



Escola de Camins
Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Camins, Canals i Ports
UPC BARCELONATECH

USO DE HERRAMIENTAS DIGITALES A PIE DE OBRA

Trabajo realizado por:

Francisco Nieto Torres

Dirigido por:

Francisco Javier Mora

Felipe Muñoz La Rivera

Grado en:

Ingeniería Civil

Barcelona, 31 de enero de 2022

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental

TRABAJO FINAL DE GRADO

RESUMEN

El sector de la construcción tiene una serie de características que lo diferencian de los demás: el gran número de agentes que intervienen a lo largo de todo el proceso constructivo, la realización de los trabajos a la intemperie y las inferencias existentes entre las fases de diseño y construcción. Estas características, provocan una fragmentación del sector y una baja coordinación entre los actores implicados, obteniendo como resultados índices de productividad bajos.

Actualmente nos encontramos en un periodo de transición del sector, donde mediante el uso de nuevas tecnologías como son Lean Construction, Building Information Modeling (BIM) o la construcción 4.0 en general, se pretende aumentar la productividad y reducir las deficiencias. Sin embargo, aunque estos avances ya se encuentran presentes y consolidados en la fase de diseño, es a pie de obra donde encontramos una menor implementación.

Con motivo de reducir esta brecha de digitalización entre la fase de diseño y la constructiva, se están desarrollando diferentes tecnologías y herramientas para utilizarlas “in situ”. Un ejemplo son las estaciones BIM, que corresponden a sistemas móviles dotados de potentes ordenadores que permiten trasladar la información y visualizarla de manera colaborativa por los distintos agentes involucrados en el proceso constructivo.

Este trabajo estudia cómo puede afectar la utilización de las herramientas digitales durante la ejecución de obras. Para ello, se estudia y revisa la metodología tradicional utilizada en la realización de una unidad de obra concreta, la realización de un encofrado verticales, identificando sus procesos, deficiencias y oportunidades de mejora. Tras ello, se propone un nuevo flujo de trabajo basado en la implementación sinérgica de la filosofía LEAN y la metodología BIM, desplegadas en obra mediante el uso de una estación de trabajo BIM en el lugar de construcción.

Palabras clave: **Digitalización, Fase de Construcción, Estaciones BIM**

ABSTRACT

The construction sector has a series of characteristics that differentiate it from other sectors: the large number of agents that intervene throughout the construction process, the fact that work is carried out outdoors and the inferences that exist between the design and construction phases. These characteristics lead to a fragmentation of the sector and low coordination between the actors involved, resulting in low productivity rates.

We are currently in a period of transition in the sector, where the use of new technologies such as Lean Construction, Building Information Modelling (BIM) or construction 4.0 in general, aims to increase productivity and reduce deficiencies. However, although these advances are already present and consolidated in the design phase, it is on the construction site where we find less implementation.

In order to reduce this digitalisation gap between the design and construction phases, different technologies and tools are being developed for use on site. One example is BIM stations, which are mobile systems equipped with powerful computers that allow information to be transferred and visualised collaboratively by the different agents involved in the construction process.

This work studies how the use of digital tools can affect the execution of construction works. To this end, the traditional methodology used in the execution of a specific work unit, the execution of a vertical formwork, is studied and reviewed, identifying its processes, deficiencies and opportunities for improvement. After this, a new workflow is proposed based on the synergic implementation of the LEAN philosophy and the BIM methodology, deployed on site through the use of a BIM workstation on the construction site.

Key words: **Digitalisation, Construction Phase, BIM Stations**

MOTIVACIÓN

El sector de la construcción es reconocido por tener bajos niveles de productividad y una serie de problemas que fomentan esos resultados. Dentro de ellos, la resistencia al cambio y los métodos tradicionales de trabajo en el lugar de construcción hacen que el proceso en sí y los procesos de gestión no logren la eficiencia deseada. El bajo nivel de digitalización del sector es uno de los elementos destacados, ya que el potencial de las nuevas metodologías y tecnologías son una oportunidad importante para su uso a pie de obra, sin embargo, esto no se ve reflejado en la realidad, limitándose su uso a los despachos. Ante ello, avanzar en métodos y herramientas para fomentar el despliegue de herramientas digitales a pie de obra resulta motivante, en la manera de aportar al sector desde esas nuevas visiones de trabajo.

Desde una perspectiva personal, he querido realizar este trabajo ya que he podido experimentar de primera mano que es trabajar a pie de obra como peón y he vivido diferentes situaciones en las que me he cuestionado si la metodología de trabajo utilizada era la correcta y si existía alguna manera de solventar los problemas existentes durante la ejecución de proyectos. Algunos ejemplos son: tener que parar la producción porque no disponíamos de los materiales necesarios o tener que deshacer el trabajo ya hecho debido a un mal entendimiento de los planos.

También he podido analizar los sobrecostes que se producen en la realización de estos trabajos desde otra perspectiva, ya que, al trabajar como gestor y coordinador en una planta de hormigón, muchas veces los clientes han tenido que modificar la cantidad de material que solicitaban en un principio por una mala planificación y control del estado de la obra.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, me gustaría agradecer a mis tutores Javier Mora y Felipe Muñoz por toda la ayuda y documentación que me han brindado a lo largo de todo el trabajo, también por su paciencia y gran dedicación que han mostrado durante todo este tiempo conmigo.

También me gustaría agradecer a mi familia por el apoyo que han supuesto durante toda la carrera y la motivación que me han dado a realzar aquello que más me guste.

ÍNDICE DE CONTENIDO

| | |
|--|------|
| RESUMEN | ii |
| ABSTRACT | iii |
| MOTIVACIÓN | iv |
| AGRADECIMIENTOS | v |
| ÍNDICE DE CONTENIDO | vi |
| ÍNDICE DE FIGURAS | viii |
| ÍNDICE DE TABLAS | ix |
| CAPITULO 1: PLANTEAMIENTO | 10 |
| 1.1 Introducción | 10 |
| 1.2 Objetivos del trabajo | 11 |
| 1.2.1 Objetivo general | 11 |
| 1.2.1 Objetivos específicos | 11 |
| CAPITULO 2: REVISIÓN DE LA LITERATURA | 13 |
| 2.1 Contexto del sector de la construcción | 13 |
| 2.1.1 Características generales | 13 |
| 2.1.2 Digitalización en el sector de la construcción | 15 |
| 2.2 LEAN construction | 17 |
| 2.2.1. Identificación de pérdidas | 18 |
| 2.2.2. Diferencias entre el proceso de construcción tradicional y el LC | 19 |
| 2.3 BIM [Building Information Modeling] | 21 |
| 2.3.1. Características | 22 |
| 2.4 BIM en el lugar de construcción | 24 |
| 2.4.1 Introducción | 24 |
| 2.4.3 Estaciones de trabajo BIM - BIMtable | 25 |
| 2.4.2 Interacción BIM-LEAN | 29 |
| CAPITULO 3: PROPUESTA DE IMPLEMENTACION DE LA DIGITALIZACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN DE ENCOFRADOS VERTICALES | 31 |
| 3.1 Análisis de la realización de los encofrados | 31 |
| 3.1.1 características generales | 31 |
| 3.1.2 Productividad en los encofrados | 33 |
| 3.1.2 Diseño de encofrados | 34 |
| 3.1.3 Metodología de trabajo | 35 |

| | |
|--|----|
| 3.1.3 Identificación de deficiencias del proceso tradicional | 37 |
| 3.2 Propuesta de mejora | 40 |
| 3.2.1 Etapa 1: Acciones a realizar antes de la construcción..... | 42 |
| 3.2.2 Etapa 2: Acciones a realizar en la fase de ejecución | 43 |
| 3.2.3 Etapa 3: Acciones a realizar una vez finalizada la obra | 46 |
| CAPITULO 4: APLICACIÓN DEL MODELO A UN CASO PRÁCTICO | 48 |
| 4.1 Definición del caso | 48 |
| 4.2 Etapa 1: Acciones a realizar antes de la construcción..... | 48 |
| 4.2.1 Modelo 3D | 48 |
| 4.2.2 Creación de los diagramas | 52 |
| 4.3 Acciones a realizar durante la construcción..... | 55 |
| 4.3.1 Traslado de información a pie de obra | 55 |
| 4.3.1 Construcción del encofrado | 56 |
| 4.4 Consideraciones a tener en cuenta y ventajas identificadas | 60 |
| 4.4.1 Consideraciones a tener en cuenta | 60 |
| 4.4.2 Ventajas identificadas | 61 |
| CAPITULO 5: CONCLUSIONES Y FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACIÓN | 63 |
| 5.1 Conclusiones..... | 63 |
| 5.2 Futuras líneas de investigación | 65 |
| Referencias..... | 66 |
| ANEXOS | 69 |
| ANEXO 1: Evolución del modelo 3D | 69 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 Los 5 principios Lean. Fuente: elaboración propia a partir de [] | 17 |
| Figura 2 Identificación de pérdidas Lean. Fuente: | 19 |
| Figura 3 Proceso tradicional de construcción. Fuente: elaboración propia a partir de [] | 20 |
| Figura 4 Proceso Lean de construcción. Fuente: elaboración propia a partir de [] | 20 |
| Figura 5 Gráfico comparativo de cómo avanza la información disponible a lo largo de un proyecto entre la metodología BIM y la basada en el uso de documentos aislados. Fuente: [10] | 22 |
| Figura 6 Características del uso de la información en la metodología BIM. Fuente: [5] | 23 |
| Figura 7 Modos de uso de la estación BIMtable. Fuente: [] | 25 |
| Figura 8 Ejemplo construcción encofrado vertical. Fuente: | 31 |
| Figura 9 Elementos necesarios para la construcción de encofrados verticales en sus diferentes etapas. Fuente: | 32 |
| Figura 10 Etapas de la construcción de muros, según el modelo tradicional de producción. Fuente: elaboración propia | 35 |
| Figura 11 Esquema de las pérdidas presentes en el actual modelo de construcción. Fuente: elaboración propia | 38 |
| Figura 12 Esquema resumen de la propuesta de mejora. Fuente: elaboración propia | 41 |
| Figura 13 Proceso constructivo de la realización de muros, siguiendo el modelo de producción Lean. Fuente: elaboración propia | 45 |
| Figura 14 Planta del caso de uso utilizado como modelo para el ejemplo de implementación. Fuente: planos del proyecto | 48 |
| Figura 15 Vista 3D de la sectorización del muro utilizado como caso de uso. Fuente: elaboración propia | 49 |
| Figura 16 Familia de elementos de PERI disponibles en la biblioteca de Revit. Fuente: elaboración propia | 50 |
| Figura 17 Vista del muro una vez colocados los elementos de encofrar sobre él. Fuente: elaboración propia | 52 |
| Figura 18 Proceso de fases en los que se ha dividido el modelo 3D. Fuente: elaboración propia ... | 52 |
| Figura 19 Descripción del material a utilizar y a recuperar en la construcción del muro. Fuente: elaboración propia | 53 |
| Figura 20 Descripción de las actividades a realizar dentro de cada etapa y espacio donde los operarios anotarán las horas de inicio y finalización y la fotografía de verificación. Fuente: elaboración propia | 54 |
| Figura 21 Descripción de las acciones a realizar por cada operario. Fuente: elaboración propia | 55 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1 Comparación entre diferentes dispositivos utilizados a pie de obra | 16 |
| Tabla 2 Aspectos generales | 26 |
| Tabla 3 Especificaciones detalladas | 26 |
| Tabla 4 Tecnología..... | 27 |
| Tabla 5 Software y consumo | 27 |
| Tabla 6 Factores que afectan a la productividad | 33 |
| Tabla 7 Tipos de trabajo presentes en la realización de encofrados | 34 |
| Tabla 8 Prestaciones de los productos utilizados | 43 |
| Tabla 9 Funciones de las herramientas utilizadas..... | 44 |
| Tabla 10 Ventajas identificadas según el agente | 62 |

CAPITULO 1: PLANTEAMIENTO

1.1 Introducción

El sector de la construcción es uno de los motores de la economía y supone una considerable parte del producto interior bruto en cada país. A pesar de este hecho, el sector presenta una baja productividad debido a la fragmentación y dispersión de los agentes involucrados, la baja inclusión de nuevas tecnologías y la alta resistencia al cambio.

A parte de ser uno de los motores de la economía, el sector de la construcción también necesita y gasta una gran cantidad de recursos naturales, es por eso que la mejora de la productividad no solo afecta a la parte económica de las empresas, sino que también beneficia a la sostenibilidad del planeta y a la conservación del medio.

Por ello, es sumamente importante la implementación de nuevos métodos y sistemas de planificación que permitan llevar el proyecto de una manera óptima, cumpliendo con el plazo y el costo fijados inicialmente. Esto podrá ser posible si reducimos la incertidumbre de los procesos, ya que con esto disminuirá la variabilidad y se logrará crear flujos de trabajos más confiables; obteniéndose así una producción más eficiente y por consiguiente que las empresas puedan llevar a cabo los proyectos en los plazos y costos establecidos. La metodología BIM, permite hacer un seguimiento total del estado de la obra durante toda la vida del proyecto, desde la fase de diseño hasta su rehabilitación o derrumbe. Y engloba todos los aspectos que lo caracterizan. Alineada con el uso de la filosofía LEAN, cuyo principal objetivo es la mejora continuada, puede ser una herramienta muy útil para obtener obras de calidad y minimizar los costes. Aunque en la fase de diseño de cualquier proyecto constructivo encontramos presente un alto grado de digitalización como se puede ver en el uso de programas como AutoCAD, Revit o BIM en general, es en la fase de ejecución, donde escasean las herramientas digitales para intentar solventar los posibles contratiempos que pueden ocurrir.

Es necesario trasladar las metodologías mencionadas anteriormente a pie de obra para que los operarios de realizar la construcción dispongan de más información que puedan utilizar a su favor para mejorar la eficacia y eficiencia del proceso constructivo. Las estaciones BIM tienen el potencial para desempeñar esta función, ya que, corresponden a sistemas móviles con ordenadores potentes, que mediante pantallas interactivas permiten el trabajo colaborativo entre operarios, visualizar todo tipo de archivos y modelos digitales y la conexión con otros equipos digitales útiles en obra.

El presente trabajo pretende analizar el impacto que puede suponer la implementación de una estación BIM en la fase de construcción de un proyecto mediante un ejemplo de la realización del encofrado de un muro, debido a que esta tarea está presente en la mayoría de los proyectos constructivos.

Para ello, es necesario un análisis del método tradicional de construcción donde se identifican las deficiencias del proceso utilizando los principios Lean, y se propone la implementación de una nueva metodología de trabajo basada en la metodología BIM, la filosofía Lean y la sinergia existente entre ambas, mediante el uso de una estación BIM en el lugar de construcción.

1.2 Objetivos del trabajo

A partir de las motivaciones mencionadas anteriormente se han definido los siguientes objetivos del trabajo.

1.2.1 Objetivo general

El objetivo general del trabajo consiste en explorar y estudiar cómo puede afectar la implementación de herramientas digitales en el lugar de construcción durante la ejecución de obras, teniendo en cuenta la transición de la metodología actual de trabajo, a la esperada con el uso de la digitalización “in situ”, y entregar recomendaciones y métodos para su despliegue.

1.2.1 Objetivos específicos

Para poder alcanzar el objetivo propuesto, se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Identificar las problemáticas que pueden aparecer durante la ejecución de obras y las características únicas que diferencian a este sector de los demás.
- Identificar los aspectos relevantes tanto de la filosofía LEAN como de la metodología BIM y sus beneficios para mejorar la eficiencia y la productividad durante la fase de ejecución de proyectos constructivos.
- Conocer que herramientas de carácter digital se utilizan en la obra actualmente e identificar los puntos fuertes que estos propician a la realización de las labores, así como el impacto que puede llegar a suponer su implementación.
- Analizar a través de un caso práctico como estas herramientas pueden afectar en la ejecución de proyectos y establecer flujos de trabajo para su implementación

CAPITULO 2: REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1 Contexto del sector de la construcción

El sector de la construcción es vital para toda la economía de los países y considerado un buen indicador para conocer el estado financiero de estos [1]. Con una contribución media del 6% del PIB mundial y con proyecciones de ir en aumento, el desarrollo del sector influye directamente en el confort y bienestar de la población. Pese a tener este importante papel, la industria se ha caracterizado por presentar indicadores de baja productividad asociados al tiempo, coste y calidad. [2]. Según el Fórum Económico Mundial, un aumento del 1% de la productividad mundial, podría ahorrar 100.000 millones de dólares anuales. Este aumento de la productividad no solo afectaría a la parte económica, ya que la industria consume una gran proporción de las materias primas producidas en todo el mundo y siendo responsable del 30% de las emisiones de gases invernadero. [3]

Aunque la transformación de la industria presenta un progreso lento comparada con otras, existen numerosos estudios que contribuyen a entender las principales causas de este hecho. Es por eso que es necesario entender las características del sector para poder buscar una solución. [1].

2.1.1 Características generales

La construcción difiere de manera significativa respecto a otras actividades como la minería, la agricultura o la industria manufacturera debido a que presenta una serie de aspectos peculiares y característicos [5]. Por definición, es uno de los sectores más dinámicos de la economía, ya que involucra a otros sectores e industrias dentro de sus actividades. Tanto es así, que muchas veces se asocia el crecimiento del sector con el desarrollo de la economía de un país [6]. También tiene un gran impacto debido a genera actividad económica en otros rubros como; los proveedores de los recursos necesarios y materias utilizadas en la ejecución de un proyecto [5].

Esta, también se ha caracterizado por enfocar su innovación en sus disciplinas tradicionales, por ejemplo el estudio de materiales, revestimientos superficiales, madera, hormigón y sus derivados, revestimientos, revoques, estructuras más ligeras y resistentes, pero con un bajo nivel de adopción de tecnologías de la información y la comunicación, especialmente si se compara con industrias[manufactura, comunicaciones, entre otras], preservando maquinaria y equipo tradicional con un fuerte componente semi-artesanal en la implementación de proyectos[6].

Podemos agrupar las principales causas de diferenciación del sector AIC respecto a los demás analizando las características del producto final y del proceso productivo para obtenerlo [6].

2.1.1.1 Particularidades del producto

El producto del sector de la construcción es único, con sus características específicas dependiendo del lugar de la construcción y las condiciones en las que se realiza [5]. Se puede definir como un producto, en la mayoría de casos, heterogéneo. Al no estar producido en serie, existe una gran variación del precio final y un elevado tiempo de producción [6].

Salvo algunas excepciones, el producto final es inamovible, este hecho obliga a que la mayoría de los procesos se tengan que realizar “in situ”, desplazándose en cada caso los especialistas de cada sector al lugar de la construcción y teniendo que trabajar de manera conjunta con los demás agentes [4]. Se puede observar durante las etapas del producto si se están cumpliendo los objetivos o no, por lo tanto, podemos asegurar que las metas son fácilmente tangibles ya que son el propio producto [3]. Por último, la esperanza de vida del producto es de larga duración, es por eso que este deberá tener gran durabilidad y que una vez finalizado se deberán seguir realizando trabajos de rehabilitación y mantenimiento [5].

2.1.1.2 Características del proceso productivo

La mayoría de proyectos constructivos, tienen una relativa vida corta y se realizan contra el tiempo. Este hecho provoca una alta presión de trabajo en cada una de sus etapas y la limitación de incorporar métodos de planificación, control y estudio de los problemas que van surgiendo. Como la planificación de los tiempos es muy ajustada, es importante que las operaciones se realicen correctamente desde un principio para evitar los contratiempos, situación que no se da en muchas ocasiones debido a causas como: errores en el diseño y especificaciones, procedimientos de control y supervisión deficientes, falta de especialización de la fuerza de trabajo, etc. [6]. La naturaleza nómada de la construcción al tener que cambiar el lugar de trabajo una vez acabado un proyecto, sienta las bases de una inestabilidad laboral permanente para los agentes involucrados en esta, al realizarse a la intemperie, Las fases de trabajo y la eficiencia de su realización están sujetas a las variaciones de las condiciones climáticas, que afectan a la seguridad, productividad y confort de la fuerza de trabajo [5]. El trabajo en la industria es una actividad de riesgo físico ya que todas las tareas involucran un trabajo manual que requiere de desgaste físico, y también se trabaja con maquinaria pesada y en entornos de trabajo con muchos elementos fáciles de propiciar lesiones o heridas a los trabajadores. Es por eso que también es importante elaborar una buena gestión y planificación de las medidas y elementos de seguridad a utilizar durante la ejecución de un proyecto constructivo.

Durante el proceso de producción aparecen involucrados diferentes especialistas. Al ser cada proyecto constructivo diferente al anterior, el trabajo que deben realizar los operarios tiene la singularidad de ser variado, las metas diarias a cumplir van cambiando con la realización de la construcción. Este factor y el hecho de poder ir observando como avanza la creación del producto, introducen un elemento de satisfacción y motivación del personal [5].

2.1.1.3 Fragmentación del sector

A raíz de las características descritas anteriormente, en la industria de la construcción aparecen también una serie de problemas, debidos en gran parte a la gran fragmentación del proceso

productivo donde el número de operaciones especializadas ha ido en aumento durante las últimas décadas, al existir una vaga relación entre todos estos integrantes, este hecho desencadena en la aparición de una jerarquía de procesos en la cual los subcontratistas tienen una posición subordinada y existe una presión de los niveles superiores a los inferiores, dando lugar a tensiones. [4]

Por otra parte, otro hecho causante de contratiempos es debido a las interacciones que están presentes a lo largo de todo proyecto constructivo, entre las diferentes etapas y entre los diferentes actores que intervienen. Entre las diferentes etapas del proyecto también existen solapamientos, lo que complica aún más la interacción entre estas. sin embargo, donde encontramos la mayor brecha en estas interacciones es entre la fase de diseño y la constructiva ya que, en muchas ocasiones actúan como si no tuviesen relación entre sí [7]. Esta industria se ha caracterizado por presentar indicadores de baja productividad asociados al tiempo, costo y calidad de los proyectos, con especial atención al problema de sobrecostos. Estos indicadores son el resultado de una cadena de suministro fragmentada, con múltiples participantes con diferentes visiones del proyecto común, entrando en diferentes momentos y manteniendo una interconexión, en un flujo de trabajo lineal y en cascada, y a menudo trabajar en tareas repetitivas [4].

2.1.2 Digitalización en el sector de la construcción

El sector de la construcción se ha caracterizado por centrar los procesos de innovación en torno a sus disciplinas tradicionales, mejorando considerablemente las prestaciones de los materiales utilizados, creando estructuras más ligeras, resistentes y a un menor coste, sin embargo, la adopción de nuevas tecnologías de información y comunicación resulta muy baja, sobre todo al compararlo con otras industrias como la textil o automotriz [2].

Según un informe del Boston Consulting Group, durante la próxima década, el uso de la digitalización a gran escala en la construcción supondrá un ahorro del 13 al 21% en las fases constructivas [3].

Aunque la digitalización en la construcción está implementada y ampliamente utilizada desde hace décadas durante el desarrollo de la fase de diseño mediante la utilización de softwares como AutoCAD o más recientemente REVIT que integra la metodología BIM, el sector debe abandonar su zona de confort e ir más allá, participando durante la fase constructiva y hasta el final de su vida útil. Por ello existe la necesidad de integrar herramientas como la filosofía LEAN o la metodología BIM, ya que pueden influir positivamente en reducir costes del proyecto, incorporando sistemas empleados en la producción industrial y utilizando dispositivos que ayuden a mejorar la recogida de datos y el manejo de la información desde la propia obra.

No obstante, podemos encontrar algunos dispositivos que en un principio no estaban enfocados al sector de la construcción en específico, pero que actualmente son utilizados durante la fase de construcción, algunos ejemplos se ven reflejados en la tabla 1:

Tabla 1 Comparación entre diferentes dispositivos utilizados a pie de obra

| Tipo | Función | Ventajas | Ejemplo aplicación |
|---|---|---|--|
| teléfonos móviles y tabletas | Permiten intercambiar información a tiempo real a cualquier distancia | Son elementos de uso cotidiano y al alcance de todo el mundo Permiten compartir información a distancia de manera fácil | Compartir imágenes sobre el estado de la construcción |
| realidad aumentada y realidad virtual [8] | combinan el espacio físico en el que nos encontramos con elementos virtuales | - permiten crear una simbiosis entre el mundo físico y el modelo digital -pudiendo interactuar y trabajar sobre el modelo BIM desde cualquier lugar la fuerza de trabajo posee un mayor empoderamiento de la situación y del control de la obra | -realizar replanteos virtuales - formación en riesgos laborales |
| códigos QR [9] | tipo de código de barras bidimensional, donde la información está codificada dentro de un cuadrado | permiten almacenar gran cantidad de información alfanumérica fácil acceso | acceder a los manuales de uso rápidamente acompañados estos por gráficos 3D Información de los trabajadores en sus EPIS |
| RFID [10] | son una nueva tecnología que permite la identificación de objetos a distancia sin necesidad de contacto | es posible identificar unívocamente al elemento portador de la etiqueta, incluso estando completamente encapsulado en hormigón | etiquetas personalizadas para proyectos de construcción |

2.2 LEAN construction

Lean Construction o Construcción sin pérdidas es una filosofía de trabajo dirigida a la gestión de proyectos constructivos, tiene como principal objetivo la mejora continuada, minimizando las pérdidas y maximizando el valor del producto final. Esta filosofía tuvo sus inicios en el mundo automovilístico, cuando la empresa Toyota analizó el método utilizado por Henry Ford e incorporó una serie de simples innovaciones que tenían el objetivo de reducir los costes y aumentar el valor del producto [11].

EL concepto Lean se puede definir a partir de los siguientes principios, que son en los cuales se sustenta, en la Figura 2, podemos observar de manera conceptual como estos principios están conectados en un ciclo que no tiene fin:

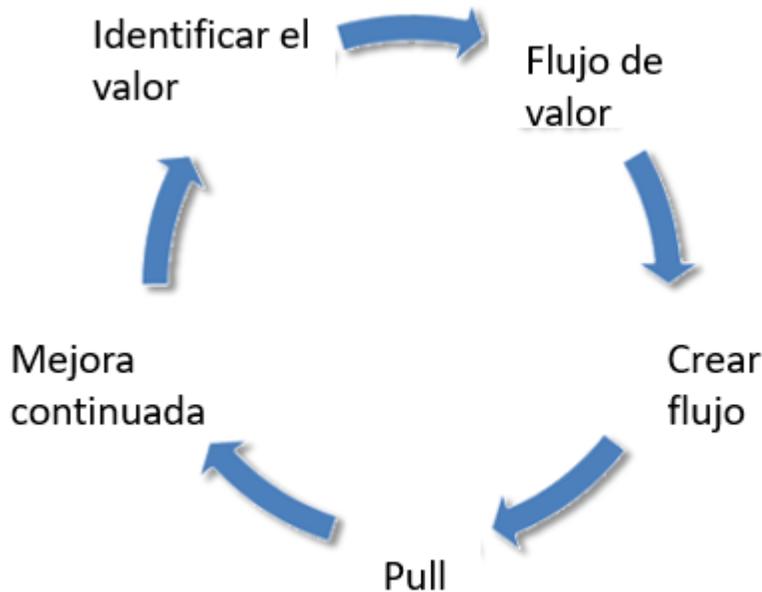


Figura 1 Los 5 principios Lean. Fuente: elaboración propia

- **Valor: Crear Valor.**
Consiste en conocer cuáles son las necesidades que el cliente espera cumplir y cuanto está dispuesto a pagar por ello, lo primordial es conocer que es lo que el cliente quiere obtener.
- **Flujo de valor: Identificar los factores**

Tras conocer lo que demanda el cliente, el siguiente paso es identificar las actividades necesarias para lograr conseguir el producto final. Una vez definidas las actividades, se deben estudiar y suprimir aquellas que no aportan valor.

- **Flujo: Crear un flujo continuo de trabajo.**
Una vez eliminadas las actividades que no crean valor, hay que lograr que las transiciones entre las actividades que, si lo hacen, sean lo más eficientes posible.

- **Pull: Producir en función de la demanda del cliente.**
Para evitar la sobreproducción, hay que basar la producción en función de la demanda real del cliente y adaptar la realización de las actividades a la petición de los clientes.

- **Mejora continuada: Intentar lograr la perfección.**
Hay que aplicar los anteriores principios de manera continuada para intentar suprimir todos los desperdicios que se encuentran en el proceso.

2.2.1. Identificación de pérdidas

Lean busca poder analizar y mejorar los procesos de producción en base a sus principios de mejora continuada, En este sentido, la identificación de pérdidas o actividades que no agregan valor es clave para este proceso. Para poder identificar las actividades que no agregan valor, la filosofía Lean divide las pérdidas o “mudas”, palabra que significa desperdicio en japonés, en ocho categorías distintas, tal y como muestra la figura 2:



Figura 2 Identificación de pérdidas Lean. Fuente:[12]

Tras clasificar las actividades que generan desperdicios y costes a la creación del producto final, Lean Construction propone una serie de acciones para la eliminación de las pérdidas identificadas. Estas acciones se basan en la colaboración de todos los agentes en la fase de diseño, una mejor planificación del espacio disponible y las labores a realizar por cada equipo de trabajo, la formación de los trabajadores o lograr una buena comunicación entre los diferentes agentes involucrados en un proceso productivo.

2.2.2. Diferencias entre el proceso de construcción tradicional y el LC

La principal diferencia entre la construcción tradicional y el LC, radica en que el pensamiento tradicional se centra en la realización de las actividades sin tener en cuenta el flujo y conjunto de procesos involucrados para realizarla y poder generar más valor. LC sí que tiene en cuenta las fases intermedias antes de la transformación, utilizando el modelo TFV, Transformación Flujo Valor [11].

Así el modelo de producción tradicional utiliza un modelo de conversión de procesos, donde la productividad se representa a través de la sucesión de los procesos necesarios hasta convertirse en el producto final, como muestra conceptualmente la Figura 3.

Por otra parte, el modelo de producción LC, se basa en representar la productividad utilizando el flujo de procesos, donde se identifican y evalúan las actividades intermedias que suceden entre los procesos para descubrir e intentar minimizar las actividades que no generan valor en proceso, como muestra la Figura 4.



Figura 3 Proceso tradicional de construcción. Fuente: elaboración propia



Figura 4 Proceso Lean de construcción. Fuente: elaboración propia

2.3 BIM [Building Information Modeling]

Las siglas BIM provienen del acrónimo inglés *Building Information Modeling*. Es una metodología de trabajo multidisciplinario basado en modelos interoperables que mejora la comunicación y el flujo de la información durante todo el ciclo de vida de un proyecto, como muestra la Figura 5. Busca conectar personas y procesos a través de modelos digitales para obtener una fluidez en la transferencia información y comunicación.

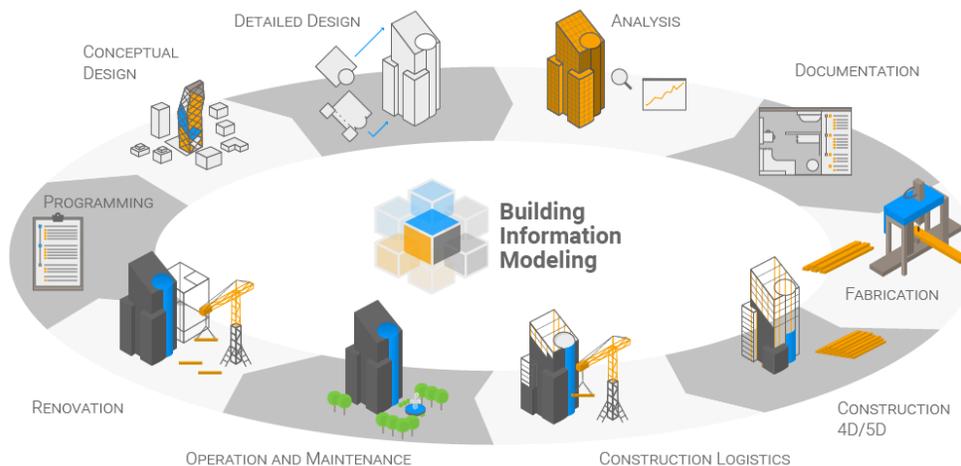


Figura 5 Ciclo de vida de u producto en la metodología BIM

También se puede definir como un proceso de generación y gestión de datos que utiliza como base un software dinámico de modelaje 3D.[13] El objetivo de esta metodología es buscar el replazo de herramientas tradicionales para el desarrollo de un proyecto en cada una de sus fases.[14] El BIM pasa de un trabajo que se sustenta en la base grafica en dibujos y documentos en 2D a un sistema tridimensional donde se suma la definición y aplicación de relaciones entre los elementos del modelo y la posible incorporación de información a tiempo real.[15]

El BIM puede ilustrar el ciclo completo de vida de un proyecto, desde la fase de planificación, pasando por su proceso constructivo, hasta el mantenimiento o demolición, así como la gestión y redistribución de los residuos generados durante el proceso.[14]

La Figura 6 muestra cómo evoluciona el conocimiento de información que se tiene del proyecto a lo largo de su ciclo de vida, en el podemos observar cómo existe una pérdida de información en los modelos basados en el uso de documentos aislados y como el modelo BIM almacena y conserva la información durante todo el proceso.[16]

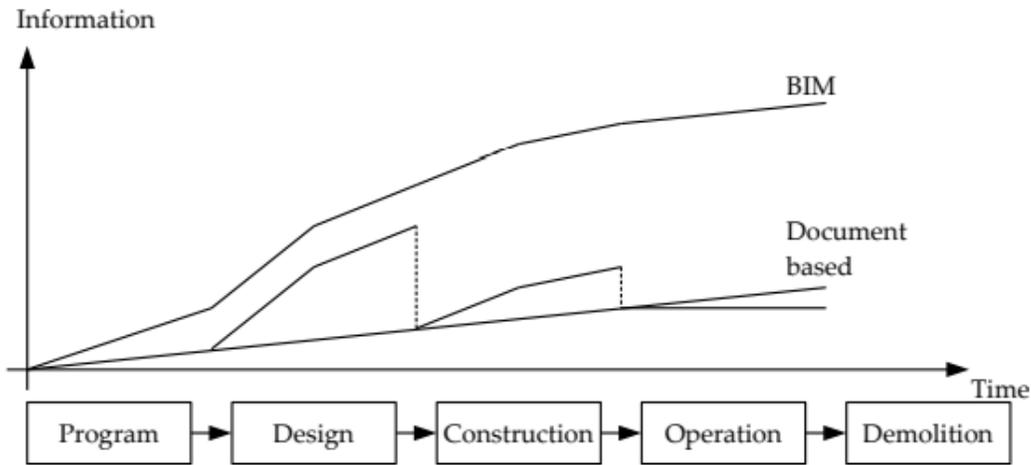


Figura 6 Gráfico comparativo de como avanza la información disponible a lo largo de un proyecto entre la metodología BIM y la basada en el uso de documentos aislados. Fuente: [16]

2.3.1. Características

La metodología BIM presenta características particulares que lo diferencian de otras metodologías y sistemas. La principal es el uso de la información, el cual se da de forma coordinada, coherente, computable y continua; empleando una o más bases de datos compatibles que contengan toda la información en lo referente al edificio que se pretende diseñar, construir o crear [17]. Es a partir de esta que se despliegan las características más notables de la metodología, como se observa en la Figura 7.

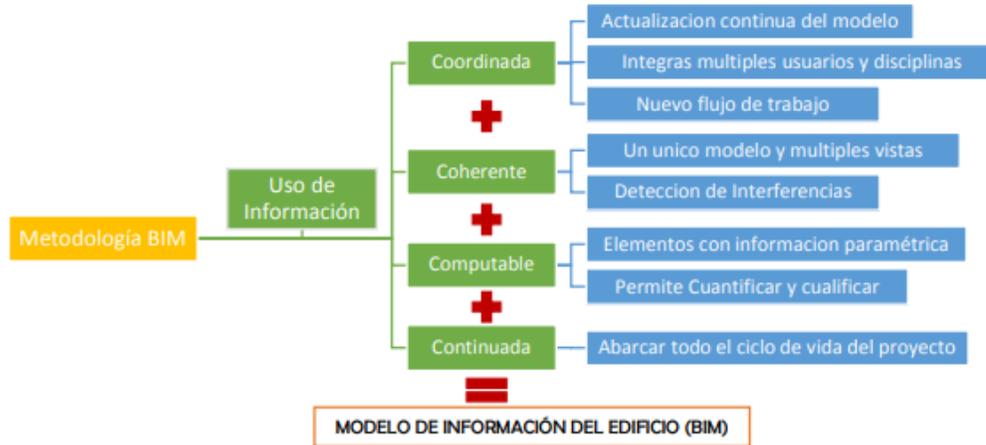


Figura 7 Características del uso de la información en la metodología BIM. Fuente: [17]

La información y su correcto uso es clave en BIM. A continuación, se detalla cómo debe ser y como se debe trabajar con la información en los entornos BIM:

Información Coordinada

Es esencial que la información que se disponga sea tratada de manera coordinada entre los múltiples usuarios que desarrollan un proyecto. Esta característica es la que define la metodología BIM como un sistema multidisciplinar y multiusuario, donde los profesionales pueden trabajar simultáneamente con información disponible y actualizada al instante para todos. BIM mejora la gestión de la información compartida, reduciendo el tiempo y coste en resolución de problemas [17].

Información Coherente

Los objetos que aparecen en el modelo no son simples representaciones 3D, son entidades definidas que se mostrarán a través de diferentes vistas especializadas. Las aplicaciones BIM plantean relacionar automáticamente diferentes modelos para hallar la información concentrada y fácilmente accesible [17]. La creación del modelo digital nos permite identificar los posibles errores de diseño y la vida útil y desempeño del proyecto [13]. Al integrar los sistemas de todas las disciplinas que intervienen, se pueden detectar solapamientos de instalaciones u otras incoherencias que puedan existir, para resolverlas durante la fase de planificación y no durante el proceso constructivo [14].

Información Computable

El cuantificar eficazmente los parámetros no formales de un edificio es la característica más atractiva del BIM. Gracias a la contención de información computable de los elementos; material, espesor, costo, etc. Es posible obtener diferentes cualidades computables que permite realizar un análisis y una valoración más profunda y con mucha más información que utilizando herramientas tradicionales [17].

Información Continuada

Como se ha mencionado anteriormente, el BIM permite estudiar la evolución de un proyecto durante todo su ciclo de vida. Los usuarios pueden obtener información del modelo para planificar el futuro mantenimiento por qué lugar deben pasar las instalaciones [13].

2.4 BIM en el lugar de construcción

2.4.1 Introducción

BIM es una metodología ampliamente utilizada en la fase de diseño de proyectos, algunos propietarios de proyectos lo demandan incluso como requisito para la adquisición de estos, sin embargo, aún está por explotar el gran potencial que puede ofrecer durante la fase de construcción, más concretamente como herramienta a utilizar en el lugar de ejecución de las obras [18].

El uso que se da a la tecnología BIM durante la fase de producción suele estar reservado a labores de oficina, en algunas áreas como la visualización el cálculo, la planificación o el control de costes y conflictos [19].

En la obra el uso del BIM es mucho más minoritario y sigue predominando la obtención y transmisión de información a través de planos en 2D y dibujos en papel, sin embargo existen estudios realizados sobre cómo puede afectar el hecho de poder disponer de BIM en el lugar donde se realizan las labores, dando como resultado un aumento de la productividad de los trabajadores debido a que disponen de la información que necesitan durante todo el proceso constructivo y pueden visualizar de manera más clara y concisa el resultado final de la construcción a través de un modelo en 3D[20].

Las operaciones que se desarrollan durante el proceso constructivo requieren de información actualizada, veraz, rápida y precisa. Un modelo BIM permite unir toda esta información con un modelo 3D. A partir del modelo 4D y la inclusión de más datos relevantes para la ejecución, se puede realizar la planificación de las diferentes actividades a realizar especificando sobre cómo deben ser los procesos de trabajo y las directrices a seguir por los operarios. No obstante, para que el modelo BIM pueda ser utilizado en obra es necesario que las instalaciones adicionales sean también modeladas, así como los trabajos adicionales que forman parte del proceso constructivo [20].

Existe un gran número de oportunidades posibles para la inclusión de BIM en el lugar de construcción, algunos ejemplos son la visualización, planificación o simulación del progreso, entre otros. La implementación de BIM en el sitio es un desafío que actualmente se encuentra en un proceso de avance paso a paso, principalmente porque es una metodología novedosa para los operarios y administraciones del lugar [20].

Durante los últimos años se han desarrollado diferentes métodos para que los trabajadores puedan acceder a BIM desde el lugar de construcción, estos se pueden distinguir en tres categorías: terminales o estaciones informáticas fijas en el lugar, dispositivos móviles o entornos especializados [21]. Con el uso de BIM a pie de obra, es posible encontrar y solventar los

problemas más fácil y rápidamente, aunque típicamente el uso de dibujos y planos en papel es predominante en el lugar de trabajo para obtener información, los operarios pueden obtener mayor beneficio utilizando “BIM in situ” para visualizarla información y comunicarse [22].

Si la información adicional que presenta el modelo es adecuada, este pasa de ser un simple elemento de guía a un elemento que permite mantener el rigor de los planes de obra, ya que a través de su uso se pueden observar los procesos en el tiempo y gestionar de forma más rápida y eficiente la gestión de los cambios, que pueden surgir. A lo largo de la construcción y una vez finalizada, este modelo también puede ser comparado con el modelo as built, para poder contrastar lo planificado con lo ejecutado [20].

2.4.3 Estaciones de trabajo BIM - BIMtable

Una estación BIM es una plataforma tecnológica que integra hardware, software y servicios para digitalizar el lugar de construcción y fomentar el trabajo colaborativo entre los diferentes actores que aparecen [23]. Se caracteriza por ser una herramienta con la capacidad de crear un vínculo de intercambio de información actualizada entre el lugar de construcción y la oficina [23]. Incluye:

- Estación de trabajo que proporciona conectividad en obra y un interfaz para soluciones digitales.
- Servicio en la nube que facilita la integración y la interoperabilidad entre todo tipo de dispositivos.
- Entorno colaborativo que conecta a los participantes durante el ciclo de vida de la construcción en la obra

Dentro de las estaciones BIM, encontramos la BIMtable que, a diferencia de otras, esta tiene la característica de poder ser transportada dentro del área de trabajo, ya que tiene ruedas. En la Figura 8 podemos observar su aspecto y sus diferentes modos de uso:



Figura 8 Modos de uso de la estación BIMtable. Fuente:[23]

Especificaciones técnicas:

BIMtable al tratarse de una computadora con unas características de hardware adaptadas para su uso en obra, tiene unas especificaciones técnicas que resulta interesante conocer a la hora de estudiar su cabida y despliegue dentro de la obra, las Tablas 2,3,4 y 5 describen características técnicas principales de la herramienta que hacen referencia a los aspectos generales, especificaciones detalladas, Tecnología y software y consumo respectivamente.

Tabla 2 Aspectos generales

| | | |
|---|--|--|
| Mesa digital portátil diseñada para entornos severos y cambiantes. | Conectividad cableada e inalámbrica. | Dimensiones: 70 x 1100 x 95 cm |
| Sistema portátil compacto, resistente, plegable, con protección contra polvo y agua. | Sistema de alimentación ininterrumpida [SAI] frente a caídas de tensión. | Peso: 95kg |
| Sistema informático robusto de altas prestaciones gráficas y de cálculo con Android y Windows 10. | Pantalla de gran formato 43" multitáctil. | Modos: Mesa colaborativa, estación de trabajo y presentación. |
| Procesador Intel® Core™ i7-8700, 32 GB RAM, tarjeta gráfica NVIDIA® GeForce® GTX 1070. | Software: Windows 10, Tekla BIMsight, etc... - Dispositivos: Ratón, teclado, scanner.v | Personalización y ampliaciones: Dimensiones, materiales, color, potencia procesador, pantalla, software y dispositivos. |

Tabla 3 Especificaciones detalladas

| MODOS | DIMENSIONES | MOBILIDAD |
|---|--|---|
| Modo mesa colaborativa [y baúl para transporte]: Pantalla abatida, en posición cerrada. Permite interacción con la pantalla táctil. | 110 x 70 x 95 cm en modo baúl y mesa colaborativa. | Sistema de ruedas integradas que facilita su movimiento en obra. |
| Modo mesa de edición: Pantalla abierta a 90º para el uso de la pantalla como monitor de ordenador | 110 x 70 x 165 cm en modo mesa edición y presentación. | Anclajes y uñas para traslado mediante grúas y fijación al terreno. |
| Modo mesa de presentación: Pantalla abierta a 90º para uso del equipo en modo conferencia. | 95Kg de peso para modelo reforzado | Sistema cerrado que mantiene la BIMTABLE protegida contra polvo y agua. |

Tabla 4 Tecnología

| | | |
|---|---|---|
| <p>Pantalla</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pantalla LCD FullHD de 43 pulgadas[diagonal] - Resolución máxima 1920x1080 píxeles - Multitáctil con 10 puntos simultáneos de contacto - Quad Core ARM Cortex A17@1.8GHz And Mali T764 - 2 GB DDR RAM y 16 GB flash ROM | <p>Computadora</p> <ul style="list-style-type: none"> - XPS Desktop 8930 - Procesador: Intel Core i7-8700[12MB de caché, hasta 4,6 GHz] - Memoria: 32GB DDR4 RAM @2666 MHz - Almacenamiento: Unidad de estado sólido M.2 PCIe de 256GB + disco duro 2TB a 7200 rpm - Tarjeta gráfica: Nvidia GeForce GTX 1070 con 8 GB de memoria gráfica GDDR5, HDMI 2.0 y 3 DisplayPort 1.3 - Conectividad: 7 puertos USB 3.1, 1 puerto USB 3.1 Type-C, 2 puertos USB 2.0, HDMI, DisplayPort, puerto de audio[canal 5.1 de 3 conectores], lector de tarjetas SD-SDHC-SDXC - Puerto ethernet integrado: 1 Gigabit - Teclado + ratón | <p>Conectividad</p> <ul style="list-style-type: none"> - Conectividad wifi: para dar cobertura a otros dispositivos móviles, a través de un router inalámbrico tipo Asus 4G LTE Dual-Band 2,4 GHz y 5 GHz con velocidad de hasta 300 Mbps/4333 Mbps respectivamente |
|---|---|---|

Tabla 5 Software y consumo

| Software | Consumo y condiciones ambientales | Dispositivos |
|--|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> - Sistema operativo Windows 10[64bits] - Naviswork Freedom - Autodesk Trueview - Adobe Reader 9 | <ul style="list-style-type: none"> - Alimentación 100 a 240V, 50 and 60 Hz - Consumo de 125W - Rango de temperaturas y humedad de 0°C a 40°C , 10% a 80% | <ul style="list-style-type: none"> - Escáner Compacto Brother DS-620 USB - Cámara 360º de supervisión: tipo Samsung Gear 360º |
| Software compatible | Sistema de backup | Otros accesorios |
| <ul style="list-style-type: none"> - AutoCAD - Revit - Naviswork Manage - MS Project | <ul style="list-style-type: none"> - Potencia de salida de 700W / 1.4 KVA - Potencia nominal de salida de 230 V - Regulación Automática de voltaje[AVR] - Alarma audible y LED de estado - Conexión USB | <ul style="list-style-type: none"> - Impresora 3D para objetos - Escáner 3d para fachadas y detalles en modelos as-built - Dron para obras lineales - Alimentación autónoma mediante paneles solares |

Características de BIMtable:

BIMtable presenta una serie de características, que permiten la incorporación de BIM en el lugar de construcción, con el objetivo de dar facilidades tanto a la dirección de obra como a los operarios que se encargan de realizar la función de mano de obra. A continuación, se destacan cada uno de estos aspectos relevantes:

- **Visualización de la forma.** Una estación BIM contiene un programa BIM con un modelo 3D para la visualización del producto final. Hace que el modelo 3D sea accesible para que los trabajadores de la obra visualicen el diseño del edificio.
- **Visualización del estado del proceso.** Para ver claramente el estado del proceso, la estación BIM puede utilizarse para visualizar el progreso en comparación con el progreso previsto. Por ejemplo, la visualización de un plan de tres semanas.
- **Generación automática de listas.** Los trabajadores pueden introducir una sala en el BIM y obtener automáticamente una lista de los materiales necesarios para esta sala. Esta lista se puede utilizar para entregar este material directamente en la sala.
- **Acceso en línea a los documentos.** Un objeto en el modelo 3D puede funcionar como un hipervínculo a bases de datos. Al hacer clic en el objeto, aparecerá una lista con enlaces para elegir. Allí se puede obtener información sobre planos de planta, detalles, formulario de la sala, hojas de seguridad y otros documentos útiles. Otra alternativa es una página web como fondo de la estación BIM.
- **Fácil mantenimiento y actualización de la información.** El modelo 3D se actualiza automáticamente en la estación BIM. Se actualizará siempre que sea necesario a través de Dropbox o de un script directamente vinculado al servicio de alojamiento web.
- **Fácil actualización de dibujos y documentos.** Cuando se añadan dibujos técnicos actualizados junto con otros documentos al servicio de alojamiento web, estarán disponibles para su descarga directamente desde la estación BIM.
- **Comunicación bidireccional.** La estación BIM puede actuar como lugar de encuentro para los trabajadores de una o más disciplinas, donde todos pueden ver el modelo 3D y discutir juntos como grupo. Comunicaciones online/electrónicas. A través de la estación BIM se puede enviar a los usuarios información sobre la base de la producción, información sobre los envíos, el tiempo, la seguridad u otros mensajes de la dirección.
- **Información a la dirección.** Se pueden enviar correos electrónicos directamente desde la estación BIM a la dirección. Pueden ser informes, comentarios sobre el modelo 3D u otros mensajes.
- **Formación “in situ” de los operarios.** Los operarios pueden recibir formación sobre diferentes ámbitos relacionados con el proceso constructivo o sobre aspectos como la seguridad y salud a través de la estación BIM.
- **Hub de servicios y dispositivos.** Además de ser un catalizador de la información, las estaciones BIM tienen la capacidad de poder conectar distintos dispositivos digitales; como drones, sensores o herramientas de medición digital.

2.4.2 Interacción BIM-LEAN

A través de la implementación de las estaciones BIM a pie de obra, teniendo en cuenta sus características y las ventajas que puede aportar durante el desarrollo del proyecto, se puede trasladar al lugar de construcción diferentes principios propios de la filosofía LEAN CONSTRUCTION. El siguiente listado creado a partir de [22], muestra algunos ejemplos de la interacción entre LC y las estaciones BIM:

- Las estaciones BIM permiten a los trabajadores observar la obra a través de una realidad virtual con el uso de BIM.
- Los trabajadores pueden visualizar los cambios más rápidamente ya que las estaciones permiten el acceso a los planos y el modelo 3D actualizados.
- Los trabajadores, desde el lugar de construcción, pueden comprender mejor como va a ser el producto final gracias al uso del modelo BIM y aclarar situaciones en las que la información que proporcionan los planos en 2D no es suficiente.
- El hecho de disponer de una estación BIM en línea, reduce los tiempos de espera y mejora el flujo, también agiliza el proceso de la obtención de planos y ayuda a reducir el consumo de papel.
- Estandariza la forma de obtener información, los trabajadores pueden recuperar dibujos y especificaciones a partir del modelo BIM.
- El poder visualizar el proceso en línea de manera actualizada y servir como catalizador de información permite coordinar el trabajo de los operarios y de los agentes externos
- Es posible ahorrar tiempo y el coste asociado a este al generarse automáticamente listas de materiales necesarios a partir de un modelo BIM, esto conduce a un aumento de productividad.
- Al utilizar BIM, aumenta la información disponible para tomar decisiones, y al poder trabajar con la estación de manera colaborativa, todos pueden aportar su punto de vista y aportar más información para tomar la decisión
- Las estaciones BIM permiten la comunicación instantánea entre los operarios a pie de obra y la dirección y aportar información visual y/o digital, hecho que permite resolver situaciones de conflicto de manera más rápida.

Podemos considerar las estaciones BIM y LEAN CONSTRUCTION como elementos aislados que ayudan a tener un mejor control de la obra, sin embargo, si queremos obtener un máximo beneficio a través de su implementación debemos considerarlas unidas, debido al efecto sinérgico que presentan. Se podría resumir con que el uso de las estaciones BIM contribuyen a un mejor flujo de trabajo ya que reducen la variabilidad mientras estandariza el proceso. [22]

CAPITULO 3: PROPUESTA DE IMPLEMENTACION DE LA DIGITALIZACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN DE ENCOFRADOS VERTICALES

Una vez realizada la revisión de la literatura acerca de las características y deficiencias del sector de la construcción

3.1 Análisis de la realización de los encofrados

3.1.1 características generales

Un encofrado consiste en un sistema de moldes que se utiliza para dar forma al hormigón durante el proceso de fraguado. Los encofrados pueden ser temporales o formar parte integral de la construcción. El presente trabajo se enfoca en los encofrados modulares, que constituyen una tipología de encofrado dentro de los encofrados temporales.

Los encofrados modulares se caracterizan por el uso de elementos normalizados y prefabricados, que permiten su reutilización y la reducción de costes debido a la versatilidad que presentan a la hora de adoptar diferentes formas y de su alta resistencia y durabilidad. En la siguiente figura podemos observar el resultado de la construcción de un encofrado [24]:



Figura 9 Ejemplo construcción encofrado vertical. Fuente:

Los principales elementos de un encofrado modular son las formaletas o paneles, y los fillers. Una formaleta es una pieza rectangular que se une con otras para formar los moldes, y un filler de ajuste es similar a una formaleta, pero estos presentan una anchura mucho menor y su función es la de completar la estructura en caso de que utilizando únicamente formaletas no se pueda llegar a cubrir toda la superficie necesaria por pocos centímetros.

A parte de los nombrados anteriormente, los encofrados también son formados por otros elementos, la Tabla 6 resume las funciones de los principales elementos necesarios, y a través de la figura 10 se puede ver su uso en diferentes etapas de la construcción.

Tabla 6 Elementos de los encofrados verticales

| ELEMENTO | FUNCIÓN |
|---|--|
| Formaleta | Elemento principal de los encofrados, que mediante su unión conforman el molde donde se abocará el hormigón |
| Fillers | Completar la estructura en caso de que con el uso de formaletas no sea posible cubrir toda la superficie |
| Armadura | Dar rigidez al hormigón y propiciarle resistencia a la tracción |
| Elementos de unión (cuña o gato) | Unir las formaletas y fillers entre sí para crear una superficie mayor |
| Puntales | Asegurar la estructura y conseguir su planeidad |
| Espadines Placas y Mariposas o tuercas | Unir ambas caras de encofrado |
| Tubos de PVC | Poder recuperar los espadines al ser atravesados por estos, entre las dos caras de encofrado |
| Conos y tapones de PVC | Evitar que salga el hormigón del molde mientras no está fraguado y evitar que entre humedad al interior de la estructura |
| Plataforma de trabajo para trabajar el hormigón | Poder trabajar el hormigón y mantener seguros a los operarios que van a realizar esta función |

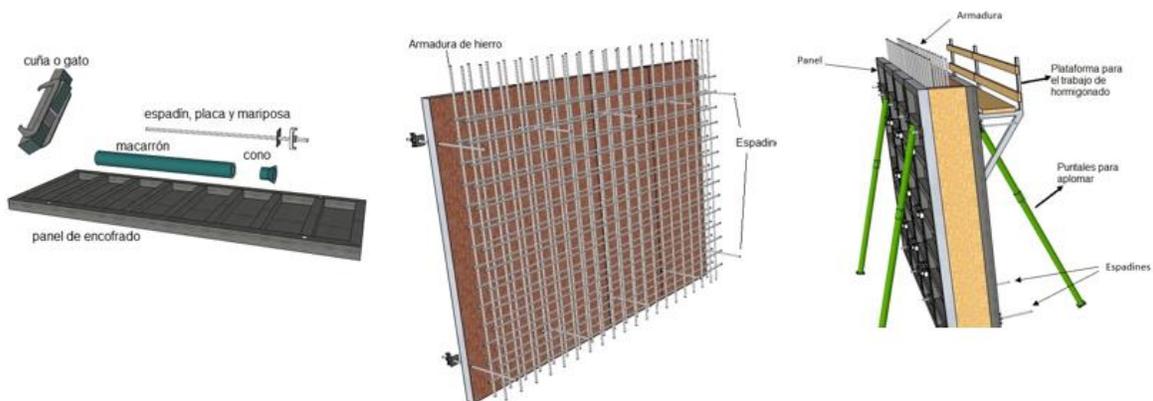


Figura 10 Elementos necesarios para la construcción de encofrados verticales en sus diferentes etapas. Fuente:

A parte de los elementos mencionados anteriormente, que son los esenciales para la construcción del encofrado, también podemos encontrar:

- Varillas, que serán clavadas en el suelo para evitar que se desplacen los paneles
- Cuñas de madera, que tienen la función de ajustar los paneles a las varillas ancladas al suelo

Finalmente, para poder transportar y depositar las formaletas en la ubicación donde cumplirán con su función también es necesario disponer de un elemento elevador como un camión pluma.

3.1.2 Productividad en los encofrados

La productividad se puede definir como la combinación de efectividad y eficiencia. La efectividad se define como la capacidad de lograr un efecto deseado, mientras que la eficiencia es la capacidad de lograrlo utilizando el mínimo número de recursos posibles. El objetivo a buscar en cualquier proyecto constructivo es el de obtener una alta efectividad y alta eficiencia, para así poder obtener una alta productividad. [25] La Tabla 6 se pueden observar ejemplos de factores que afectan negativa o positivamente a la productividad:

Tabla 7 Factores que afectan a la productividad

| Factores que afectan positivamente | Factores que afectan negativamente |
|---|---|
| Formación de los trabajadores | Errores y omisiones en planos |
| Uso de elementos pré-fabricados em obra | Modificaciones durante la ejecución del proyecto |
| Programas de motivación del personal | Diseños incompletos |
| Optimización del sistema productivo | Falta de supervisión del trabajo |
| Buena supervisión de trabajo | Clima adverso |
| Uso de modelos 3D | Falta de materiales, equipos o herramientas |
| Estandarización de los procesos constructivos | Composición y tamaño inadecuado de las cuadrillas |

En la construcción de encofrados podemos diferenciar tres tipos de productividad, y al control de estas tres se le puede definir como productividad de la gestión. Estas corresponden a la productividad de materiales, de equipos y herramientas, y de la mano de obra:

- **Productividad de Materiales:** Se puede definir como la relación entre el material utilizado y las unidades producidas por este, un ejemplo dentro de la construcción de los encofrados sería cuantas veces podemos utilizar una formaleta hasta que esta no de un resultado optimo por rotura o deformación.
- **Productividad de Equipo y herramientas:** Es el rendimiento que obtenemos al utilizar las herramientas y los equipos con los que construiremos los muros, un ejemplo sería el funcionamiento del vibrador para retirar el aire del hormigón durante su vertido.
- **Productividad de mano de obra:**

Es el elemento más importante en la realización ya que los trabajadores mediante sus habilidades son los encargados de transformar los recursos que disponen en el producto final.

No obstante, también es el elemento que presenta más variabilidad, es decir, es el elemento menos predecible dentro del sistema de producción y además es el encargado de marcar el ritmo de la construcción.

Para reducir el nivel de variabilidad de un equipo de trabajo es necesario tener un buen control y previsión de la construcción y establecer buffers (espacios de tiempo adicionales utilizados como margen) acordes al rendimiento de la cuadrilla.

Para medir la productividad de la mano de obra, se analiza la ocupación del tiempo de los trabajadores en la construcción, donde se considera que los trabajadores pueden realizar tres tipos de actividades según el valor que aportan al desempeño de la actividad: Trabajo Productivo (TP), que corresponde a las actividades que son necesarias realizar para realizar alguna transformación dentro del proceso constructivo; Trabajo Contributorio (TC), que corresponde con el trabajo de apoyo para realizar dicha transformación en el proceso; y Trabajo No Contributorio (TNC), que corresponde cualquier otra actividad realizada por los trabajadores y que no aporta valor al proceso constructivo. La Tabla 7 muestra la clasificación de diferentes actividades dentro de la construcción de encofrados pertenecientes a cada uno de los tipos de actividad. [25]

Tabla 8 Tipos de trabajo presentes en la realización de encofrados

| TRABAJO PRODUCTIVO | TRABAJO CONTRIBUTORIO | TRABAJO NO CONTRIBUTORIO |
|---|---|---------------------------------------|
| Replanteo de la situación del muro y los paneles de encofrado | Traslado de material | Esperas causadas por cualquier motivo |
| Colocación de los paneles de encofrar | Corte de varillas | Viajes dentro y fuera de la obra |
| Instalación de las capas de armadura | Instrucciones de los operarios más calificados a los peones | Tiempo de ocio |
| Vertido y vibrado del hormigón | Limpieza y mantenimiento del área | Trabajo rehecho |
| Retirada de las formaletas de encofrar | Comprobación de la verticalidad del encofrado | Descansos y necesidades fisiológicas |

3.1.2 Diseño de encofrados

La eficiencia obtenida en el proceso constructivo de los encofrados dentro de una obra es uno de los factores que determinan el éxito del proyecto constructivo en términos de calidad, coste y velocidad de ejecución. Los costes del encofrado se estiman entre un 40 y un 60% de los costes totales relacionados con el uso de hormigón y representan cerca del 10% del total de los costes de construcción. Un buen diseño en la disposición de los encofrados, por tanto, puede suponer una gran reducción de costes, es por esto que debe estar bien planeado antes de empezar con la construcción. En la industria de la construcción los principales criterios para la selección de un

determinado sistema de encofrado son, la eficiencia para la construcción, el coste de los componentes y la repetitividad del trabajo. [26]

En el caso de los encofrados modulares, la reducción de costes planteada por las empresas se basa en disminuir el precio de alquiler de los componentes del encofrado y en la reducción de la mano de obra, olvidando en muchos casos el hecho de proporcionar a los operarios un diseño de la disposición de los componentes disponibles para que no tengan que perder tiempo en “improvisar” un diseño en el momento de realizar la construcción.

Aun observando el peso económico que supone la gestión de los encofrados y el material necesario dentro de la construcción utilizando hormigón y dentro del propio sector, los estudios afirman que no existe un enfoque sistemático para seleccionar sistemas de encofrado, sino que este y la cantidad necesaria suelen elegirse de manera intuitiva, sin tener en cuenta las interrelaciones de los procesos; muchas veces por desconocimiento de la propia estructura del proceso constructivo. También para el cálculo de incertezas dentro del proceso, se utilizan pocos datos cuantificables y se utiliza la experiencia en proyectos pasados para estimar la duración y los costes de la construcción, lo que se suele traducir en un aumento de los costes o en la posibilidad de no obtener la adjudicación del proyecto al estimar altos tiempos de realización de los procesos. [27]

3.1.3 Metodología de trabajo

Una vez da inicio la construcción y se realizan las acciones necesarias como la limpieza de la zona y la construcción de la zapata, se sigue el proceso mostrado en la Figura 11 para la construcción de los muros:

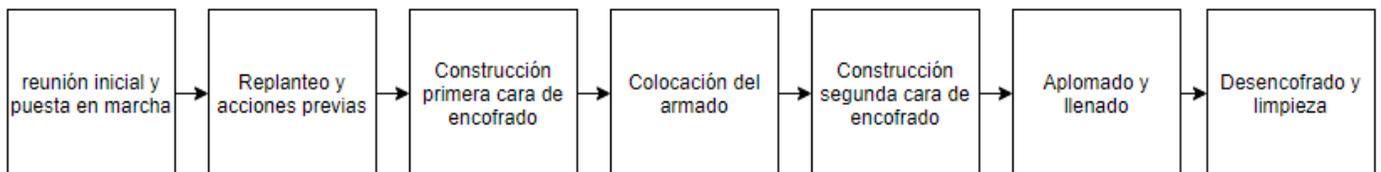


Figura 11 Etapas de la construcción de muros, según el modelo tradicional de producción. Fuente: elaboración propia

- **Reunión inicial y puesta en marcha de la actividad:**
Para dar inicio a la jornada laboral, los operarios se reúnen en el lugar de explotación de la construcción. Los oficiales de 1º transmiten al resto del equipo la actividad a realizar durante la jornada y se empieza el trabajo. Al tratarse de una tarea muy repetitiva que se iba reproduciendo a lo largo de las jornadas, la mayoría de los días, no se realizaba esta fase y se inicia el trabajo directamente donde se concluyó la jornada anterior.
- **Fase de replanteo y acciones previas:**
En esta primera fase, se llevaba a cabo el replanteo del muro sobre la losa, donde estaban las barras de anclaje, que son varillas de hierro para unir ambas estructuras. Para realizar esta

acción es necesaria la participación del topógrafo que mediante el uso de una estación total indica a los operarios, la situación exacta del muro, mientras tanto, un operario sujeta la mira para guiar al topógrafo mientras otro marca los vértices de muro mediante el uso de un azulete.

También en esta fase, se realiza la labor de despejar el área de construcción, acercar el material a la zona de trabajo; revisando su estado e iniciando algunos preparativos previos a iniciar la construcción de la primera cara de encofrado.

Para finalizar con esta fase, los encargados diseñan “in situ”, en función de las formaleas disponibles, como se van a utilizar estas para construir el encofrado del tramo del muro a construir.

- **Construcción de la primera cara de encofrado:**

Una vez diseñada la disposición de los paneles, a estos se les aplica líquido desencofrante para no deteriorar el muro a la hora de su retirada y se unen mediante los elementos de anclaje. Los paneles se unen unos a otros en el suelo, apoyados sobre unos tablones para no deteriorarlos ni ensuciarlos. Los “cangrejos” de sujeción se aprietan golpeando la cuña metálica.

Tras la unión de los paneles, se procede a colocarlos en el lugar previamente replanteado, con la ayuda de un elemento mecánico de elevación, los paneles quedan fijados en la parte inferior por las varillas clavadas en la fase anterior y con el uso de puntales se acaban de sujetar para evitar el riesgo de caída.

- **Disposición de la armadura:**

Ahora que está situada una cara de la estructura, se coloca la armadura de hierro especificada en el proyecto, la armadura se sujeta y se ata mediante alambre a las barras de anclaje que están fijadas en la cimentación. Entre la armadura y los paneles debemos situar separadores para asegurar que el hormigón ocupe todo el volumen durante su llenado. También hay que procurar que la armadura no se interponga en los orificios de los paneles por donde pasarán los espadines.

Antes de colocar la segunda cara de encofrado, hay que cortar tubo de PVC a longitud 2 cm menor al ancho del muro y pasar los espadines a través de los orificios de los paneles y del tubo de PVC con los dos “chupetes”, uno a cada lado de este. La función del uso del tubo y de los conos de PVC es la de poder recuperar los espadines de acero una vez retirados los paneles de encofrado.

- **Construcción de la segunda cara de encofrado:**

Después de instalar la armadura y los elementos que servirán para unir ambas caras, se sigue el mismo procedimiento constructivo que para la construcción de la primera cara del encofrado y se colocan los paneles unidos en su lugar. Una vez colocadas las dos caras bien

alineadas, se acaban de introducir los espadines en la segunda cara y en estos, se colocan una placa y una tuerca, finalmente se aprietan las tuercas para unir ambas caras del encofrado.

- **Aplomado y llenado del muro:**

Con una plomada se comprueba la verticalidad del muro, para conseguir que este quede totalmente a plomo, se utilizan los puntales situados a ambas caras, apretándolos o aflojando según se requiera.

Por último, se dispone al llenado del encofrado con hormigón, no sin antes construir la plataforma de trabajo donde se situarán los operarios para realizar las labores de vibración y acabado de la parte superior del muro.

- **Desencofrado y acabado:**

En esta última fase en la construcción del muro, se retiran los paneles de encofrado y el resto de elementos que han servido para la construcción del encofrado del muro.

Se retiran los conos de plástico situados en los extremos de las cañas de PVC que servían para que los espadines atravesasen y uniesen las dos caras del encofrado, y se sustituyen por tapones estancos tras haber llenado los huecos con espuma expansiva. Con el objetivo de que no entre humedad.

Finalmente, dependiendo de las especificaciones necesarias en cada construcción, se realizan acciones específicas en cada caso, como por ejemplo cubrir las paredes exteriores con un material hidrófugo para evitar el contacto con el agua.

3.1.3 Identificación de deficiencias del proceso tradicional

Para diseñar eficientemente un encofrado, se debe dividir el área de construcción en diferentes zonas de trabajo, de igual manera en que el proceso constructivo se divide en la realización de operaciones más simples. La determinación de las zonas de trabajo y la sectorización de la estructura se debe realizar en función de los objetivos propuestos, el material disponible y las cuadrillas de trabajo que van a trabajar conjuntamente. Una vez diseñado el encofrado, también es importante poder transmitir esa información a los operarios que van a realizar la tarea de construirlo, donde puedan visualizar cómo están divididas las zonas de trabajo, el material necesario para realizar la tarea y el proceso constructivo. Los operarios también tienen que ser tomados en cuenta tienen que disponer de una herramienta para poder notificar la calidad de los encofrados y poder comparar a pie de obra como avanza la construcción respecto a lo esperado en la fase de diseño [28].

Para realizar el análisis del proceso constructivo utilizado y poder identificar las deficiencias encontradas en este, se empleará la terminología utilizada en la metodología *Lean Construction*, estudiada en el capítulo anterior. Para ello, se ha utilizado un diagrama de Ishikawa, también conocido como diagrama de cola de pez, el cual permite enlazar las relaciones de causa-efecto en

los procesos, y con ello identificar de manera mas organizada deficiencias y procesos, como se muestra en la Figura 12.

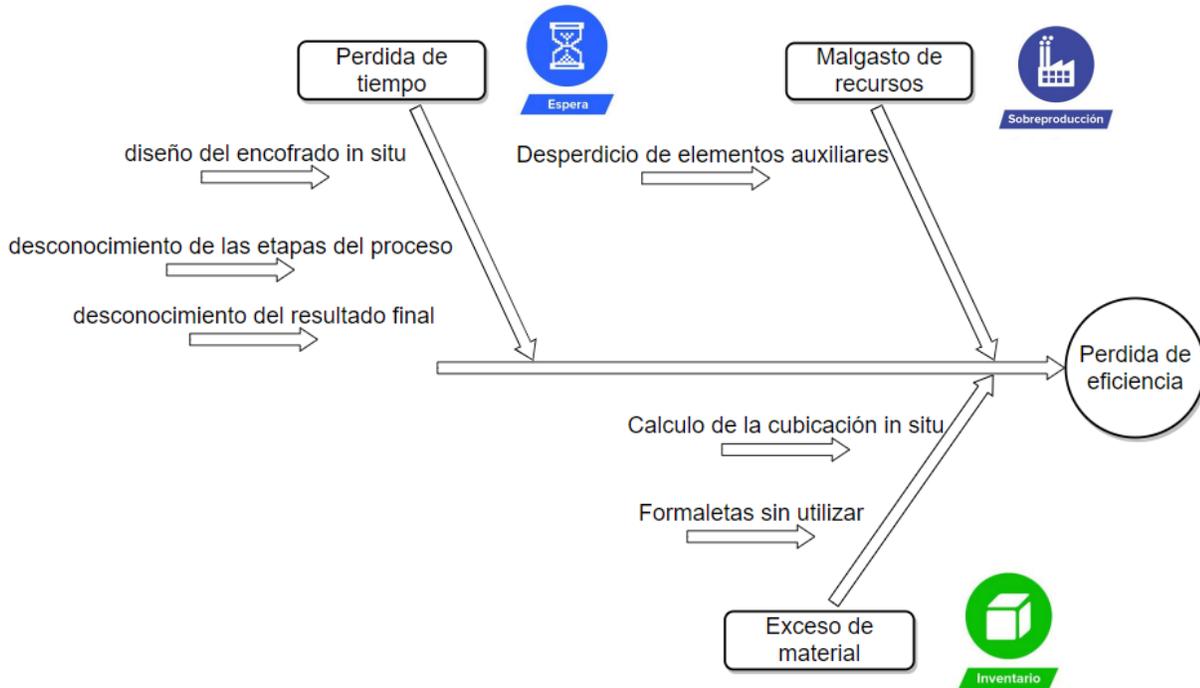


Figura 12 Esquema de las pérdidas presentes en el actual modelo de construcción. Fuente: elaboración propia

Las mudas identificadas están relacionadas con el manejo y el diseño de las formaletas de encofrar, que es una labor que no se tienen en cuenta a la hora de construir un muro y que puede suponer un aumento en la eficiencia del proceso constructivo.

Las deficiencias halladas son las siguientes:

- **Pérdida de tiempo durante la fase de ejecución en estudiar cómo realizar el encofrado en función del material disponible:** Antes de empezar con la construcción del encofrado, los operarios reciben el material propio o alquilado y en función de los paneles disponibles y de las dimensiones del muro a construir deben invertir tiempo en realizar un diseño de la disposición del material.
- **Formaletas sin ser utilizadas:** Al no existir un diseño de la estructura del encofrado, muchas veces había formaletas que sobraban a la hora de construir un tramo del futuro muro.
- **No existe un control real e informatizado acerca del material utilizado y de su estado, de cara a un futuro uso:** Los operarios también invierten tiempo en comprobar el estado y el número exacto de cada elemento antes de proceder con el trabajo, al no existir un control de

inventario. Una vez finalizada la construcción, a la hora de guardar el material, tampoco se contabiliza el número de cada elemento y el estado de este, obligando a repetir el proceso de control al inicio, en futuras construcciones.

- **Malgasto de recursos y material al deshacerse de los elementos auxiliares necesarios para la creación del encofrado:** Al no tener un control de los elementos necesarios, algunos de estos que no son esenciales para su construcción como las “varillas auxiliares” o las cuñas de madera se pierden o desechan una vez finalizado su uso y se tienen que volver a crear en próximas construcciones, provocando un malgasto de material y tiempo innecesario.
- **La cubicación del hormigón necesario se realiza in situ, produciéndose muchas veces errores en la cantidad demandada:** Por último, a la hora de solicitar el hormigón necesario para el llenado del muro, esta acción se realiza de manera aproximada desde la propia obra, ya que a los encargados de solicitarlo no se les proporciona desde la fase de diseño, provocado muchas veces un sobre coste por solicitar un exceso de material. Al no llevar un control acerca del rendimiento de las cuadrillas de trabajo y del tiempo que tardan en realizar cada etapa del proceso, es difícil estimar con precisión el momento en que la estructura estará lista para realizar el vertido del hormigón.

3.2 Propuesta de mejora

Tras analizar el procedimiento seguido actualmente en la construcción de muros de hormigón y haber identificado diferentes aspectos de mejora, la solución propuesta para mejorar la eficiencia del proceso consiste en trasladar a los operarios que se van a encargar de construir el forjado de los muros información más detallada acerca de: la geometría y materiales necesarios, las características del proceso constructivo, la división de las tareas y los objetivos temporales a lograr, con el objetivo de suprimir las actividades que no aportan valor a la construcción; además de esto, también se debe crear un flujo directo desde la obra a la dirección, para que los operarios puedan aportar información a tiempo real del avance de la construcción.

Para poder llevar a cabo esta propuesta, será necesario realizar acciones en diferentes momentos de la construcción. La figura 13 muestra el flujo de trabajo propuesto para la construcción de encofrados basados en los principios Lean, la metodología BIM y su despliegue en una estación de trabajo BIM utilizada en el lugar de construcción. Esta propuesta metodológica se divide en tres etapas: 1) Acciones a realizar antes de la construcción, 2) Acciones a realizar durante la construcción y 3) Acciones realizar tras la construcción.

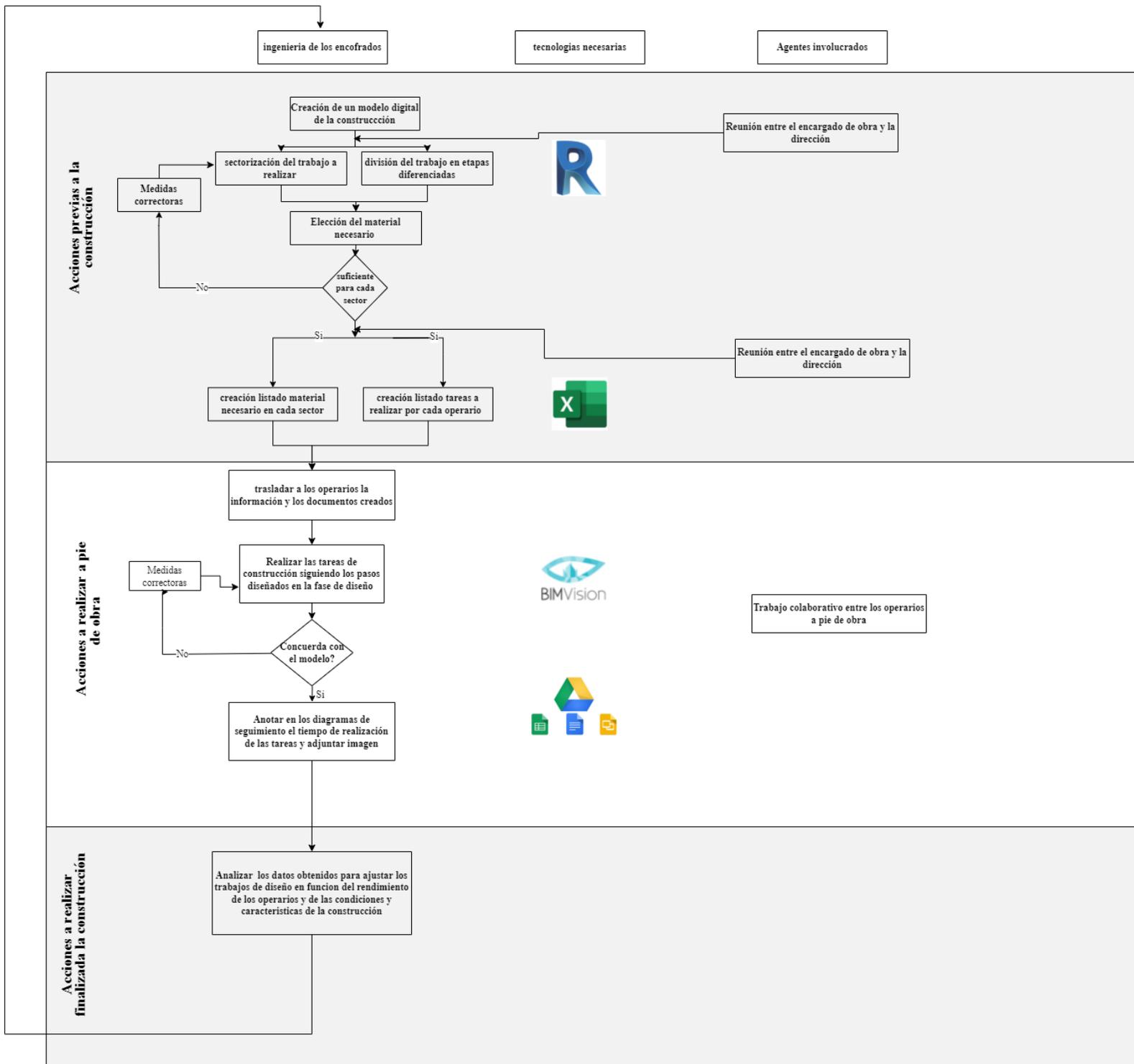


Figura 13 Esquema resumen de la propuesta de mejora. Fuente: elaboración propia

3.2.1 Etapa 1: Acciones a realizar antes de la construcción

Esta primera etapa tiene como objetivo la creación de todo el material necesario para poder simplificar la labor y el trabajo de los operarios a pie de obra, brindándoles información más detallada acerca de la construcción y también creando un canal bidireccional de información, para que la dirección pueda obtener también información a tiempo real del avance de la construcción. Esta se compone de tres pasos principales: creación del modelo 3D BIM, coordinación con el equipo de planificación y definiciones de materiales y tareas. A continuación, se detalla cada uno de los pasos:

- Creación de un modelo 3D de la construcción:

La necesidad de digitalizar la estructura y así obtener un modelo 3D nace de las deficiencias antes vistas sobre la pérdida de tiempo en crear el diseño, y el exceso de material existente en la obra, ya bien sea por solicitar un exceso de hormigón o por tener material inutilizado del cual no obtenemos ningún valor y nos supone un coste. Con la creación del modelo y aplicando una correcta sectorización de la estructura a crear, los objetivos son:

- Conocer de antemano la disposición de las formaletas y el resto de material de encofrar; con lo que suprimiría el tiempo en crear el diseño “in situ”.
- Saber cuánto material tenemos que alquilar para evitar pagar por elementos que no obtendremos rendimiento.
- Saber el volumen exacto de hormigón a solicitar al proveedor

- Reunión con los encargados de obra y el equipo de planificación y creación de la sectorización del muro y de la cantidad necesaria de material a utilizar:

Ya en la fase de diseño, deben intervenir los operarios que se encontrarán a pie de obra durante la fase de construcción, el encargado de obra es la persona que mejor conoce cómo trabajan las diferentes cuadrillas y que carga de trabajo podrán soportar a lo largo de la jornada, es por eso que él es, en mayor medida la persona encargada para realizar la sectorización del muro. Una vez sectorizada el área de trabajo, se debe seleccionar el material que será necesario para su construcción.

- Creación de diagramas con el material a utilizar por los operarios y las tareas a realizar por cada uno en cada etapa del proceso constructivo:

Por último, en esta fase, tras conocer la división de la obra y la cantidad de material necesario para poder cubrir el área de cada sector, es necesario diseñar un plan constructivo donde teniendo en cuenta los operarios que lo van a desempeñar, se asigne tareas a cada uno de ellos durante cada etapa del proceso constructivo.

Al necesitar de la creación de un modelo 3D para poder desarrollar esta propuesta de mejora, se ha optado por el uso de REVIT debido a la gran robustez que presenta debido a su extendido uso por todo el mundo y en especial debido a la posibilidad de incorporar los diferentes elementos de encofrar necesarios durante su construcción, a través de una extensión creada por la marca PERI, se puede acceder a toda la gama que tiene en el mercado. Por otra parte, para crear los diagramas de control de ejecución de etapas y la asignación de tareas a los operarios se ha optado por el uso del software EXCEL, también por su extendido uso y por la gran versatilidad que presenta. La Tabla 6 muestra las prestaciones de cada uno de los productos definidos:

Tabla 9 Prestaciones de los productos utilizados

| PRODUCTO |  |  |
|-------------------------|--|--|
| Coste licencia | Comercial (2 897,95 €/año) | Comercial (99 €/año) / Pack completo |
| Licencia utilizada | Estudiantil (proporcionada por la UPC) | Estudiantil proporcionada por la UPC |
| Plataforma disponible | Microsoft® Windows® de 64 | Microsoft® Windows® de 64 / Web / iOS |
| Formatos de importación | Archivos nativos de Autodesk (DWG, DXF), DGN, SAT, SKP, .jpg, .bmp, .gif, .tif y .pgn | .xlsx, .xlsm, .xlsb, .xltx, .xltm, .xls, .xlt, .xls, .xml, .xml, .xlam, .xla, .xlw, .xlr |
| Formatos de exportación | Formatos CAD (DWG, DXF, DGN, ACIS SAT), DWF/DWfx, Emplazamiento de construcción (ADSK), FBX, NWC, gbXML, Modelo de masa (gbXML), IFC, base de datos ODBC (Access, Excel, SQL Server), Imágenes y animaciones (Recorrido – AVI, Solar Study – AVI, Imágenes (JPEG, TIFF, BMP, Targa, PNG) | .xlsx, .xlsm, .xlsb, .xltx, .xltm, .xls, .xlt, .xls, .xml, .xml, .xlam, .xla, .xlw, .xlr, etc. |

3.2.2 Etapa 2: Acciones a realizar en la fase de ejecución

Esta segunda etapa tiene como objetivo la implementación del modelo y los diagramas creados en la etapa anterior, durante el proceso constructivo del encofrado, y se compone de dos pasos principales: trasladar la información a los operarios y la construcción del encofrado.

- **Trasladar la información a los operarios:**

Una vez finalizadas todas las acciones de la fase de diseño, hay que trasladar toda la información creada a los operarios para que se puedan beneficiar de ella y puedan enviar ellos también los datos requeridos por sus superiores. Para realizar esta acción será necesario el uso de un dispositivo que pueda acceder a un visor de modelos 3D, pueda trabajar en línea mediante el uso de internet y que puedan utilizar simultáneamente los operarios presentes en la construcción.

Se ha optado por el uso de la herramienta digital BIMtable por las características mencionadas en el capítulo 2 del trabajo. La herramienta será utilizada por los operarios para visualizar el avance de la construcción fase por fase en cada sector, poder visualizar los diagramas donde se especifica la cantidad de material y las acciones a realizar por cada operario, y también estos deberán añadir al diagrama una fotografía con el resultado final de cada fase y la hora de comienzo y finalización de estas.

Para que los operarios puedan rellenar los datos que deben, se ha optado por el uso de Google Drive ya que permite compartir archivos y trabajar conjuntamente en línea sobre el mismo documento. Las tablas creadas en Excel se exportan a una hoja de cálculo de Google donde los operarios podrán escribir los datos que se les demanda. La Tabla 9 muestra la función que desempeñará cada herramienta dentro del proceso

Tabla 10 Funciones de las herramientas utilizadas

| | | | |
|---------------------------|--|--|---|
| <p>HERRAMIENTA</p> |  |  |  |
| <p>FUNCIÓN</p> | <p>Punto de información a utilizar por los operarios a pie de obra para visualizar el modelo e incorporar los datos requeridos</p> | <p>Visualizar el modelo 3D y poder visualizar las fases de la construcción</p> | <p>Visualizar los pasos a seguir, los elementos necesarios e incorporar los datos solicitados</p> |

- **Construcción del encofrado:**

Para que los operarios se encuentren cómodos con la implementación de la BIMtable, el flujo de trabajo debe ser similar al actual, en la presente propuesta las tareas a realizar van a ser las mismas que en el modelo tradicional, solo que los operarios dispondrán de más información para agilizar el trabajo e intentar reducir en la medida de lo posible los trabajos no contributivos presentes en la metodología tradicional. A través de la visualización del modelo, los operarios observan de forma clara los objetivos diarios a realizar y la disposición del material de encofrar a utilizar, también a través de la visualización de los diagramas de ejecución de tareas y acciones a realizar por cada operario, los operarios más experimentados no tendrán que parar su producción para dar indicaciones e instrucciones a los peones de obra.

Por otra parte, los operarios deberán invertir tiempo en el inicio y apagado de la herramienta y el traslado de esta desde el lugar elegido para su custodia en las horas donde el proceso constructivo está parado, hasta el lugar de su utilización y viceversa. A su vez, los operarios también deberán añadir al diagrama de ejecución de tareas la fecha exacta de inicio y finalización de las etapas y una fotografía del resultado final de estas, para poder analizar el rendimiento y poder verificar su correcta construcción.

En la Figura 14 se muestra la realización de la construcción de un encofrado vertical con la implementación de la BIMtable. En este caso se realizará el modelo conceptual siguiendo el modelo de procesos de flujos.

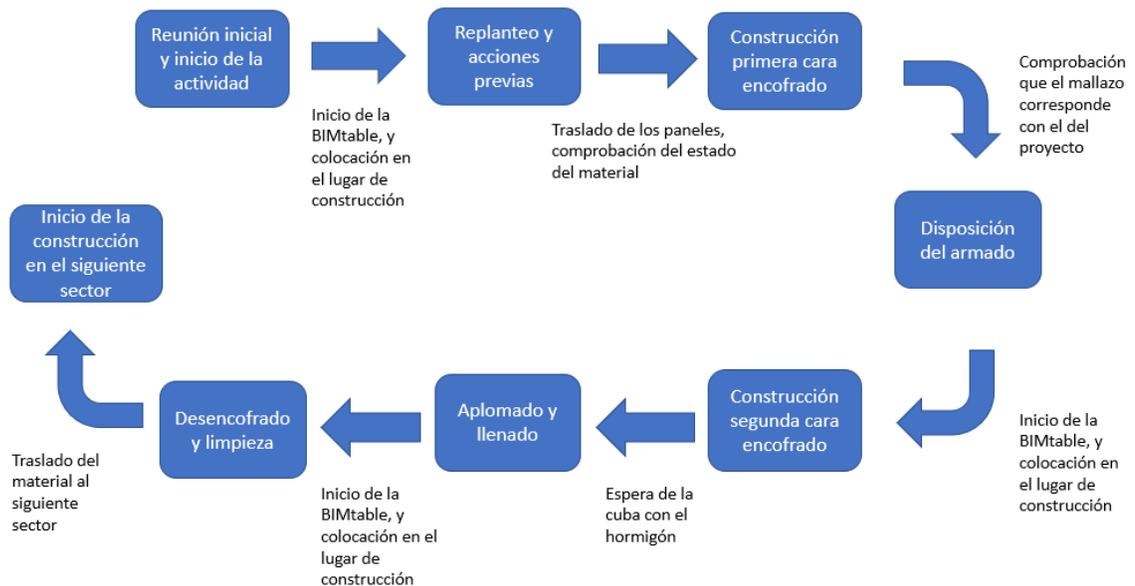


Figura 14 Proceso constructivo de la realización de muros, siguiendo el modelo de producción Lean. Fuente: elaboración propia

3.2.3 Etapa 3: Acciones a realizar una vez finalizada la obra

Una vez finalizada la obra y recogidos los datos con el tiempo tardado por los operarios en finalizar cada etapa es hora de analizar la actuación de la cuadrilla y de conocer el rendimiento de esta en la construcción del muro. La finalidad de esta acción es la de recolectar información de todas las construcciones futuras que realice el mismo equipo de trabajo y poder obtener un rendimiento medio, a través de conocer cuánto tiempo invierten en realizar cada fase y el cómputo global de estas, se pueden ajustar mejor los tiempos estimados de construcción y los buffers en las siguientes construcciones. En términos Lean, esta etapa coincidiría el aspecto de mejora continuada, ya que tras cada construcción obtenemos más información y esta nos servirá para poder planificar mejor la próxima, y como podemos observar es un ciclo que no tiene fin y se va retroalimentando continuamente.

CAPITULO 4: APLICACIÓN DEL MODELO A UN CASO PRÁCTICO

4.1 Definición del caso

El caso que he decidido realizar esta basado en una construcción real de un parquin realizado en el municipio de Naut Aran durante el año 2018, en el cual trabajé como peón de obra y pude observar cómo era la metodología de trabajo a seguir. El modelo 3D creado en Revit ha sido creado por el estudiante utilizando como base los planos proporcionados por el contratista, pero sin seguir exactamente las dimensiones de los muros, para poder simplificar el trabajo posterior.

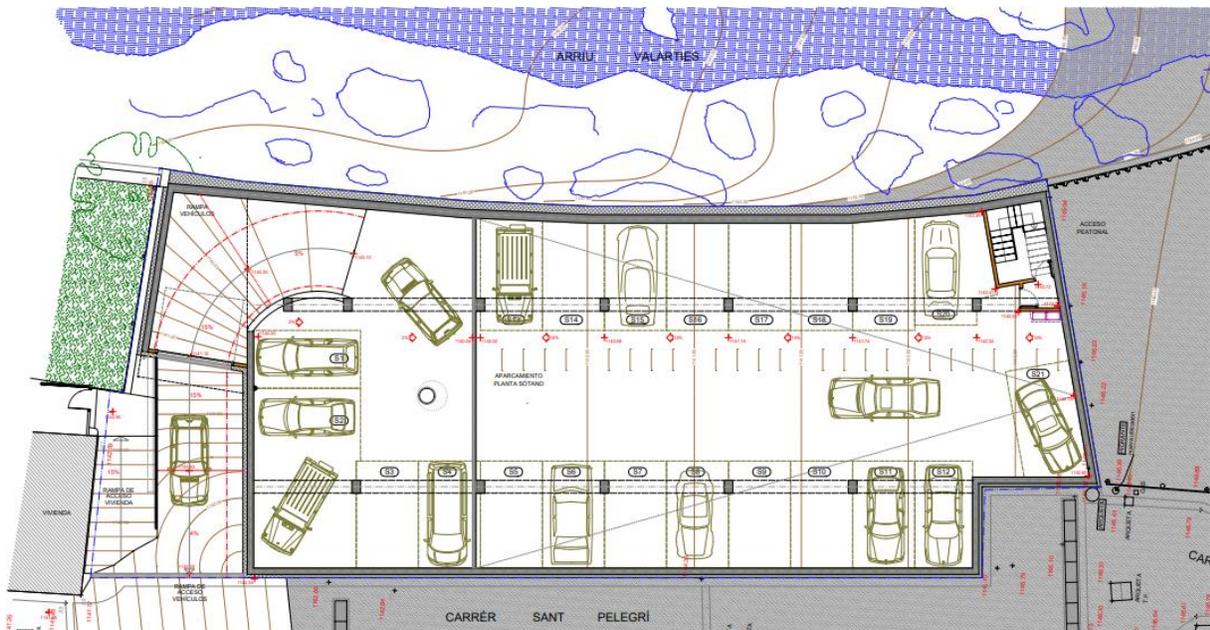


Figura 15 Planta del caso de uso utilizado como modelo para el ejemplo de implementación. Fuente: planos del proyecto

4.2 Etapa 1: Acciones a realizar antes de la construcción

4.2.1 Modelo 3D

El primer paso a realizar es la creación del modelo 3D debido a que no ha sido creado por los proyectistas encargados del proyecto, sin embargo, se espera poder suprimir esta fase en un futuro cercano debido al aumento del uso de BIM (en este caso Revit u otro software del entorno BIM) en la fase de diseño.

Tras obtener o crear el modelo, es donde comienza el trabajo metodológico propuesto en el presente trabajo. El primer paso consiste en sectorizar el área de trabajo, donde se ha optado por

dividir la construcción en 8 sectores, empezando por el sector 1 de color azul y finalizando por el sector blanco 8 de color blanco, debido a la estimación realizada por el estudiante en base a la experiencia obtenida como peón durante la construcción de los muros del caso, el cual se ha escogido como modelo para representar el caso de uso. Los muros donde no existe ningún cambio de orientación son de unos 14 metros de longitud mientras los que contienen elementos esquineros se ha optado por que tengan una longitud total de aproximadamente 10 metros debido a que su construcción es más compleja que los anteriores. La longitud exacta de los muros de cada sector, representado en la Figura 16 son las siguientes:

- Sector 1: 9,44m
- Sector 2: 13,50m
- Sector 3: 10,90m
- Sector 4: 9,34m
- Sector 5: 8,6 m
- Sector 6: 10m
- Sector 7: 13,50m
- Sector 8: 9,40m



Figura 16 Vista 3D de la sectorización del muro utilizado como caso de uso. Fuente: elaboración propia

El siguiente paso tras la sectorización consiste en seleccionar situar sobre las paredes del muro los paneles de encofrar que se van a utilizar a posterior, como se explica en el capítulo 3, esta acción es posible de realizar gracias a que existe un plugin de la marca PERI que permite utilizar en BIM toda la gama de sus productos. Para acceder a este catálogo como muestra la Figura 17, una vez descargada la extensión que me proporciono la propia compañía de encofrados, basta con clicar en la nueva herramienta que aparece el menú de herramientas del programa Revit y acceder a todos los productos, agrupados según su funcionalidad, como se muestra en la Figura 18.



Figura 17 Acceso a la librería PERI. Fuente: elaboración propia

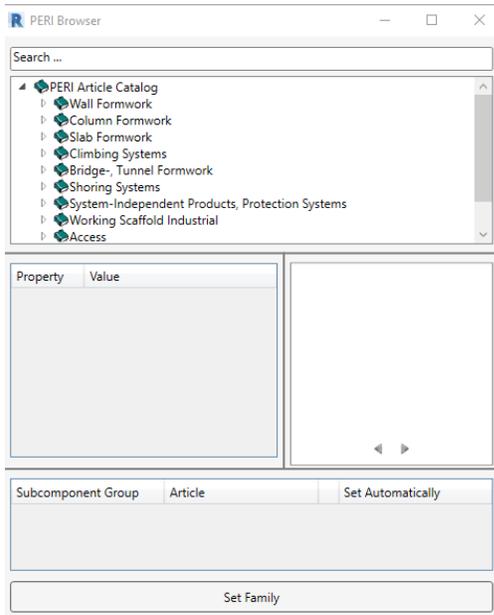


Figura 18 Familia de elementos de PERI disponibles en la biblioteca de Revit. Fuente: elaboración propia

Una vez dentro del catálogo de PERI, se accedió a la sección “wall formwork” donde se encontraban todos los componentes necesarios para construir sobre el modelo del muro el molde que se servirá para abocar el hormigón. Las formaletas elegidas fueron extraídas de la familia “MAXIMO MX 18 Panel Formwork” y se utilizaron formaletas de 330X270, 330X45 y 330X30, fillers de 330X10, esquineros interiores de 330X60 y esquineros de exteriores de 330X45; como se muestra representado en la figura 19. Una vez se seleccionaban se cargaba la familia dentro del entorno Revit y se podían utilizar a voluntad.

El resto de componentes del molde, formados por los elementos de unión de formaletas, los espadines y las roscas, fueron seleccionados de igual forma, accediendo a su ubicación dentro del catálogo y cargando las respectivas familias en el programa, en la Figura 20 se muestra el proceso.

Con todos los elementos cargados y disponibles para ser utilizados se construye el encofrado, agregando las formaletas en ambas caras del muro y el resto de elementos adicionales, y el resultado final de la construcción, queda reflejado en la figura 21.

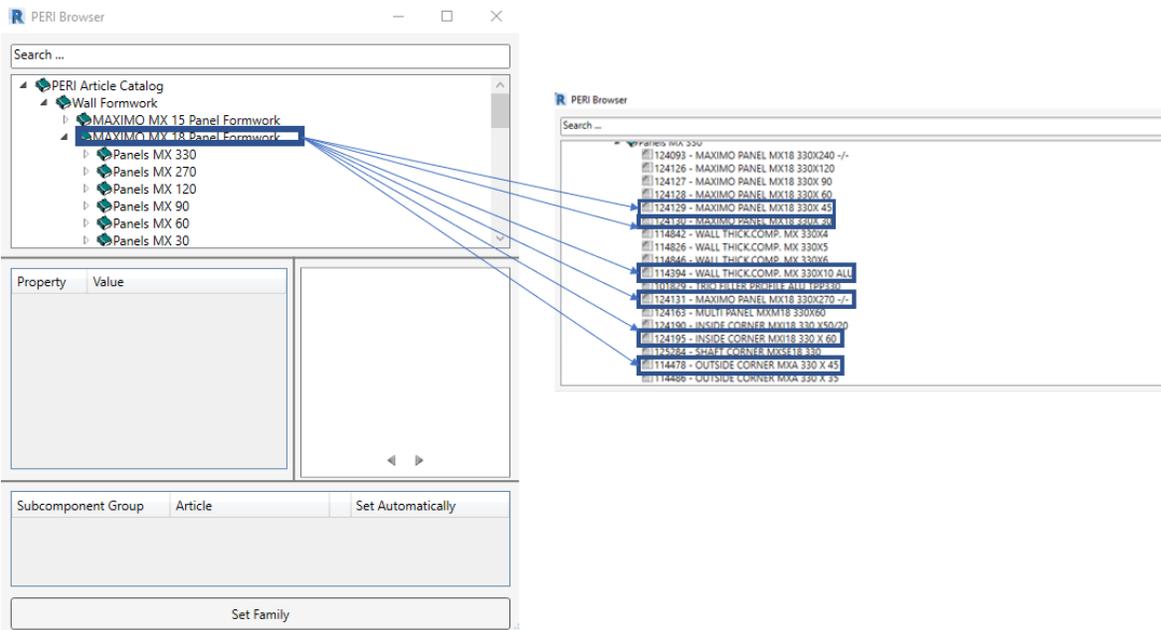


Figura 19 Selección de formaletas. Fuente: elaboración propia

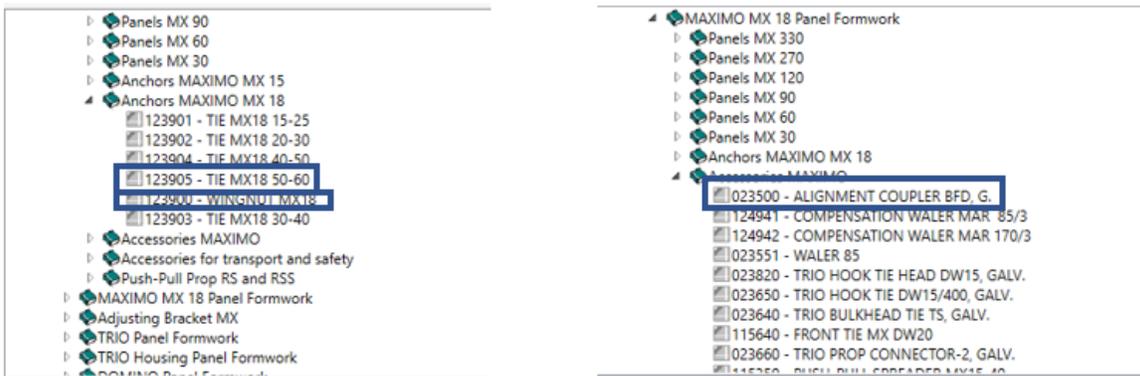


Figura 20 Selección componentes adicionales. Fuente: elaboración propia

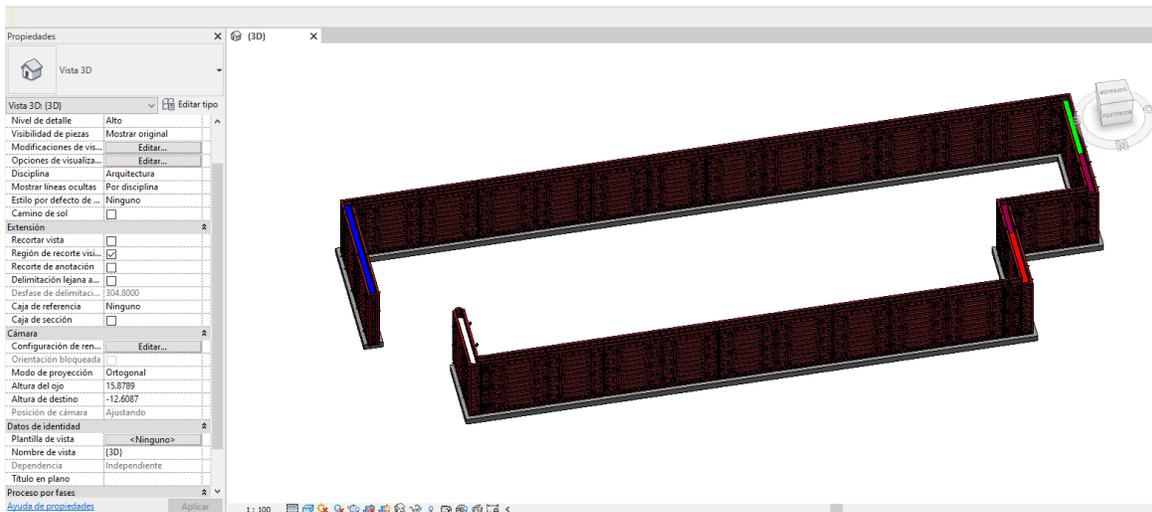


Figura 21 Vista del muro una vez colocados los elementos de encofrado sobre él. Fuente: elaboración propia

Finalmente, para finalizar con la tarea de la modelización del encofrado, se procedió a agrupar los componentes que formaban parte de cada sector según la etapa en que serían utilizados, con el objetivo de poder ir visualizando el avance del modelo durante la construcción. En la figura 22 se muestra el proceso necesario a realizar en el programa para poder dividir el proceso por fases y el total de las fases asignadas a la construcción.

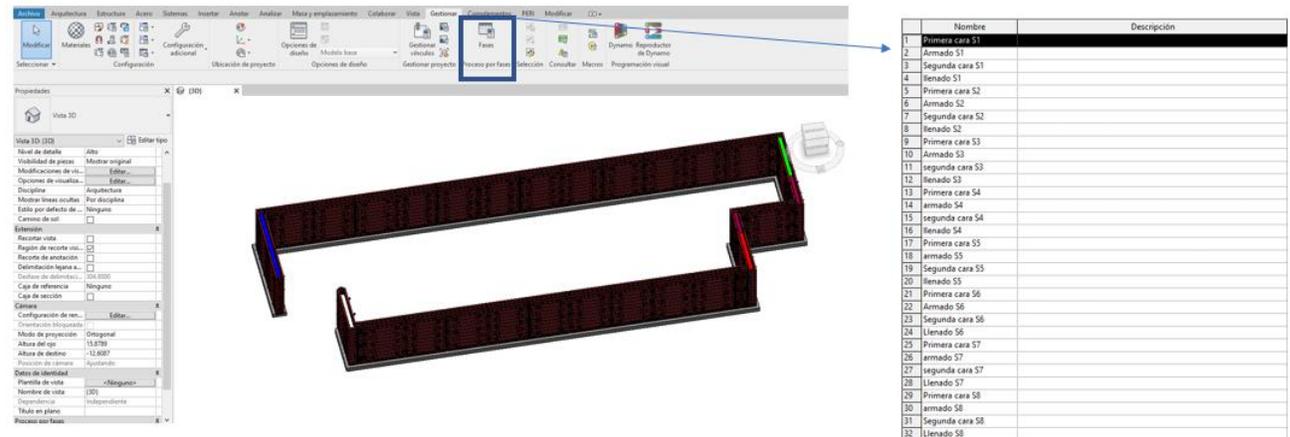


Figura 22 Proceso de fases en los que se ha dividido el modelo 3D. Fuente: elaboración propia

4.2.2 Creación de los diagramas

Tras haber construido el encofrado de todo el muro, el siguiente paso es la creación de los diagramas donde los operarios podrán consultar la cantidad de material necesario a utilizar en cada sector, las acciones a realizar durante cada etapa y las tareas específicas encargadas para cada operario durante el flujo de trabajo.

El primer diagrama creado corresponde con la información acerca de los materiales utilizados en cada sector, para una mejor visualización de su contenido se ha optado por utilizar un relleno de color azul para los elementos fijos, un relleno de color verde para los elementos auxiliares que podrán ser reutilizados en los diferentes sectores y en futuras construcciones y un relleno de color amarillo para la cantidad necesaria de hormigón a solicitar. Como podemos observar en la Figura 23.

| MATERIALES UTILIZADOS PARA EL ENCOFRADO DE EL SECTOR 1 | | | | |
|--|-----------------------------|-----------------|--------------|---------------|
| | | nº estimado | nº utilizado | nº recuperado |
| ELEMENTOS FIJOS | MAXIMO PANEL MX (330x270) | 6 | 6 | 6 |
| | MAXIMO PANEL MX (330x45) | 2 | 2 | 2 |
| | MAXIMO PANEL MX (330x30) | 1 | 1 | 1 |
| | ESQUINERO INTERIOR (330x60) | 1 | 1 | 1 |
| | ESQUINERO EXTERIOR (330x45) | 1 | 1 | 1 |
| | volumen hormigón m3 | 8,5 | 8,5 | 0 |
| | cangrejos | 18 | 8 | 8 |
| | varillas D20 (25-30cm) | 18 | 18 | 18 |
| | tubos PVC (17cm) | 18 | 18 | 0 |
| | separador timon | | | 0 |
| | tapon estanco | 36 | 36 | 0 |
| | chupete | 36 | 36 | |
| | rosclas | 18 | 18 | 18 |
| | ELEMENTOS AUXILIARES | cuñas de madera | 14 | |
| puntales | | 14 | | |
| adhesivo sellador (bote) | | 1 | | |
| varillas ajuste | | 28 | | |

Figura 23 Descripción del material a utilizar y a recuperar en la construcción del muro. Fuente: elaboración propia

La realización de este diagrama, no solo servirá para que los operarios a pie de obra puedan visualizar los elementos necesarios durante la construcción y anoten la cantidad de cada uno de ellos que puede ser reutilizada en los futuros sectores o proyectos nuevos, si no que ya en fase de diseño, tras un solapamiento de los componentes a utilizar en cada sector, nos muestra la cantidad de material justa a utilizar a lo largo de la construcción. En el ejemplo mostrado, tras realizar el solapamiento de sectores, el número exacto de elementos a alquilar o a transportar a obra es el siguiente:

- MAXIMO PANEL MX (330X270): 8
- MAXIMO PANEL MX (330X45): 2
- MAXIMO PANEL MX (330X30): 2
- ESQUINERO INTERIOR (330X60): 1
- ESQUINERO EXTERIOR (330X45): 1
- CANGREJOS: 12
- ESPADINES: 30
- ROSACAS: 30

El siguiente diagrama creado consta de las acciones principales que los operarios deberán realizar durante la fase de construcción para cumplir cada una de las etapas de las que consta el proceso constructivo de cada sector. Durante la ejecución de la obra, los operarios deberán anotar las horas de inicio y finalización de cada etapa y adjuntar una imagen del resultado final, la foto será realizada utilizando la cámara que tiene incorporada la propia BIMtable. En la Figura 24 se puede observar el aspecto del diagrama titulado “control de ejecución de etapas”, como las etapas son idénticas en cada sector, los operarios utilizarán el mismo para todos, y serán los encargados que se encuentren la oficina los encargados de recaptar los datos y volver a dejar el diagrama “en blanco” para volver a ser rellenado durante la construcción del siguiente sector

| CONTROL DE EJECUCIÓN DE ETAPAS | | | | |
|--------------------------------|--|-------------|-------------------|----------------------------|
| ETAPA | ACCIONES | HORA INICIO | HORA FINALIZACIÓN | FOTOGRAFÍA DE VERIFICACIÓN |
| REPLANTEO | Revisión en el modelo de la situación del muro | | | |
| | Marcado del muro con azulete | | | |
| | Marcado de la cara exterior de los paneles | | | |
| | colocación de las varillas para fijar los paneles | | | |
| ENCOFRADO DE UNA CARA | Revisión en el modelo de la disposición de los paneles | | | |
| | Limpieza y aplicación del desencofrante de los paneles | | | |
| | Unión de algunos paneles en el suelo mediante “cangrejos” | | | |
| | colocación de los paneles en su lugar y fijación mediante varillas | | | |
| | Unión de los módulos de paneles colocados | | | |
| | Colocación de puntales en toda la cara para asegurar la estructura | | | |
| DISPOSICIÓN DEL ARMADO | Colocación de la primera armadura | | | |
| | Colocación de separadores de plástico | | | |
| | Colocación de varillas para cumplir con las exigencias del proyecto | | | |
| | Colocación de los separadores y ángulos | | | |
| | Colocación de la segunda armadura y fijación a los separadores | | | |
| | Colocación del resto de separadores de plástico | | | |
| ENCOFRADO DE LA SEGUNDA CARA | Revisión en el modelo de la disposición de los paneles | | | |
| | Limpieza y aplicación del desencofrante de los paneles | | | |
| | Unión de algunos paneles en el suelo mediante “cangrejos” | | | |
| | colocación de los paneles en su lugar y fijación mediante varillas | | | |
| | Unión de los módulos de paneles colocados | | | |
| | Colocación de puntales en toda la cara para asegurar la estructura | | | |
| APLOMADO Y LLENADO | Fijación de ambas caras del encofrado mediante | | | |
| | Comprobación de la planeidad del encofrado mediante un nivel | | | |
| | Colocación correcta mediante el uso de los puntales | | | |
| | Lleado de la estructura con hormigón | | | |
| | Vibrado del hormigón y tanochado de la cara superior | | | |
| DESENCOFRADO Y ACABADO | Retirada de los paneles de encofrar y desunión de los módulos creados | | | |
| | Limpieza de los paneles y deposición a su lugar de origen | | | |
| | Recogida y guardado de los elementos auxiliares (cuñas, chupetes...) | | | |
| | Rellenado de los huecos dejados por las varillas de unión | | | |
| | Acciones adicionales a añadir dependiendo de la función y ubicación del muro | | | |

Figura 24 Descripción de las actividades a realizar dentro de cada etapa y espacio donde los operarios anotarán las horas de inicio y finalización y la fotografía de verificación. Fuente: elaboración propia

Por último, se crea un diagrama especificando la repartición las actividades a realizar por cada operario a lo largo de todo el flujo de trabajo. El objetivo del diagrama “trabajos a realizar por cada operario”, mostrado en la Figura 25, es servir de guía, sobre todo para los peones, que generalmente tienen menos experiencia realizando estas labores para que no tengan que estar recibiendo instrucciones constantemente de los oficiales, aspecto que reduce el rendimiento global de la cuadrilla.

| TRABAJOS A REALIZAR POR CADA OPERARIO | | |
|---------------------------------------|-----------|---|
| ETAPA | OPERARIO | ACCIONES |
| REPLANTEO | Oficial 1 | Marcado de la situación del muro y los paneles de encofrar en la losa |
| | Oficial 2 | |
| | Peón | Limpieza de la zona |
| | Peón | Corte de las varillas de soporte y los tacos de madera |
| ENCOFRADO DE UNA CARA | Oficial 1 | Unión de los paneles y colocación en su lugar |
| | Oficial 2 | |
| | Peón | Limpieza y aplicación del desencofrante de los paneles |
| | Peón | Llevar a los oficiales los elementos de union necesarios |
| DISPOSICIÓN DEL ARMADO | Oficial 1 | Colocación de la armadura |
| | Oficial 2 | |
| | Peón | Colocación de los separadores |
| | Peón | |
| ENCOFRADO DE LA SEGUNDA CARA | Oficial 1 | Unión de los paneles y colocación en su lugar |
| | Oficial 2 | |
| | Peón | Limpieza y aplicación del desencofrante de los paneles |
| | Peón | Llevar a los oficiales los elementos de union necesarios |
| APLOMADO Y LLENADO | Oficial 1 | Fijación de ambas caras del encofrado mediante y comprobación de la planeidad del muro, Uso y manejo del vibrador de hormigón |
| | Oficial 2 | |
| | Peón | Transporte de los elementos necesarios para el vibrado y acabado del hormigón |
| | Peón | Limpieza de la zona y recogida del material |
| DESENCOFRADO Y ACABADO | Oficial 1 | Retirada de los paneles de encofrar y desunion de los modulos creados Limpieza de los paneles y deposicion a su lugar de origen |
| | Oficial 2 | |
| | Peón | Recogida y guardado de los elementos auxiliares (cuñas, chupetes...) Rellenado de los huecos dejados por las varillas de union |
| | Peón | |

Figura 25 Descripción de las acciones a realizar por cada operario. Fuente: elaboración propia

4.3 Acciones a realizar durante la construcción

4.3.1 Traslado de información a pie de obra

Una vez va a dar comienzo la construcción y habiendo seleccionado la herramienta digital BIMtable como medio para intercambiar información entre los operarios y la dirección facultativa será necesario que los trabajadores puedan acceder a todos los documentos de manera fácil y rápida, es por eso que se decide incorporar en el escritorio una carpeta de cada sector donde incluyan el acceso del modelo digital visualizado a través de Revit y el documento creado en Excel accesible a través de una hoja de cálculo de Google para que puedan acceder también los responsables que se encuentran en la oficina simultáneamente. La figura 26 muestra una simulación del uso de la estación BIM realizada en el edificio B0 de la UPC, de cómo sería su uso colaborativo a pie de obra y como se podría utilizar para mantener una reunión telemática en caso de necesitar información proveniente de la dirección facultativa.

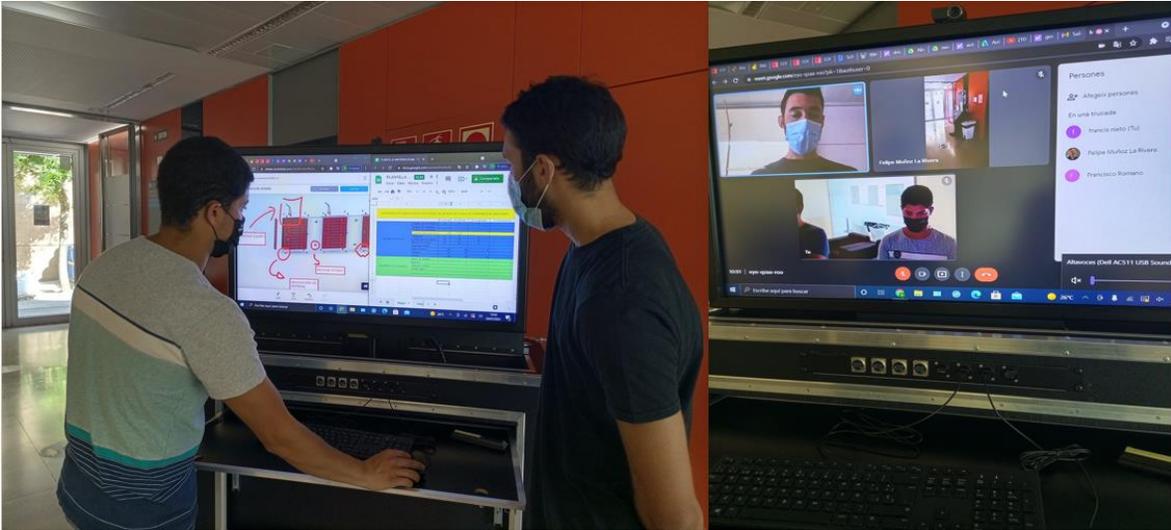


Figura 26 Uso de la herramienta BIMtable. Fuente: elaboración propia

4.3.1 Construcción del encofrado

Para la realización del encofrado utilizando las herramientas y la metodología propuesta es necesario seguir una serie de pasos, a continuación, se mostrarán utilizando como ejemplo la construcción del sector 1 y se realizarán de la misma manera para el resto.

1. **Reunión inicial:** En el inicio de la de la construcción, la cuadrilla de trabajo se encontrará en el lugar de construcción, y se realizarán los preparativos necesarios para utilizar la estación BIM y poder comentar de manera conjunta, visualizando el modelo los aspectos más importantes
2. **Puesta en marcha de la BIMtable, donde se abrirán los archivos necesarios para poder iniciar la construcción y colocación de la herramienta delante del sector a construir:** Una vez situada la estación en el lugar idóneo para poder acceder a la información, los operarios visualizarán en la pantalla de inicio una carpeta llamada "CONSTRUCCION MURO", donde encontrarán un acceso directo a los diagramas creados para acceder a través de una hoja de cálculo de Google, y un enlace al modelo para acceder a través de Revit. Tras abrir los ficheros presentes en la carpeta, los operarios deberán abrir las dos ventanas simultáneamente dividiendo la pantalla en dos para poder visualizar conjuntamente el modelo y los diagramas. La figura 27 representa el proceso a seguir y el resultado final de la pantalla de la herramienta BIMtable.

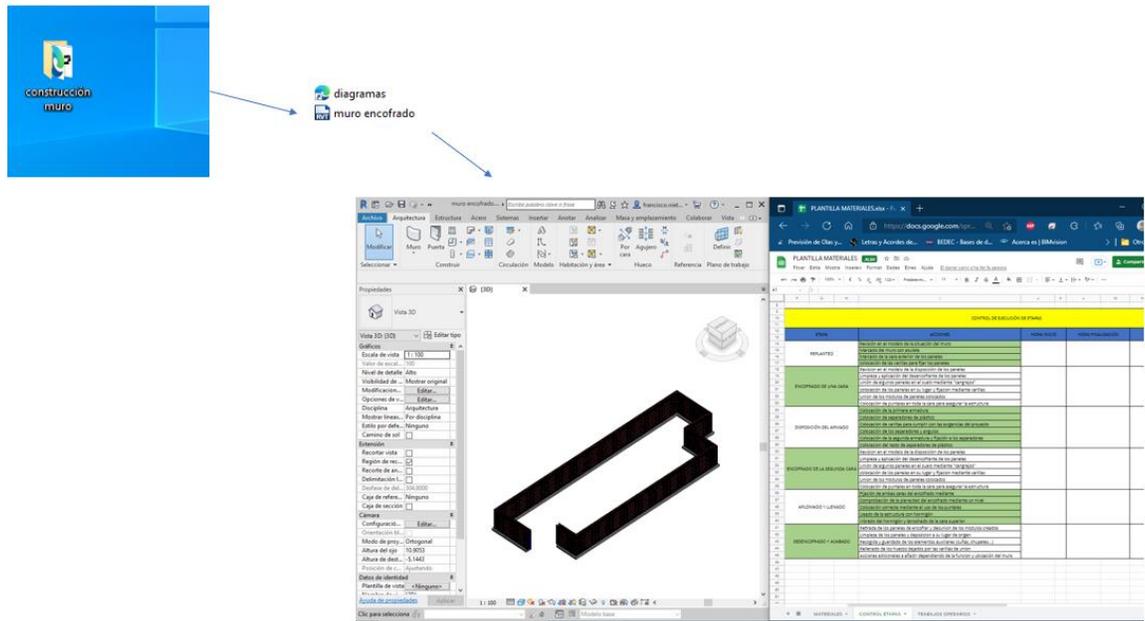


Figura 27 Visualización simultánea de ficheros. Fuente: elaboración propia

- 3. Visualización del resultado final de la construcción del sector y pequeña explicación sobre las tareas a realizar para lograr el objetivo:** El primer paso a realizar una vez están todos los preparativos realizaos es visualizar el resultado final de la construcción en primera instancia, y tras esto visualizar el resultado final de cada sector. La figura 28 muestra el ejemplo de construcción final del sector 1.

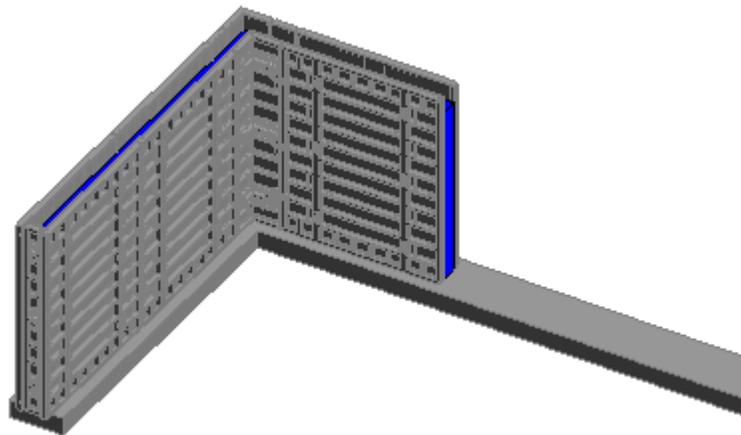


Figura 27 Visualización del resultado final del sector 1. Fuente: elaboración propia

4. **Replanteo del muro y acciones previas:** Esta etapa se realiza igual que en el proceso tradicional, la única diferencia es que a través del diagrama “TRABAJOS A REALIZAR POR CADA OPERARIO”, cada operario conoce el rol que debe desempeñar.

5. **Visualización de la primera cara de encofrado y construcción:** Una vez realizado el replanteo, se visualiza la disposición de los paneles de la primera cara de encofrado través del modelo, mientras los oficiales realizan la unión de los paneles, los peones aplican liquido desencofrante a estas y reúnen el material necesario para realizar esta etapa. Para visualizar únicamente esta fase durante la fase de construcción.

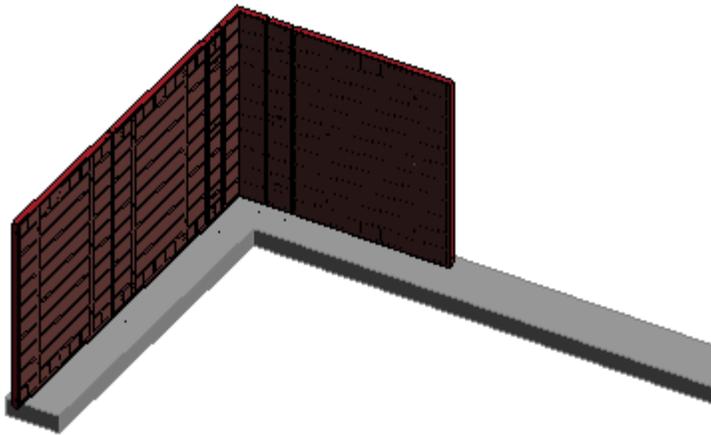


Figura 28 Visualización de la primera cara de encofrado del sector 1. Fuente: elaboración propia

6. **Colocación del armado:** Tras comprobar que el mallazo a utilizar coincide con el del proyecto, este se sitúa y se ancla a la losa mediante las esperas dejadas en su construcción, y se colocan los separadores de plástico para permitir que el hormigón pueda acceder a todos los rincones.

7. **Solicitud del hormigón necesario visualizando el volumen necesario en el diagrama de material, para que llegue una vez acabada la segunda cara del encofrado:** Cuando solo queda la construcción de la segunda cara del encofrado para finalizar el molde, se realiza la solicitud del hormigón necesario, que será indicado para cada sector el volumen necesario, en el diagrama que contiene el material a utilizar en cada sector. Para indicar la hora de llegada de la hormigonera, se utiliza el tiempo de construcción de la primera cara y se estima al alza.

8. **Visualización de la segunda cara de encofrado y construcción:** Para la construcción de la segunda cara se sigue el mismo proceso que durante la primera, los operarios visualizan en el modelo la disposición del material y a través del diagrama donde se especifican las tareas a realizar cada operario realiza su función.

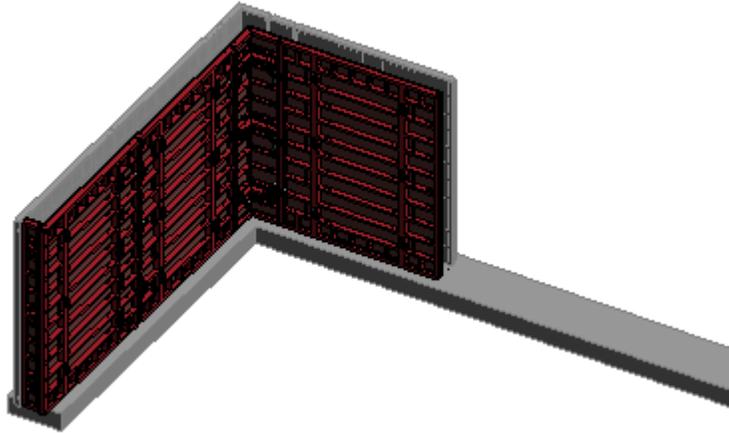


Figura 29 Visualización de la segunda cara de encofrado del sector 1. Fuente: elaboración propia

9. **Comprobación de la plomada y planeidad de encofrado:** Esta acción también será realizada igual que en el proceso tradicional,
10. **Vertido del hormigón, que será vibrado y refinado en su superficie:** Esta acción también será realizada igual que en el proceso tradicional.
11. **Recogida del material y abandono de la construcción hasta el día siguiente que ya habrá fraguado el hormigón:** Coincidiendo con la finalización de la jornada laboral, se deben recoger las herramientas utilizadas y limpiar el área de trabajo.
12. **Reunión inicial:** Como en la jornada anterior, los operarios realizan los preparativos necesarios para iniciar la construcción y situar la herramienta digital en el lugar donde se va a utilizar.
13. **Puesta en marcha de la BIMtable, para finalizar con el sector presente y dar comienzo al siguiente:** Al igual que en la jornada anterior, se inicia la herramienta digital y sitúa en el lugar adecuado para poder visualizar en el modelo la construcción del sector 2 y la ya construcción y finalización del sector 1
14. **Retirada de los paneles y aplicación de líquido desencofrante:** Los paneles se retiran del muro y tras aplicarles líquido desencofrante se aprovecha que están unidos para transportarlos directamente al siguiente sector.

- 15. Recuento del material:** Se reutiliza el material que sea posible y se anota el material utilizado, recuperado y perdido en el diagrama “MATERIAL UTILIZADO”.
- 16. Inicio con la construcción del siguiente sector:** Una vez finalizadas todas las etapas de un sector se procederá a repetir el proceso seguido en los siguientes sectores, hasta finalizar toda la construcción y dar paso al siguiente proceso constructivo.

4.4 Consideraciones a tener en cuenta y ventajas identificadas

4.4.1 Consideraciones a tener en cuenta

Una vez vista la propuesta de mejora descrita en el trabajo a través de un caso práctico, aparecen dos preguntas entorno a la implementación de la herramienta digital en la fase de construcción, para poder asegurar el éxito de la metodología propuesta hay que tenerlas en consideración antes de iniciar con la obra:

- **¿Qué acciones hay que realizar en el área de trabajo para para permitir un cómodo transporte de la BIMtable?**
Para poder asegurar que la herramienta se puede transportar fácilmente por toda la obra, esta deberá permanecer limpia y recogida, el terreno tendrá que acondicionarse para que sea lo más regular posible, y en los lugares donde no se pueda conseguir, se utilizarán tableros de madera. También es importante tener acceso a electricidad para poder encender la BIMtable desde cualquier punto de la obra.
- **¿Como nos aseguramos que los operarios utilizan la herramienta?**
Es necesario realizar una formación de la mano de obra de cómo deben utilizar la herramienta para obtener el máximo beneficio y acerca de las ventajas que su implementación puede generar durante el proceso constructivo. También hay que insistir en lo necesario que es que ellos anoten los datos solicitados.

4.4.2 Ventajas identificadas

Tas tener en cuenta las consideraciones mencionadas se identifican las ventajas que puede aportar la propuesta desde un punto de vista teórico, y también se hace énfasis en cómo afecta a diferentes integrantes del proyecto:

- Modelar en la fase de diseño los elementos necesarios para el encofrado permite conocer con exactitud la cantidad exacta del material de encofrado necesario para utilizar en obra, evitando pagar sobrecostes ocasionados por escasez de material o por tener material que no va a aportar valor a la realización de la construcción
- Conocer con exactitud el volumen de hormigón a utilizar puede suponer un ahorro de recursos y de dinero
- Tener la posibilidad de registrar el tiempo en que se realiza cada fase de la unidad de obra permite a la dirección anticipar posibles contratiempos y ajustar las siguientes unidades de obra en función de esto, así mismo, también con la realización de diferentes trabajos iguales se puede cuantificar el avance del equipo de trabajo y, por ejemplo, diferenciar la productividad en diferentes ambientes y entornos.
- Cuantificar el número de elementos auxiliares que se pueden reutilizar para futuras construcciones puede suponer un gran ahorro material a largo plazo.

La tabla 11 muestra cómo afecta la implementación de esta metodología a diferentes agentes involucrados en el proceso:

Tabla 11 Ventajas identificadas según el agente

| AGENTE | VENTAJAS |
|-------------|---|
| Operario | <p>La principal ventaja identificada es la de poder disponer de información más detallada, ya que, a través del uso de la herramienta, conocen las tareas a realizar en cada etapa, la disposición de los elementos del encofrado y la cantidad exacta de hormigón necesario para el llenado del molde.</p> <p>También mejora la comunicación con la dirección, y en caso de necesitar de alguna aclaración, pueden simultáneamente observar el mismo documento e interactuar sobre él, los operarios a pie de obra y los que se encuentran en la oficina.</p> |
| Encargado | <p>El encargado podrá realizar la verificación sin tener que estar allí presente, también, gracias al modelo, se asegura que le llegue de manera más clara la información y los detalles a los operarios.</p> <p>Con la repetición de la labor, utilizando esta metodología, podrá obtener de forma más precisa el rendimiento de la cuadrilla, sacando una media de cuanto tardan en realizar cada una de las etapas en diferentes construcciones.</p> <p>A través de esta media se puede prever y controlar mejor si la construcción avanza al ritmo previsto en la fase de diseño.</p> |
| Contratista | <p>Para el contratista, el uso prolongado la herramienta y de la metodología propuesta, se presume que pueda suponer un gran ahorro debido a que, gracias al uso de la herramienta se tendrá un mayor control del material utilizado y de su estado, se solicitará la cantidad exacta del hormigón necesario y mejorará la comunicación entre los diferentes agentes involucrados en la obra, mejorando así la eficiencia en la ejecución.</p> |

CAPITULO 5: CONCLUSIONES Y FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACIÓN

5.1 Conclusiones

Durante este trabajo se ha buscado estudiar la manera de implementar herramientas digitales, durante el proceso constructivo de la ejecución de obras, con el objetivo de mejorar la productividad del sector de la construcción y reducir la brecha que existe entre la fase de diseño y la de ejecución de proyectos constructivos en cuanto a la información y tecnologías disponibles se refiere.

Ha sido necesario el estudio de las características del sector que propician las deficiencias presentes, donde se identificaron la alta fragmentación de los agentes involucrados y las inferencias y solapamientos entre los procesos que realiza cada uno, la poca comunicación entre las fases de construcción y diseño y la escasa utilización de recursos y tecnologías que permitan la digitalización de procesos durante el proceso constructivo.

Al haber trabajado como peón de obra, quería utilizar un caso práctico en el que hubiese trabajado y conociese la metodología utilizada para que el análisis me resultase más fácil y pudiera hablar con propiedad acerca de los aspectos que bajo mi experiencia se pudiesen mejorar con el uso de alguna herramienta digital estudiada durante la etapa inicial del trabajo. Es por ello que se ha seleccionado la unidad de obra de la construcción de un muro de hormigón, a parte también de su gran presencia dentro de los trabajos realizados los proyectos constructivos.

Para identificar los procesos y actividades que no agregan valor, se han empleado los principios de la filosofía Lean, donde se han agrupado las pérdidas en tres factores principales: el malgasto de recursos, la pérdida de tiempo y el exceso de material. Enmarcado en las deficiencias identificadas en el sector, y las oportunidades de mejora de los procesos de construcción de encofrados, junto con las tendencias metodológicas, se propone la implementación de una metodología de trabajo dividida en tres etapas: En la primera se diseña la disposición del material de encofrar en función de la sectorización del muro y se crean diagramas con las acciones a realizar por cada operario y el material necesario de cada sector. En la segunda a través del uso de la herramienta BIMtable se traslada la información creada en la fase de diseño al lugar de la construcción, debido a que permite poder visualizar elementos de manera conjunta y también sirve de canal comunicativo entre la dirección y la obra. Y, por último, la tercera etapa consiste en analizar los datos recibidos desde la obra para poder aplicar todos los aspectos de la filosofía Lean aplicando una mejora continuada que se verá reflejada en futuras construcciones, regulando la sectorización del área de trabajo, en función del rendimiento de la mano de obra.

En conclusión, se puede afirmar, que se han logrado los objetivos marcados sobre la formación y el aprendizaje de las características del sector de la construcción y de los avances tecnológicos de uso durante la fase de ejecución.

En cuanto a la propuesta de uso de la herramienta digital BIMtable, dentro de un marco teórico, no se ha podido encontrar un visor gratuito que permita visualizar la construcción por fases, sin embargo, se puede decir que presenta más ventajas que dificultades, y que a nivel técnico mejora la metodología utilizada actualmente ya que reduce etapas de ejecución, agiliza el entendimiento de cómo debe realizarse el trabajo y permite llevar un control y un seguimiento del estado y número del material disponible y sobre el tiempo necesario en realizar cada una de las etapas.

5.2 Futuras líneas de investigación

- Llevar la propuesta de mejora a obra, donde se puede realizar el estudio con datos reales y no estimados, y donde se puede añadir otros apartados a la investigación como por ejemplo el presupuesto necesario.
- Estudiar la integración de, no solo el material necesario para construir el encofrado, si no también todos os elementos necesarios relacionados con la seguridad y salud.
- Estudiar la integración de la alternativa propuesta en la realización de la totalidad de un proyecto constructivo, no solo en una partida de obra, para mostrar todo el potencial de la herramienta BIMtable, al poder ser utilizada como punto de acceso también por los agentes externos que realizan trabajos especializados en el proceso constructivo

Referencias

1. Yap, J. B. H., Chow, I. N. y Shavarebi, K. (2019). Criticality of Construction Industry Problems in Developing Countries: Analyzing Malaysian Projects. *Journal of Management in Engineering*, 35(5), 04019020. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)me.1943-5479.0000709](https://doi.org/10.1061/(asce)me.1943-5479.0000709)
2. Muñoz-La Rivera, F., Mora-Serrano, J., Valero, I. et al. Methodological-Technological Framework for Construction 4.0. *Arch Computat Methods Eng* 28, 689-711(2021). <https://doi.org/10.1007/s11831-020-09455-9>
3. Craveiro, F., Duarte, J. P., Bartolo, H. y Bartolo, P. J. (2019). Additive manufacturing as an enabling technology for digital construction: A perspective on Construction 4.0. *Automation in Construction*, 103, 251-267. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.03.011>
4. Håkan Håkansson & Malena Ingemansson (2013) Industrial renewal within the construction network, *Construction Management and Economics*, 31:1, 40-61. <http://dx.doi.org/10.1080/01446193.2012.737470>
5. Peralta, A.V. y Serpell, A. Características de la Industria de la Construcción. En: *Revista Ingeniería de Construcción* [en línea]. 1991, vol. 11, p. 1-17. Disponible en: www.ricuc.cl/index.php/ric/article/download/348/291.
6. Monfort, C. Impacto del BIM en la gestión del proyecto y la obra de arquitectura. Un proyecto con REVIT. Universidad Politecnica de Valencia, 2015
7. Yeganeh, A. A., Azizi, M. y Falsafi, R. (2019). Root Causes of Design-Construction Interface Problems in Iranian Design-Build Projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 145(12), 05019014. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0001727](https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0001727)
8. Kaasinen, E., Aromaa, S. y Rauhala, V. Augmented Reality Based Knowledge Sharing Solutions for Field Service Personnel. En: *ERCIM NEWS* [en línea]. 2015, vol. 15, no. 103. ISSN 00010782. DOI 10.1016/B978-1-59-749733-6.00001-2. Disponible en: <https://ercim-news.ercim.eu/en103/special/augmented-reality-based-knowledge-sharing-solutions-for-field-service-personnel>.
9. [Códigos QR. Generador de Códigos QR. QR Codes\[codigos-qr.com\]](https://www.codigos-qr.com/)
10. Yeganeh, A. A., Azizi, M. y Falsafi, R. (2019). Root Causes of Design-Construction Interface Problems in Iranian Design-Build Projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 145(12), 05019014. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0001727](https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0001727)

11. López, M. D. R., Grajales, M. H., & Corrales, M. E. V. (2017). Lean construction—LC bajo pensamiento Lean. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 16(30), 115-128.
12. Toro, Julián Alberto Arzayús. BIM y LEAN: Dos herramientas poderosas para el éxito en la Industria de la Construcción. https://prezi.com/o_ltrfkgoez/bim-y-lean-dos-herramientas-poderosas-para-el-exito-en-laindustria-de-la-construccion
13. Ghang, L., Sacks, R. y Eastman, C.M. Specifying parametric building object behavior[BOB] for a building information modeling system. En: *Automation in Construction* [en línea]. 2016, vol. 15, no. 6, p. 758-776. [consulta: 30 diciembre 2017]. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580505001445>.
14. Fernández, L., Ríos, R. y Marreros, J. Más allá de la tecnología: BIM como una nueva filosofía. En: *CIVILIZATE* [en línea]. 2016, vol. 8, p. 46-49. Disponible en: <http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/civilizate/article/view/18629/18867>.
15. Singh, V., Gu, N. y Wang, X. A theoretical framework of a BIM-based multi-disciplinary collaboration platform. En: *Automation in Construction* [en línea]. Elsevier B.V., 2011, vol. 20, no. 2, p. 134-144. ISSN 09265805. DOI 10.1016/j.autcon.2010.09.011. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2010.09.011>.
16. Nielsen, A.K. y Madsen, S. Structural modelling and analysis using BIM tools [en línea]. Aalborg University, 2010. ISBN 1837-9133. DOI 10.1016/j.proeng.2014.12.048. Disponible en: <http://projekter.aau.dk/projekter/files/32688467/structuralmodelling-and-analysis-using-bim-tools.pdf>
17. Picó Coloma, E. Introducción a la Tecnología BIM [en línea]. Primera Ed. Barcelona: Departament d'Éxpressio Gráfica Arquitectonica I Seccion Geometria Descriptiva/ Escola Tecnica Superior d'Àrquitectura de Barcelona/ Universitat Politecnica de Catalunya, 2008. ISBN 978-84-95249-44-9. [consulta: 26 noviembre 2017]. Disponible en: upcommons.upc.edu/bistream/handle/2117/12226/Introducci3n_a_la_Tecnologia_BIM.pdf
18. Bargstädt, H.-J. Challenges of BIM for Construction Site Operations. En: *Procedia Engineering* [en línea]. 2015, vol. 117, p. 52-59. ISSN 1877-7058. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.123>. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705815017774>.
19. Eastman, C. et al. BIM handbook: a guide to Building Information Modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors [en línea]. Segunda Ed. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, 2011. ISBN 9780470185285. DOI 2007029306. Disponible en: <https://leseprobe.buch.de/images-adb/fa/270d6f-63c2-46d6-958cb886414737af.pd>
20. Taylor, J.E. y Bernstein, P.G. Paradigm trajectories of building information modeling practice in project networks. En: *Management in Engineering* [en línea]. 2009, vol. 25, no.

2, p. 69-76. Disponible en: <http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%290742-597X%282009%2925%3A2%2869%29>.

21. Mäki, T. y Kerosuo, H. Site managers' uses of building information modeling on construction sites. En: Proceedings 29th Annual Association of Researchers in Construction Management Conference, ARCOM 2013 [en línea]. 2014, no. September, p. 611-621. Disponible en: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84911431085&partnerID=tZOtx3y1>.
22. Vesteramo, A., Murvold, V., Svalestuen, F., Lohne, J. and Laedre, O. (2016). 'BIM-Stations: What it is and how it can be used to Implement Lean Principles' .In: Proc. 24th Ann. Conf. of the Int'l. Group for Lean Construction, Boston, MA, USA, sect.5 pp. 33–42.
23. [BIMtable\[cimne.com\]](http://cimne.com)
24. Martínez, C. A., Díaz, J. F., & Duque, R. (2019). Diseño del encofrado para muros usando encofrados modulares. *TecnoLógicas*, 22, 1-18.
25. E. J. F. M. Mauricio Emilio Ramos Cornejo, «Análisis y evaluación de la productividad en obras de construcción vial en la ciudad de Arequipa,» Tesis final de estudios, Arequipa, 2018.
26. C. A. Martínez, J. F. Díaz, R. Duque, "Diseño del encofrado para muros usando encofrados modulares", *Tecnológicas*, vol. 22, pp. 1-18, 2019. <https://doi.org/10.22430/22565337.1509>
27. Kapp, M. and Girmscheid, G., 2006. *Empirical study reveals deficits in the choice of formwork*. Zürich: ETH, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Institut für Bauplanung und Betrieb.
28. C. A. Martínez, J. F. Díaz, R. Duque, "Diseño del encofrado para muros usando encofrados modulares", *TecnoLógicas*, vol. 22, pp. 1-18, 2019.

ANEXOS

ANEXO 1: Evolución del modelo 3D

