variables del proyecto, dando como resultado afectaciones serias al proyecto y a las propias organizaciones empresariales.

Las empresas que han utilizado la tecnología BIM han demostrado que su uso en los proyectos de ingeniería posibilita compartir datos e intercambiar información y conocimiento. Por consiguiente, es factible anticipar problemas futuros y corregir sobre la marcha muchos imprevistos, agilizando procesos y optimizando el sistema.

En síntesis, el BIM faculta la gestión y centralización de toda la información relativa al proyecto, mejora los procesos comunicativos entre los stakeholders (partes interesadas en la obra) y permite su uso, no sólo en el propio proyecto, sino también en futuros desarrollos e inversiones en ingeniería que involucren e implementen las herramientas BIM. En esencia, el éxito de la tecnología BIM radica en que mantiene un puente de comunicación entre proceso y producto.

Los beneficios aportados por esta metodología redundan en la toma de decisiones en las distintas etapas del proyecto, desde la fase de concepción y diseño, la ejecución de las obras, el terminado satisfactorio de los productos, la generación de documentos de alta calidad, el cálculo de costes y la planificación de la construcción.

La presente investigación muestra el uso del sistema BIM, enfocada a la gestión de plazos o 4D, en una PYME del sector de la construcción de edificaciones en madera, con el objetivo de optimizar los tiempos de entrega, lograr realizar una fabricación en línea de las estructuras y, hacer ahorros importantes de los costos inherentes a los imprevistos asociados con situaciones no consideradas en una planificación tradicional.

La Figura 6 enseña el ciclo de vida del modelo BIM, en la que es posible destacar la integralidad e intercomunicación de los procesos a lo largo de la vida útil de un proyecto de inversión en ingeniería, especialmente del campo de la construcción.

CICLO DE VIDA DE LA EDIFICACIÓN.

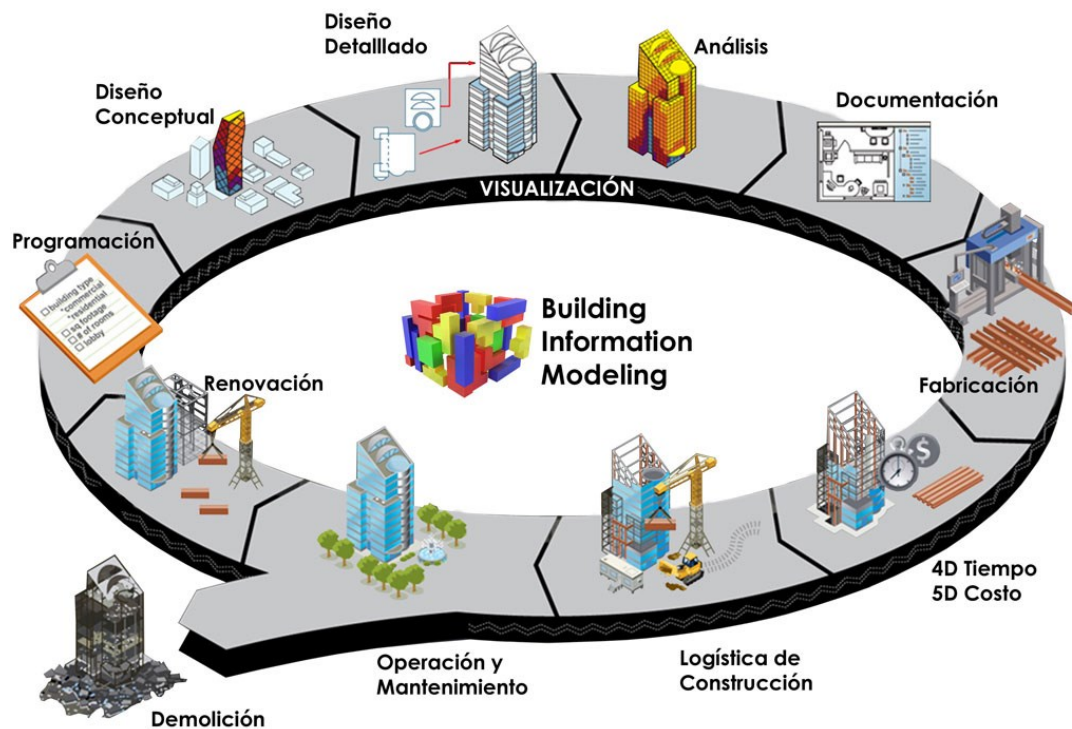


Figura 6. Ciclo de vida del modelo BIM en el sector de la construcción. Fuente:

<https://ingcivileng.com/2017/12/03/bim-hacia-la-alineacion-de-intereses-en-la-construccion/>

Durante mucho tiempo en España, entre otras latitudes, se ha venido (y aún hoy, se sigue) empleando la información técnica de un proyecto basado en planimetrías en 2D, sin tener en cuenta la sostenibilidad y la unificación de actividades del proyecto a ejecutar. Usando el método BIM, debido a la sostenibilidad se tiene un ciclo de vida básico del proyecto de 20 o más años, dependiendo de su diseño y, la garantía de que todas las etapas de la vida de la obra iniciarán y culminarán de manera ordenada, de acuerdo con la planificación, diseño conceptual, diseño detallado, análisis, documentación, fabricación, construcción, operación y mantenimiento 4D / 5D, incluidas las fases finales de demolición y/o rehabilitación.

4.1. Software de apoyo de la tecnología BIM

La metodología BIM se apoya en software especializado, como se ilustra en la Tabla 1, según cada campo de aplicabilidad.

Tabla 1. Software base para tecnología BIM

Objeto o campo de aplicación	Programas básicos utilizados
Arquitectura	Archicad, Allplan, Revit
Cálculo y diseño de estructuras	Cypecad, Robot, Tekla y Tricalc
Cálculo	Cype MEP y DDS-CAD
Modelado y Diseño de instalaciones	Revit MEP y Archicad MEP modeler
Planificación y control de costes	Naviswork, Vico, Gest Mideplan y Synchro.
Coordinación y control de Calidad de modelos BIM	Solibri, BIM collab, Tekla y BIMsight
Industrialización de casas modulares de madera	Cadworks
Programación	Viswork

Fuente: adaptado por el autor a partir de la información consultada

La Tabla 1 sugiere que la implementación de la tecnología BIM implica no sólo la adquisición del software especializado sino también la inversión en un hardware robusto con la potencia adecuada para sostener la simultaneidad de operación de varios de los programas citados y manejar grandes volúmenes de información. En esencia, según el alcance que se busque en el desarrollo de proyectos, se exigirá la inversión en adquisición de equipos pertinentes y suficientes para tener un trabajo fluido. En ese sentido, es necesario observar las recomendaciones que da cada empresa productora de softwares respecto de las especificaciones de hardware requeridas para lograr buenos niveles de eficiencia de los programas que se adquieren.

Puede observarse en la Tabla 1 que, en el marco de aplicabilidad de sistema BIM, especialmente en el campo de la concepción y diseño arquitectónico, los programas de mayor aplicabilidad mundial son All Plan, ArchiCAD y Revit; este último, es el software más utilizado por las empresas constructoras españolas, debido a que involucra la componente técnica del proyecto.

Para la industrialización de casas modulares en madera se utiliza el software **Cadworks**, el cual ha sido implementado a lo largo de la ejecución del presente proyecto en desarrollo de la aplicabilidad del sistema BIM para la gestión de plazos o 4D, buscando optimizar el proceso de expansión industrial para la ejecución de casas modulares en madera en el menor tiempo posible.

Se hace un control desde la planificación, garantizando que toda la información al inicio de cada proyecto ayude a la transformación de la construcción de viviendas dentro de la empresa. El objetivo está enfocado a implementar la tecnología BIM como herramienta en proyectos futuros.

En el contexto de la presente investigación, se hizo seguimiento a la fabricación de una de las casas modulares para controlar la gestión de plazos a través de la metodología 4D y, en consecuencia, fue posible encontrar soluciones dentro de cada plan para satisfacer las necesidades de la empresa.

La implementación de la metodología 4D BIM impone la conformación de un grupo humano calificado, y en constante formación para garantizar, de una parte, que se pueda llevar a cabo este proceso, y por otro lado, asegurar que tenga funcionalidad y continuidad en el tiempo.

El software (Naviswork) enlaza la programación, desde la línea base hasta lo real ejecutado en un modelo 4D, permitiendo visualizar y mostrar en tiempo real, la ruta crítica y la real ejecutada contra lo estimado; todos los miembros de la organización están enterados de lo que sucede con cada proyecto que se esté ejecutando.

La implementación de la metodología descrita permite, más allá de obtener soluciones oportunas, lograr un buen indicador costo/beneficio de los interesados y de la empresa y, garantizar la construcción de casas modulares en madera a gran escala, desde la planta (o nave), a través de un sistema en línea, según el orden de las actividades establecidas, de modo tal que sea posible trasladar casas (al menos en un 80% confeccionadas) a campo.

Estos retos justifican la implementación de una metodología apropiada con capacidad de controlar plazos de ejecución de cada estructura y, definir

soluciones oportunas a los diversos problemas que pudieran limitar el cumplimiento de objetivos a corto, mediano y largo plazo.

4.2. Ejemplos de proyectos de ingeniería basados en tecnología BIM-Gestión de plazos 4D

Se citan a continuación, algunos ejemplos de proyectos ya ejecutados en distintos lugares del mundo destacando el éxito de la gestión de plazos 4D.

4.2.1. Ejemplo 1. Edificio de la Fórmula Uno, en Yas Island.

En este edificio se empleó la metodología de gestión de plazos (4D) para encontrar soluciones eficientes y oportunas a errores, en una estructura de gran escala. Esta experiencia es imprescindible para el análisis de detalles de la técnica de construcción empleada.

En este proyecto, partiendo de la planificación, se pudieron controlar cambios con antelación al inicio de la construcción de la estructura, lo cual permitió implementar oportunas correcciones en algunos sistemas de la edificación.

La figura 7A muestra los espacios físicos para modelar los espacios de trabajo del equipo de soldadura, orientado a detectar interferencias inseguras. La figura 7B enseña el marco general de la estructura.

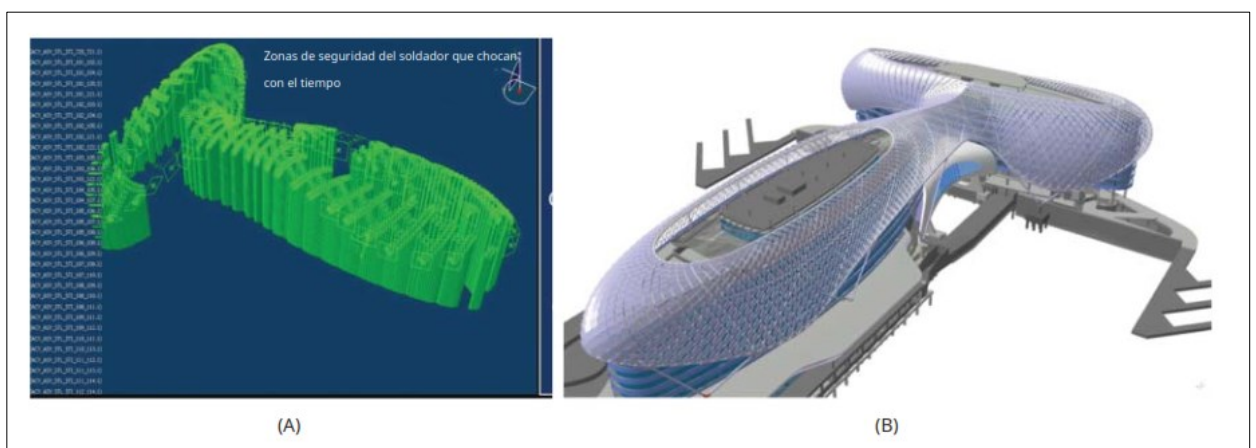


Figura 7 A y B. Edificio de la Fórmula Uno en Yas Island. Fuente: BIM Handbook.

4.2.2. Ejemplo 2. Mapletree Business City II, Singapore

En este proyecto se implementó el modelo 4D utilizando una combinación de Revit y Navisworks. Fue creado un plan de trabajo que permitió que el equipo de proyecto planificara y ejecutara, de manera eficaz, el proyecto, identificando problemas potenciales y evaluando varias alternativas de solución

En la figura 8 se aprecian aspectos de la técnica BIM utilizada para identificar los principales hitos del proyecto y para hacer un seguimiento al ciclo del proyecto “in situ”. Haciendo uso de herramientas y programas computacionales se realizó un control exhaustivo de la construcción de la edificación, sin omitir detalles, controlando el tiempo y los recursos, que son los factores indispensables de este proyecto. Se ilustra el modelo planificado comparado a lo real y, ejecutado mediante el software previamente mencionado.



Figura 8. Plan de seguimiento a través de BIM, controlado en 4D al edificio Mapletree Business City II, Singapore. Fuente: BIM Handbook, tercera edición, 2018

Es evidenciable en los proyectos descritos que en su desarrollo fue implementado el sistema 4D BIM, permitiendo superar las limitaciones surgidas durante la ejecución de cada proceso y, encontrar soluciones apropiadas y tempranas durante todo el ciclo del proyecto, desde la fase de planificación. Así mismo, fueron definidas las alternativas rápidas de solución técnica a problemas durante la ejecución, ejerciendo control a partir de plataformas colaborativas, para dar un seguimiento más visual y efectivo.

La empresa de construcción de viviendas en madera hará uso de la metodología BIM para superar limitaciones durante la ejecución de las casas modulares y, con ello, ejercerá control a detalle de cada segmento de la construcción. Desde la perspectiva de una empresa tipo PYME podrá desarrollar esta la metodología BIM para analizar visualmente los proyectos, avanzar y retroceder en el tiempo y realizar cambios rápidamente, evitando imprevistos económicamente excesivos.

4.3. Ventajas de las metodologías BIM

La herramienta CAD es un objeto fundamental para el diseño en el sector de la construcción. En la actualidad, pese a que los modelos 2D aún son requeridos para diferentes propósitos en el sector de la construcción, no tienen gran alcance respecto a gestión del proyecto, en cuanto a cambios durante la planificación, ejecución, control y finalización de este. Esta situación ocasiona problemas de retrasos en entregas y en las diferentes fases de realización de los proyectos, impidiendo resolver de manera eficaz objeciones dentro del campo designado. Se explica a continuación las fortalezas y debilidades de aplicaciones basadas en CAD:

Ventajas de las aplicaciones basadas en AutoCAD: las aplicaciones de AutoCAD son fáciles de adoptar o usar debido a que disponen de una interfaz de usuario coherente; basadas en las funciones familiares de dibujo 2D de AutoCAD. Existe una API extensa con múltiples lenguajes de programación para el desarrollo de

nuevas aplicaciones, respaldada por el kit de desarrollo de software (SDK) apropiado. (BIM Handbook, tercera edición, 2018)

Debilidades de las aplicaciones basadas en AutoCAD: su limitación básica es que no son modeladores paramétricos que permitan a los no programadores definir nuevos objetos (sin programación a nivel de API), reglas y restricciones de objetos; tienen interfaces limitadas con otras aplicaciones; uso externo de referencias (XREF) (con limitaciones de integración inherentes) para la gestión de proyectos; si no se confía en XREF, se trata de sistemas de memoria con problemas de escala; necesitan propagar manualmente los cambios en el conjunto de dibujos. (BIM Handbook, tercera edición, 2018).

Ese modelo difiere del BIM, catalogado como un sistema que permite sincronizar todos los elementos afines a la gestión de proyectos permitiendo eficacia en tiempo, costos, y calidad, mediante el uso de aplicaciones computacionales como Cadworks, Revit, Archicad19, Sofplan, Allplan, Chief Architect, por mencionar algunas de ellas, usadas como herramientas colaborativas.

La figura 9 registra descripciones de las características y diferencias comparativas entre los sistemas BIM y CAD, destacando que la técnica que más beneficia, en la actualidad, a las empresas PYMEs del sector de la construcción, es la implementación de 4D BIM (gestión de plazos).

Lo expuesto conlleva a plantear la reflexión de que las empresas PYMEs deben dar un giro a la manera de cómo se gestionan los proyectos tradicionales, y adoptar la ejecución de estructuras con metodología BIM para aplicar, en todas las fases y en el marco de la tecnología e innovación, en los diferentes departamentos designados para el uso de herramientas de transformación de la organización.

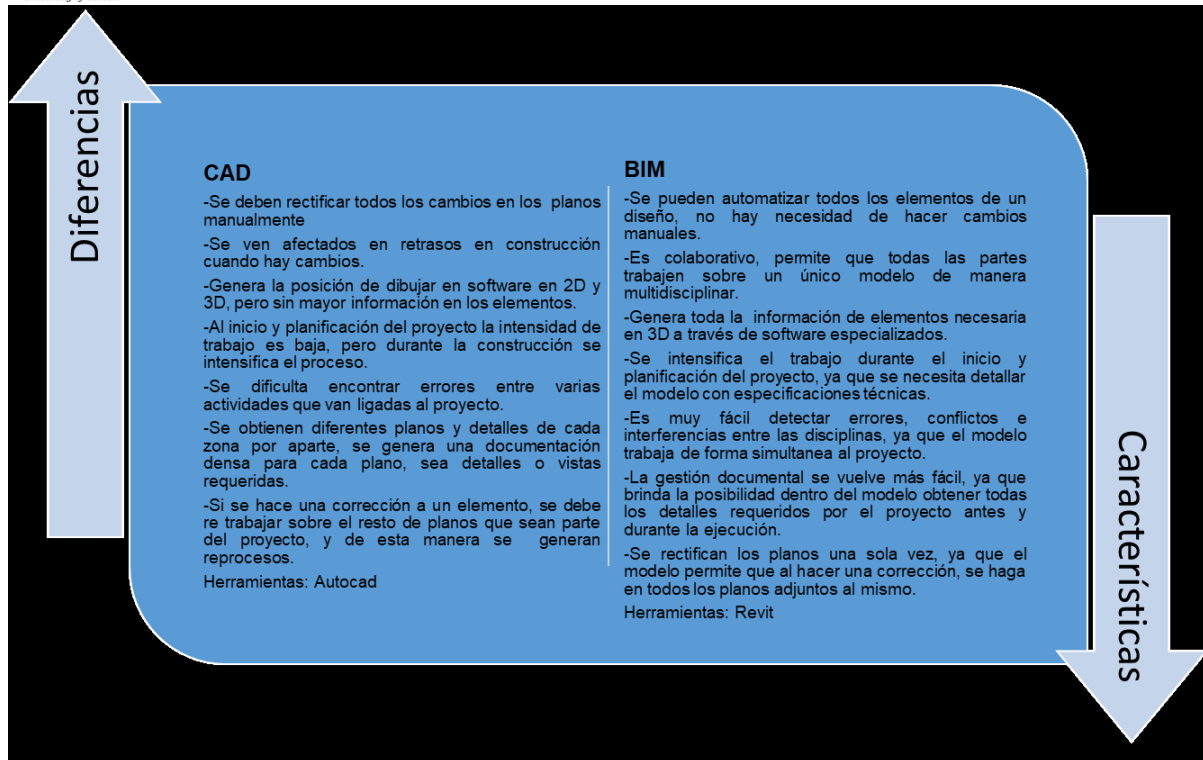


Figura 9. Diferencias entre BIM y CAD. Fuente: Elaboración Propia

En “CMM”, empresa matriz base del presente proyecto, se proyecta desarrollar gradualmente la metodología 4D BIM, cambiando paulatinamente de CAD a BIM para optimizar la producción de casas modulares en madera, con la finalidad de obtener mayores beneficios y lograr un mayor alcance y mejor control de los proyectos a ejecutar.

La Figura 10 presenta una curva del esfuerzo del proceso constructivo. (MACLEAMY), donde es posible observar que en la curva 3 el diseño tradicional tiende a mantener un esfuerzo más grande durante la construcción de un proyecto, haciendo que al mismo tiempo tenga un incremento en costos y plazos. Por su parte, la curva 4 corresponde a un diseño basado en BIM, el cual supone que todo el esfuerzo realiza al inicio de cualquier proyecto (en costo y tiempo); de esta manera, se tiene más control para definir, secuenciar y estimar actividades para generar la programación del proyecto.

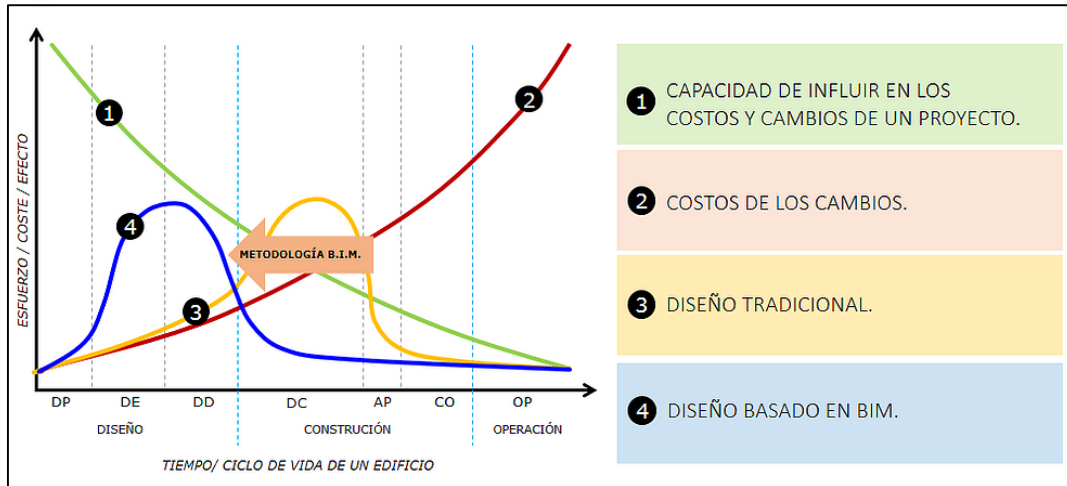


Figura 10. Curva del Esfuerzo del Proceso Constructivo: (MACLEAMY). Fuente: *metricobim*

BIM tiene la manera de implantar todas las herramientas necesarias al comienzo del proyecto (tiempo, calidad, costo), permitiendo controlar en tiempo real cualquier problema que se presente, y dando solución rápida a problemas y hechos dentro del proyecto por ser una herramienta colaborativa.

5. ESTADO DEL ARTE DE LA METODOLOGÍA BIM

El modelo BIM es una tecnología colaborativa resultado del aporte de personas, empresas y países de todo el mundo; no es atribuible a alguien en particular. En la Figura 11 se muestra algunos aportes importantes en la configuración del BIM que hoy se aplica, destacándose las contribuciones de Estados Unidos, el centro y norte de Europa y Japón.

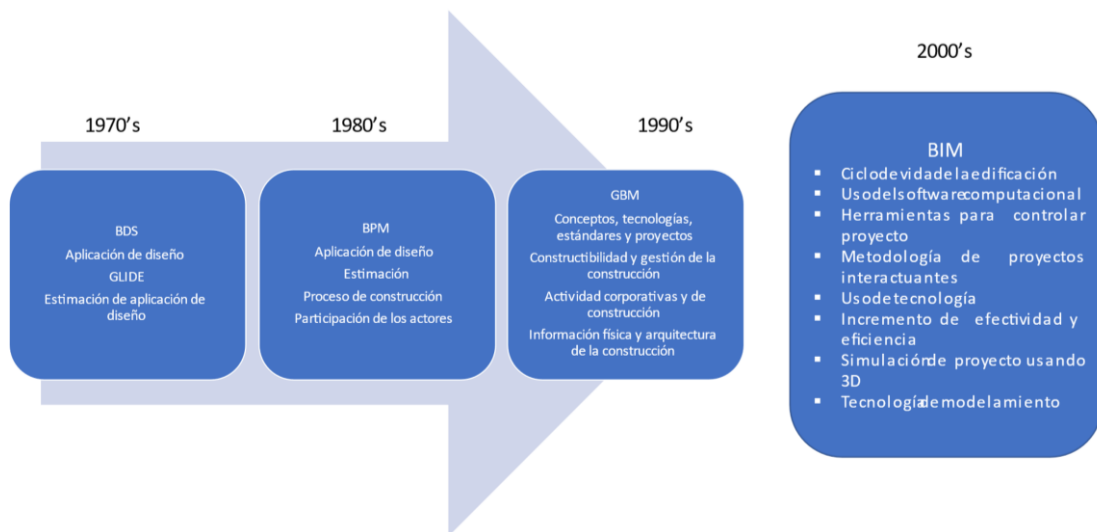


Figura 11. Desarrollo de la metodología BIM. Adaptación de Ahmad L, Brajim J & Fathi, M (2014)

5.1. Evolución de la gestión de proyectos constructivos (con énfasis en la gestión de Plazos)

La historia de la administración de proyectos se remonta al Antiguo Egipto, donde se practicó la planificación y control al erigir las pirámides que, son en la actualidad, dada sus dimensiones, objeto de debate por parte de los arqueólogos sobre la hazaña constructiva. Los registros antiguos muestran la designación de gerentes para cada uno de los cuatro lados de la Gran Pirámide con la misión de supervisar su finalización en el año 2570 a.C, al concluir la construcción de la Gran Pirámide de Giza.

Sin embargo, sólo hasta la revolución industrial (Portillo, 2015), se produjo un cambio en la complejidad de los proyectos. Los procesos constructivos se industrializaron gradualmente y fue factible realizar controles y planificaciones.

La Gran Muralla China, una de las Siete Maravillas del Mundo, erigida desde la dinastía Qin (221-206 a. C.), es considerado un megaproyecto constructivo que utilizó, según datos históricos, una fuerza laboral numerosa (millones de personas) organizada en tres categorías: soldados, civiles y personas privadas de la libertad.

Una nueva herramienta de programación de obra conocida como Diagrama de Gantt aparece en el mundo del sector de la construcción alrededor del año 1917. A Henry Gantt, ingeniero norteamericano, precursor de la ingeniería industrial contemporánea de Taylor y uno de los pioneros de la gestión de proyectos, (1861-1919), se le señala como el inventor del mencionado diagrama, que es una herramienta gráfica de la programación de actividades, cuyo objetivo es establecer la duración prevista para cada acción, destacando las fechas de iniciación y terminación de las actividades pertinentes a la ejecución de un proyecto; sin embargo, el diagrama de Gantt no señala las relaciones existentes entre actividades.

Pese a que se atribuye esta herramienta de programación a Henry Gantt, existe alguna discusión académica sobre la paternidad del conocido y precitado Diagrama; se ha señalado a Joseph Priestley en 1765 o William Playfair en 1786, quienes habrían propuesto las ideas precursoras de programación de obra, que el ingeniero Karol Adamiecki desarrolló en 1896 en lo que él llamó como "Harmonograma".

El instrumento desarrollado por el ingeniero polaco Karol Adamiecki (bajo el nombre de harmonogram o harmonograf, en 1896) fue presentado por su autor como medio de representación gráfica de procesos interdependientes utilizados para mejorar la visibilidad de los programas de producción; al emplear esta herramienta, la posición de cada tarea a lo largo del tiempo posibilita la identificación de relaciones e interdependencias. Este instrumento aplicable en

procesos de programación de obra fue descrito y publicado, en lengua polaca y rusa, por su autor en un artículo científico (en 1931). Con algunas modificaciones, la invención de Adamiecki fue expuesta y socializada en lengua inglesa en los países occidentales por Henry Laurence Gantt entre 1910 y 1915 y se popularizó como “Diagrama de Gantt”.

Este aporte a la planificación fue, en la segunda década del siglo XX, una idea radical innovadora. Su primera aplicación se hizo visible en la construcción de la presa Hoover iniciada en 1931. Los diagramas de Gantt aún en uso, son una componente de primer orden importante de la caja de herramientas de cualquier gerente de proyecto.

Un nuevo hito en la historia de la programación en procesos constructivos es la fundación, en 1956, de la American Association of Cost Engineers (ahora AACE International), que se distingue como el primer grupo de profesionales vinculados con la gestión, planificación, programación y, estimación de costos de los proyectos. Desde entonces, AACE ha mantenido una posición de liderazgo en la comunidad profesional en la formación y/o capacitación de estimadores de costos, ingenieros de costos, administradores de calendario, gerentes de proyectos y expertos en control de proyectos. AACE es pionero en la implantación (en 2006) del primer proceso integrado de gestión de proyectos, incluyendo software y costos totales.

El método de ruta crítica o Critical Path Method (CPM) inventado por Dupont Corporation, en 1957, es una tecnología utilizada para predecir la duración de un proyecto, analizando qué secuencia de actividades tiene la menor flexibilidad. Calendario. Fue diseñado por DuPont para resolver el complejo proceso de cerrar plantas químicas para actividades de mantenimiento y reiniciar las operaciones una vez finalizado. La tecnología fue muy exitosa, ahorrándole a la compañía \$ 1 millón en el primer año de implementación.

Sin embargo, el sistema CPM tiene como bases históricas de génesis algunos intentos de crear una técnica de programación desarrollados, entre 1955 y 1957 por la “Imperial Chemical Industries” y el “Central Electricity Generating Board”,

en el Reino Unido, donde se propuso un método para identificar la secuencia de estados más larga e irreductible para la ejecución de un trabajo, en línea, que posteriormente tomaría el nombre de CPM (Crítico Path Method). La aplicación de esta herramienta de programación por parte de dichas empresas les permitió ahorrar cerca del 40% de tiempo. Sin embargo, las innovaciones aquí señaladas no fueron socializadas y quedaron en el anonimato.

1958.- La Armada de los Estados Unidos inventa la Técnica de Revisión y Evaluación de Programas (Program Evaluation and Review Technique o PERT), utilizada para el Proyecto Polaris

La Oficina de Proyectos Navales Especiales del Departamento de Defensa de EE. UU, desarrolló PERT como parte del proyecto Polaris para misiles balísticos móviles lanzados desde submarinos durante la Guerra Fría. El método PERT posibilita direccionar la programación de un proyecto y analizar las actividades que le son inherentes; su esquema corresponde a una representación gráfica de la red de tareas, que, al situarse en cadena, hace posible alcanzar los objetivos del proyecto. Se basa en un algoritmo soportado en la teoría de redes diseñado para facilitar la planificación de proyectos. La aplicación de este algoritmo da como resultado el cronograma del proyecto, en el cual se puede conocer no sólo la duración total del mismo, sino la clasificación de las actividades según su criticidad. El algoritmo PERT, aquí en comento, se desarrolla mediante intervalos probabilísticos (diferenciándolo del método CPM, el cual supone tiempos determinísticos), tomando en consideración los tiempos optimistas, probables y pesimistas, necesarios para cumplir con la actividad e identificar finalmente el tiempo mínimo requerido que permite finalizar cada tarea y por ende el proyecto en su totalidad.

1962.- El Departamento de Defensa de los Estados Unidos ordena aplicar la Estructura de Desglose de Trabajo (Work Breakdown Structure, WBS)

EDT o WBS se creó como parte del proyecto de misiles balísticos móviles lanzados desde un submarino Polaris. Luego de ejecutar el proyecto, el Departamento de Defensa emitió una estructura de desglose de obra, ordenando

seguir este procedimiento en futuros proyectos de este alcance y escala. WBS es una estructura integral, representada por un árbol jerárquico de entregables y tareas que deben completarse para finalizar el proyecto. Posteriormente, el método fue adoptado por el sector privado; WBS sigue siendo una de las herramientas más comunes y efectivas en la gestión de proyectos.

1965.- Se funda la International Project Management Association (IPMA)

IPMA es la primera asociación de gestión de proyectos del mundo; inició con un grupo en Viena, Austria, en el marco de un foro para gerentes de proyectos y orientado a crear las condiciones para establecer redes y compartir información. La referenciada asociación fue registrada en Zúrich, Suiza y Nijkerk y Países Bajos. Con base en tales características sobre sus orígenes, IPMA es una alianza con más de 50 asociaciones nacionales de gestión de proyectos; cuenta con más de 40 mil miembros en todo el mundo, principalmente en Europa. Recientemente (hace menos de 5 años) se viene implementado en Latinoamérica. Cuenta con cuatro niveles para certificarse como PMP.

1969.- Nace en los Estados Unidos el Project Management Institute (PMI®)

El Project Management Institute (PMI) fue fundada en 1969 como una organización profesional estadounidense, sin ánimo de lucro, dedicada a contribuir con el avance científico de la gestión de proyectos. El primer espacio de socialización de saberes en relación con la administración y gestión de proyectos consistió en un seminario celebrado en Atlanta (Estados Unidos), con participación de más de ochenta personas. En ese encuentro académico participó Russell Archibald, miembro N° 6 del PMI® con la conferencia “Planificar, Calendarizar y Controlar los Esfuerzos de los Trabajadores del Conocimiento”. Desde entonces, el PMI® es bien conocido como fuente origen de la “Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos” (PMBOK®), catalogada como una de las herramientas fundamentales en la profesión de gestión de proyectos, actualmente. En la década de los 70 creó el primer capítulo, permitiéndole realizar fuera de Estados Unidos un seminario académico y alcanzando cerca de 2000 miembros vinculados a la organización.

En la década de los 80, el PMI realizó la primera evaluación para la certificación como profesional en gestión de proyectos (PMP por sus siglas en inglés) e implantó un código de ética para la profesión. A principios de los años 1990 fue divulgada la primera edición de la Guía del PMBOK (Project Management Body of Knowledge), la cual se convirtió en un pilar básico para la gestión y dirección de proyectos. Al cerrarse el milenio anterior, el PMI estaba integrado por más de 40.000 personas en calidad de miembros activos, 10.000 PMP certificados y con una experiencia de tener cerca de 300.000 copias vendidas del PMBOK.

Desde principios de 2011, PMI es la organización más grande del mundo en su rubro, al estar integrada por cerca de 500 000 miembros de por lo menos 100 países. La oficina central está localizada en Newtown Square, ciudad de Filadelfia, en Pensilvania y, entre sus objetivos fundamentales está el de formular estándares profesionales en Gestión de Proyectos.

1975.- Simpack Systems Limited crea el Método PROMPTII

PROMPTII fue desarrollado en respuesta a una protesta que los proyectos informáticos estaban prolongando el tiempo estimado para su finalización y excediendo los presupuestos originales dispuestos en los estudios de factibilidad. No era inusual experimentar con factores de doble, triple o incluso diez veces de las estimaciones originales. PROMPTII fue un intento de establecer las directrices para el flujo de fase de un proyecto informático. En 1979 la Agencia Central de Informática y Telecomunicaciones del Gobierno del Reino Unido.

1975.- Se publica la obra "The Mythical Man-Month: Essays on Software Engineering" (Mítico Hombre-Mes: Ensayos de Ingeniería de Software) por Fred Brooks

En este libro sobre ingeniería de software y administración de proyectos, el tema central de Fred Brooks es que "Agregar recursos humanos a un proyecto de software retrasado hace que se retrase más". Esta idea es conocida como la Ley de Brooks. Las comunicaciones humanas adicionales requeridas para añadir a otro miembro a un equipo de programación es más de lo que cualquiera espera.

Esto por supuesto depende de la experiencia y la complejidad de los programadores involucrados y la calidad de la documentación disponible. Sin embargo, no importa cuánta experiencia tengan ellos. El tiempo extra en discutir las tareas, compromisos y los detalles técnicos, así como la evaluación de los resultados se vuelve exponencial a medida que se suman más personas. Esas observaciones provienen de las experiencias de Brooks al momento de dirigir el desarrollo de OS/360 en IBM.

1984.- Se introduce la Teoría de las Restricciones por el Dr. Eliyahu M. Goldratt en su novela “The Goal” (La Meta)

La Teoría de las Restricciones es una filosofía general de gestión que se orienta a ayudar a las organizaciones continuamente para lograr sus objetivos. El título proviene de la visión de que cualquier sistema manejable es limitado en el logro de más de su objetivo por un pequeño número de restricciones, y siempre hay al menos una restricción. El proceso de la Teoría de las Restricciones trata de identificar la restricción y reestructurar el resto de la organización alrededor de ésta mediante el uso de 5 Pasos de Enfoque. Los métodos y algoritmos de la Teoría de las Restricciones pasaron a formar parte de la base de la Administración de Proyectos con Cadena Crítica.

1986.- Se nombra a SCRUM como un nuevo estilo de administración de proyectos

SCRUM es un modelo de desarrollo ágil de software fundamentado en el trabajo de múltiples equipos pequeños de una forma intensiva e independiente. En su escrito “El nuevo juego del desarrollo de producto nuevo” (Harvard Business Review, 1986), Hirotaka Takeuchi y Ikujiro Nonaka llamaron a SCRUM como un estilo de administración de proyectos. Más tarde, ellos lo detallaron en “La organización creadora de conocimiento” (Oxford University Press, 1995). Aunque SCRUM fue pretendido para la dirección de proyectos de software, también puede utilizarse para ejecutar equipos de mantenimiento de software o como un proyecto general y un enfoque de gestión de programa.

1987.- Se publica por primera vez la Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos (PMBOK®) por el PMI®

El PMBOK® surge inicialmente como un reporte o intento por documentar y homologar las prácticas e información de administración de proyectos aceptadas. Su primera edición fue publicada en 1996, seguida por otra en el 2000, la siguiente en el 2004 y la cuarta edición en el 2008. Este cuerpo de conocimientos es referencia primordial para todos los vinculados al mundo de los proyectos actualmente y se ha convertido en un estándar global para la industria.

1989.- Gestión del Valor Ganado (EVM). Liderazgo concedido al Subsecretario de Defensa para Adquisiciones

Aunque el concepto de valor Ganado ha estado alrededor del ambiente de las fábricas desde los inicios de 1900, éste vino a tomar relevancia como una técnica de project management a finales de 1980 e inicios de 1990. En 1989, la Gestión del Valor Ganado fue elevada al Subsecretario de la Defensa para las Adquisiciones y en consecuencia se incluye a la técnica de EVM como parte esencial de la administración de programa y procuración. En 1991, el Secretario de Defensa de los Estados Unidos, Dick Cheney canceló el Programa de la Marina A-12 Avenger II debido a los problemas de desempeño detectados al aplicar la técnica del valor ganado. El PMBOK® de 1987 tiene un esquema de EVM que posteriormente fue ampliado en otras ediciones.

1989.- Se desarrolla el Método de Desarrollo PRINCE a partir de PROMPTII

La Agencia Central de Informática y Telecomunicaciones del Gobierno del Reino Unido, publicó Projects IN Controlled Environments (PRINCE) transformándolo en el estándar para todos los proyectos de sistemas de información del gobierno. Una característica en el método original que no se en otros métodos, fue la idea de “asegurar el progreso” desde tres perspectivas separadas pero vinculadas. No obstante, el método PRINCE desarrolló una reputación como una metodología demasiado difícil de manejar, demasiado rígida y solamente aplicable a grandes proyectos, llevándolo a una primera revisión en 1996.

1994.- Publicación del Primer Informe CHAOS

El Standish Group recogió información sobre fracasos de proyectos en la industria de TI con el objetivo de hacer a la industria más exitosa, mostrando las formas de cómo mejorar los índices de éxito e incrementar el valor de las inversiones en TI. El Informe CHAOS es una publicación bienal.

1996.- La Agencia Central de Informática y Telecomunicaciones del Gobierno del Reino Unido publica PRINCE2®

Se consideró una actualización de PRINCE para ponerlo acorde a las exigencias y su desarrollo fue contratado, pero asegurado por un comité virtual extendido entre 150 organizaciones europeas. Originalmente desarrollado para proyectos de TI con la finalidad de reducir las excedencias de costos y tiempo; la segunda revisión se hizo más general para que fuese aplicable a cualquier tipo de proyecto.

1997.- Se inventa la Dirección de Proyectos con Cadena Crítica (Critical Chain Project Management, CCPM)

Desarrollada por el Dr. Eliyahu M. Goldratt, la Administración de Proyectos con Cadena Crítica se basa en métodos y algoritmos extraídos de su Teoría de las Restricciones presentada en su novela "La Meta" en 1984. Una red de proyecto de Cadena Crítica mantendrá los recursos con cargas niveladas, pero necesitarán de ellos para ser flexibles en sus tiempos de inicio y cambiar rápidamente entre tareas y cadenas de tareas para mantener todo el proyecto dentro del calendario previsto.

1998.- El PMBOK® se convierte en un Estándar ANSI

El Instituto Estadounidense de Estándares Nacionales (American National Standards Institute, ANSI) reconoció al PMBOK® como un estándar. Poco después en ese mismo año El Instituto de Ingenieros Electrónicos y Eléctricos (IEEE) hace lo propio.

2006.- La AACE International lanza el Marco de Gestión de Costo Total (Total Cost Management Framework)

Gestión de Costo Total fue el nombre dado por la AACE Internacional a un proceso donde se aplican habilidades y conocimientos de la ingeniería de costos. Éste también fue el primer proceso o método integrado de administración de portafolio, programas y proyectos. La AACE introdujo esta idea por primera vez en 1990 y publicó la presentación completa de este proceso en el Marco de Gestión de Costo Total.

2008.- El PMI® lanza la 4° edición del PMBOK®

La cuarta edición continúa la tradición de excelencia del PMI® en materia de administración de proyectos con un estándar que es más fácil de entender y poner en práctica, con mejora en su consistencia y mayor claridad. Esta edición muestra dos nuevos procesos que no habían aparecido en versiones anteriores.

2009.- Revisión a fondo de PRINCE2® por la Oficina de Comercio del Gobierno de Reino Unido

Bajo el nombre de PRINCE2® 2009: Refresh, en el verano de 2009 la Oficina de Comercio del Gobierno hizo el método más simple y fácilmente personalizable, atendiendo a una petición común de los usuarios. Con este nuevo PRINCE 2® los componentes pasan a llamarse temas y el libro contiene 7 de éstos. Ahora se consideran 7 procesos. Sólo son descritas 2 técnicas y hay 8 roles diferentes a los 10 que se tenían previamente. Todo esto se hizo para darle a los project managers un mejor conjunto de herramientas para cumplir los proyectos en tiempo, presupuesto y con la calidad apropiada.

2011.- Aparición de la nueva credencial del PMI® Agile Certified Practitioner

Con esto el Project Management Institute demostró que no está cerrado a las metodologías ágiles, únicamente a favor de los marcos rígidos donde aunque siempre presentes, los procesos de cambio no son deseados, porque pueden implicar la corrupción del alcance del proyecto.

2012.- Aparición de la certificación PRINCE2® Professional

Esta nueva certificación surge de la necesidad de continuar mejorando el nivel de los PRINCE2® Practitioner, quienes tienen la posibilidad de optar por ésta y

demostrar a través de una rigurosa evaluación si realmente poseen altas capacidades para ser project managers exitosos que generen valor agregado dentro de sus organizaciones.

EUBIM 2013. En el marco del congreso se planteó una iniciativa de estandarización denominada uBIM cuyo objetivo inicial era el desarrollo de una guía en español para usuarios BIM. Su impulso se llevó a cabo desde la asociación buildingSMART Spanish Chapter, y se trata de una adaptación del COBIM finlandés elaborado por su homóloga Building Smart Finland en 2012.

2014. Directiva sobre contratación pública de la Unión Europea 2014/24/UE (EUPPD). El Parlamento Europeo propone modernizar las normas de contratación pública europeas, recomendando el uso de instrumentos electrónicos, tales como la construcción de modelado de información electrónica (BIM), los contratos de obras públicas y concursos de diseño, financiados con fondos públicos en la Unión Europea para el año 2016.

Febrero de 2015. European BIM Summit 2015 de Barcelona. En la clausura de este congreso la Generalitat de Catalunya (infraestructures.cat) y el Ayuntamiento de Barcelona suscribían un manifiesto para la implantación a partir de 2018 del uso de la tecnología BIM en las obras públicas de nueva construcción con un presupuesto de más de 2 millones de euros. Para finales de 2015 se dispondrá del primer pliego de condiciones orientado a BIM para obras de Edificación.

Julio de 2015. El Ministerio de Fomento constituye la Comisión para la Implantación de la Metodología BIM, con el objetivo de establecer un calendario para la adaptación de la normativa para su empleo generalizado, desarrollar los estándares nacionales y realizar el mapa académico de formación de esta metodología en España. Se propone la siguiente hoja de ruta:

Marzo de 2018. Uso recomendado de BIM en las licitaciones públicas.

Diciembre de 2018. Uso obligatorio de BIM en las licitaciones públicas de edificación.

Julio de 2019. Uso obligatorio de BIM en las licitaciones públicas de infraestructuras.

Octubre de 2017. El Ministerio de Fomento anuncia que la metodología BIM será obligatoria para licitaciones de edificación en diciembre de 2018 y para obra civil a finales de 2019.

5.2. Hitos en el desarrollo del BIM

En el origen y evolución del BIM se destacan momentos y aportes que pueden ser considerados hitos históricos de su desarrollo. Por esa razón se ha creído procedente adoptar los hechos señalados como referentes del estado del arte de BIM mostrados en el documento “Estudio de implementación de Herramientas BIM en una Ingeniería”, de Cappuyns J, María, 2019/2020, y que se señalan aquí con algunas modificaciones y complementada con aportes en la ventana de tiempo 2018-2021.

1957. Surgimiento del primer software CAM comercial, “Pronto”, un aporte del Dr. Patrick J. Hanratty. Se trata del primer sistema CAD/CAM que utilizó gráficos interactivos, pasando de dibujar planos “a mano” a realizarlos en ordenador.

1963. Desarrollo del primer sistema de CAD (Sketchpad), un diseño de Ivan Sutherland; el primer programa informático capaz de crear líneas en la pantalla de un ordenador.

1973. Creación del predecesor del BIM, propuesto por alumnos de la universidad de Cambridge, que buscaban fusionar CAD con sólidos en 3D para generar vistas paramétricas de un elemento.

1974. Desarrollo del sistema BDS (Building Description System) por Charles Eastman, a quien se le señala como el padre del BIM, antes de que existieran ordenadores personales. El BDS tiene todos los ingredientes del actual BIM. Aborda el problema del proyecto desde una base de datos en la que se han separado los componentes del edificio en distintas piezas. Una de las críticas de

Eastman radicaba en la falta de coherencia en la información arquitectónica, al no proceder integralmente de un solo modelo.

1975. Primera publicación del trabajo pionero sobre BIM, por Charles Eastman. En ese artículo se discuten conceptos de diseño paramétrico y representaciones 3D en ordenador con una base de datos integrada y única, para análisis visuales y cuantitativos.

1978. Es mostrada la primera edición de SigmaGraphics (entorno dedicado a la arquitectura y la construcción); originalmente desarrollado para entornos multitarea tales como UNIX/XENIX; actualmente trabaja bajo sistemas operativos de Windows.

1982. Despliegue acelerado de la industria del software en USA y UK. Sin embargo, el BIM tal y como lo conocemos actualmente. Sin embargo, la relevancia del BIM en la actualidad se asocia a los aportes hechos por los matemáticos soviéticos Gábor Bojar y Leonid Raiz, creadores de ArchiCAD y Revit respectivamente. El primero de estos autores, crea en este año una empresa privada para desarrollar ArchiCAD.

1984 se crea la primera versión de ArchiCAD (CH RADAR) para el sistema operativo Apple Lisa. ArchiCAD se convierte en el primer software BIM para ordenadores personales. ArchiCAD se basa en el potente lenguaje GDL (Geometric Description Language).

1984. Se crea Allplan, considerado el segundo software BIM de la historia para ordenadores personales: un aporte de George Nemetschek. En ese mismo año, se crea el ISO STEP que regula la forma Estándar del Modelo de Datos para el intercambio de productos (ArchiCAD 1º programa BIM).

1985. Aparece VectorWorks, solo para plataforma MAC, bajo el nombre comercial de MiniCAD desarrollado por Richard Diehl; considerado el tercer BIM de la historia para ordenadores personales. En este mismo año nace PseudoStation desarrollado por Bentley, el cual cambia el nombre por Microstation

1986. La palabra BIM se usa con relación al software para la construcción del aeropuerto de Heathrow de Londres.

1988. La metodología BIM se convierte en línea de investigación desarrollada por varios programas de doctorado en el mundo.

1992. Se acuña para BIM el término de “Building Information Model”, un aporte de Van Nederveen y Tolman, del departamento de ingeniería civil de la Delft University of Technology, Holanda.

1993. GraphiSoft hace la primera versión de ArchiCAD para Windows. Se convierte en el primer software CAD-BIM multiplataforma.

1994. La International Alliance of Interoperability (IAI) de Estados Unidos genera el primer intercambio de IFC (Industry Foundation Classes), desarrollado para permitir el flujo de datos a través de las distintas plataformas, haciendo compatible un archivo con distintos programas BIM.

1996. DiHel GraphSoft desarrolla la versión 6 de Minicad disponible para Windows y Mac. Se convierte en el segundo CAD-BIM multiplataforma. Comenzó a funcionar el Consorcio Industrial IAI que asesoraba el desarrollo de aplicaciones integradas.

2000. Leonid Raiz e Irwin Jungreis, forman Charles River Software, germen de Revit. La compañía fue renombrada posteriormente como Revit Technology Corporation apareciendo la primera versión de Revit el 5 de abril del 2000: un software que revolucionó el BIM mediante el uso de un motor de cambio paramétrico a través de la programación orientada a objetos y la creación de una plataforma que permitía agregar la dimensión tiempo.

2002. Autodesk compra Revit, adquiere los softwares catalogables como BIM en ese entonces y ha seguido desarrollándolos hasta el presente y, publica el libro “Building Information Modeling”. En este mismo año se crea el primer proyecto BIM integrado en Finlandia. Se empieza a dar la información de los modelos paramétricos y de todas las ventajas.

2006. Se lleva a cabo el primer proyecto IPD (Integrated Project Delivery) en Estados Unidos.

2007. Se crean en EEUU (GSA) y Finlandia (Senate Properties) las guías para llevar a cabo un proyecto BIM. Estudio de implementación de herramientas BIM en una ingeniería. National BIM Standard, basada en las guías BIM, publica las guías existentes en Estados Unidos, orientada a una instalación genérica, con requisitos uniformes y para uso oficial, del propietario o comercial del edificio. Desde este año, Estados Unidos, en razón a la madurez del mercado, empieza a exigir la tecnología BIM.

2009. Revit mantiene, hasta este año, una interfaz basada en iconos similar a la del año 2002.

2010. Revit cambia totalmente su interfaz asimilando la tecnología Ribbon (cinta) que mantiene en la actualidad. El gobierno del Reino Unido anuncia los requisitos para la implantación.

2011. El gobierno de Reino Unido publicó "Building Information Modeling (BIM) Working Party Strategy" donde el gobierno anunciaba su intención de requerir BIM en todos los proyectos de construcción a partir del año 2016.

2012. Finlandia publica los requerimientos BIM comunes a nivel nacional. Desde este año, los edificios públicos daneses deben ser desarrollados con modelos BIM.

2013. En Qatar, Arabia Saudí y Kuwait, la tecnología BIM pasa a ser un requisito del cliente.

2015 El Ministerio de Fomento (España) crea la "Comisión BIM" con la misión principal de establecer una hoja de ruta para la implantación de la metodología BIM en ese país.

2016. El Reino Unido hace obligatoria la implantación de la metodología BIM en los proyectos de obras públicas. La adopción de la "Directiva sobre contratación pública de la UE (EUPPD)" establece que los 28 estados miembros de la UE pueden fomentar, especificar o imponer el uso del BIM para proyectos de

construcción financiados con fondos públicos en la UE para el año 2016. En Reino Unido, Países Bajos, Dinamarca, Finlandia y Noruega ya requieren el uso del BIM para proyectos de construcción financiados con fondos públicos.

2017. En Francia, Cécile Duflot, ministro de territorio, igualdad y vivienda, declaró que desde este año se requeriría la adaptación gradual a la tecnología BIM.

2018. Se establece en España un calendario estratégico para la aplicación de las MIC y se hace obligatorio el uso de la metodología BIM en proyectos de Licitaciones Públicas de Edificación. En la actualidad el programa más usado para trabajar en BIM en España y a nivel global es Revit de Autodesk

En este año (2018) fue lanzado el programa BIM Fórum Colombia como una apuesta por la digitalización y la productividad del sector de la construcción.

2019. Se adopta en España como obligatorio el empleo del modelo BIM y en los proyectos de infraestructura desde julio de este año. A partir de esta misma vigencia, el Ministerio italiano de Infraestructuras introduce un plan inicial para hacer obligatorio el uso de BIM; aplicable únicamente a los proyectos que superen los 100 millones de euros.

2020. Pese a que en China se ha venido mostrando entusiasmo por la aplicación del BIM, desde el año 2001, de acuerdo con el decimotercer Plan Quinquenal para el período 2016 y 2020, sólo finales de 2020 se señala como límite para que una unidad de estudio y diseño, una empresa de construcción de edificios de primera calidad y de clase superior domine y realice la aplicación integrada de BIM como sistema de gestión empresarial y otras tecnologías de la información.

En este mismo año, Mercer destaca el grupo de trabajo sobre gemelos digitales elaboró un documento de posicionamiento titulado “Enabling an ecosystem of digital twins”. El éxito de los gemelos digitales requerirá dos categorías de soluciones/plataformas: Las centradas en operaciones, mantenimiento, gestión de activos y/o gestión de instalaciones y, las centradas en soluciones de arquitectura, ingeniería y construcción (AEC).

2021. Es esperado en este año pasar a lo que buildingSMART denomina “fase de actividad”, con la definición de actividades o prototipos de gemelos digitales. Así mismo, se proyecta que este año se puedan observar iteraciones del Formato de Colaboración BIM (BCF) y de la Clase Fundamental de la Industria (IFC), ya que el sector busca estandarizar el intercambio de información.

En Colombia, la tecnología BIM aplicable en el sector de la construcción ha venido en ascenso y tiene dos momentos cruciales: uno, en los años 2010 y 2011 cuando algunas empresas constructoras colombianas vieron la necesidad de incursionar en la metodología BIM en Colombia, al considerar que aportaba beneficios en los procesos de gestión de proyectos y se podría estar a la par con otros países de la región (Brasil, Perú y Chile). Otro momento histórico del uso del modelo BIM en el país, se ubica en el 2018 cuando se hizo el lanzamiento del BIM Fórum Colombia como apuesta por la digitalización y la productividad del sector de la construcción, se carece aún de consenso en su aceptación.

Pese a que alguna corriente de opinión hace referencia al BIM como un software con alguna versatilidad en el campo de la construcción, mientras que otros lo asocian con una serie de prácticas orientadas a la gestión de cambios y al trabajo colaborativo apoyados en un prototipo digital, se está trabajando en Colombia para lograr configurar una “Normativa BIM” que posibilite ganar competitividad y obtener mejores resultados en los proyectos de infraestructura nacional.

En noviembre de 2020 el gobierno lanzó la estrategia nacional BIM 2020-2026, para estandarizar procesos, ganar eficiencia y fortalecer la articulación de todos los autores que se encuentran en los proyectos, además de lograr implementar proyectos que sean transparentes y auditables.

Aun cuando no es en la actualidad medida coercitiva la aplicación del BIM en Colombia, muchos desarrollos constructivos de gran importancia han sido realizados en este país, basados en la metodología BIM; se destacan: Nogales en la ciudad de Villavicencio, Proyectos Verona 170 y EKA de Zoom, en la

ciudad de Bogotá, han sido proyectos en los que quizás ha habido mayor compromiso en términos de ciclo de vida.

5.3. Antecedentes de la Programación 4D BIM

Independientemente del software empleado, la planificación debe elaborarse con las buenas prácticas de la Gestión de Proyectos. La gestión de plazos en proyectos de construcción de obras públicas en España a través de tecnologías BIM ha ido adquiriendo un crecimiento exponencial. Según (buildingSMART Spain), el número de licitaciones continúa su crecimiento a lo largo del tiempo y, pese a que, durante la pandemia, el sector de la construcción fue afectado directamente, se ha ido recuperando en gran medida durante el año 2021 en curso.

El 95% de las empresas del sector de la construcción en España son PYMEs y coautoras de diferentes proyectos que se desarrollan dentro del país; no obstante, se encuentran en una fase muy temprana de implementación del sistema BIM. Ha sido señalado por los expertos que el empleo de tecnologías BIM permite tener un ahorro de tiempo del 10% durante la ejecución de una obra de construcción, logrando una mayor productividad y ahorro en tales procesos. La Programación 4D BIM es un modelamiento, coordinación y planeación estratégica aplicable en diferentes especialidades disciplinares en un solo modelo tridimensional, que entrega simulación constructiva general dando forma al Building Information Modeling (BIM) en 4D. De esta manera, la metodología BIM - 4D incorpora una dimensión temporal para simular la ejecución de la obra y planificar cada una de las fases. En este sentido, se realiza el modelamiento temporal y la coordinación de diseños arquitectónicos, estructurales, geotécnicos, redes hidrosanitarias, mecánicas, eléctricas en un único modelo geométrico tridimensional, logrando con esta dimensión optimizar recursos al presentar un seguimiento visual e interactivo en cada una de las actividades involucradas.

Se relaciona a continuación algunos trabajos que han incluido la metodología 4D BIM en el sector de la construcción haciendo referencia a las experiencias en los proyectos que utilizan metodologías para apoyar desarrollos diagnósticos oportunos de tiempos, mediante herramientas colaborativas.

- ✓ Trabajo de investigación sobre “Modelado 4D y Monitoreo de Productividad IP en Proyectos de Construcción” (de, LOPERA AGUILAR Gabriel, Universidad EAFIT, 2015). En esa investigación se estudia un proyecto de construcción de vivienda monitoreado a través de cámaras y modelado 4D en procesos BIM, el cual tiene como objetivo implementar, en un proyecto piloto, el modelado 4D y el monitoreo de productividad mediante cámaras IP. El propósito de la experimentación a nivel de proyecto piloto es exportar los resultados de la aplicación de las tecnologías empleadas en proyectos de vivienda, como herramientas clave en la fase de planificación y ejecución de obras, eliminando interferencias entre especialidades e incluyendo un software para controlar el proyecto, de modo de poder presentar una propuesta que permita implementar la metodología 4D BIM en futuros proyectos de construcción.
- ✓ La investigación referenciada se relaciona con la presente tesina por cuanto ofrece objetivos de aprendizaje precisos acerca del manejo de software, detalla ilustraciones correspondientes al proyecto y permite observar, de manera eficiente, la metodología 4D BIM empleada en el proyecto complejo de vivienda, en el que el uso de tal herramienta es aceptado por la empresa.
- ✓ “Building Information Modeling 4D aplicado a planificación con Last Planner System” (de MATEU GOZÁLVEZ Diana, Universitat Politècnica de València, 2015). En este proyecto se realiza un análisis teórico práctico sobre el uso de herramientas lean combinadas con el modelado de información de una estructura y la aplicación del factor tiempo (4D) al proyecto. Se identifican situaciones que demandan la necesidad de ejercer control gráfico exhaustivo para detectar errores en la secuencia

constructiva. El trabajo citado constituye un referente básico de consulta si en el proyecto en desarrollo se llegan a registrar casos como los detectados y solucionados en esa referencia. Igualmente, el documento consultado muestra importantes estándares de calidad de los trabajos al estar soportado en una planificación fiable basada en 4D BIM, cánones que son esenciales para la empresa en la cual se ejecutó el presente proyecto para futuros desarrollos.

- ✓ “Aplicación de Modelación 4D BIM en el Proyecto Reposición Edificio Cefam de Machalí”, (de BRAVO MORENO Arnaldo, 2012). Es un proyecto de investigación que aporta una experiencia empírica a la industria de la construcción chilena, al aplicar el sistema de modelación BIM/4D en proyectos de edificación de mediano alcance y, evaluar con base en los resultados obtenidos y las conclusiones del caso de estudio, la utilidad que genera en la industria de la construcción, la aplicación del modelo de planificación empleado. Es evidenciable que durante el proceso fueron incluidos en el proyecto las comparaciones de la línea base respecto a la real, gracias a la simulación realizada entre los softwares de programación. Fue posible encontrar inconsistencias y solucionarlas en el menor tiempo posible, logrando una visión más integral de la complejidad del proyecto. Así mismo, fue posible planificar a partir de la información fehaciente del proyecto. La investigación analizada confirma la ventaja de aplicar el sistema 4D BIM, generando ahorros de costos y de tiempo en los proyectos de construcción.
- ✓ “Evolución de la planeación y gestión de proyectos y la aplicación de tecnologías de la información”, (ARENAS MEJÍA, Jesús, (UNAD), Colombia, 2017). El documento contiene la historia de la evolución de la gestión de proyectos, desde la época egipcia hasta el tiempo presente; se incluye un análisis bibliográfico, la descripción sobre la evolución de las herramientas en el tiempo y una comparación de la gestión de proyectos en la actualidad. La investigación en referencia aporta hechos importantes

al estado del arte del trabajo final o tesina realizado; de una parte, muestra la evolución de la programación de proyectos en el tiempo y, por otro lado, revela los modos como se trata en la actualidad en proyectos de construcción civil. Además, la referencia bibliográfica hace mención a las herramientas y software utilizados, pese a que no se especifica ninguno de los software nombrados en la presente investigación, que se adelanta como trabajo final de la maestría.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación adelantada tiene carácter aplicado, descriptivo y explicativo, basada en método inductivo de conclusiones a partir de la observación y seguimiento de hechos. Dos escenarios son claramente identificados en su desarrollo: campo (representado en el trabajo realizado directamente en la empresa CMM, durante la concepción, diseño, fabricación y ensamble de una casa modular de madera) y oficina (espacios del campus universitario y hogar) donde se realizaron gestiones de planificación, búsqueda de documentación en red, análisis y organización de datos e información y elaboración del informe).

En el desarrollo de la investigación es posible distinguir las siguientes cinco fases bien diferenciadas:

Fase 1: Elección del tema, documentación y revisión de antecedentes

Fase 2. Apropiación de la temática conceptual base relacionada con la metodología BIM y la Fabricación de casas modulares de madera.

Fase 3. Gestión de aproximación a la empresa CMM, con organización de apoyo para el desarrollo del proyecto.

Fase 4. Aplicación de la metodología BIM-4D al proceso de concepción, diseño y construcción de una casa modular en madera

Fase 5. Redacción del informe técnico, discusión y revisión con el equipo director y asesor del proyecto, sustentación.

La ejecución de las **fases 1 y 5** corresponde a los elementos y directrices académicas definidas por la Universidad para otorgar el título de Maestría y, las orientaciones del director, codirector y asesores del proyecto. Las fases 2,3 y 4 se despliegan a **continuación**:

6.1. Fase 2: Apropiación de la temática conceptual base

La aproximación de apropiar conceptualmente los saberes dados en cita en este proyecto, se hizo sobre los siguientes tres lineamientos: Conceptualización de saberes; softwares base; proceso constructivo industrializado de casas modulares de madera.

6.1.1. Conceptualización sobre BIM-4D

El capítulo 3 y 4 contiene hechos y aspectos que caracterizan la tecnología BIM, haciendo énfasis al 4D - BIM. De esta forma, no solo se da cumplimiento al primer objetivo específicos trazado, sino que se sientan las bases teóricas para la aplicabilidad de la técnica 4D-BIM, en una obra específica adelantada por la empresa CMM, identificada como PYME.

En contexto, la metodología BIM (Building Information Modeling) en la versión 4D BIM corresponde a la herramienta 3D + Time dimensión: un modelo de trabajo estratégico para la gestión de proyectos que, basado en software especializado, integra, en tiempo real, la información pertinente a su ejecución y, en el que se requiere completa y constante colaboración de todos los actores. La metodología 4D BIM se apoya en un modelo dentro de una maqueta digital que integra una gran base de datos permitiendo gestionar los elementos que hacen parte de la infraestructura durante todo su ciclo de vida. (<https://cbim.mitma.es/>).

En el caso objeto de la presente investigación, relativa a proyectos de infraestructura (casas prefabricadas en madera), el uso del software específico para el sistema 4D BIM permite la accesibilidad a la información en plazos más cortos y posibilita la solución, de manera óptima, de los problemas que surjan,

en la fase de armado del conjunto de piezas de la infraestructura inmobiliaria señalada. Es decir, las aplicaciones 4D BIM permiten visionar el desarrollo de la obra a lo largo de tiempo de acuerdo con la planificación elaborada; ese alcance se obtiene mediante herramientas computacionales de planificación.

La Figura 12 muestra el ciclo de vida propuesto por Autodesk, de un proyecto de infraestructura utilizando metodología BIM, para el desarrollo continuo de cualquier estructura. El diagrama indicado es base para detallar el paso a paso de la gestión de los plazos en una empresa PYME del sector de la construcción. Cada herramienta plasmada en la estructura organizacional ilustrada en la imagen es de gran utilidad para la ejecución de las casas modulares en madera, por cuanto permite optimizar tiempo y recursos dentro de la compañía y lograr un liderazgo de gran alcance frente al resto de las empresas PYMEs.

De la Figura 12 se infiere que la tecnología BIM es una metodología de trabajo colaborativo en el proceso de crear y gestionar proyectos de ingeniería y por ende permite centralizar, desarrollar, gestionar, controlar y adaptar, a lo largo de todo el ciclo de vida del proyecto, la información, en un modelo digital creado por todos los agentes que participan y desempeñan distintos cargos dentro del sector.

Esta fortaleza reclama compromiso, sinceridad y fluidez en la información, de parte de todos los actores. La falla en un eslabón de la cadena de programación y ejecución de la obra genera resultados erróneos, pues se observa que cada modelo contiene información útil (geometría de la estructura, tipos de materiales, recursos, costos, etc), interconectada e interdependiente. Detallar la información en 4D durante la construcción de una estructura permite predecir el desempeño y el indicador coste/beneficio del proyecto; los datos de salida dependen, como en todo software, de los datos de entrada.

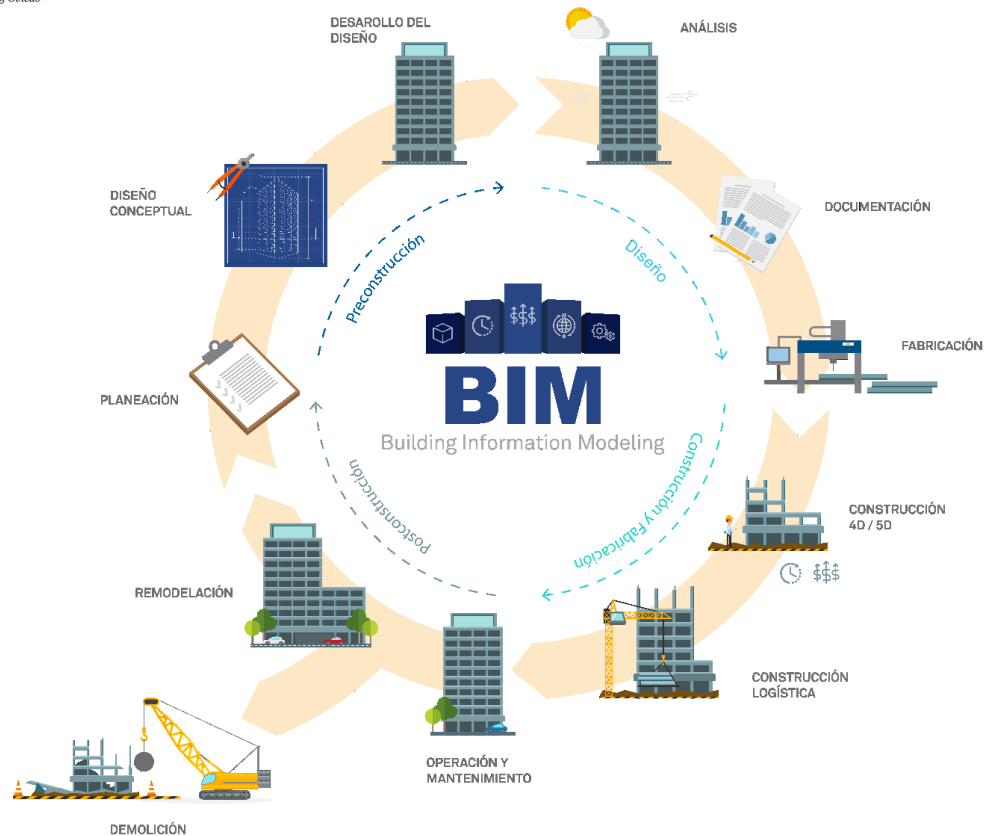


Figura 12. Ciclo de vida BIM propuesto por Autodesk para proyectos de Ingeniería. Fuente: Autodesk Inc

6.2. Fase 3: Software correlacionado

En el capítulo 4 (Tabla 1) fue relacionado el software más frecuentemente utilizado al aplicar la metodología 4D BIM, incluido el empleado en el desarrollo de la casa modular de madera referenciada en la presente investigación. A continuación, se presentan rasgos generales del modelo 4D BIM y, se escriben algunas líneas sobre el software asociado con el desarrollo del proyecto. El Anexo 1 muestra una mayor extensión narrativa de los programas computacionales correlacionados.

Programas como NAVISWORK, CADWORKS, entre otros, fueron utilizados, requiriendo que la planificación fuera importada (en este caso, se importó el cronograma con fechas de comienzo y fin de las tareas y su representación gráfica en un diagrama de Gantt).

El diseño de la estructura se apoyó en CADWORKS, programa que permite modelar y controlar la información de cada elemento de la estructura en madera. Así mismo en la realización del trabajo se hizo uso de MICROSOFT PROJECT y, de NAVISWORK, dos programas que ayudan a ejercer control de los tiempos y avances del proyecto.

Fueron empleados formatos IFC (Industry Foundation Classes) para modelo de datos de producto representando la geometría de acuerdo con el tipo 2D o 3D renderizado y, consignando datos asociados con el tipo de objeto y los atributos relacionados entre elementos, los cuales resultan ser los más ricos en información. Este formato es el encargado de redirigir toda la información contenida en CADWORKS y llevarla a NAVISWORKS; de esta manera, mediante este formato se vinculan todas las actividades a la programación para poder simular el cronograma en la plataforma. Como puede observarse, este archivo se adapta a la metodología como una herramienta colaborativa.

6.2.1. Cadworks

Es un software utilizado para el diseño, creación y armado, exclusivamente, de elementos en madera, que permite utilizar la metodología BIM. Se trata de un programa que tiene la posibilidad de alimentar el sistema con toda la información de todos los objetos para realizar un seguimiento a la integridad del proyecto desde la llegada de los materiales hasta su finalización. Fue utilizado en el presente proyecto de concepción y diseño de una casa modular, dado su desempeño en función de sus materiales y, en razón a que admite y facilita el diseño de casas en madera en forma colaborativa, permitiendo enviar las piezas del diseño numeradas a la máquina de corte, lo cual hace que el sistema sea un modelo mecanizado industrializado de alta calidad que optimiza (ahorra) tiempo y logra exactitud en cada elemento. En este proyecto el uso del cadworks, permitió flujos de trabajo e información en 3D para formatos compatibles con metodología BIM.

Al ser Cadwork un programa específico para obras en madera ofreció la facilidad de simular la casa modular tipo y la disposición de toda la información para cada

elemento. En la aplicación realizada de Cadwork se utilizó el formato IFC (Industry Foundation Classes) para importar los datos arquitectónicos.

Las Herramientas de Programación 4D BIM para la Gestión de Plazos utilizadas incluyeron:

6.2.2. Microsoft Project

Un programa manejado a través de diagramas de barras (Diagrama de Gantt). Su aplicación sugiere considerar la importancia de identificar todos los aspectos del proyecto, para permitirles a todos los interesados observar con claridad los objetivos planteados bajo el sistema de variables que se establezcan al inicio del proyecto. Para la metodología 4D BIM (gestión de plazos) se realizaron los siguientes procesos considerados necesarios en la programación:

- ✓ **Definición de Actividades:** Concreción de la información integral y completa del proyecto para determinar el proceso a seguir en cada actividad designada.
- ✓ **Establecimiento secuencia de las actividades:** Se organizan las actividades según requerimientos de precedencia entre ellas. Se realiza la estructura del desglose del trabajo (EDT), a través de Microsoft Project o cualquier programa relacionado, facilitando la implementación dentro de la empresa (en este caso, CMM que necesita adquirir mayor facilidad para gestionar el proyecto).
- ✓ **Estimación de Recursos:** Los recursos son asignados considerando la secuencia establecida de actividades, una vez es suministrada la información al Microsoft Project. La forma como se asignan el personal y recursos materiales al proyecto determina el cumplimiento de los tiempos requeridos, según sea definida cada actividad en el sistema.**Estimación de la Duración:** Es indispensable tener disponibilidad fehaciente de información existente para asignación de tiempos y recursos, de modo que se pueda analizar el proceso constructivo con la ayuda del plano en

3D y, de naviswork como programa colaborador. Este ejercicio se apoya en el uso de formatos IFC extraídos de Cadworks, los cuales deben contener la información completa de cada elemento relacionado con cada actividad asignada dentro del MS Project (el cual almacena toda la información respecto al cronograma del proyecto).

- ✓ **Método de diagramación por precedencia.** Este método tiene en cuenta el inicio y fin de cada actividad, considerando los nexos y niveles de precedencia-sucesión entre actividades propias del proceso constructivo del proyecto, en el cual se incluye el procedimiento a seguir de todas las actividades. Según lo requiera el proyecto y, dependiendo de los recursos disponibles se puede comenzar actividades simultáneas, cuando estas no tienen conexión de precedencia, con el fin de dar cumplimiento a las fechas estipuladas de finalización; esto se logra empleando el software Microsoft Project u otro programa similar.

- ✓ **Método de la cadena crítica.** Este método, integrado a la planificación de las actividades, permite gestionar mejor el tiempo, evita malas prácticas, y posibilita la administración de varios proyectos, conforme lo requiere la empresa base de la investigación, la cual tiene varios proyectos en simultánea y dispone de los mismos recursos para su respectiva administración. El método posee limitación de recursos, (una variable importante que debe considerarse en la planificación de los plazos) y administra los riesgos de agenda de los proyectos (protege el proyecto y acelera los tiempos). (P. López ,2018). La Tabla 2 enseña un cuadro comparativo entre los conceptos “cadena crítica” y “ruta crítica”:

Tabla 2. Cuadro comparativo cadena crítica y ruta crítica. Fuente: (P. López, 2018).

	RUTA CRÍTICA	CADENA CRÍTICA
ENFOQUE	ÉNFASIS DE LAS TAREAS	ÉNFASIS EN EL PROYECTO
Insumos para la planificación	Duración de las tareas predecesoras	Duración de las tareas predecesoras Recursos Críticos
Gestión de riesgos	Se protege cada tarea. Reserva “ocultas” por contingencia de tiempos	Se protege el proyecto a través de la incorporación de buffers
Recursos	Inicialmente, no los considera en la planificación de tiempos	Los considera desde el principio. Es un elemento central en la planificación de la agenda del proyecto
Ámbitos de aplicación	Útil para planificación de proyectos útiles únicos	Especialmente para planificar múltiples proyectos

La comparación descriptiva de las diferencias entre los dos métodos deja ver la razón de elegir la cadena crítica como proceso de gestión del proyecto, de una manera más organizada y evaluativa, a través de los softwares que se implementan durante el proceso de planificación y ejecución del proyecto.

La empresa CMM consultora y constructora de la obra permitió la aplicación del modelo 4DBIM con fines ilustrativos y de uso interno; por consiguiente, su aplicación y los hallazgos encontrados con la implementación de esta metodología no es considerado como entregable del contrato empresa-cliente.

6.3. Fase 4: Proceso constructivo industrializado de una casa modular en madera

6.3.1. Características de la casa modelo

La casa construida es una unidad inmobiliaria comercial destinada a vivienda familiar, cuyo desarrollo al menos en un 80% se realiza en planta y luego se traslada al sitio, para ser ensamblada con el sistema de cimentación apropiado sobre un terreno previamente adecuado. La unidad residencial alterna (conocida en Europa como segunda vivienda) fue concebida y diseñada como una unidad constructiva de un solo piso, en madera, con un desarrollo de área construida de 51 m² y 12 m² de porche, en una locación ubicada en Palencia.

Una de las características importante de estas viviendas es que sus estructuras son “obra seca” y, consecuentemente, no necesitan de procesos de secado posterior como ocurre con la vivienda tradicional. Los elementos estructurales no están expuestos a posibles inclemencias de tiempo; son aislados con láminas impermeabilizantes; las estructuras y los forjados se proyectan con caucho sobre lámina, lo cual proporciona una conservación óptima. Como puede inferirse en la programación descrita más adelante, el proyecto fue iniciado el 15-04-21 concluido el 22-07-21(para un total de 98 días).

Las Figuras 13 y 14 ilustran el diagrama general de componentes y momentos que conforman la construcción de una vivienda modular de madera y el diagrama que muestra secuencialmente las etapas en la Gestión de tiempo. En el Anexo 2 se presentan algunos Lineamientos para implementación del BIM, enfatizando en las consideraciones arquitectónicas e ingenieriles.

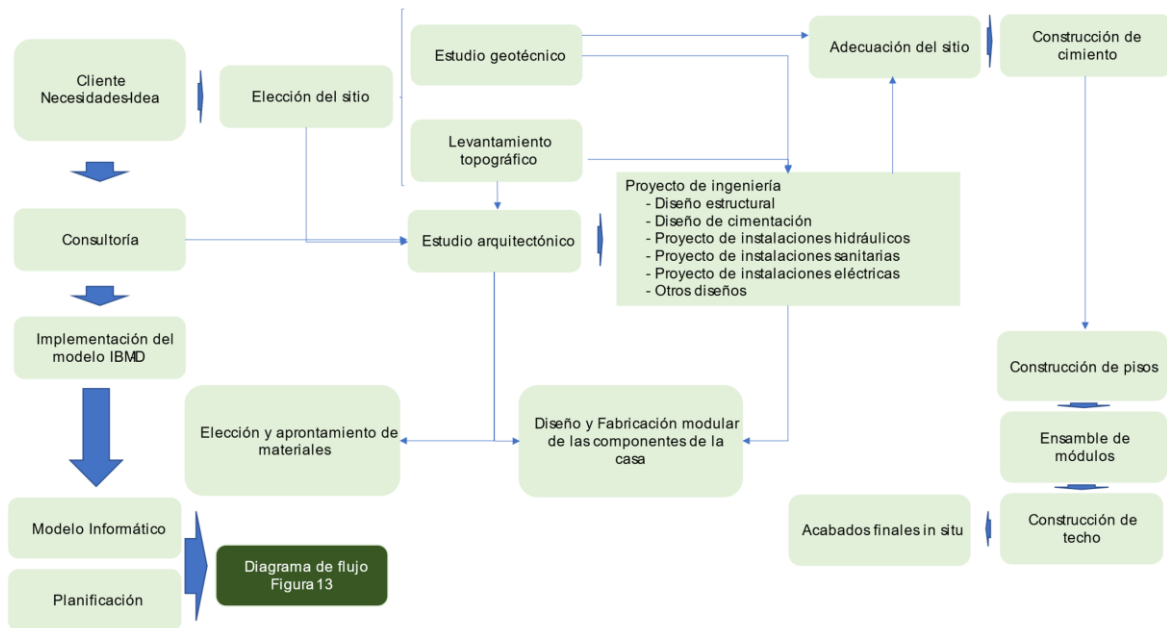


Figura 13. Diagrama de flujo que muestra a grandes rasgos las componentes y momentos de una construcción de vivienda.

Teniendo en cuenta que se trata de una casa modular en madera se tomará en consideración el Microsoft Project, Cadworks y naviswok, con los cuales se hará seguimiento a cada una de las actividades planeadas.

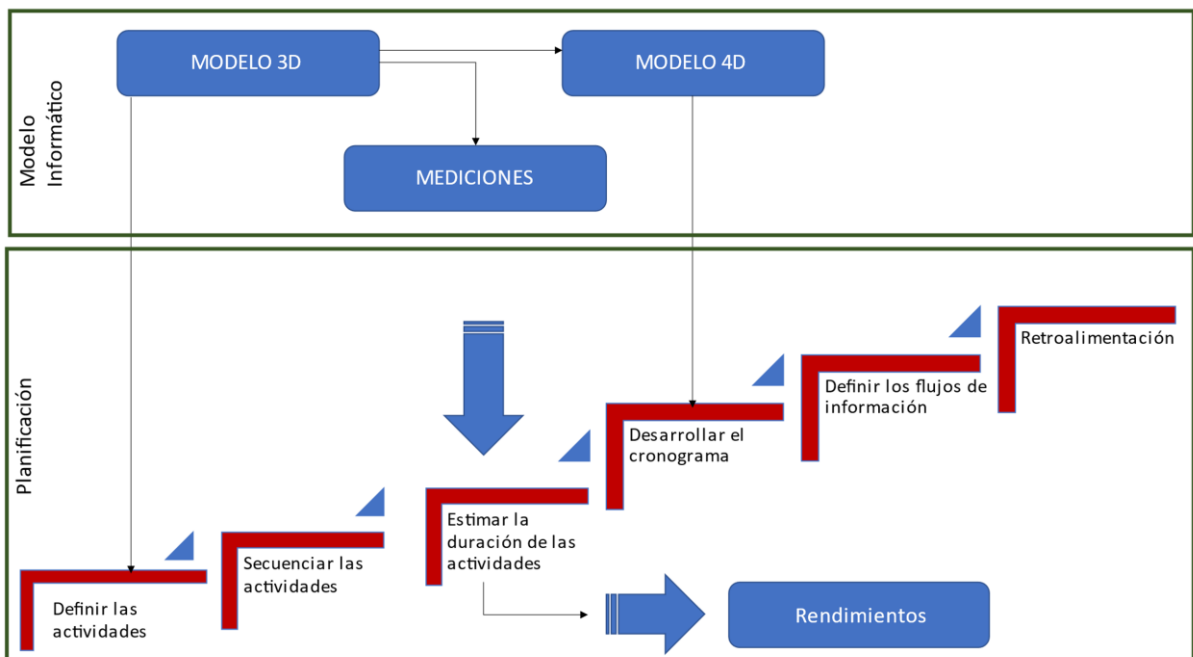


Figura 14. Esquema de procedimiento 4D BIM para la fabricación de una casa modular de madera.

6.3.2. Diagrama secuencial de actividades

La Figura 15 revela el diagrama de flujo pertinente al desarrollo secuencial de actividades del sistema BIM-4D (Gestión de plazos) que fue necesario implantar en la empresa del sector de la construcción de casas modulares de vivienda CMM para la concepción, diseño y fabricación de una unidad de vivienda de 50m². En dicho diagrama se identifican 4 ejes directrices fundamentales: Planificación, Ejecución, Control y Monitoreo y Cierre y, en cada uno de estos ejes directrices se han señalado las actividades centrales, indicando con flechas la serie secuencial de las actividades

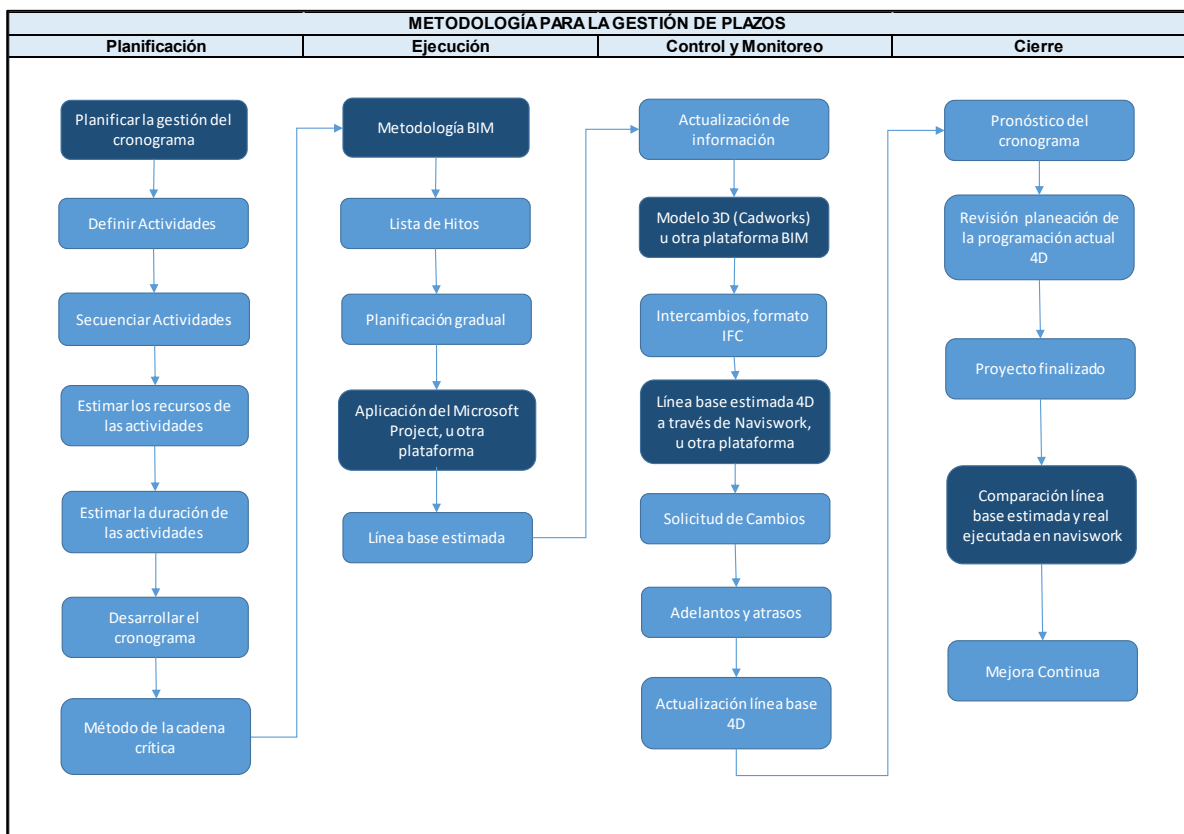


Figura 15. Diagrama de flujo de la metodología para la gestión de plazos. Fuente: Elaboración propia

El proyecto objeto de análisis (construcción de una casa modular de madera) por parte de la empresa PYME: "CMM" cumplió con los requisitos necesarios para aplicar la técnica de gestión del plazo (4D BIM), registrándose algunos resultados

que serán indicados más adelante. A continuación se describe el alcance de cada uno de los ejes directrices indicados en el diagrama de flujo.

La **planificación**. Este eje directriz hace claridad sobre cada actividad que debe ser ejecutada, teniendo en cuenta recursos y duración de cada labor. En este propósito es fundamental la experiencia del constructor y otras técnicas, como el método de la cadena crítica, que permitan desarrollar de manera objetiva la secuencia de cada tarea para optimizar la programación en tiempos y recursos. La planificación conlleva como producto final la generación del cronograma.

La **ejecución**. Fase de realización; se logra a través del sistema BIM, introduciendo la información necesaria y requerida para que el proyecto tenga un inicio y fin exitosos de manera que cada actividad que se realice, tenga las herramientas apropiadas, tales como:

- Microsoft Project (usando diagrama de barras), para controlar tiempo y recursos.
- Cadworks (específica para construcciones en madera), herramienta colaborativa para la metodología BIM y manejo de planos 3D
- Información sobre los elementos.
- Control de archivos IFC, necesarios para manejar la información completa de cada elemento que hace parte de la edificación y coincida con cada una de las actividades que se programan con Microsoft Project.

Tales elementos, en conjunto, son susceptibles de aceptar modificaciones en cuanto a adelantos o retrasos para mantener actualizada la línea base a través de la metodología 4D BIM. Esto es, la gestión de plazos toma en cuenta la forma de **monitorear y controlar** el sistema, y permite hacer el control directamente a través de una línea base, que puede ser modificada durante la ejecución del proyecto, teniendo en cuenta las posibles coyunturas que puedan presentarse. Como el sistema BIM – Gestión de plazos o 4D permite controlar cada actividad, dentro del marco del tiempo y recursos, se puede ejercer control sobre la forma de implementar como método la cadena crítica.

El cierre, es una fase que se da con la demostración del resultado respecto al proyecto; se evalúa el desempeño, el pronóstico y la forma como se puede ir actualizando el sistema para diversos proyectos.

Como retroalimentación del método 4DBIM y, en aras a fortalecerlo es importante demostrar lo exitoso o no de su aplicación dentro de los proyectos coordinados por las empresas PYMEs del sector de la construcción.

6.3.3. Importancia de las casas prefabricadas de madera

Es evidente que las casas prefabricadas cobran cada día mayor popularidad; los precios, diseños y materiales suelen resultar atractivos para quienes apuestan por una solución de vivienda de bajo costo. La eficiencia energética, la versatilidad, los diseños que eventualmente responden a las necesidades específicas del cliente, el bajo costo y la rapidez con la que se erigen tales edificaciones, son factores que juegan en favor de esta solución de vivienda campestre o urbana.

La pesquisa básica realizada sobre soluciones de vivienda prefabricada muestra en el mundo (y España no es la excepción) el uso de diversos materiales, diseños y tamaños, destacándose las casas prefabricadas de madera, las de marco metálico, las diseñadas a partir de contenedores y las casas modulares.

Las casas modulares, frecuentemente, no demandan sofisticadas obras de emplazamiento final; consiste en preparar en el sitio final el terreno, la cimentación y el piso y luego en ensamblar y/o acoplar “in situ” los módulos o componentes prefabricados en planta, lo cual reduce ostensiblemente los plazos de ejecución de la obra.

Las soluciones de vivienda en madera son armoniosamente sostenibles en términos ambientales al estar constituidas con materiales naturales, estar emplazadas en medios poco intervenido antrópicamente y consumir energías no convencionales y renovables en cantidades relativamente bajas. Una casa básica puede ser o no complementada con diversos espacios (jardines, terrazas, piscinas, parques, juegos, etc.) de confort.

El material maderable usado para casas prefabricadas o modulares de madera es frecuentemente en condición natural o posee algún tipo de tratamiento (para que sea ignífuga y resista a la humedad) garantizando su adecuado funcionamiento a lo largo de su vida útil, la cual es relativamente apreciable y presenta buena resistencia a procesos meteorológicos adversos. La madera es un material ecológico que puede reciclarse e integrarse al medio ambiente. La fábrica industrializada de casas de madera implica tala de árboles; esta limitante impone la necesidad de emplear madera de tala controlada, en plantaciones específicamente creadas para tales fines, evitando con ello que se convierta en problema medio ambiental.

Entre los inconvenientes que tienen las casas de madera, es su alta sensibilidad a las modificaciones del medio natural y, al surgimiento de procesos de deterioro por humedad, fuego, hongos, termitas, entre otros. La ingeniería de control ejercida durante el proceso constructivo de las casas, impone la necesidad de hacerle tratamiento a la madera; el cual es, en ocasiones oneroso, pero siempre será una inversión mucho menor que aquella que se causaría si se presentara algún problema por usar maderas no tratadas.

Ha sido expuesto en líneas previas en este documento que el proyecto donde se probó el método BIM-4D es la construcción de una unidad de vivienda modular de madera, realizado por la empresa CMM (nombre dado a la entidad que facilitó sus instalaciones y acciones como aula de aprendizaje y, que por tratarse de una empresa privada, se obvia la declaración de su identidad en el cuerpo de este documento).

Característica central de la dinámica laboral específica del proyecto es el ejercicio colaborativo y la comunicación, factores fundamentales del modelo BIM. Por ello, se destacan las reuniones periódicas de seguimiento en las que se monitorea, analiza y discute el progreso del proyecto respecto al costo y al tiempo de ejecución especificados en el proceso de planificación. En tales sesiones participaron no solo directivos y representantes de las distintas unidades de diseño y construcción de la empresa, responsables de la construcción de vivienda, sino el autor de esta investigación.

6.3.4. Gestión de aproximación a la empresa CMM

Esta fase supuso una evaluación general previa del mercado, con la finalidad de conocer y determinar las condiciones actuales de PYMES del sector de la construcción dedicadas a al diseño, fabricación y montaje de casas modulares de madera. A partir de este ejercicio, se realizaron contactos con algunas empresas de ese hacer específico, en procura de lograr que al menos una de tales organizaciones diera el aval para la realización del proyecto, permitiendo hacer el seguimiento de la gestión y control con base en la metodología 4D BIM.

Efectivamente se logró la aceptación de la propuesta por parte de una empresa que, en el contexto de este informe se ha denominado CMM

6.4. Aplicación de la metodología 4D BIM al proceso de concepción, diseño y construcción de una casa modular en madera

De conformidad con la metodología 4D BIM, son consideradas las pautas de gestión de plazos, definidas al inicio del proyecto y durante la planeación de este, implicando que debe seguirse el procedimiento de acuerdo con el cronograma de actividades establecido.

Entradas: De acuerdo con el contrato suscrito entre el cliente y la empresa fabricante de las casas modulares de madera, se realiza una reunión con participación de los interesados y del director del proyecto. En este momento se da a conocer los diferentes entregables necesarios para desplegar la definición de actividades y, la secuencia de actividades que permita cumplir con el tiempo estimado en la programación inicial. La Figura 16 ilustra el modelo secuencial de trabajo a seguir:



Figura 16. Esquema de modelo de trabajo durante el INICIO de un proyecto. Fuente: Elaboración propia

Cumplir a cabalidad con el modelo planteado permite garantizar un mayor avance al inicio del proyecto y facilitará la ejecución de las tareas dentro del equipo de trabajo.

Como fue indicado en líneas precedentes, la secuencia de actividades del proyecto se hizo mediante MS Project teniendo en cuenta el modelo 3D de la estructura; esta herramienta de trabajo o software fue el primer componente considerado para realizar la lista de tareas asignadas según el procedimiento para la construcción de la vivienda. En el ejercicio de la investigación adelantada, dicho procedimiento consistió en dos programaciones mediante el uso del diagrama de barras (Diagrama de Gantt): la fabricación en planta y el montaje en campo, el cual se expone a medida que se van proporcionando tanto los plazos para cada actividad como los recursos asignados para dar cumplimiento a las tareas en el menor tiempo posible.

Pese a existir diferente software para tales tareas, como el Primavera P6 (que funciona como un programador de proyectos y ayuda a planificar y controlar los procesos), el Excel o MS Project, se decidió elegir este último (MS Project) como herramienta para la programación de actividades tomando en cuenta que la empresa dispone de la licencia activa para correr este programa y se tiene acceso al manejo de este, dentro de la organización.

Consecuentemente, en el marco de la secuencia de actividades fueron asignadas las actividades predecesoras y definidos y asignados los recursos a las tareas, de modo de tener cumplidos los requisitos básicos para dar inicio al desarrollo y montaje del proyecto. Las Figuras 17 y 18 B muestra pantallazos de

las actividades asociadas con la fabricación y montaje del proyecto, en la franja de tiempo 15-04-21 al 22-07-21(para un total de 98 días)

Modo de	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Prede
1	Proyecto Palencia	41,25 días	jue 15/04/21	mar 15/06/21	
2	Inicio	0 días	jue 15/04/21	jue 15/04/21	
3	Forjados	7,44 días	jue 15/04/21	lun 26/04/21	
4	Armado de Forjado A1	4 días	jue 15/04/21	mar 20/04/21	2
5	Armado de Forjado A2	4 días	mié 21/04/21	lun 26/04/21	4
6	Muros	29,94 días	mar 27/04/21	mié 09/06/21	
7	Armado de Muro 1B (8.2m)	4 días	mar 27/04/21	vie 30/04/21	5
8	Armado de Muro 1E (8.2m)	4 días	lun 03/05/21	jue 06/05/21	7
9	Armado de Muro 1D-1C (6m)	4 días	vie 07/05/21	mié 12/05/21	8
10	Armado de Muro 1A-1F (6m)	4 días	jue 13/05/21	mar 18/05/21	9
11	OSB	4 días	mié 19/05/21	lun 24/05/21	10
12	Termochip	4 días	mar 25/05/21	vie 28/05/21	11
13	Tabiques	4 días	lun 31/05/21	jue 03/06/21	12
14	Pladur	4 días	vie 04/06/21	mié 09/06/21	13
15	Cubierta 1	5,56 días	vie 04/06/21	vie 11/06/21	
16	Armado de Cubierta A1	3 días	vie 04/06/21	mar 08/06/21	13
17	Armado de Cubierta A2	3 días	mié 09/06/21	vie 11/06/21	16
18	Porche 12 m2	2 días	lun 14/06/21	mar 15/06/21	17
19	Aislante Cubiertas	2 días	mié 09/06/21	jue 10/06/21	16
20	Tarima Cubiertas	2 días	vie 11/06/21	lun 14/06/21	19
21	Piedra	2 días	lun 31/05/21	mar 01/06/21	12
22	Sate	5 días	mié 02/06/21	mar 08/06/21	21
23	Fin	0 días	mar 15/06/21	mar 15/06/21	18

Figura 17. Secuencia de actividades, fabricación casa modular en madera y predecesoras Fuente: Elaboración propia

Modo de	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Pre
	Cimentación	14 días	lun 17/05/21	jue 03/06/21	
	Limpieza, replanteo, excavación y gravilla	4 días	lun 17/05/21	jue 20/05/21	
	Colocación de acero Montaje y formaleta	5 días	vie 21/05/21	jue 27/05/21	2
	Colado de hormigón	1 día	vie 28/05/21	vie 28/05/21	3
	Secado de hormigón y retiro de formaletas	4 días	lun 31/05/21	jue 03/06/21	4
	Montaje Proyecto Palencia	19 días	lun 28/06/21	jue 22/07/21	
	Inicio	0 días	lun 28/06/21	lun 28/06/21	
	Forjados	1 día	lun 28/06/21	lun 28/06/21	
	Montaje de Forjado A1	0,5 días	lun 28/06/21	lun 28/06/21	
	Montaje de Forjado A2	0,5 días	lun 28/06/21	lun 28/06/21	9
	Muros	2 días	mar 29/06/21	mié 30/06/21	
	Montaje de Muro 1B (8.2m)	0,5 días	mar 29/06/21	mar 29/06/21	10
	Montaje de Muro 1E (8.2m)	0,5 días	mar 29/06/21	mar 29/06/21	12
	Montaje de Muro 1D-1C (6m)	0,5 días	mié 30/06/21	mié 30/06/21	13
	Montaje de Muro 1A-1F (6m)	0,5 días	mié 30/06/21	mié 30/06/21	14
	Cubierta 1	1 día	mié 07/07/21	jue 08/07/21	
	Montaje de Cubierta A1	0,5 días	mié 07/07/21	mié 07/07/21	20
	Montaje de Cubierta A2	0,5 días	jue 08/07/21	jue 08/07/21	17
	Terminado Termochip	4 días	jue 01/07/21	mar 06/07/21	15
	Montaje Tabiques	0,5 días	mié 07/07/21	mié 07/07/21	19
	Terminado Pladur	4 días	mié 07/07/21	mar 13/07/21	20
	Porche 12 m2	1 día	jue 08/07/21	vie 09/07/21	18
	Terminado Piedra	2 días	mié 07/07/21	jue 08/07/21	19
	Terminado Sate	5 días	vie 09/07/21	jue 15/07/21	23
	Pisos	10,5 días	jue 08/07/21	jue 22/07/21	
	Suelo interno	5 días	mar 13/07/21	mar 20/07/21	21
	Suelo Externo	5 días	vie 16/07/21	jue 22/07/21	24
	Tejado	3 días	jue 08/07/21	mar 13/07/21	18
	Carpintería (Puertas y Ventanas)	5 días	vie 09/07/21	jue 15/07/21	23
	Fin	0 días	jue 22/07/21	jue 22/07/21	27

Figura 18. Secuencia de actividades, montaje casa modular en madera y predecesoras Fuente: Elaboración propia

Se aprecia que el cuadro consigna el nombre de la tarea, la duración estipulada, las fechas de inicio y final de cada actividad y el orden de precedencia.

Hay que señalar que, a la fecha, MS Project no es una herramienta ágil por sí misma debido a que, en algunas ocasiones, solo puede ser entendida por los miembros del equipo, y no llega a ser accesible y/o comprendida por otras personas que pudieran estar interesadas en ver o conocer este control de programación.

Lo anterior explica la razón por la cual, en el marco del proyecto en desarrollo, se decidió implementar la metodología 4D BIM como modelo que posibilita dar un seguimiento ágil durante la construcción. En la implementación de la metodología BIM se consideró esencial dar a todos los miembros del equipo la oportunidad de: observar e involucrarse con el proceso constructivo de la vivienda, estar enterados de las actividades en ejecución y de las pendientes por desarrollar, conocer la ruta crítica, saber con cuáles materiales y tipos de elementos se contaba en la planta. Lograr lo aquí descrito implicó la programación y realización de sesiones de trabajo periódicas (semanal), imprescindible para el control de tiempos y recursos. Pese a que se presentaron algunos inconvenientes con la participación de la totalidad de los actores, fue posible realizar en gran medida la programación de sesiones de discusión y control.

La Figura 19 muestra un pantallazo destacando el recurso humano necesario para la ejecución de la casa; cada recurso fue asignado en el diagrama de barras en MS Project para poder evidenciar las horas trabajadas para el equipo y, el rendimiento por persona. Además, hace posible observar y evaluar la capacidad que se tiene para concluir a tiempo, con solo el personal a cargo y/o definir la necesidad de involucrar un equipo más grande o mayor cantidad de personas para cumplir el plazo fijado al cliente.

	i	Nombre del	Tipo	Etiqueta de	Iniciales
1		Ayudante	Trabajo		Ay
2		Albañil	Trabajo		Alb
3		Armador/ Monta	Trabajo		Ar/M
4		Armador/ Monta	Trabajo		Ar/M2
5		Carpintero	Trabajo		Cr
6		Acabados	Trabajo		Ac
7		Fontanero	Trabajo		Ft
8		Albañil 2	Trabajo		Alb2

Figura 19. Lista de recurso humano. Fuente: Elaboración propia

6.4.1. Línea Base Estimada (MS Project)

Para el desarrollo de este proceso se tuvieron en cuenta: los recursos estimados para la ejecución de la casa modular en madera, la experiencia de trabajo en campo y la disposición de materiales en planta, de conformidad con los asignados con base en el modelo 3D. En la construcción de este tipo de viviendas es fundamental conocer la ruta crítica para terminar el proyecto estimado en el menor tiempo posible.

Se hace evidente la necesidad de contar con una ayuda visual que ofrezca los medios para detección temprana de errores, antes de la ejecución de la casa y, durante la simulación de la línea base estimada, la cual es visible en el pantallazo mostrado en la Figura 20 y 21.



Universidad de Oviedo
Universidá d'Uviéu
University of Oviedo

upna

Universidad Pública de Navarra
Nafarroako Unibertsitate Publikoa



UNIVERSIDAD
DE LA RIOJA

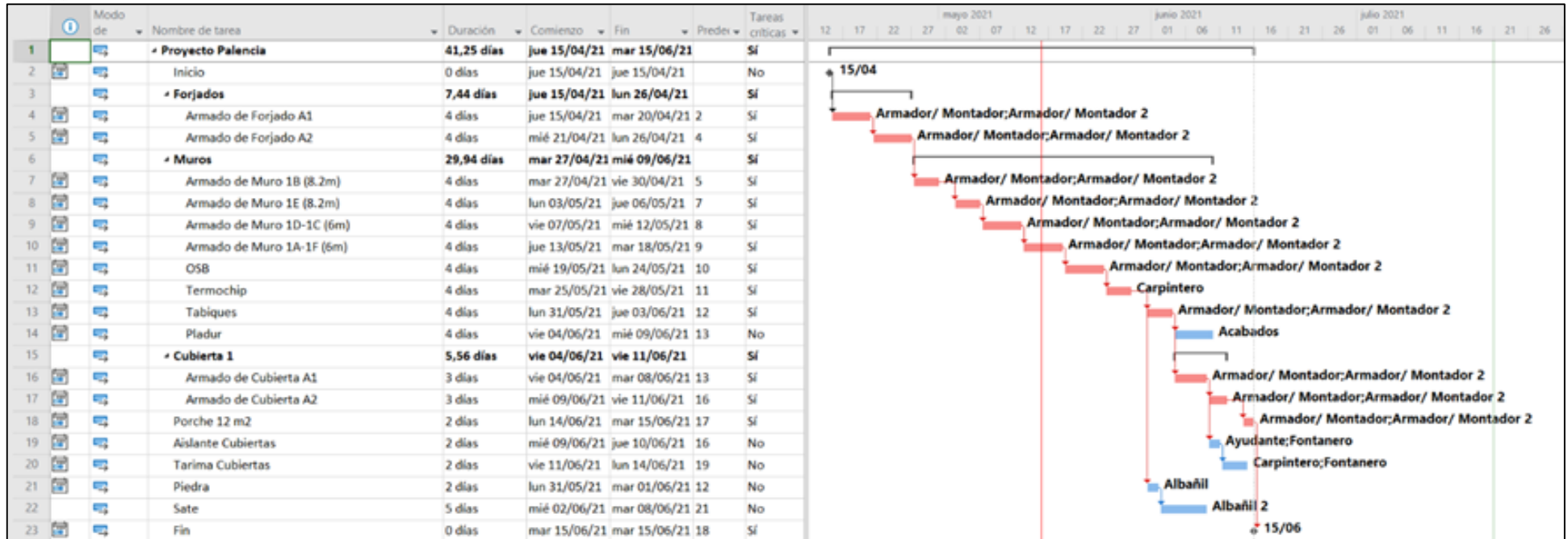


Figura 20. Línea base estimada (Fabricación) y cadena crítica (color rojo). Fuente: Elaboración propia



Universidad de Oviedo
Universidá d'Uviéu
University of Oviedo

upna

Universidad Pública de Navarra
Nafarroako Unibertsitate Publikoa



UNIVERSIDAD
DE LA RIOJA

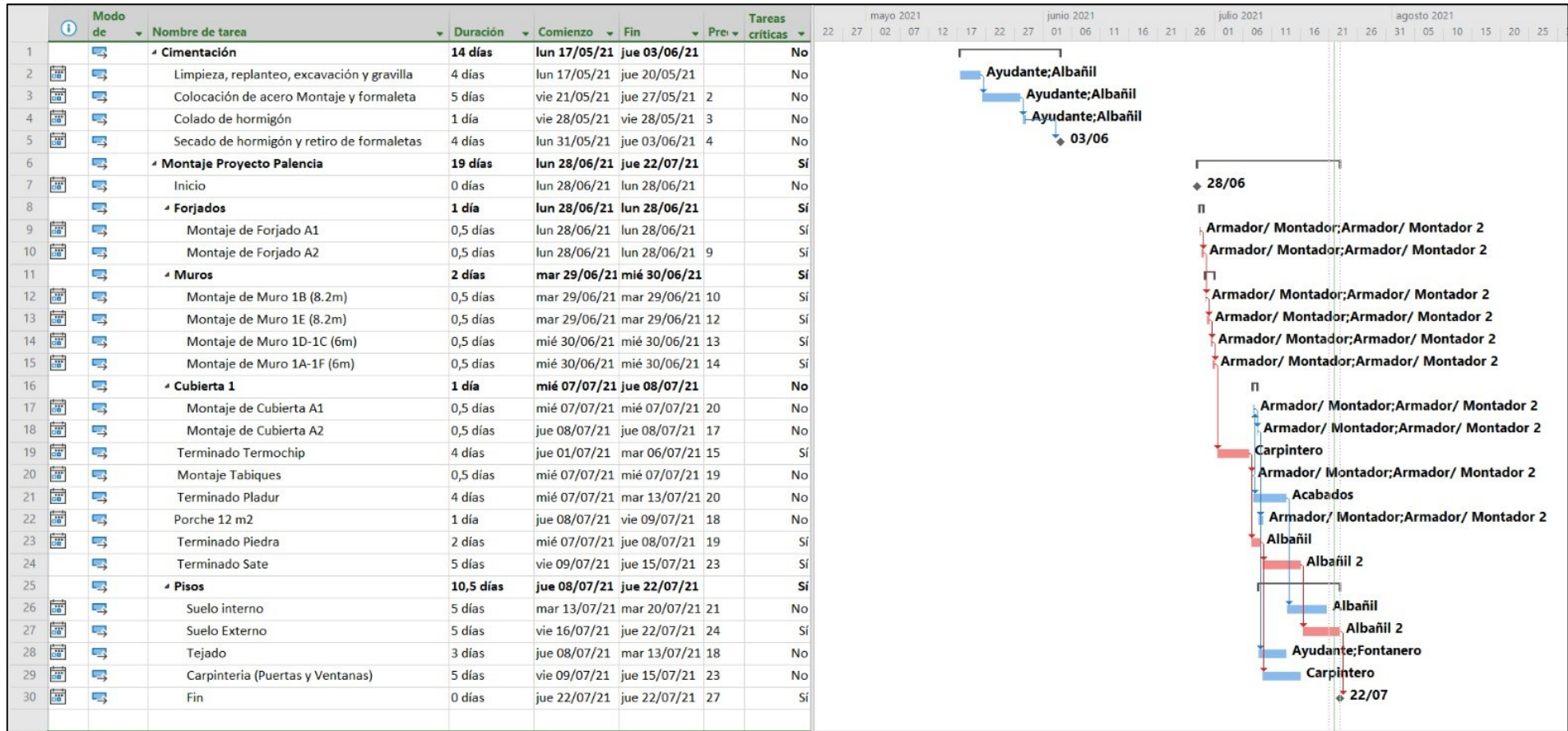


Figura 21. Línea base estimada (Montaje) y cadena crítica (color rojo). Fuente: Elaboración propia

La línea base debe ser aprobada por el director de proyectos, de manera formal en la reunión de inicio del cronograma con el equipo de proyectos o departamento encargado, habida cuenta que una vez generado el plan maestro de la programación, la mencionada línea base estimada no puede ser modificada. De llegarse a modificar la línea en referencia, se deben respetar los objetivos planteados del proyecto.

En estos esquemas es claro que la inasistencia de uno sólo de los operarios o la no disposición de los materiales a tiempo, o la dilación en el comienzo o finalización de las actividades, constituye desfase en la programación.

6.4.2. Seguimiento de programación (MS Project)

En la plataforma MS Project se puede llevar a cabo un seguimiento y control de proyecto a través del diagrama de seguimiento, haciendo uso de la herramienta (“Gantt de seguimiento”), incluida en el software mencionado, la cual permite: la introducción de fechas reales para cada actividad planeada, conforme se va ejecutando el proyecto y, el control de los tiempos, retrasos y adelantos en la programación. El seguimiento realizado semanalmente (Ver Figura 22 y 23) permitió en las reuniones realizadas para controlar cada tarea, observar el comportamiento de la programación de la fabricación y montaje de la casa.



Universidad de Oviedo
 Università d'Uviùu
 University of Oviedo



Universidad Pública de Navarra
 Nafarroako Unibertsitate Publikoa



UNIVERSIDAD
 DE LA RIOJA

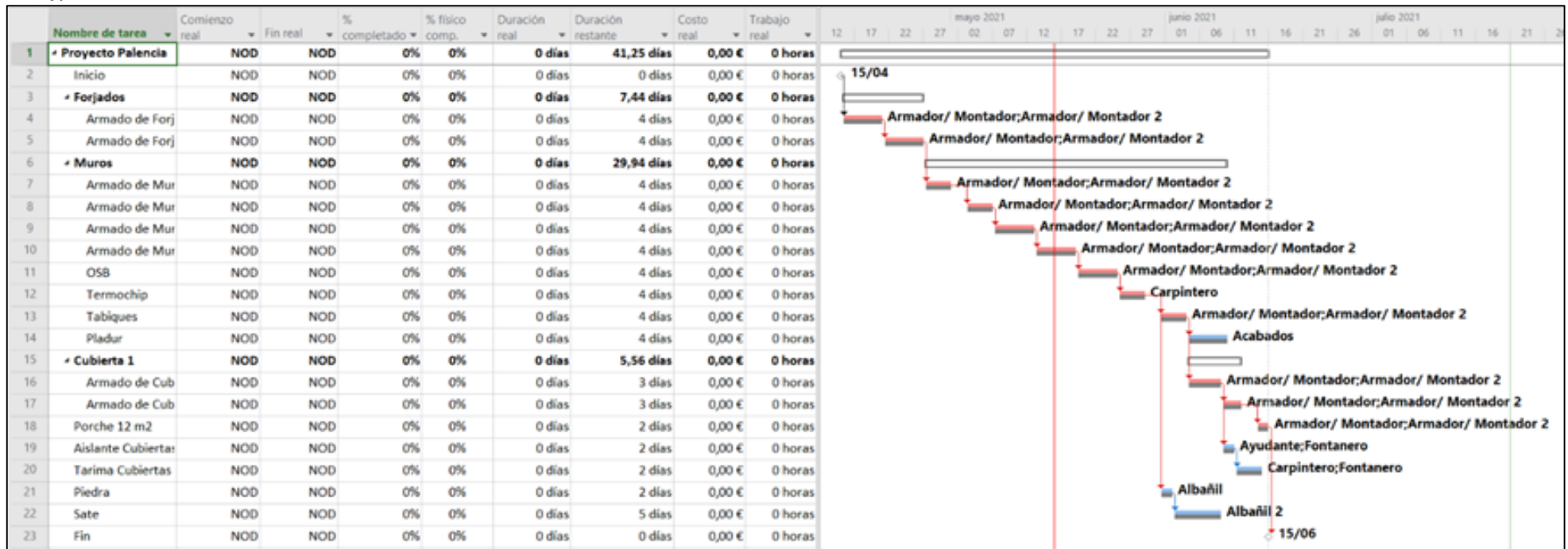


Figura 22. Seguimiento de Gantt (Fabricación) y nueva cadena crítica (color rojo). Fuente: Elaboración propia



Universidad de Oviedo
Universidá d'Uviéu
University of Oviedo



Universidad Pública de Navarra
Nafarroako Unibertsitate Publikoa



UNIVERSIDAD
DE LA RIOJA

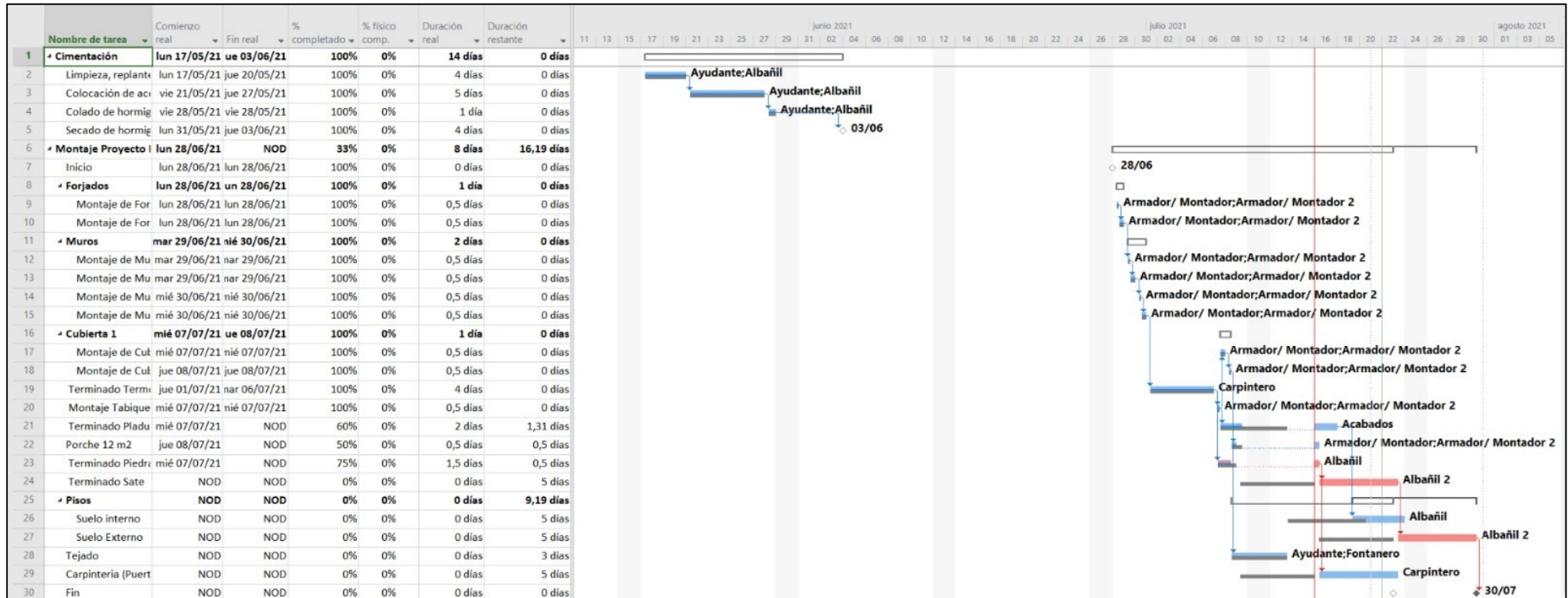


Figura 23. Seguimiento de Gantt (Montaje) y nueva cadena crítica (color rojo). Fuente: Elaboración propia

A partir de esta programación y apoyados en la visualización del modelo 3D generado en Cadworks, previamente alimentado con la información de cada elemento según la tarea, fue empleado el software Naviswork para desarrollar la simulación del seguimiento mostrado anteriormente.



6.4.3. Seguimiento final de programación real (MSProject)

En esta programación se observan los tiempos reales (inicial y final), respecto a línea base. Se hizo un corte de obra el 15 de mayo de 2021 cambiando la cadena crítica y replanteando la programación, partiendo de las actividades culminadas en un 100% a la fecha. Como se muestra a continuación la barra azul es la nueva programación, y la barra gris es la línea base estimada. Ver Figura 24 y 25.

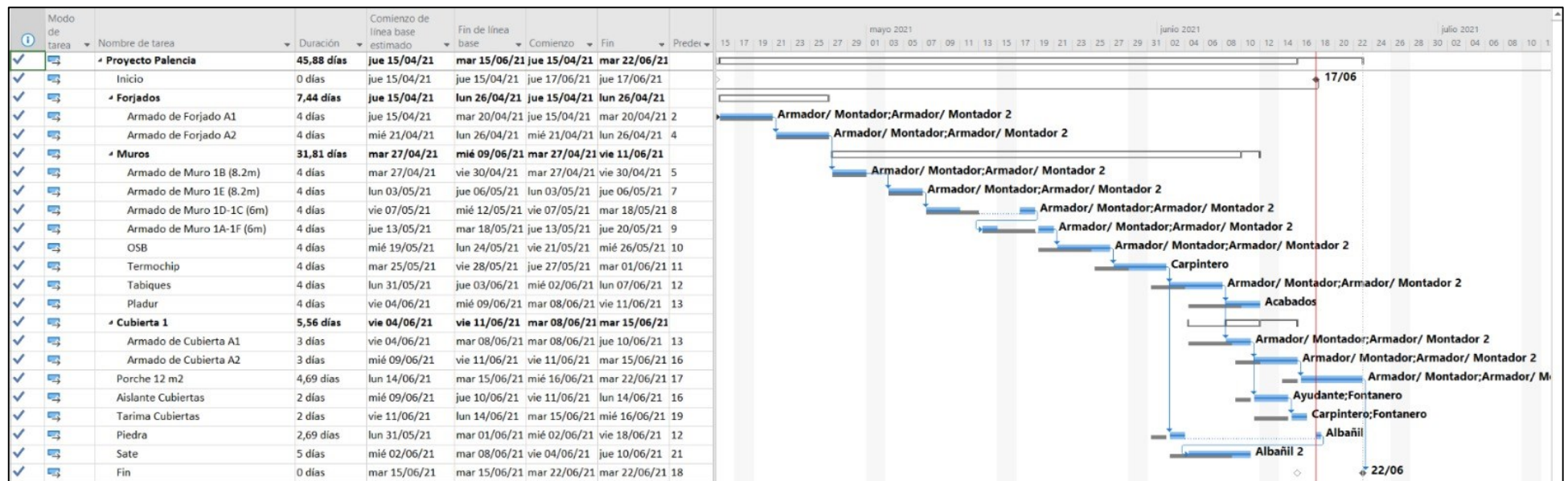


Figura 24. Seguimiento de Gantt final (Fabricación) Fuente: Elaboración propia



Universidad de Oviedo
Universidá d'Uviéu
University of Oviedo



Universidad Pública de Navarra
Nafarroako Unibertsitate Publikoa



UNIVERSIDAD
DE LA RIOJA

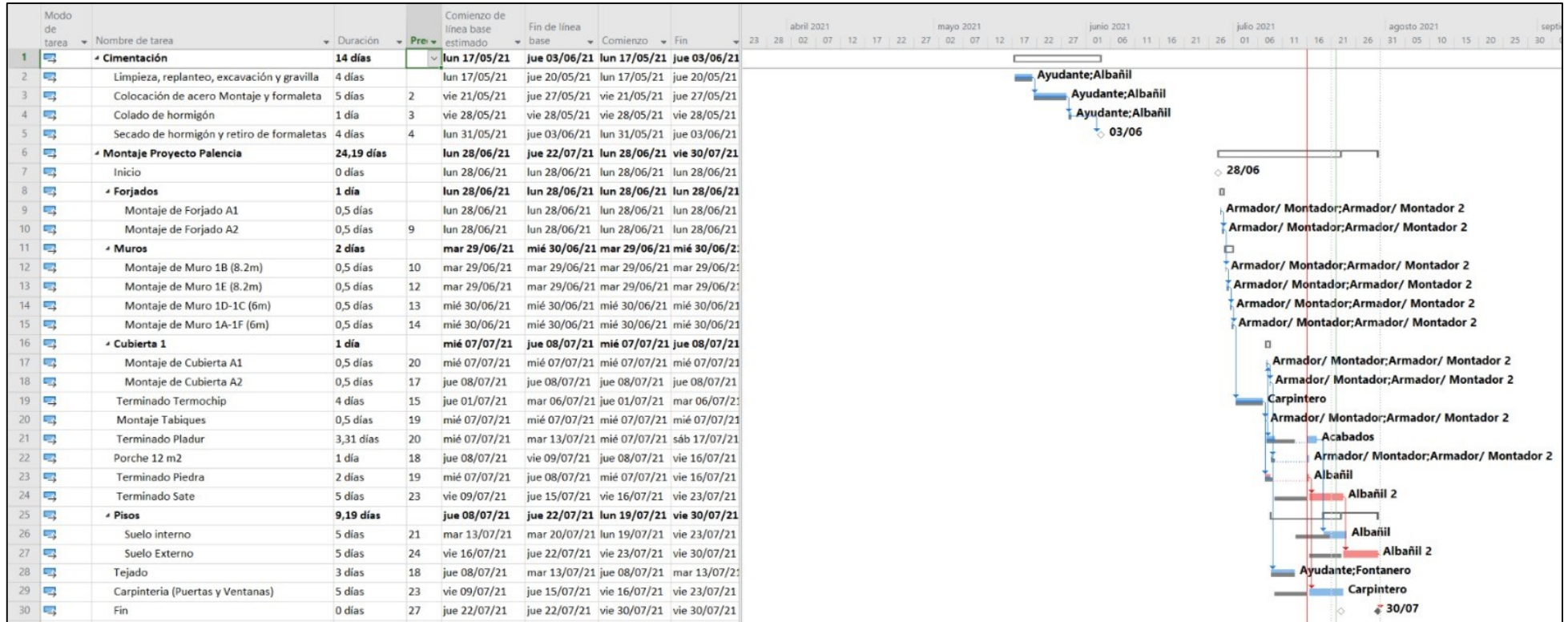


Figura 25. Seguimiento de Gantt final (Montaje) Fuente: Elaboración propia

6.4.4. Generación de Modelo 3D (Cadworks)

Haciendo uso del programa Cadworks se generaron los primeros modelos con el despiece de cada estructura (cimentación, forjados, muros, aislantes térmicos, tabiques, estructura, cubierta, entre otros). Esta herramienta es colaborativa al permitir asignar a cada elemento (Grupo) los atributos (Tareas), conforme se ilustra en la Figura 26

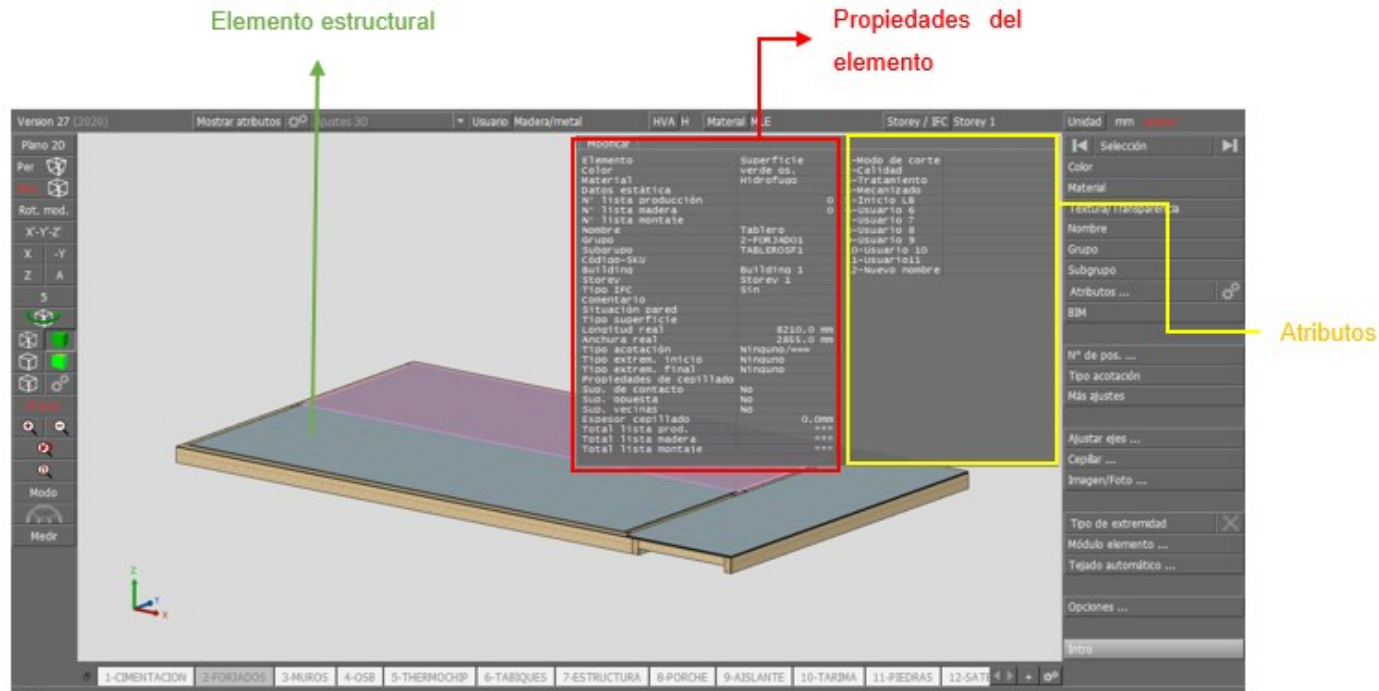


Figura 26. Información del elemento dentro del modelo. Fuente: Elaboración propia

En la figura 26 se constata que Cadworks es una herramienta colaborativa que ofrece la posibilidad de almacenar información en cada elemento del modelo, conforme se ilustra en el cuadro de propiedades, lo cual claramente es una ventaja al momento de compartir y trabajar bajo la metodología BIM, puesto que todas las áreas que participan en el proyecto visualizarán, de manera inmediata, toda la información del elemento y podrán alimentarlo con más información, bajo el formato IFC.

6.4.5. Asignación de nombre y grupo

Dentro de los estándares de trabajo BIM se recurre a la creación de grupos o en otros programas similares (jerarquías, familias, sets), para organizar y generar un orden específico para los proyectos. Normalmente se asigna un nombre de estructura (building), un nivel (Storey) y los grupos complementarios generados para cada proyecto.

Ejemplo en el caso abordado: Bajo el nombre CIMENTACIÓN se define el grupo que cobija todos los elementos pertenecientes a la actividad designada, entre los cuales se incluyen las zapatas y vigas de cimentación. Cada elemento puede tener un nombre particular o pueden ser elementos repetitivos que compartan dimensiones, materiales, recursos etc., que pueden ser o no identificados con el mismo nombre. Ver ilustración en la Figura 27

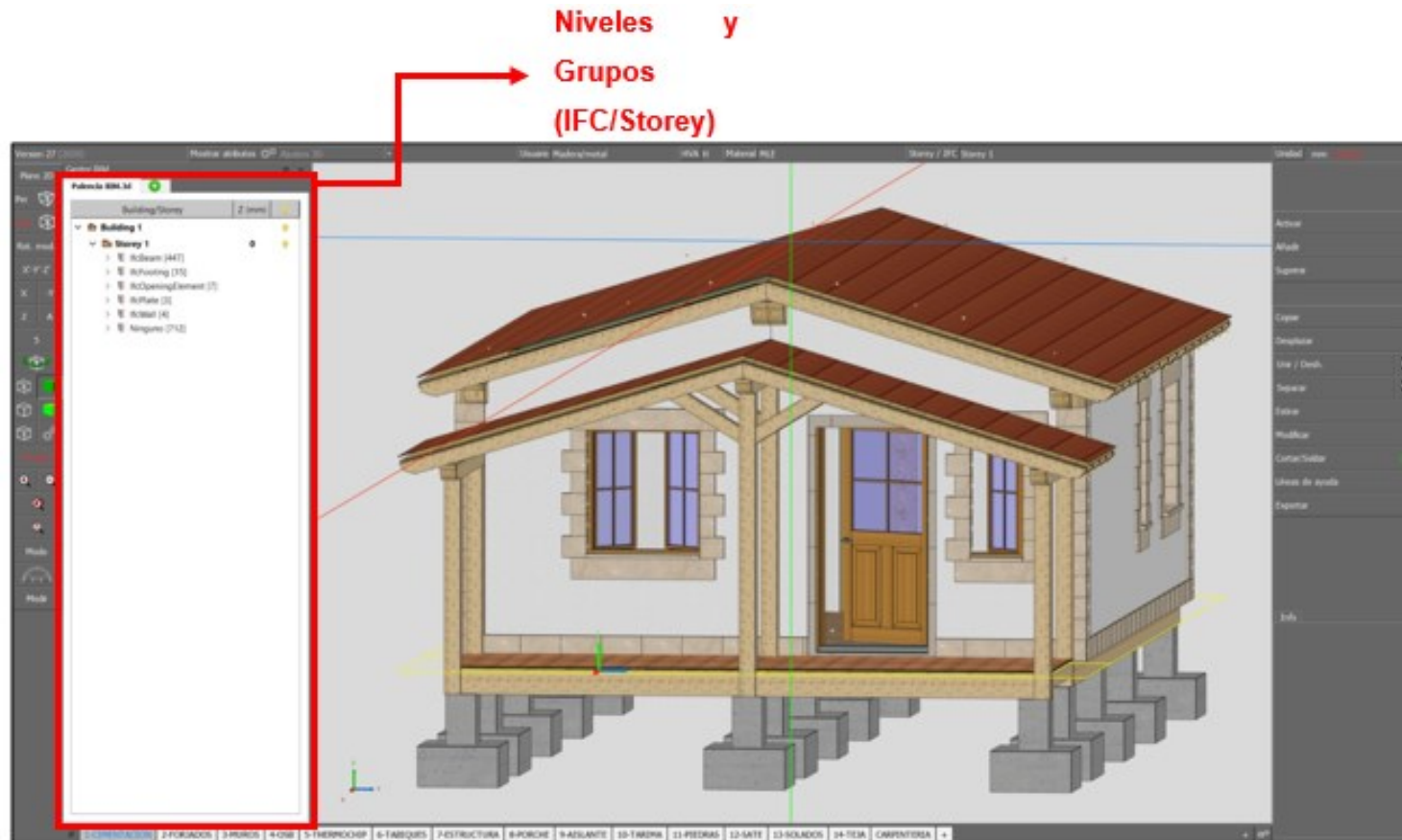


Figura 27. Conformación de grupos por elementos. Fuente: Elaboración propia

En la modelación de los elementos deben considerarse las distintas capas y tipos de estructura que hacen parte de la edificación (casa) conforme se da la secuencia de actividades, con el fin de tener un orden lógico e ideal en el proceso y seguimiento del cronograma. Las etiquetas de las vistas del modelo también se muestran según el orden de ejecución permitiendo que cualquier miembro del equipo pueda entender el proceso constructivo de este modelo de vivienda.

6.4.6. Importación de formatos IFC

Según se aprecia en la Figura 28, al utilizar software Cadworks y otros similares debe contarse con la opción de importar archivos de tipo IFC, con la capacidad de poder cargar estos formatos en naviswork, y así enlazar toda la información contenida en cada grupo de elementos.

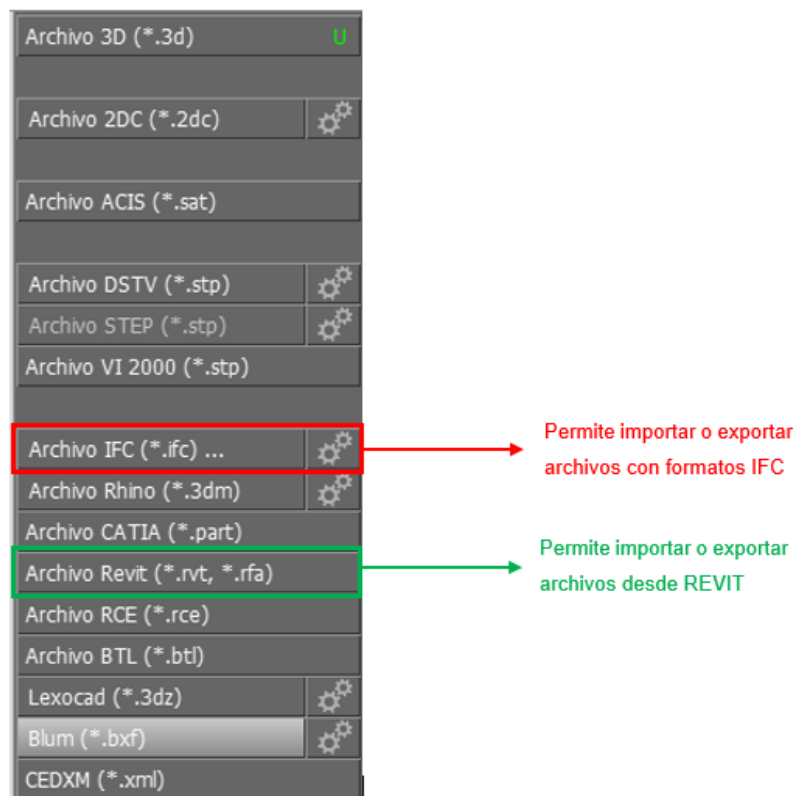


Figura 28. Tipos de formatos en CADWORKS. Fuente: Elaboración propia

6.4.7. Aspectos constructivos específicos del inmueble modular de madera prefabricado

Fue indicado en líneas previas que la casa modelo se prefabricó en el 80% dentro de la planta iniciando con los bastidores de forjado, los cuales se revisten sobre una gran mesa, como se muestra en la Fotografía 1



Bastidores de forjado en proceso, y cubrimiento con láminas OSB

Fotografía 1. Parte del bastidor de forjado de la casa prefabricada en madera.

Seguidamente se fabricaron los muros. En esta fase, se elaboraron bastidores sobre la mesa y luego se realizó el levantamiento del muro, garantizando el trabajo conjunto de ambas caras del bastidor, el cual se sostiene con parales de madera. (Para ver el proceso constructivo remitirse al anexo 3)

El proceso de izado de los muros (Fotografía 2) se realiza de manera que dos personas puedan trabajar simultáneamente en cada una de las caras del panel. Posteriormente, se procede a colocar los aislantes térmicos y a realizar los sistemas de instalaciones hidráulicos y eléctricos, entre otros. De esta forma se

logra que el muro sea terminado 100% en planta y listo para ser desplazado a su locación final en el campo.



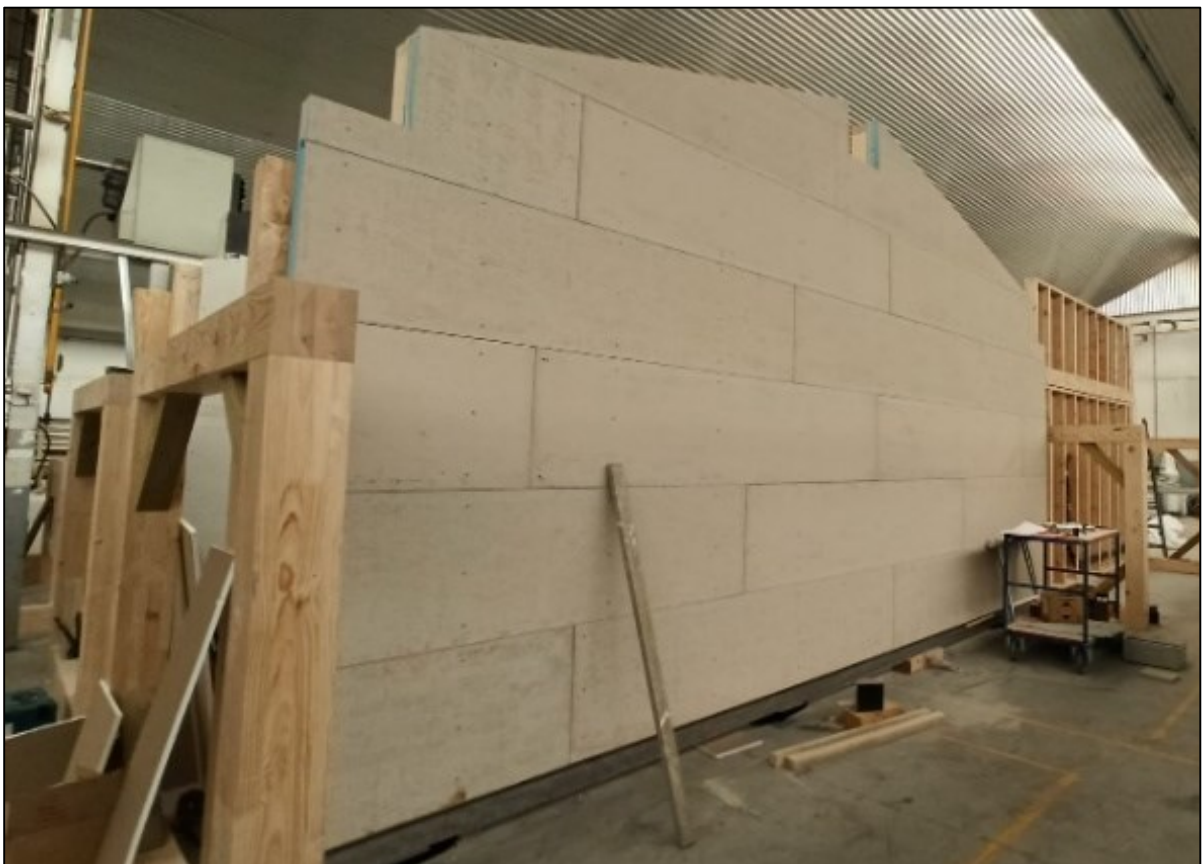
Fotografía 2. Parte del muro A sobre paales, trabajo en ambas caras.

Debidamente contruidos y terminados integralmente los muros se incorporan en línea facilitando el desarrollo de los trabajos dentro de la planta. Las Fotografías 3 y 4 ilustra, en forma acabada por secciones parte de la edificación. Se puede observar los aislantes finales como el termoship.

En la fotografía 5 se observa la terminación de redes eléctricas, y colocación de pladur, finalizando parte de los muros de la vivienda.



Fotografía 3. Parte del muro A sobre parales, colocación de aislantes



Fotografía 4. Parte del muro sobre parales, colocación de termoship



Fotografía 5. Muros con aislantes, pladur y redes principales terminadas, trabajo en ambas caras
Se continúa con los acabados de piedra y sate (sistema de aislamiento térmico exterior) por la parte exterior de los muros. Ver Fotografía 6.



Fotografía 6. Muros con acabados exteriores, sate y piedra en revestimiento.

Igualmente, en planta se fabrica la cubierta, la cual se deja totalmente terminada con aislante interno, conforme se observa en la Fotografía 7.y 8



Fotografía 7.Fabricación de la cubierta



Fotografía 8.Montaje de la cubierta en campo

Terminada las diferentes componentes de la edificación, que integralmente constituyen el 80% de la casa, se trasladan al sitio para dar paso a su emplazamiento y ensamble del conjunto. Este proceso implica una programación de montaje, y se arma como un rompecabezas, en el que cada pieza está enumerada para una fácil instalación. En campo se realiza la cimentación planeada con anterioridad en el sitio previamente adecuado, se procede a ensamblar las partes móviles y, a ajustar detalles de la vivienda, a colocar el tejado, y a realizar o fijar los acabados finales. La Fotografía 9 ilustra la vivienda instalada “in situ”, de acuerdo con las exigencias del cliente.



Fotografía 9. Vivienda modular de madera en etapa de finalización

El seguimiento de cada una de las actividades planeadas fue realizado haciendo uso del Microsoft Project, Cadworks y naviswok, al tratarse de una casa modular en madera.

6.4.8. Simulación línea base 4D BIM (Naviswork)

Esta plataforma en conjunto con MS Project permitió una unidad compleja de información; este propósito se logró recopilando grupos o jerarquías de elementos de la estructura en un solo formato desde Cadworks, analizando toda la información por elemento, y dando una secuencia visual de cada actividad presentada. Esta vinculación se puede hacer manualmente asociando tareas de MS Project dentro de Naviswork, o creando grupos nombrados igual que en el software de modelado 3D, para poder establecer una relación de todos los elementos. La unificación, y vinculación de información se hizo a través de lenguaje IFC.

Esta herramienta posee un comando de reglas correlacionables con los nombres de los grupos, de forma que una vez vinculados los programas MS Project y Naviswork, reconozcan las actividades de todos los elementos. Esta herramienta es útil para proyectos de mayor envergadura o cuando se requiere un nivel de detalle más grande. En este caso, debido al tipo de estructura, se asignaron actividades manualmente. La Figura 29 es un pantallazo del diagrama de interfaces 4D en Naviswork



(A) Jerarquías o grupos 4D

(B) Datos CAD

(C) Programar Datos

(D) Tipos de Actividad

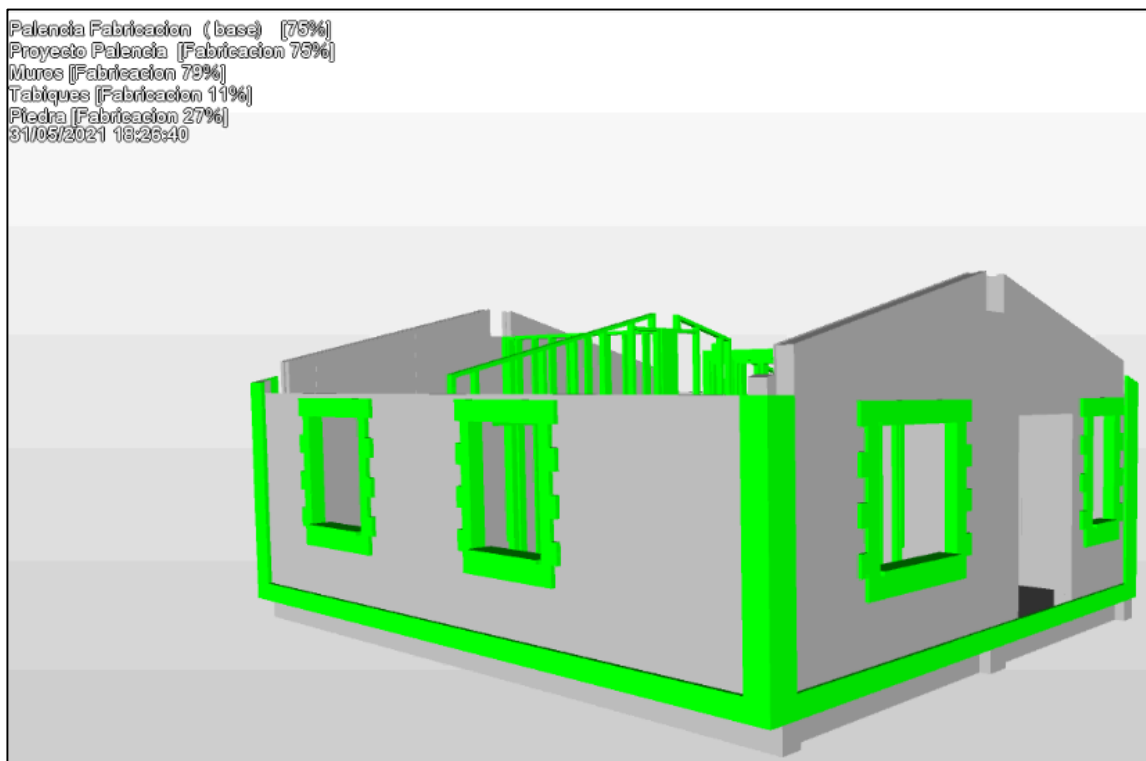
Instantánea 4D

Activo	Nombre	Estado	Inicio planeado	Fin planeado	Inicio real	Finalización real	Tipo de tarea	Inicio	Fin
+	Palencia Fabricación (base)	UP	15/04/2011	15/04/2011	15/04/2011	22/06/2011	Fabricación		
+	Proyecto Palencia	UP	15/04/2011	15/04/2011	15/04/2011	22/06/2011	Fabricación		
+	Inicio	UP	15/04/2011	15/04/2011	15/04/2011	15/04/2011	Fabricación		
+	Forjados	UP	15/04/2011	26/04/2011	15/04/2011	26/04/2011	Fabricación		
+	Armado de Forjado A1	UP	15/04/2011	20/04/2011	15/04/2011	20/04/2011	Fabricación		
+	Armado de Forjado A2	UP	21/04/2011	26/04/2011	21/04/2011	26/04/2011	Fabricación		
+	Muros	UP	27/04/2011	09/06/2011	27/04/2011	13/06/2011	Fabricación		
+	Armado de Muro 3E (B, 2e)	UP	27/04/2011	30/04/2011	27/04/2011	30/04/2011	Fabricación		
+	Armado de Muro 3E (B, 2e)	UP	03/05/2011	06/05/2011	03/05/2011	06/05/2011	Fabricación		
+	Armado de Muro 2D-1C (Bx)	UP	07/05/2011	12/05/2011	07/05/2011	18/05/2011	Fabricación		
+	Armado de Muro 1B-1P (Bx)	UP	13/05/2011	18/05/2011	13/05/2011	20/05/2011	Fabricación		
+	OSB	UP	18/05/2011	24/05/2011	21/05/2011	26/05/2011	Fabricación		
+	Tapachip	UP	20/05/2011	25/05/2011	21/05/2011	02/06/2011	Fabricación		
+	Tabiques	UP	31/05/2011	03/06/2011	02/06/2011	07/06/2011	Fabricación		
+	Placer	UP	04/06/2011	08/06/2011	08/06/2011	13/06/2011	Fabricación		
+	Cubierta 1	UP	04/06/2011	11/06/2011	08/06/2011	15/06/2011	Fabricación		
+	Armado de Cubierta A1	UP	04/06/2011	08/06/2011	08/06/2011	10/06/2011	Fabricación		
+	Armado de Cubierta A2	UP	04/06/2011	11/06/2011	11/06/2011	15/06/2011	Fabricación		
+	Pavido 12 m2	UP	14/06/2011	15/06/2011	15/06/2011	22/06/2011	Fabricación		
+	Pavido 12 m2	UP	14/06/2011	15/06/2011	14/06/2011	14/06/2011	Fabricación		

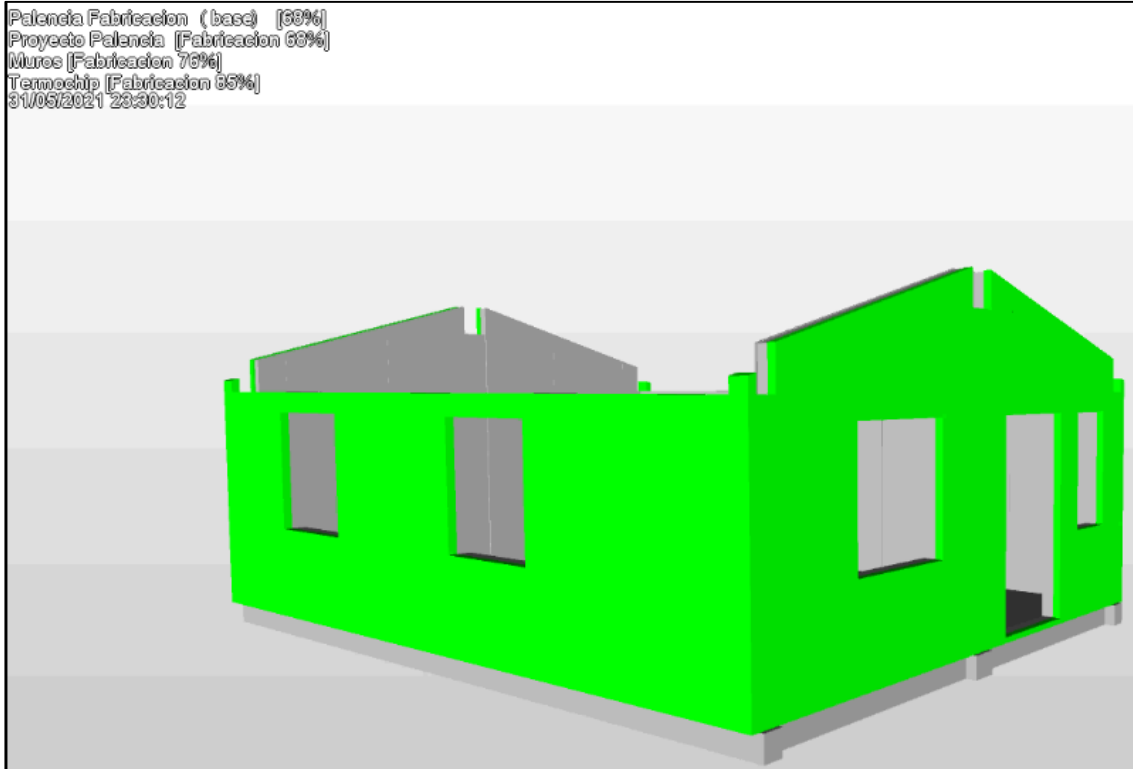
Figura 29. Diagrama de interfaces 4D en Naviswork. Fuente: Elaboración Propia

En la sección A (parte superior izquierda de la Figura 29) se observa el grupo o jerarquías que se encuentran relacionadas con actividades en la programación. En la sección B se muestra la organización de datos por elemento, los cuales están relacionados a su geometría según su diseño de ingeniería. En la sección C se concentra la programación de datos organizados de acuerdo con el orden de construcción, destacando las actividades de cada grupo con fechas de inicio y finalización. En la sección D se tienen las actividades que definen el comportamiento del modelo 4D, y el respectivo enlace a los grupos o jerarquías.

En el marco de la investigación, el inicio de la simulación se logró emitiendo, desde MS Project, toda la información requerida al programa, para verificar visualmente como se encuentra el proyecto y hacer seguimiento respectivo (día a día, semana a semana), hasta culminar. Este monitoreo permite hacer correcciones antes del tiempo previsto y cambiar la cadena crítica para ajustar el curso de la construcción. La Figura 30 A y B enseña la comparación de la línea base estimada respecto a la real.



(A)

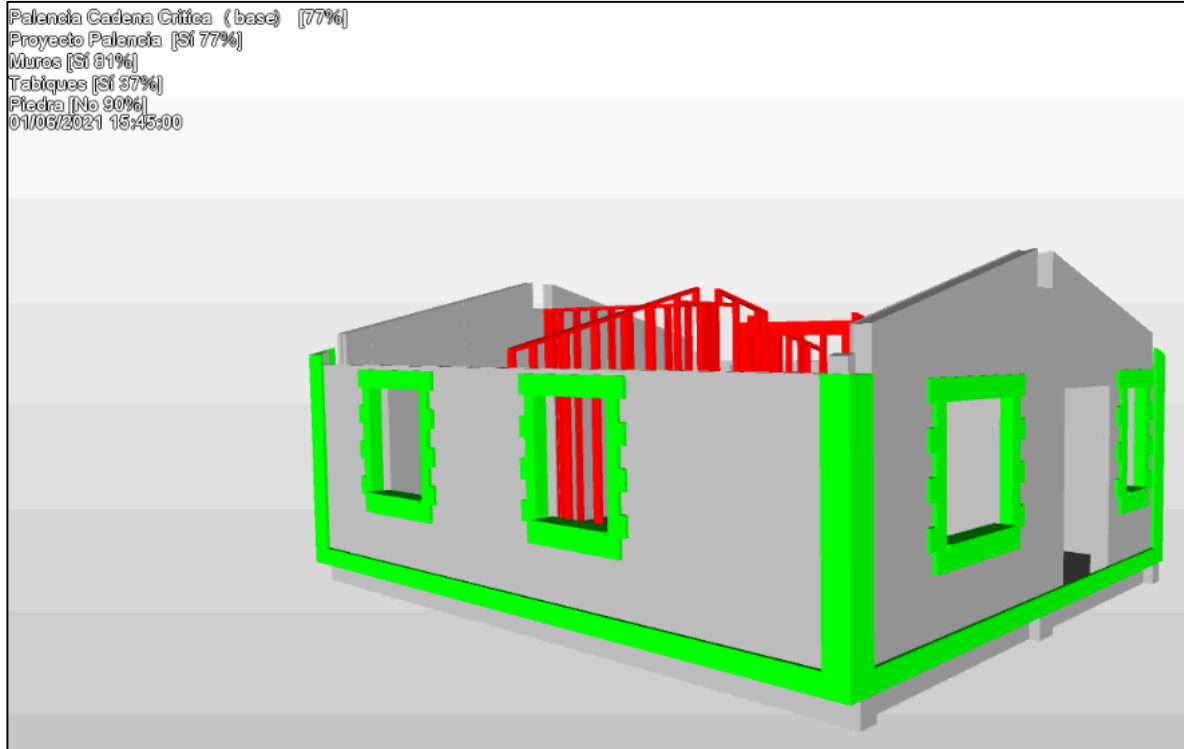


(B)

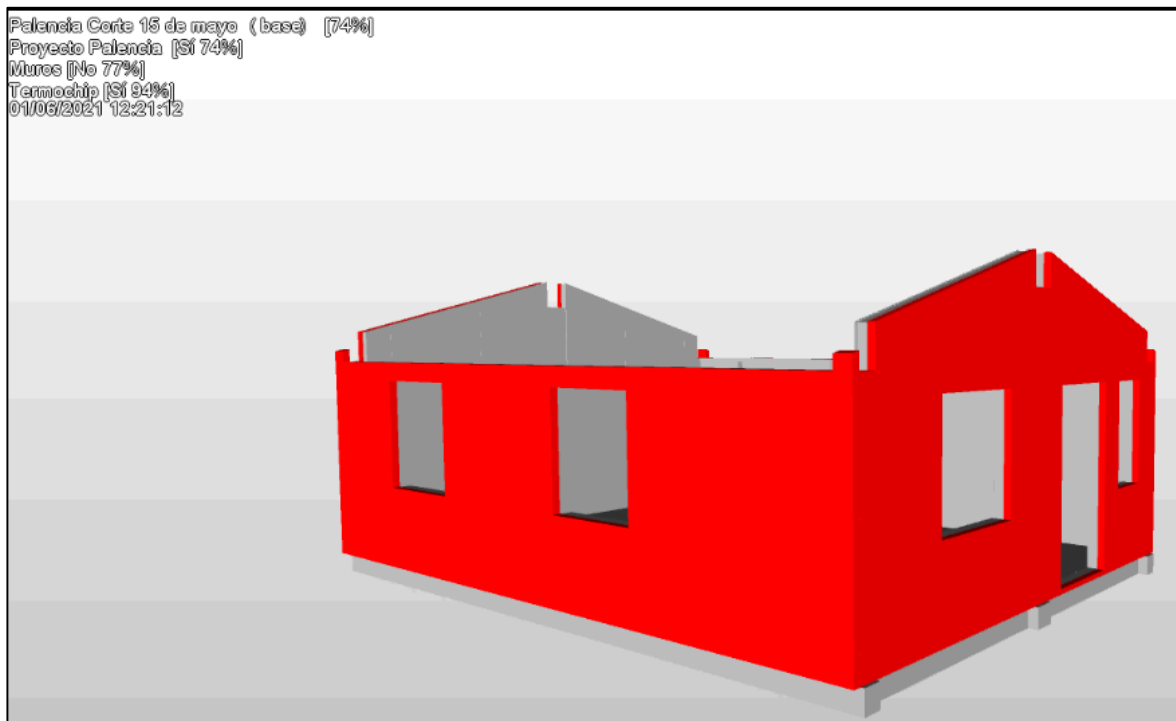
Figura 30.A y B Comparación línea base estimada respecto a la real 4D (Fabricación). Fuente: Elaboración Propia

Ejecutado ■
Finalizado ■

En la figura 30 (A) se muestra la imagen simulada de la casa fabricada, en su nivel de avance al 31 de junio, según la programación. Para ese momento, la instalación del sate, la piedra y los tabiques, como tareas, debían estar ejecutados. Sin embargo, en la figura 30 (B), se aprecia que a esa misma fecha se estaba instalando el thermochip y todavía no se habían colocado los tabiques , generando un retraso de 4 días respecto a la línea base estimada.



(A)



(B)

Figura 31 A y B. Comparación cadena crítica línea base estimada respecto cadena crítica real 4D (Fabricación).

Fuente: Elaboración Propia



Universidad de Oviedo
Universidá d'Oviedu
University of Oviedo

Ejecutado ■

Cadena Crítica ■

Finalizado ■

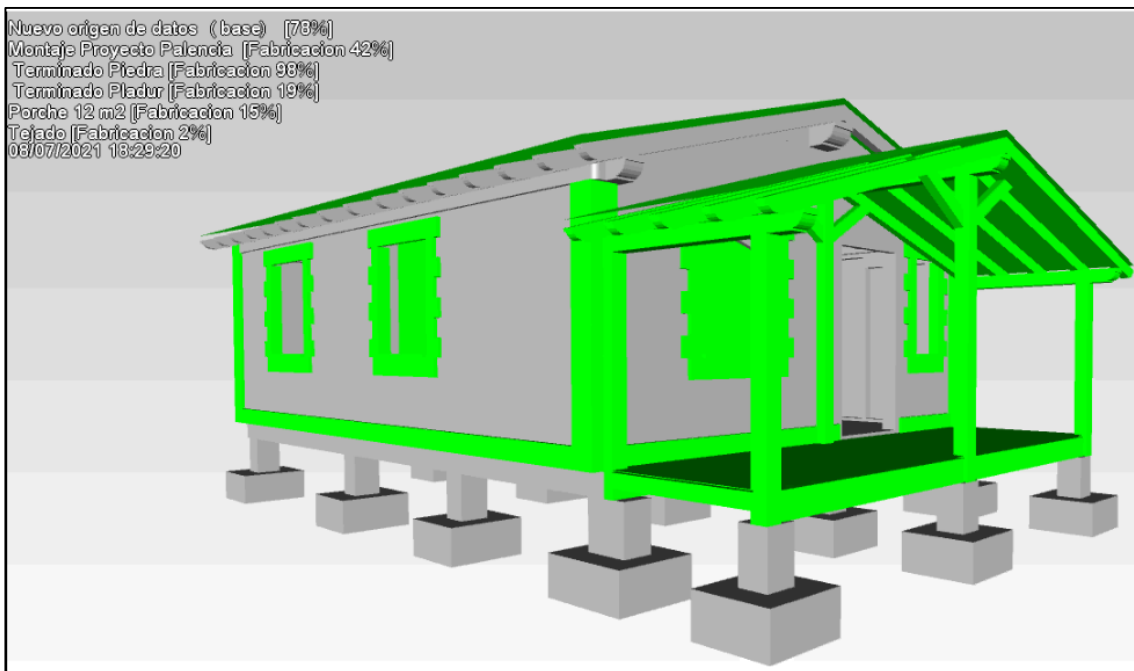


Universidad Pública de Navarra
Nafarroako Unibertsitate Publikoa

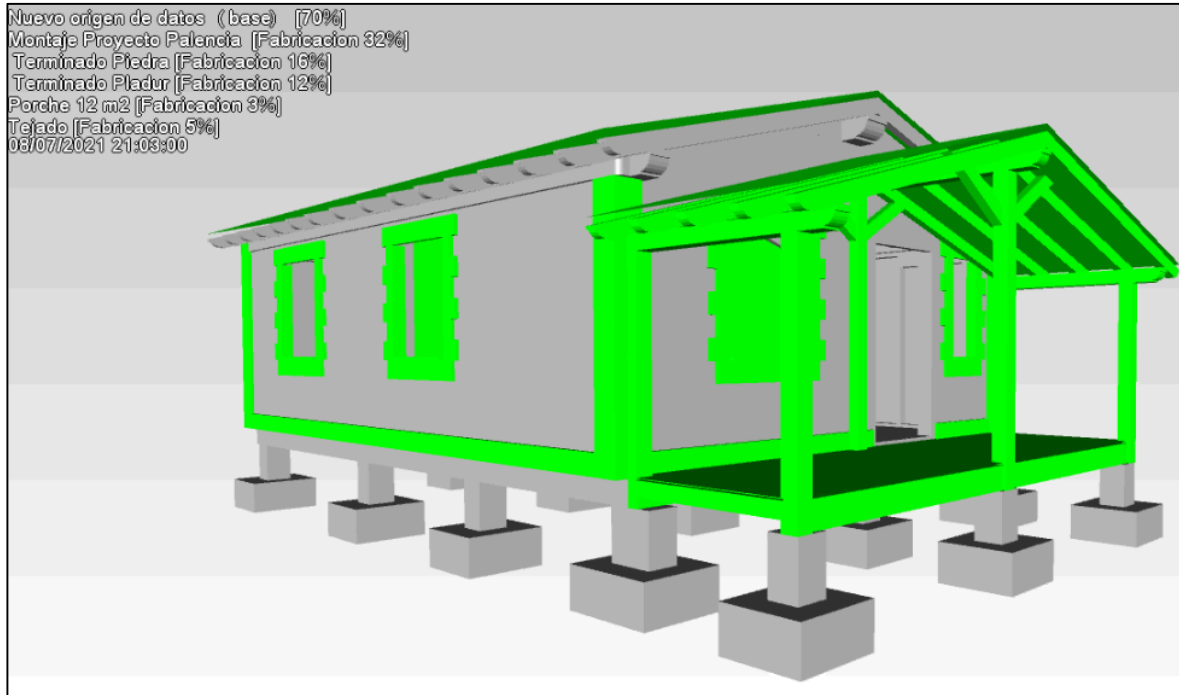


UNIVERSIDAD
DE LA RIOJA

De acuerdo con la programación se aplicaba la cadena crítica del proyecto, pero había retrasos que generaron algunos cambios en la mencionada cadena y, el proceso cambió el curso. En la Figura 31 (A) se resalta en rojo los aspectos que deben ser priorizados para no generar retrasos en la programación y finalizar en el tiempo previsto. El método de la cadena crítica permite constatar su capacidad para ganar tiempo en los proyectos durante su planificación y ejecución, nivelando el uso de todos los recursos vinculantes con el proyecto en ejecución (P. López, 2018). También se puede evidenciar que al día 01 de junio en la figura 31(A) la línea base mostraba ruta crítica en tabiques, pero se puede evidenciar al corte en la figura 31(B) que se estaban realizando los muros, lo que provocó retrasos y una nueva cadena crítica.



(A)

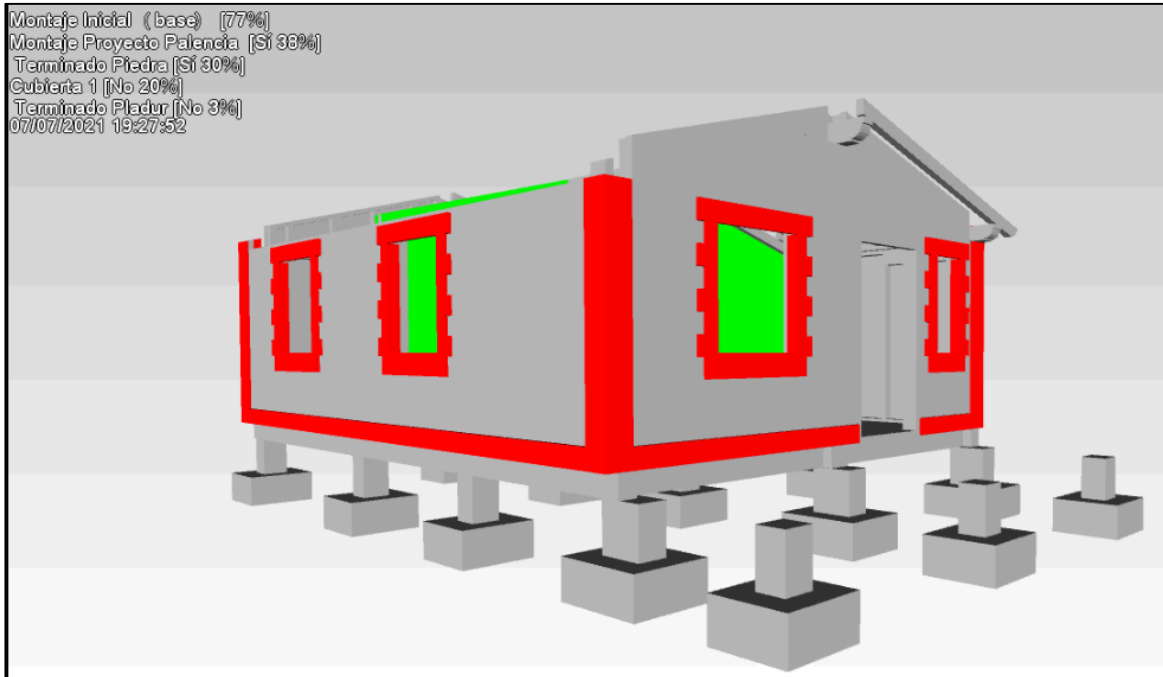


(B)

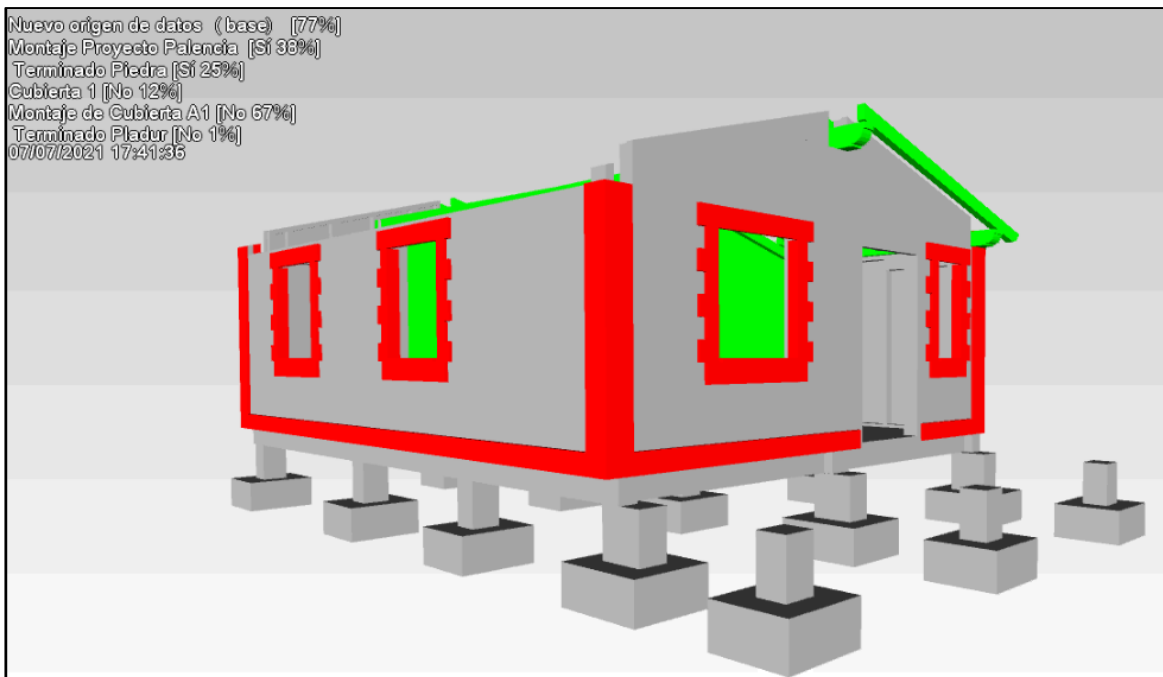
Figura 32. A y B Comparación línea base estimada respecto a la real 4D (Montaje). Fuente: Elaboración Propia

Ejecutado ■
Finalizado ■

Durante el montaje in situ, se evidencia que no hay retraso frente al tiempo estimado, debido a que la concepción, fabricación y montaje fueron procesos controlados en la programación desde el inicio de la planeación (cómo se iba a ejecutar), teniendo a tiempo todas las partes estructurales de la casa. Ver Figura 32 A y B.



(A)




(B)

Figura 33. A y B Comparación cadena crítica línea base estimada respecto cadena crítica real 4D (Montaje).

Fuente: Elaboración Propia



Universidad de Oviedo
Universidá d'Uviéu
University of Oviedo

Ejecutado 

Cadena Crítica 

Finalizado 

upna

Universidad Pública de Navarra
Nafarroako Unibertsitate Publikoa



UNIVERSIDAD
DE LA RIOJA

Frente a la cadena crítica se respetó el curso de cada actividad asignada. Se estableció una diferencia (en horas) respecto al montaje, debido a que en la línea estimada ya se había realizado la cubierta, y en la real estaban en el proceso de montaje, y a su vez se tenían recursos aplicando el sate.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De conformidad con el objetivo general de la investigación adelantada se desarrolló la metodología BIM para la gestión de plazos en un proyecto de vivienda modular de madera en el marco de una empresa fabricante de inmuebles en este material, la cual es calificada como PYME.

Para lograr el propósito fueron concretados los objetivos específicos trazados. De esta manera, se hizo una revisión de la literatura científica existente sobre tecnología BIM como herramienta para la gestión de plazos en una PYME en el sector de la construcción. Fue aplicada la tecnología BIM a través de la gestión de plazos (4D) en una empresa del sector de la construcción de casas modulares de madera, considerada en el grupo de pequeña y mediana empresa (PYME).

Se hizo un análisis comparativo de dos escenarios de desarrollo de un proyecto de casa modular en madera en una empresa PYME. Escenario 1: análisis del proyecto en su perspectiva de planificación y ejecución tradicional vs Escenario 2: evaluación del proyecto bajo aplicación de la tecnología BIM aplicado a la gestión de plazos (4D). Finalmente, se determinó el grado de eficiencia de las tecnologías BIM en materia de gestión de plazos para las PYMES, en el caso evaluado del sector de la construcción de casas prefabricadas en madera

En el marco del logro de los objetivos, las conclusiones son resultado de un análisis teórico y práctico, de conformidad con lo realizado.

La metodología BIM resulta más eficiente que la metodología tradicional, de acuerdo con los resultados obtenidos debido a que:

- ❖ Los tiempos y recursos empleados en el análisis, diseño, construcción y ensamble de los diferentes componentes de las estructuras y de la edificación en su integridad, son menores, lo cual se traduce en un ahorro en tiempo y costos para la empresa.
- ❖ La metodología y el software BIM permite anticipar situaciones de conflicto interdisciplinario en el modelo virtual, lo cual posibilita encontrar la solución a los problemas eventuales que pudieran surgir en la fase constructiva.
- ❖ Se trata de un modelo cuya información se actualiza constantemente; al estar la totalidad de la información a disposición de todos los actores se facilita el trabajo en equipo.
- ❖ El modelo 3D permite a todos los actores comprender mejor las componentes del proyecto y la obra en su conjunto, le facilita al cliente ver espacialmente su producto y posibilita una comunicación cliente-empresa más fluida.
- ❖ Dado que la metodología BIM se apoya en software especializado, se requiere personal capacitado y proactivo al uso de nuevas tecnologías con capacidad para operar software 3D, 4D y superiores.
- ❖ El uso de la tecnología BIM reclama no solo participación de talento humano con entrenamiento o capacitación en el manejo de las plataformas computacionales específicas, sino la disposición en la empresa del equipo robusto para operar el citado software, las licencias de los programas y la reserva de recursos económicos para la capacitación y adiestramiento del personal en la operatividad de dicha logística computacional.
- ❖ En los países donde hasta ahora se incursiona en la aplicación del modelo BIM, es necesario crear conciencia en la importancia que tiene esta tecnología y favorecer los procesos de preparación.
- ❖ Se recomienda que las empresas PYME que no han incursionado aún en la aplicación del sistema BIM, y deseen hacerlo, preparen el personal, definan claramente las adaptaciones o cambios radicales que deben hacer a los modelos actuales de trabajo e implementen gradualmente el sistema BIM para no causar traumatismos.

- ❖ Es procedente que la adopción del modelo BIM en una empresa PYME vaya acompañado de un análisis financiero de los proyectos desarrollados bajo esta metodología, considerando que debe, de una parte, contemplarse la adquisición de la actualización de las licencias y, por otro lado, revisar el tiempo de retorno de la inversión.
- ❖ La gerencia y propietarios de las empresas deben ponderar el hecho de que la adopción e implantación de una determinada metodología con tecnología de punta no genera ganancias de inmediato con los primeros proyectos, debido a la inversión en preparación del personal y adquisición de la infraestructura computacional necesaria para la aplicación
- ❖ Es necesario que dentro de la empresa se implemente la metodología BIM para la gestión de plazos, a través de esto se podrá controlar los tiempos de ejecución de diferentes proyectos con más control sobre lo planeado y recursos que a hoy tienen.
- ❖ En los actuales momentos no se considera posible implementar masivamente la metodología IBM, a pesar de que, en el marco de la investigación, se hizo el ejercicio experimental de planeación y ejecución del proyecto Palencia; debido a que es necesario que el personal de la empresa inicie capacitaciones en la metodología BIM, en el marco de la gestión del tiempo.
- ❖ El cadworks como software implementado es muy eficiente, habida cuenta que permite obtener formatos IFC con la información de todos los elementos expuestos en el modelo, y posibilita simular con el MS Project toda la programación.
- ❖ La cimentación se hizo con más plazo de anterioridad. Es importante incluir esta tarea dentro de la programación de montaje.
- ❖ Se debe adoptar el método de la cadena crítica debido a que permite gestionar todos los recursos de manera práctica y trabajar en conjunto, y en pro de cada proyecto. De no hacerlo, se tienen efectos negativos, como la pérdida de foco, baja productividad, demasiado trabajo en proceso, atención dividida y finalmente stress producido por todos los factores mencionados.
- ❖ Se pudo observar durante la visualización del modelo simulado los inconvenientes encontrados (retraso, en esta ocasión). La detección del

inconveniente permitió tomar decisiones a tiempo que lograron que la construcción de la casa terminara en el menor tiempo posible.

- ❖ El seguimiento es fundamental; de ahí, la importancia de hacer las reuniones semanales de programación, logrando que todo el equipo esté enterado de lo que se está haciendo en cada proyecto.
- ❖ la adopción e implantación de una determinada metodología con tecnología de punta no genera ganancias de inmediato con los primeros proyectos, debido a la inversión en preparación del personal y adquisición de la infraestructura computacional necesaria para la aplicación

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] ALCÁNTARA Paul V. Metodología para minimizar las deficiencias de diseño basada en la construcción virtual usando tecnologías BIM. [en línea]. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, 2013. Ingeniería Civil [Consulta:10-10-2017]. Disponible en: <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/3760>.

[2] Alan Carrillo Rodriguez [Alan Carrillo Rodriguez]. (28 de Diciembre de 2015). Revit Structure 2016 - Estructura de Concreto - Curso Básico. Obtenido de <https://www.youtube.com/playlist?list=PLnVNG0K47IxoEWolcizTLLbv7HUELdVQs>

[3] AMBROSIO Federico. “Normativa BIM para obras públicas en el Reino Unido”. En: Diario el Clarín. [en línea] 9 de marzo de 2015 [Consulta 4-9-2017] Disponible en: https://www.clarin.com/arquitectura/normativa-bim-obraspublicas_0_Hy2BQ9wXI.html.

[4] B. Emma. Espacio Lean BIM. Una web completa de Bibliografía BIM. Argentina, 2020.

[5] BECK, Katherina. “¿Qué es BIM exactamente?” {en línea}. {01 julio de 2015} Disponible en: <http://lereseau.groupeagf.com/fr/articles/Que-es-BIM-exactamente>

[6] BIOTTO, C., FORMOSO, C., & ISSATO, E. (2015). Uso de modelagem 4D e Building Information Modeling na gestão de sistemas de produção em empreendimentos de construção. Ambiente Construído, 15(2), 79-96.

[7] BIM Handbook, A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers, Third Edition, R. Sacks, C. Eastman, G. Lee, P. Teicholz, Wiley, 2018

[8] Blanco DíazGranados Miguel., Cambiando el chip en la construcción, dejando la Metodología tradicional de diseño CAD para aventurarse a lo Moderno de la metodología BIM. Ing. Civil, 2018.

[9] Blog Biblus, ¿Qué es IFC? recuperado de:
<https://biblus.accasoftware.com/es/ifc-que-es-y-relacion-con-el-bim/>

[10] BRITO, D., & FERREIRA, E. (2015). Avaliação de estratégias para representação e análise do planejamento e controle de obras utilizando modelos BIM 4D. Ambiente Construído.

[11] Building Smart Spain Chapter. (15 de Enero de 2014). Guia de Usuarios BIM, Documento 13, Uso de los modelos en la fase de construcción.

[12] BuildingSMART Spain Chapter. Obtenido de BuildingSmart Spain Chapter:
<https://www.buildingsmart.es/bim/gu%C3%ADas-ubim/> Building Smart Spain Chapter. (8 de marzo de 2017).

[13] Building Smart Spain Chapter. Obtenido de Building Smart Spain Chapter:
<https://www.buildingsmart.es/bim/qu%C3%A9-es/> Building Smart Spain Chapter. (19 de abril de 2017).

[14] Building Smart Spain Chapter, Documento 6, Aseguramiento de la Calidad. Obtenido de Building Smart Spain Chapter: <https://www.buildingsmart.es/>

[15] Building Smart Spain Chapter. (18 de abril de 2017). Guia de usuario BIM Documento 6 Aseguramiento de la calidad, Building Smart Spain Chapter. Obtenido de Building Smart Spain Chapter: <https://www.buildingsmart.es/>

[16] Building Smart Spain Chapter. (15 de enero de 2017). Guía de usuarios BIM, Documento 5, Diseño estructural, BuildingSMART Spain Chapter. Obtenido de

[17] BuildingSMART Spain Chapter: <https://www.buildingsmart.es/bim/gu%C3%ADas-ubim/> Building Smart Spanish Chapter;. (18 de abril de 2017). Guía de Usuarios BIM, Documento 1, parte general. Obtenido de buildingSMART Spanish Chapter: <https://www.buildingsmart.es/bim/gu%C3%ADas-ubim/>

[18] BuildingSmart Spain Chapter. (8 de marzo de 2017). Guía de usuario BIM, Documento 3, Diseño Arquitectónico, BuildingSmart Spain Chapter. Obtenido de BuildingSmart Spain Chapter: <https://www.buildingsmart.es/bim/qu%C3%A9-es/>

[19] BuildingSmart SpainChapter. (2 de marzo de 2017). Guía de usuario BIM Documento 2 Modelado del Estado Actual, BuildingSmart Spain Chapter. Obtenido de Building Smart Spain Chapter: <https://www.buildingsmart.es>

[20] Cheng, J., & M.Phil, Q. (2015). A review of the efforts and roles of the public sector for BIM adoption in IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM (MODELACIÓN DE LA INFORMACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN) A UN PROYECTO DE INTERÉS SOCIAL 86 worldwide. Journal of the information Technology, 442-478.

[21] Camps Ferran (Blog), BIM y de la transformación digital del sector de la construcción. <https://www.fhios.es/metodologia-bim-transformacion-digital-construccion/> Autor del blog: Inspector Técnico de Obras del Departamento de Territorio y Sostenibilidad de la Generalitat de Catalunya,

[22] COLOMA PICÓ Eloi. (2008). Introducción a la teoría BIM. [en línea]. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya. Geometría Descriptiva. ISBN:978-84-95249-44-9. Disponible en: https://issuu.com/mig180/docs/introducci_n_a_la_tecnolog_a_bim.

- [23] Ciribini, A., Mastrolembo, V., & Paneromi, M. (2016). Implementation of an interoperable process to optimise design and construction phases of a residential building: A BIM pilot project. *Automation in Construction*, 62-73.
- [24] Chi, H.-L., Wang, X., & Jiao, Y. (2015). BIM- Enabled Structural Design: Impacts and future developments in structural modelling, Analysis and Optimisation . *Architecture Computational Methods Eng* , 135-151.
- [25] Cus Badic, N., & Rebolj, D. (2016). Culture Change in Construction Industry: From 2D Toward BIM Based Construction. *Journal of information technology in Construction*, 86-99.
- [26] D'AMATO GUTIERRE Nicolás. Building information modeling. (BIM). Ing. Civil, EAFIT, Medellín, 2010
- [27] Duncan Haughey, PMP® (2014) Breve historia sobre la administración de proyectos. Recuperado de: <https://www.edpm.es/index.php/noticias/item/14-breve-historia-sobre-la-administracion-de-proyectos>
- [28] Durán, Fritz “La construcción de viviendas en madera”. Centro de Transferencia Tecnológica. Chile. En [https://www.academia.edu/7328816/Manual construccion de viviendas en madera](https://www.academia.edu/7328816/Manual_construccion_de_viviendas_en_madera)
- [29] Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). *BIM Handbook A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers and Designers*. Hoboken, New Jersey: John Wiley and Sons.
- [30] Espinoza R. Jaime, Pacheco E. Roberto. Mejoramiento de la constructibilidad mediante herramientas BIM. Programa de Maestría en Dirección de la construcción, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, 2014.

- [31] Ferrús Pérez Ana. Estudio de viabilidad de la introducción de la construcción de casas de madera en una empresa. Proyecto Fin de Grado [32]Ingeniería de Organización Industrial. Dpto. Organización Industrial y Gestión de empresas II-Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Sevilla, 2020.
- [33] G., & Goncalves, R. J. (2010). Value proposition on interoperability of BIM and collaborative working environments. Elsevier, 522-530.
- [34]Hoeber, H., & Alsem, D. (2016). Life-cycle information management using open-Standard BIM. Engineering, Construction and Architectural Management, 696- 708.
- [35] International Organization for Standardization (ISO). (17 de abril de 2017). (ISO) International Organization for Standardization. Obtenido de (ISO) International Organization for Standardization: <https://www.iso.org/home.html>
- [36] International Organization for Standardization (ISO). (17 de abril de 2017). (ISO) International Organization for Standardization. Obtenido de (ISO) International Organization for Standardization: <https://www.iso.org/home.html>
- [37] Jaime Guzman Delgado [Jaime Guzman Delgado [El BIM Manager Chile]. (13 de Febrero de 2017). Tutorial Navisworks Manager 2016 en Español Creado por Jaime Guzman Delgado El BIM Manager Chile. Obtenido de https://www.youtube.com/playlist?list=PLyGjnTelm6JLle8RTQpb8yFROQ_T8C_J2
- [38]Kim, C. (2013). Automated construction progress measurement using a 4D building information model 3D data. Automation in construction, 75- 82.
- [39] López, P, 2013. Innovación y gestión estratégica de proyectos, Argentina
- [40]Lu, M. Q., & Cheng, J. P. (2015). A review of the efforts and roles of the public sector for BIM adoption worldwide. Journal of Information Technology in Construction , 442.

- [41] Matthews, J., Love, P., Chandler, R., Rumsey, C., & Olatunj, O. (2015). Real time progress management: Re-engineering processes for cloud-based BIM in construction. *Automation in construction*, 38- 47
- [42] Mojica, A. A., & Rivera, D. V. (2012). Implementación de las metodologías BIM para la planificación y control de proceso constructivo de una edificación en Bogotá. Bogotá D. C.: Pontificia Universidad Javeriana
- [43] Oti, A., Kurul, E., Cheung, F., & Tah, J. (2016). A framework for the utilization of Building Management Data in Building Information Models for building and operation. *Automation in Construction*, 195-210.
- [44] Portillo, L. (2015). *Revolucion Industrial*. Recuperado de: <http://www.historialuniversal.com/2010/09/revolucion-industrial.html>
- [45] PB Projectia. "4D BIM ¿Cómo se planifica?" Página web: <https://www.pbprojectia.es/bim-4d-como-se-planifica/>
- [46] Tecnológico de Costa Rica. Aplicación de la metodología BIM (Modelación de la Información en la Construcción) a un proyecto de interés social. En https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/10483/aplicacion_metodologia_bim_proyecto_interes_social.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [47] X. X., L. M., & L. D. (2014). A framework for BIM-enabled lifecycle information management of construction project. *International Journal of Advanced Robotics System*, 1-13.
- [48] Zambrano León Orlando. Planificación de una edificación de 3 pisos, en madera, empleando tecnología BIM. Programa de Ingeniería Civil, Universidad de Especialidades Espíritu Santo, Guayaquil, Ecuador., 2018