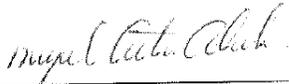
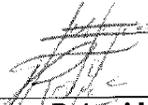


CONSTANCIA DE DEFENSA PÚBLICA DE PROYECTO DE GRADUACIÓN

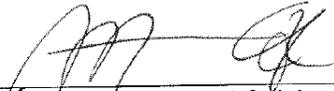
Proyecto de Graduación defendido públicamente ante el Tribunal Evaluador, integrado por los profesores Ing. Gustavo Rojas Moya, Ing. Miguel Artavia Alvarado, Ing. Milton Sandoval Quirós, Ing. Ana Grettel Leandro Hernández, como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Construcción, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.



Ing. Miguel Artavia Alvarado.
En representación del Director



Ing. Gustavo Rojas Moya.
Profesor Guía



Ing. Milton Sandoval Quirós.
Profesor Lector



Ing. Ana Grettel Leandro Hernández.
Profesora Observadora

**Instituto Tecnológico de Costa Rica
Escuela de Ingeniería en Construcción**

Implementación de un Plan de Ejecución BIM en la fase previa de un proyecto de construcción

Proyecto final de graduación para optar por el grado de
Licenciatura en Ingeniería en Construcción

Fabrizio Medaglia Mata

Cartago, diciembre de 2019.

Implementación de un Plan de Ejecución BIM en la fase previa de un proyecto de construcción

Abstract

The proposed project consists in the elaboration of a pilot plan for the development of a BIM Execution Plan (BEP) in the preliminary stage of a construction project in order to facilitate interdisciplinary coordination between the architectural, structural and electromechanical field using 3D modeling tools that facilitate the development of an integrated model that can also provide a solution for the quantification of materials and subsequent budgeting of the project so that at the end of the process, the company is able to reduce possible errors that may be present in the construction phase of the project.

The project to intervene consists of a room house located in the Uvita district of the province of Puntarenas to be built by Inmobiliaria MDG S.A. The initial information of the project provided by the company consists of the architectural design of the house and the budget for its construction, which is around \$ 304,000.00

The general objective of the project is to carry out a BIM Execution Pilot Plan in the preliminary phase of the construction of a dwelling house based on the information obtained from the company in charge of the management and execution of the project. To achieve the objective, software will be used for 3D modeling (Autodesk Revit), construction simulation (Autodesk Navisworks), project programming, administration of accounting systems (O4B) and complements for the specific requirements solution.

Keywords:

Building Information Modeling, BIM, BIM Execution plan, BEP, Autodesk, Project Management, 3D Coordination, 4D Modeling, Management, Costs

Resumen

El proyecto planteado consiste en la elaboración de una propuesta para el desarrollo de un Plan de Ejecución BIM (BEP) en la etapa de anteproyecto de un proyecto de construcción, esto con el fin de facilitar una coordinación interdisciplinaria entre el campo arquitectónico, estructural y electromecánico utilizando herramientas de modelado 3D que faciliten el desarrollo de un modelo integrado que además pueda brindar una solución para la cuantificación de materiales y posterior estimación de costos de la obra para que al final del proceso, la empresa sea capaz de disminuir los posibles errores que se puedan presentar en la fase de construcción del proyecto. El proyecto por intervenir consiste en una casa de habitación ubicada en el distrito de Uvita de la provincia de Puntarenas a construir por la empresa Inmobiliaria MDG S.A. La información inicial del proyecto proporcionada por la empresa consiste en el diseño arquitectónico de la casa y el presupuesto para su construcción, el cual ronda los \$304.000,00

El objetivo general del proyecto consiste en llevar a cabo un Plan Piloto de Ejecución BIM en la fase de anteproyecto de la construcción de una casa de habitación a partir de la información obtenida de la empresa encargada de la dirección y ejecución de la obra. Para cumplir el objetivo, se utilizarán softwares para modelado 3D (Autodesk Revit), simulación de construcción (Autodesk Navisworks), programación de proyectos, administración de sistemas contables (O4B) y complementos para la solución específica de los demás requerimientos.

Palabras clave:

Modelado de información de edificios, BIM, Plan de Ejecución BIM, BEP, Autodesk, Administración de proyectos, Coordinación 3D, Modelado 4D, Mantenimiento, Costos

Implementación de un Plan de Ejecución BIM en la fase previa de un proyecto de construcción

Implementación de un Plan de Ejecución BIM en la fase previa de un proyecto de construcción

FABRIZIO MEDAGLIA MATA

Proyecto final de graduación para optar por el grado de
Licenciatura en Ingeniería en Construcción

Diciembre del 2019

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

Contenido

Prefacio	1
Resumen ejecutivo.....	2
Introducción.....	4
Marco Teórico	6
Metodología	29
Resultados	32
Análisis de los resultados	53
Conclusiones.....	57
Recomendaciones	59
Apéndices	60
Referencias	111

Prefacio

Con el fin de buscar una mejora continua en el desarrollo de proyectos de construcción se busca actualizar a los profesionales que integran los equipos de trabajo que llevan a cabo los proyectos en sus distintas fases. BIM comprende el uso de una representación digital compartida (modelo de información) de un activo construido con el fin de facilitar los procesos de diseño, construcción y operación y así proporcionar una base confiable para la toma de decisiones (Building Smart, 2019), lo que quiere decir que inicialmente se construye el proyecto de manera digital para observar, identificar y corregir posibles errores y complicaciones que se puedan presentar durante la fase de ejecución, para luego, tomando las consideraciones necesarias para minimizar fallas, la construcción del proyecto se lleve a cabo de una manera fluida, eficiente y con la menor variabilidad de costo y plazo definido inicialmente.

El presente proyecto pretende mostrar la etapa de implementación de la metodología BIM desde cero en una empresa constructora desarrolladora, trabajando en conjunto con equipos de diseño de las disciplinas arquitectónica, electromecánica y estructural con el fin de llevar a cabo el desarrollo de un Plan de Ejecución BIM y aplicarlo durante la fase de anteproyecto de una vivienda de aproximadamente 200m² ubicada en el distrito de Uvita del cantón de Osa de la provincia de Puntarenas.

Dado que el trabajo comprende un plan piloto para que la empresa analice el proceso de desarrollo del plan y su posterior aplicación en la etapa de ejecución del proyecto, este será el hito inicial de la implantación de la metodología BIM en la compañía, por lo cual se planteará el uso de distintos software que comprendan distintas soluciones para realizar procesos BIM con el fin de analizar su valor potencial para el uso en proyectos posteriores.

Resumen ejecutivo

La industria AEC (Arquitectura, ingeniería y construcción) comprende una de las ramas industriales menos desarrolladas a lo largo de la historia. Los procesos constructivos son los mismos desde hace décadas, se levantan edificios a partir de información contenida en planos 2D y vistas que en muchos casos no tienen relación entre sí y produce que los constructores e incluso los profesionales encargados de la dirección de proyectos constructivos deban improvisar y resolver un sinnúmero de conflictos durante la ejecución de un proyecto (Mora & Murillo, 2019).

El modelado de información de edificios (BIM) brinda una propuesta de mejora hacia estos conflictos presentados comúnmente durante las construcciones. El BIM se define como una metodología que aplica principios de la industria manufacturera de producción y búsqueda del aumento de la productividad que explora, a partir de la construcción digital de una edificación, la interacción entre sus componentes principales de las disciplinas que lo componen (arquitectónica, estructural y electromecánica) y así anticipar los errores constructivos que normalmente se presentan en los proyectos, esto promoviendo la toma de decisiones que procuren el aumento de la productividad y la variación mínima de costo y plazo del proyecto.

El proyecto realizado abarca el desarrollo de un Plan de Ejecución BIM en la etapa previa de un proyecto de construcción, definido como BEP por sus siglas en inglés. Este documento comprende la base en la que se cimienta toda la implementación de la metodología, definiendo qué, quién y cómo se van a realizar los procesos establecidos para el cumplimiento de sus objetivos.

La base de un BEP es la definición de los usos BIM, los cuales son una serie de procedimientos a desarrollar presentes durante todas las etapas productivas del proyecto que regulan la manera en que se llevan a cabo los procesos. Durante la etapa previa de construcción es el momento en que BIM tiene una de las funciones más importantes, ya que lo que se busca es evitar los

errores, por lo que se le debe dar especial prioridad al desarrollo del BEP y los usos dentro de esta fase.

El presente proyecto abarca, además de la definición del BEP, la propuesta de recursos y procedimientos para el cumplimiento de usos como: Coordinación 3D, Cálculo de costos, Simulación 4D, Programa de mantenimiento.

La redacción del Plan de Ejecución BIM se realizó a partir de una herramienta *online* llamada *LOD Planner*, al cual contiene plantillas de los diferentes estándares a nivel mundial para la definición de BEP's. Para efectos de este proyecto, a raíz de la falta de normativa y estandarización de procesos BIM en Costa Rica, se utilizaron las plantillas de *Penn State University*, que es la más utilizada a nivel de Estados Unidos y adaptada por Chile que posee una base sólida de implantación BIM en las construcciones del país.

Una vez definido el BEP, se realizan los procesos para su implementación en la fase pre constructiva, donde a partir de un equipo de trabajo conformado por un ingeniero director de proyecto, un ingeniero residente, dos ingenieros electromecánicos, un ingeniero estructural y un arquitecto se realiza el modelado de la vivienda siguiendo los requerimientos establecidos por el cliente. Dentro de las consideraciones a tomar en cuenta, está el que no se desarrolló un modelo exclusivo para el diseño estructural, sino que se adaptó el modelo arquitectónico para que este contuviera información geométrica de las cimentaciones de los muros y los tipos de entrepiso y contrapisos presentes en el diseño, considerados también para la posterior simulación 4D.

Se contó con un modelo arquitectónico adaptado con la información estructural, un modelo del diseño eléctrico y uno mecánico a partir de los cuales se llevó a cabo el proceso de coordinación 3D. Este proceso consistió en la federación de los modelos en un espacio común de trabajo con el fin de visualizar cómo interactuaba cada uno de los elementos diseñados

una vez que estuvieran contruidos en la vivienda, esto por medio del comando de detección de choques del programa *Navisworks Manage 2018*, con lo que se desarrolló un reporte de interferencias a través de la extensión *BIM Track* para su posterior resolución por parte de los profesionales de las disciplinas involucradas en los conflictos.

Seguidamente, se buscó integrar el modelo arquitectónico con complementos de Revit que permitieran la extracción de información para la cuantificación y estimación de costos del proyecto; sin embargo, no se pudo lograr, por lo que se propuso una solución de cuantificación general para la solución de costos de elementos definidos por la empresa a partir de tablas de planificación que mostraran la información solicitada.

Para llevar el proyecto a la cuarta dimensión BIM, que corresponde a la integración de un cronograma de actividades con el modelo 3D, se utilizó el Software *Navisworks Manage 2018*, a partir del cual, mediante el ingreso de información de los elementos del modelo asociados cada uno al cronograma de actividades, permitió visualizar la secuencia constructiva del proyecto durante las fechas previstas, lo que contribuyó a la toma de decisiones para mejorar procesos de diseño de sitio y buscar soluciones para mejorar la productividad y la ubicación estratégica de las cuadrillas de trabajo.

Finalmente, a partir de la información contenida en los modelos acerca de los equipos electromecánicos a instalar, se propone una solución para el desarrollo de cronogramas de mantenimiento preventivo de los activos, el cual, a partir de la integración de un calendario programado con la navegación del modelo federado 3D por medio de la plataforma *LOD Planner*, le permite al cliente y al contratista visualizar las fechas próximas previstas para realizar visitas de control y así evitar problemas de deterioro de equipos por falta de mantenimiento.

Introducción

A lo largo de los años, con la intervención de la tecnología en prácticamente todos los procesos de la vida cotidiana, el sector de producción de diferentes productos y soluciones se vuelve cada día más eficiente ya que se aplican métodos de trabajo automatizados que permiten sustituir la mano de obra manual y así disminuir costos y generar más utilidades. En la industria de la arquitectura, ingeniería y construcción (AEC), esta transición no se ha logrado en su totalidad; al menos en Costa Rica, avanzar en la forma que se construyen los edificios en cuanto a prácticas y procesos constructivos no va más allá de la optimización de los materiales a partir de sistemas constructivos modulares, la modificación o el diseño de nuevos procesos constructivos y la investigación en materiales que tengan propiedades físico-mecánicas similares a los empleados normalmente que representen una menor afectación al ambiente.

La metodología BIM pretende ser ese punto de cambio en el desarrollo de procesos de construcción hacia mejoras de rendimiento y productividad, aplicando una mayor inversión de recursos a las etapas previas de un proyecto con el fin de minimizar los conflictos encontrados una vez que la construcción se está ejecutando. Al ser la industria de la construcción un sector productivo difícilmente automatizable por la complejidad de los procesos y por el hecho de que todos los proyectos tienen características y requisitos distintos, es difícil que se pueda dar una transición de mano de obra manual a automatizada, por eso se busca la forma de mejorar y definir cómo se va a ejecutar la construcción del proyecto para obtener la documentación necesaria para que los trabajadores de campo tengan un menor margen de error.

Este trabajo final de graduación comprende la elaboración de un Plan de Ejecución BIM del proyecto con base en la estandarización de *Penn State University*, a partir del cual se desarrollarán modelos digitales 3D que contengan información de los diseños de las disciplinas arquitectónica,

estructural, eléctrica y mecánica; a partir de dichos modelos y mediante el complemento con distintos software y recursos directos de la empresa, se adaptará el proyecto para que cumpla con las características necesarias para representar la cuarta, quinta y séptima dimensión BIM, con el fin de demostrar el valor de la metodología al aplicarla durante las fases de planificación y diseño de un proyecto de construcción y obtener una base de trabajo para los futuros proyectos desarrollados por la empresa.

Objetivo General

Desarrollar un Plan Piloto de Ejecución BIM en la fase de anteproyecto de la construcción de una casa de habitación.

Objetivos Específicos

- a) Determinar los aspectos a considerar para el desarrollo del Plan de Ejecución BIM.
- b) Realizar el conjunto integrado de modelos 3D del proyecto a partir de los requerimientos establecidos en el BEP.
- c) Ejecutar el proceso de coordinación del modelo federado y detectar las interferencias presentes entre las disciplinas.
- d) Integrar el modelo 3D con softwares de programación y costos para el modelado del proyecto en la cuarta y quinta dimensión BIM.
- e) Proponer una solución de control de activos y de los elementos construidos para su posterior mantenimiento y operación por parte del cliente.

Antecedentes

El proyecto por intervenir está en manos de la empresa constructora Inmobiliaria MDG S.A. Esta nunca ha implementado planes que involucren modelos de información en la construcción (BIM). La empresa se encuentra en la etapa previa de anteproyecto de la construcción de una casa de habitación ubicada en Playa Hermosa del distrito de Uvita en la provincia de Puntarenas

La propuesta hacia la compañía consiste en la elaboración de un Plan de Ejecución BIM (BEP) en modalidad piloto en busca de agilizar procesos de representación del producto al cliente, integración de procesos, cuantificación y estimación de costos, además de contribuir en el posterior control de desarrollo de la construcción. A partir de lo mencionado anteriormente, se analizarán los beneficios que le brinden a la empresa la adaptación de este modelo para la administración de futuros proyectos.

Actualmente la empresa realiza procedimientos estándar que han variado muy poco desde su fundación (planos 2D, *render*, etc.), utilizando también representaciones 3D para que sus clientes tengan una mejor perspectiva del producto que van a obtener; sin embargo, aún no han implementado modelos de información integrados que faciliten una coordinación multidisciplinaria en la fase previa a la construcción; por lo que, por medio del uso de herramientas de modelado 3D que relacionen las etapas del proyecto se busca brindar una solución que mejore su productividad en la fase constructiva.

Optando por esta metodología, la empresa generaría mejores condiciones para afrontar nuevos proyectos, siendo más eficientes en el control de costos del proyecto, calidad y plazos, además de brindar mejores opciones de visualización de diseño al cliente y corrección anticipada de los posibles errores de diseño que se dan normalmente al construir una edificación cuyos diseños se realizan por separado y se unifican en el momento que se van a construir; además, el trabajo realizado puede funcionar como una registro de experiencias para la elaboración de proyectos futuros.

Alcances y limitaciones

Los resultados, métodos de trabajo y recursos utilizados en el proyecto se limitan a las características de un proyecto constructivo de índole privada de una vivienda de aproximadamente 200 metros cuadrados y un equipo de trabajo en la etapa de diseño y planificación de un arquitecto, cuatro ingenieros en construcción y dos ingenieros electromecánicos.

El Plan de Ejecución BIM, dentro de su alcance no detalla el nivel de desarrollo o información mínimo de los elementos modelados, esto debido que se definió como un parámetro de definición libre por parte de los modeladores, tomando en cuenta que se debía contar con la disposición de añadir las características gráficas o información adicional que fuera requerida por algún otro miembro del equipo de trabajo durante el desarrollo del proyecto.

El análisis de alternativas a procesos constructivos con base en los resultados obtenidos no fue documentado; sin embargo, fue elaborado por el ingeniero director del proyecto y se mencionan algunos de estos en la sección de resultados buscando un aporte del uso de la metodología en la solución de conflictos.

Se utiliza una variada cantidad de software y complementos de distintas casas comerciales con el fin de brindar a la empresa opciones de recursos que puedan ser de utilidad para el desarrollo de futuros proyectos bajo la metodología BIM, opciones limitadas por el costo de licenciamiento y capacitación en el uso de las distintas herramientas.

Marco Teórico

¿Qué es BIM?

Se le conoce como BIM a una metodología que involucra procesos integrados basados en información coordinada y confiable sobre un proyecto de construcción durante su ciclo de vida. BIM tiene sus raíces en la disciplina arquitectónica; sin embargo, no solo involucra al gremio de arquitectos, sino que envuelve a toda la industria AEC (Arquitectura, Ingeniería y construcción, por sus siglas en inglés) en donde los principios de la metodología se aplican a todo lo que se construye, facilitando la predicción del rendimiento de los procesos constructivos involucrados en los proyectos antes de que estos se construyan, respondiendo de una forma más rápida y eficaz a las variaciones de diseño, optimizándolos a partir de análisis y simulaciones y entregando información constructiva más precisa y confiable adaptada a lo que probablemente se hallará en sitio; además, permite a los equipos de trabajo involucrados acceder y manipular la información necesaria sin necesidad de solicitarla a un intermediario que pueda entorpecer el proceso de comunicación (Starafaci, A. 2008)

El Instituto Nacional de Ciencias de la Construcción de Estados Unidos, el cual se enfoca en establecer los estándares BIM para su aplicación en el país, define la metodología de la siguiente manera: *Building Information Modeling* (BIM) es una representación digital de las características físicas y funcionales de una instalación. Un BIM es un recurso de conocimiento compartido para obtener información sobre una instalación que constituye una base confiable para la toma de decisiones durante su ciclo de vida; definido como existente desde la concepción más temprana hasta la demolición.

Una premisa básica y muy importante de BIM es la colaboración de las diversas partes interesadas en diferentes fases del ciclo de vida de un proyecto para insertar, extraer, actualizar o

modificar información en el BIM para apoyar y reflejar los roles de esa parte interesada.

¿Qué implica BIM?

El BIM no es un concepto nuevo a nivel mundial; sin embargo, en Costa Rica hasta hace pocos años el tema ha captado la atención de las compañías del sector constructivo; no obstante, pocas empresas comprenden realmente el uso y valor real que puede generar la metodología al aplicarla en los proyectos de construcción.

El concepto y sus alcances en general son sumamente amplios; sin embargo, a grandes rasgos se puede asegurar que BIM requiere de una cultura organizacional en la cual se desarrollen metodologías de trabajo que estén sujetas al vínculo de los diferentes actores involucrados en el proyecto, de la mano con un desarrollo tecnológico que permita tener el acceso y la capacidad de manipulación de las diferentes herramientas disponibles en el mercado que favorezcan el desarrollo de los procesos de un flujo de trabajo BIM.

Para lograr su objetivo, un proyecto BIM debe estar sujeto a algunas variaciones respecto a la forma tradicional de ejecución de una obra de construcción que se da en Costa Rica desde hace mucho tiempo. Primeramente, se debe tener claro que la representación de los elementos debe darse en a partir de un sistema digital de visualización 3D, migrando así de los planos constructivos que se manejan actualmente en la mayoría de los proyectos de construcción los cuales están formados por plantas y vistas 2D que en muchos casos resultan difíciles de interpretar generando dudas a los constructores. Estas representaciones deben integrar desde las etapas pre constructivas a todo el equipo de diseño que vaya a trabajar en el proyecto e indudablemente también al contratista encargado de la construcción; cada uno de los diseños debe desarrollarse de una manera integrada que

permita contener en un solo modelo de información digital las distintas soluciones de cada una de las disciplinas con base en sus respectivos requerimientos, la idea de involucrar al constructor es que, a partir de la experiencias vividas en campo pueda ser un apoyo para los diseñadores con el fin de agilizar procesos y cambios por posibles diseños que impliquen una complicación constructiva.

Uno de los aspectos más importantes en un proceso de implementación BIM, es tener bastante claro el concepto al cual se refiere la “I” del acrónimo: Información. Aunque se pueda asegurar la visualización de una propuesta constructiva en tres dimensiones, un archivo confeccionado a través de un software de modelado 3D no es suficiente para llamar al proyecto BIM, ya que es vital que ese modelo tenga una serie de datos representativos de cada uno de los elementos que lo conforman y que sirvan como una base para resolver la forma en que se vaya a construir el proyecto, más allá del nivel de detalle o información presentada en los componentes.

¿Qué no es BIM?

Hay muchos mitos e información errónea sobre el BIM en Costa Rica, por eso es importante además de presentar el concepto, aclarar qué no es BIM, ya que muchas empresas y profesionales utilizan el concepto para promocionar sus métodos de trabajo que no necesariamente cumplen con los requisitos mínimos para ser llamados BIM (Mora & Murillo, 2019). *Building Information Modeling* es un concepto que no se refiere a un producto o a un software en específico, sino al uso de herramientas que permitan una interoperabilidad entre las disciplinas involucradas en el ciclo de vida del proyecto de construcción con base en un modelo 3D que permita agrupar la información necesaria, manipular los modelos para realizar los cambios necesarios en cualquier momento del ciclo de vida del proyecto y generar la documentación necesaria para que este sea ejecutado de la manera más eficiente posible. Dentro de las características que poseen algunos modelos que dicen ser BIM, pero en realidad no lo son, están (Eastman, Teicholz, Sacks, & Kathleen, (2011):

- Modelos tipo “sketch” que contienen parámetros geométricos 3D, pero que no tienen ningún otro tipo de información. Este tipo de modelos tienen únicamente un aporte visual que no favorece un proceso BIM, al igual que los *render*
- Modelos sin soporte de comportamiento, que no permitan ajustar posiciones o dimensiones
- Modelos compuestos por múltiples archivos CAD 2D combinados, ya que es muy complicado llevar un control de versionamientos de diseño en documentos que no se actualizan simultáneamente.

¿Cuándo se utiliza BIM?

La metodología es implementada durante todas las etapas del ciclo de vida de un proyecto de construcción, el éxito de un proceso BIM radica en integrar cada uno de los procesos realizados en todas las fases del proyecto para así implementar un proceso de “Gestión de Cambios”, en el cual, al almacenar toda la información en un archivo central, cualquier modificación del diseño, sin importar la disciplina, se replicará automáticamente en todas las vistas en que se ubica el cambio, además de actualizar los archivos de documentación tanto de materiales, como recursos y costos ligados a la variación, simplificando la labor en las etapas avanzadas del proyecto con el simple hecho de invertir más tiempo y recursos a la etapa de diseño del proyecto. (Graphisoft, 2019).



Figura 1. Procesos ligados a las etapas de un proyecto de construcción
Fuente: Munro, A. (2018)

En la Figura 1, se presenta las fases del ciclo de vida de un proyecto común de construcción donde en cada una de estas fases se muestra de una forma muy básica de qué manera se involucra la metodología. A continuación, se señalan algunos de los aspectos a considerar para aplicar BIM en cada una de las etapas constructivas del proyecto.

Diseño Colaborativo

Al aplicar BIM durante la fase de diseño de un proyecto constructivo lo que se busca es obtener una integración de los elementos a diseñar por las tres grandes partes inmersas en el proceso (arquitectónica, estructural y electromecánica), esto para lograr tener un mejor panorama acerca de qué es lo que se va a construir, para así disminuir los errores de interpretación de alguna de las partes y crear soluciones constructivas con antelación para agilizar procesos o resolver problemas de constructibilidad para abordar los posibles conflictos que se presenten desde las fases previas de construcción.

A partir de un modelo 3D capaz de contener la información de cada uno de los elementos que componen el edificio se busca que los diseñadores trabajen en un entorno común para que así, al integrar los diferentes diseños en un modelo vivo

de visualización y documentación, se pueda promover la gestión de cambios para realizar los ajustes requeridos ante la posible variación del alcance del proyecto o corrección por conflictos interdisciplinarios, entre otros y así tener también la oportunidad de trabajar diferentes versiones de diseño para elegir la que mejor se adapte a los requerimientos del proyecto y optimizar los procesos (Mora & Murillo, 2019).

Como parte de la etapa de diseño y para verificar que los diseños de las tres disciplinas se interactúen de una forma coherente, es necesario realizar una coordinación del modelo, en la cual se define a partir de un Plan de Ejecución BIM, las características en cuanto a detalle gráfico y la cantidad mínima de información que debe contener cada uno de los elementos de los modelos. Parte del concepto de coordinación abarca el proceso de Detección de Choques, el cual se considera un objetivo fácilmente alcanzable donde al integrar el trabajo realizado por el equipo de diseño es posible determinar cómo se está comportando el edificio bajo la intervención de cada uno de los diseñadores y los elementos que conforman la obra.

Según Moreno, G (2018), existen dos tipos de enfrentamientos que se pueden presentar en una detección de interferencias: Los choques duros que se representa como un espacio en el cual están posicionados dos o más elementos y los choques suaves, en donde los elementos no se encuentran superpuestos; sin embargo, se presentan problemas de espacio en cuanto al acceso o colocación de estos por lo que alguno debe cambiar su ubicación.

Como parte del Plan de ejecución BIM, se debe establecer el sistema de jerarquía de disciplinas, en el cual se establezca en qué casos es más factible desplazar los elementos diseñados dependiendo de la situación en específico, esto con el fin de disminuir conflictos posteriores por cambios a los diseños iniciales.

Proceso constructivo

A diferencia del proceso tradicional de ejecución de proyectos de construcción, al aplicar la

metodología BIM, los profesionales encargados del diseño del proyecto continúan activos y trabajan en conjunto con el constructor en el desarrollo de alternativas o soluciones a problemas imprevistos que no fueron posibles de visualizarse durante la etapa de diseño y tienen la obligación de documentar en los modelos, cualquier variación de diseño requerida con el fin de alimentar los modelos para que estos representen la realidad del proyecto. Si no se cumple con lo mencionado anteriormente, la inversión tanto económica, como de tiempo y recursos durante el proceso de diseño perderá su valor, ya que recae en las situaciones que se viven actualmente donde al final del proyecto, lo que está construido no concuerda con lo que fue diseñado y puede acarrear serios problemas durante la operación del edificio.

Dentro de las aplicaciones más comunes de quienes utilizan la metodología durante el proceso de ejecución del proyecto está primeramente la visualización espacial del edificio modelado y la comparación de aspectos como topografía, accesos y diseño de sitio de acuerdo con las características del terreno y el trazo de la ubicación de la construcción. Al integrar el modelo con softwares especializados en la revisión de diseño, se logra realizar tanto integraciones con la programación de la obra con el fin de visualizar la secuencia de cómo se construirá el edificio, cuantificación de los elementos para la estimación de presupuesto y control de materiales y costos, coordinación general e intercambio de datos como planos, vistas actualizadas en tiempo real, detalles, planos de taller etc., e incluso se puede realizar un control de aspectos de seguridad laboral y organización espacial dentro del terreno para actividades que requieran de una logística compleja (González, 2017).

Las inspecciones realizadas bajo la metodología BIM requieren el contar con los recursos necesarios para obtener equipamiento tecnológico mínimo que permita portar el modelo en un software de coordinación a lo largo de la construcción con el fin de ir identificando errores, aclarando dudas y de ser necesario, tomar datos acerca de las modificaciones hechas en sitio que se deben aplicar al modelo.

Operación del edificio

El producto final más importante a raíz de haber realizado una construcción bajo la metodología BIM, además de la construcción en sí, corresponde a la información *as built* entregada al cliente. Muchas veces, no se lleva un correcto historial de variaciones del proyecto respecto al diseño original, lo cual ocasiona que este entregable, la mayoría de las veces no contenga la información real o necesaria para llevar un correcto plan de mantenimiento o realizar modificaciones en el futuro. Al trabajar con un modelo de información vivo a lo largo del proyecto, el cual se está actualizando constantemente ingresando información acerca de los cambios o variaciones que se presentan en cada una de las inspecciones, se puede asegurar que ese producto final sí va a representar la realidad de lo que está construido y disminuye los tiempos de correcciones de documentación posterior a la construcción de datos que muy posiblemente se hayan extraviado con el pasar de las semanas.

La operación del edificio puede ser la fase que requiera de mayor detalles e información a introducir en el modelo BIM, es la etapa que, aunque no está ligada directamente con aspectos constructivos, comprende el periodo más importante del proceso ya que corresponde a la mayor parte del ciclo de vida del edificio, por lo que se debe procurar que el desempeño de este sea el más adecuado para cumplir con los requerimientos y necesidades para las cuales fue diseñado y construido. En la Figura 2 se puede observar la relación entre las etapas del ciclo de vida de un edificio y una métrica de los requerimientos BIM durante su desarrollo.

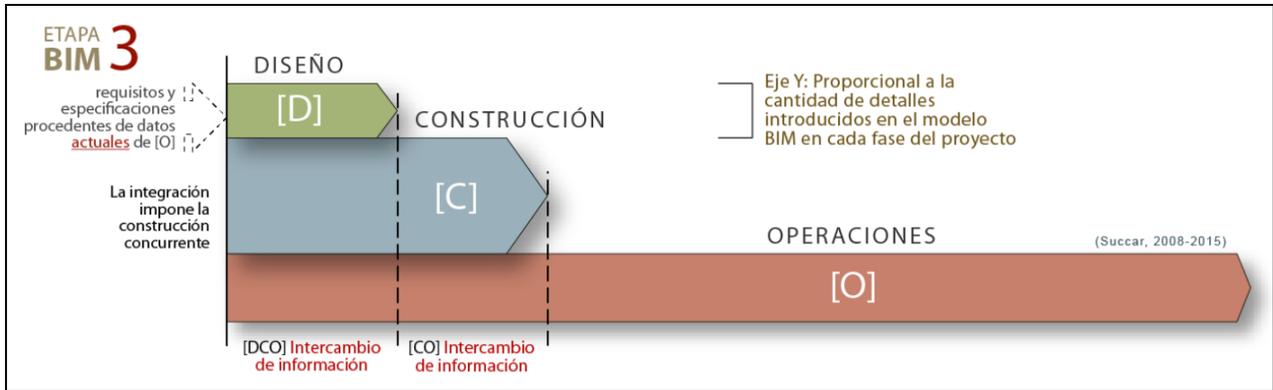


Figura 2. Fases del ciclo de vida de un proyecto y su requerimiento de información BIM
Fuente: Bimetriclab, 2016

En la figura anterior se demuestra un proceso óptimo en el cual, la información obtenida una vez que comenzará a operar el proyecto sea recolectada desde que nace la idea de este, ya que esto permite una trazabilidad de la información más confiable y precisa sobre lo que realmente se tiene. Uno de los usos más comunes de esta información es para crear planes de mantenimiento del edificio, lo cuales, a partir de la información contenida en el modelo de tipos de sistemas constructivos, acabados, marcas de accesorios y equipos, entre otras informaciones relevantes, se pueda realizar un cronograma de control para el mantenimiento, reparación o sustitución de elementos construidos e instalados en el edificio, de ser necesario.

Dimensiones BIM

Existen 7 dimensiones accesibles a la hora de desarrollar un proyecto de construcción, el propósito de BIM abarca avanzar más allá de la primera y segunda dimensión que abarcan la representación de la generalidad de un proyecto a partir de vistas, cortes y plantas dibujadas sobre un plano (como normalmente se resuelve un proyecto) a un modelado 3D que permita una visualización más gráfica y amigable para los usuarios en la que a la vez se muestre cómo interactúan los elementos de la edificación. Adjuntándole información a todos estos modelos y aplicando los principios de administración y control

de un proyecto bajo la metodología, se obtiene BIM.

La dimensión BIM supone una evolución de los sistemas de diseño tradicionales basados en el plano, incorporando información geométrica, temporal, costos, ambiental y operativa.



Figura 3. Dimensiones BIM
Fuente: EDITECA, 2019

La Figura 3 muestra las dimensiones abarcadas por la metodología BIM, si bien la primera, la segunda y parte de la tercera dimensión también forman parte de procesos alusivos a la metodología, es a partir de la tercera que se le brinda un valor extra al proyecto en comparación con la manera de desarrollar proyectos constructivos de la forma habitual.

A partir del modelado 3D, se pueden integrar otro tipo de softwares o herramientas que permitan llegar a las otras 4 dimensiones restantes, estos

archivos están referenciados con el fin de actualizar automáticamente cualquier cambio que se pueda realizar. Cada dimensión profundiza cada vez más el uso del modelo y su aprovechamiento para el proyecto. Kjartansdóttir, Mordue, Nowak, Philp & Snæbjörnsson, (2017) definen las 7 dimensiones BIM de la siguiente manera:

- a) 1D - Idea: Corresponde al inicio general del proyecto, desde que se origina la idea, se toma la decisión a partir de estudios económicos previos hasta las primeras representaciones por medio de dibujos, croquis e ideas en conjunto con datos de costos que van a cimentar la base del diseño del edificio.
- b) 2D – Vector: Corresponde a las representaciones iniciales del proyecto a partir de la programación del espacio interno con predimensionamientos que permitan tener una base para la definición de costos inicial y materiales a utilizar.
- c) 3D – Modelado: Es el modelado en tres dimensiones del proyecto a partir de los elementos reales que lo van a conformar, dimensionados con base en los diseños arquitectónico, estructural y electromecánico. Es una de las fases más importantes, ya que es la base de las últimas cuatro dimensiones.
- d) 4D - Planeamiento: La cuarta dimensión integra la información de la programación de la obra al modelo 3D con el fin de visualizar la secuencia en que se construirá el proyecto.
- e) 5D – Control de costos: En esta etapa se busca mejorar la rentabilidad del proyecto a partir de la cuantificación de los materiales directamente desde el modelo. Esta dimensión integrada con la 4D de planeamiento permite también llevar un control de costos del proyecto a lo largo del ciclo de vida y la previsión de los gastos que tendrá.
- f) 6D – Sostenibilidad: Abarca la simulación del comportamiento de los sistemas de ahorro energético y la gestión de recursos con el fin de seleccionar las técnicas y tecnologías que mejor se adapten al desarrollo de cada proyecto. Esta dimensión contempla también el realizar un seguimiento LEED a los procesos del proyecto para obtener algún tipo de

certificación o querer desarrollar el proyecto bajo ese estándar.

- g) 7D – Gestión de instalaciones: Contempla procesos y herramientas optimizadas para el control de elementos, dispositivos o accesorios instalados en la obra, con el fin de tener un control más eficiente para la operación y mantenimiento del proyecto

¿Por qué es importante BIM para las empresas constructoras?

Normalmente, el contratista desarrollador de un proyecto de construcción no está involucrado en la fase de diseño del proyecto, etapa que es clave en el desarrollo de un proceso BIM. Los directores de proyecto tienen una función clave durante el proceso de autoría de diseño de una obra, ya que estos son los encargados de darle constructibilidad a los elementos planteados y definir variaciones que disminuyan la posibilidad de encontrar incongruencias constructivas una vez que se está ejecutando la construcción.

Además de estar involucrados en las fases pre constructivas, los ingenieros de proyecto deben estar en la capacidad de comprender los procesos y herramientas que se utilizarán a lo largo de todas las etapas del ciclo de vida de un proyecto, desde la planeación hasta la operación, mantenimiento y restauración o demolición de este, por lo que es importante que cumplan un papel clave al validar la información BIM para obtener mayores beneficios. Al mismo tiempo, con el objetivo de contribuir a los procesos BIM, es importante que los profesionales encargados de la dirección técnica de los proyectos tengan una constante capacitación y actualización acerca de los programas y herramientas que impulsen los procesos BIM y que tengan la apertura necesaria para salir de su zona de confort y explorar nuevas técnicas para el control de costos, calidad, coordinación más allá de lo que está construido, fabricación de elementos, etc. (Kjartansdóttir et al,2017).

Realidad acerca del BIM

Es importante recalcar que un proyecto BIM no necesariamente resulta menos costoso que ejecutar un proyecto de la manera convencional; la función y el valor real de la metodología radica en disminuir las posibles variaciones constructivas y de diseño que se puedan dar durante el proceso de construcción del edificio a raíz de errores de diseño, coordinación entre disciplinas, logística, entre otros, además de lograr una variación mínima del proyecto aprobado en la fase de pre construcción, esto con el fin de reducir las órdenes de cambio que pueda solicitar el propietario del

proyecto que pueda generar sobrecostos, retrabajos y variaciones de plazos de entrega

A partir de una mayor inversión en las etapas pre constructivas se busca que los equipos de diseño estructural, arquitectónico, electromecánico y el contratista desarrollador de la obra trabajen en conjunto y así, a partir de ligar e involucrar sus diseños y procesos a herramientas de modelado de información en 3D donde se los elementos se encuentren en un entorno común de datos, tengan la capacidad de prever complicaciones difíciles de predecir bajo la forma de trabajo convencional y evitar inconvenientes que afecten al usuario final del proyecto.

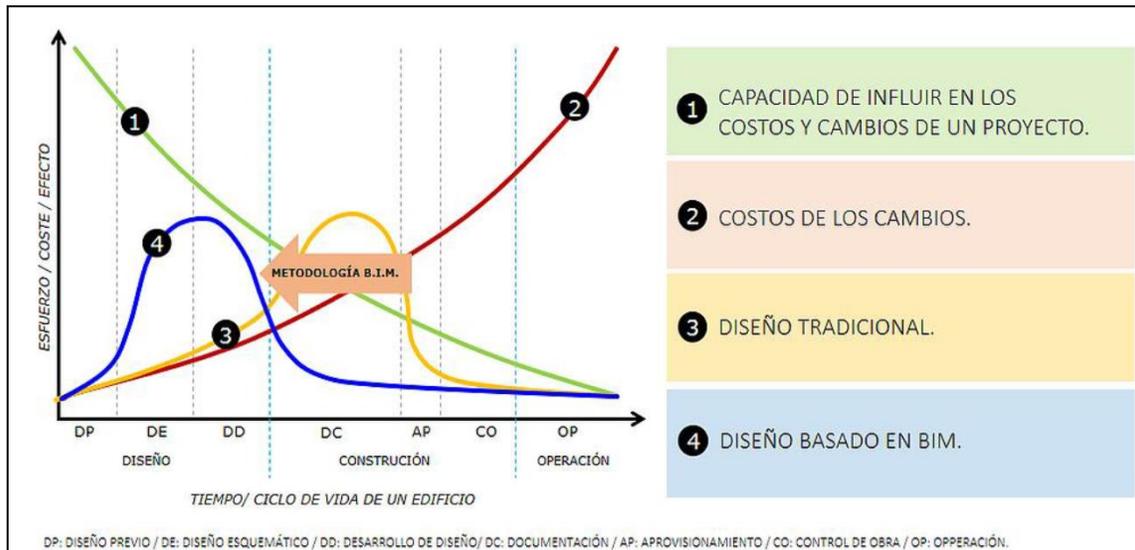


Figura 4. Curva de esfuerzo constructivo de MacLeamy
Fuente: BIM FORUM CHILE

¿Qué se necesita para lograr implementar la metodología?

Alrededor del mundo, en muchos países firmas de empresas consultoras y constructoras han tenido que implementar BIM en sus proyectos como directriz expresa de los gobiernos para poder licitar proyectos públicos, Louay Dahmash (2018) a partir de la recopilación de experiencias de estas empresas, define 10 pasos claves que se deben cumplir para llegar a aplicar BIM en una empresa:

1. Proponerse a conocer BIM: Establecer un equipo de trabajo dentro de la empresa que se dedique a investigar acerca de la

metodología y cuáles son los beneficios reales que se pueden obtener tomando en cuenta las características de los proyectos y procesos que normalmente realizan.

2. Comunicar el cambio al equipo de trabajo: La comunicación de la transición a la metodología debe darse a los empleados de la empresa por medio de técnicas de liderazgo donde se le de confianza y seguridad a cada uno de los colaboradores que va a estar de una u otra manera involucrado en el proceso de que el cambio es necesario y positivo para el futuro de la compañía.

3. Estudio de costos para verificar hasta qué punto es factible la transición: El migrar los procesos que antes se manejaban bajo métodos 2D CAD a modelos 3D requiere de recursos que se deben de contemplar en los gastos anuales de producción de una empresa; estos costos corresponden al licenciamiento de los softwares tanto de autoría de diseño como de coordinación 3D y almacenamiento de la documentación, los cuales, dependiendo de la casa comercial que lo distribuya, pueden resultar sumamente costosos e insostenibles en caso de que la empresa no genere el volumen de trabajo mínimo para cubrir los gastos, lo que la llevaría a explorar otras opciones como el alquiler de las licencias por un tiempo más corto o el subcontratar profesionales tengan las condiciones necesarias para realizar los trabajos.
4. Desarrollar un plan de transición a la metodología: Esto busca minimizar las dudas y posibles errores a la hora de seguir nuevos procedimientos requeridos para aplicar la metodología. Se busca estandarizar los procesos por medio de diagramas de flujo que ayuden a tener una mejor interpretación y ser una guía en caso de que exista alguna duda asociada al cambio.
5. Iniciar un plan piloto entrenando a un equipo específico encargado de implementarlo: Busca aplicar los nuevos procesos ante situaciones específicas con el fin de capacitar al equipo y prepararlo a una implementación en la totalidad de los procedimientos realizados en la empresa.
6. Procesos predilectos de documentación: A partir de las experiencias obtenidas en los planes piloto, se deberá definir la forma en que el equipo de trabajo se encargará de guardar, compartir y buscar la información de los proyectos, teniendo inicialmente una flexibilidad para su definición y que posteriormente se puedan estandarizar.
7. Generar prospectos BIM: Buscar a una o varias personas dentro de la empresa que

se encuentren lo suficientemente motivados con la metodología e invertir en ellos con capacitaciones y programas para que sean los encargados de introducir la nueva visión de la empresa al resto de los compañeros y sirvan como mentores para las posibles nuevas contrataciones.

8. Entrenar: Es importante que, aunque la empresa ya tenga una visión del cambio y lo adopte, entrenar y repasar los conceptos de las prácticas y procesos a seguir antes de iniciar cada proyecto nuevo para que mantengan la mente actualizada y no olviden u omitan procesos.
9. Integrar con otros modelos: Con esto se refiere a trabajar en conjunto con otras empresas que apliquen la metodología, esto con el fin de abrir las puertas a procesos de coordinación y colaboración que a la vez permitan darle a la empresa prestigio en la aplicación del BIM.
10. Expandirse e innovar con BIM: Comercializar la metodología con los clientes para que estos entiendan el valor real que tiene y los beneficios que pueden obtener de ella.

Estado actual del BIM a nivel internacional

El crecimiento acelerado de la industria AEC ha provocado que muchas personas se hayan quedado rezagadas en el proceso de evolución de la construcción, ya que las generaciones de ingeniero *seniors* de la actualidad han construido sus carreras con base en métodos de diseño manuales y CAD que por aproximadamente 40 años fueron la más importante herramienta de trabajo para los ingenieros y arquitectos del sector desde al año 1970, lo que en algunos casos representa una obstrucción al cambio de los métodos de trabajo con que se han levantado la mayor parte de las empresas que laboran en el país en la actualidad. (Mora & Murillo, 2019).

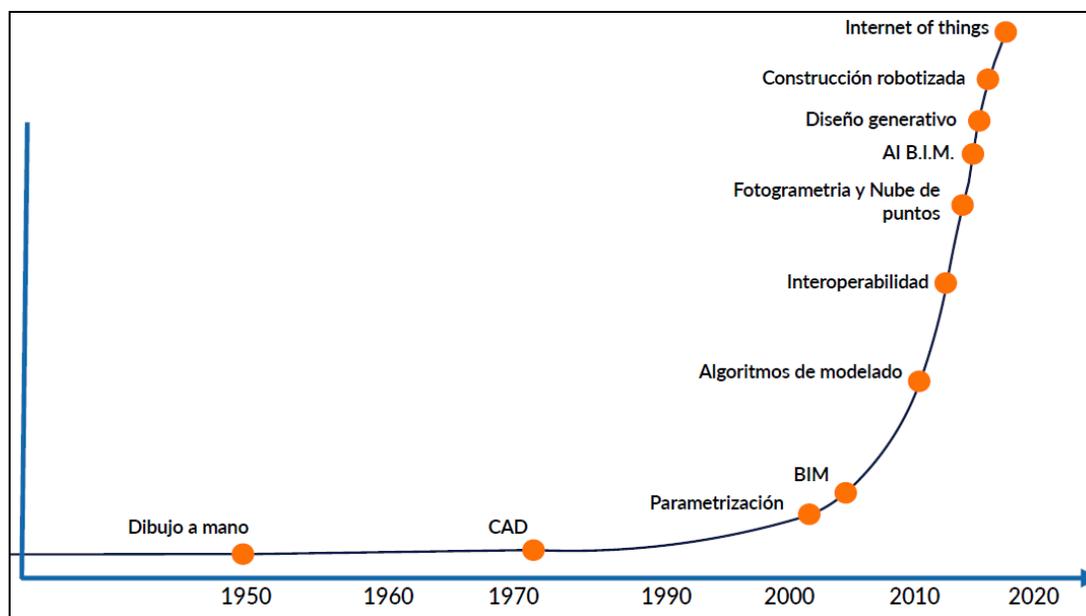


Figura 5. Crecimiento de la industria AEC a nivel mundial
Fuente: Mora & Murillo, 2019

A nivel mundial, los conceptos BIM surgen entre la década de los 70's y los 80's. El desarrollo de la herramienta de modelado ArchiCAD en el año 1982 en Hungría es visto como el acontecimiento que dio vida al concepto BIM, más adelante, en el año 2000 se crea el software Autodesk Revit, que se ha visto como una revolución para la industria AEC y su inmersión en la metodología BIM. Mientras que la tecnología ha tenido un crecimiento exponencial a lo largo de los últimos 30 años e industrias como la manufactura y las relacionadas con otras ingenierías han logrado optimizar sus procesos de manera que obtienen una gran productividad, el sector construcción ha estado estancado en las mismas prácticas constructivas y administrativas durante todo ese tiempo, lo cual ha hecho que la transición a la implementación de BIM sea lenta (Smith, 2014). A continuación, se presentan algunos aportes de los países que han incursionado en el uso del BIM:

Estados Unidos

Ha sido líder y pionero a nivel mundial en el desarrollo e implementación de la metodología desde el año 2003 a partir de la organización GSA (Administración de Servicios Generales), la cual

ha sido la responsable de la construcción y operación de todos los edificios federales construidos en el país. La organización ha desarrollado guías y estándares desde el año 2007 que han sido reconocidas a nivel mundial. El país cuenta con un plan en el que se abarca el tema BIM desde la academia y además posee una biblioteca BIM abierta a los profesionales que contiene información teórica y herramientas para el uso en el modelado de sus proyectos. (Smith, 2014).

Reino Unido

En el Reino Unido, el gobierno ha introducido la estrategia de implementación más ambiciosa y avanzada del BIM a nivel mundial por medio de la organización *BIM Task Group*, la cual en 2011 determinó que para el año 2016 todos los proyectos públicos deberían desarrollarse en BIM, dando un lapso de transición de sólo 5 años. El gobierno ha dado el apoyo necesario durante la etapa de transición desarrollando las herramientas tecnológicas necesarias para solicitar los requerimientos de los proyectos, como el *BIM Standard Comitee*, encargado de la estandarización de entrega de información para los proyectos. La misión del proyecto es reducir un

20% de los costos de adquisición de obra pública con el plan de implementación según Peter Smith (2014).

Chile

El caso chileno es uno de los más desarrollados a nivel de América Latina, donde a partir de la organización Plan BIM Chile y el apoyo del gobierno central y los demás gobiernos locales se ha propuesto una iniciativa a un lapso de 10 años en que se propone el desarrollo y operación de proyectos de edificación e infraestructura pública para el año 2020 y para el 2025 todo proyecto de construcción debe ser desarrollado en BIM. La iniciativa busca trabajar en conjunto con los integrantes del sector profesional a partir de acciones necesarias que se deben cumplir desde la formación académica para poder mejorar la recepción de la información de la metodología. Plan BIM define 4 acciones de apoyo que deben cumplir los integrantes del sector AEC las cuales, según Planbim (2019) son:

- Diagnosticar y construir la línea base de formación de capital humano en BIM en Chile.
- Definir roles y responsabilidades BIM para la industria de la construcción.
- Definir objetivos de aprendizaje asociados a los roles y responsabilidades BIM.
- Gestionar becas y cofinanciamiento de capacitaciones en BIM.

Además, las acciones necesarias que se lleven a cabo en las instituciones académicas según Plan BIM son:

- Aumentar la introducción de contenidos BIM dentro de las mallas de las carreras.
- Aumentar la oferta de cursos y programas de formación continua en BIM.
- Diversificar los contenidos que se están enseñando relacionados a BIM, e incluir temáticas enfocadas en procesos, estándares y trabajo colaborativo.

En el año 2019 se lanza el Estándar BIM para Proyectos Públicos, un documento basado en estándares de diferentes países optimizado para el uso que se le dará al país, este documento es la base para el desarrollo de proyectos BIM en el

país y demuestra el compromiso que ha tenido el país para introducir la metodología en sus proyectos.

Otros casos

La región escandinava también ha tenido un desarrollo importante en este tema, donde en países como Finlandia, existen organizaciones encargada del BIM llamada *Sennatti* y conocida a nivel internacional como *The Senate Properties*, la cual es una agencia estatal que exige BIM desde el año 2007. Esta institución exige formato IFC en los proyectos de construcción y aportó directrices en las que está basado COBIM (Monfort, 2015). El gobierno danés también ha hecho una importante inversión para solicitar el uso de BIM en los proyectos de construcción desde que en el año 2007 se exige el uso de herramientas digitales en proyectos de más de un millón de euros, en 2001 se ordenó el uso de BIM en los proyectos de más de 2.7 millones de euros de índole privada y 677 mil euros para las obras públicas y tienen un plana en proceso en el que a partir del año 2020 habrá un mandato BIM para todos los proyectos de construcción. Noruega es otro de los países con gran desarrollo en el área, implementando BIM desde la academia y exigiendo su uso en dirección de obras públicas y de propiedad del gobierno. (Monfort, 2014)

BIM en Costa Rica

Aunque algunos países vienen desde hasta hace más de una década realizando campañas para introducir el uso de BIM en sus proyectos de construcción, el caso de Costa Rica es diferente, ya que la aplicación de la metodología no ha sido prioridad del gobierno y más bien, han sido las empresas privadas, en busca de mejorar sus procesos constructivos y aumentar la productividad, quienes han buscado implementar por sus propios medios el BIM.

Algunas empresas privadas han venido implementando la metodología desde hace más de 5 años en algunos casos. Desde Casa Presidencial, en la oficina de la Primera Dama se lleva a cabo un plan de implementación BIM a nivel nacional que tiene el objetivo de lograr una implementación en el sector público en un lapso

de 5 años. La comisión encargada del plan involucra instituciones públicas, autónomas, centros académicos y empresas privadas. (Mora & Murillo, 2019) .

Actualmente, la mayor barrera que muestra el BIM en Costa Rica es el nivel de conocimiento que hay entre los directores, constructoras y demás profesionales asociados a la industria AEC, donde el común denominador entre los involucrados es el miedo al cambio y la gran barrera tecnológica. Las empresas que han venido incursionando por iniciativa propia en el desarrollo de la metodología y que han logrado optimizar sus proyectos han liderado la creación del BIM Forum Costa Rica, una instancia técnica y permanente reconocida por la Cámara Costarricense de la Construcción que busca posicionarse como el principal referente técnico del BIM en el país y que busca, a partir de la colaboración de los diferentes profesionales y empresas de la industria AEC en Costa Rica, estandarizar los conceptos BIM y generar una guía de implementación para que se pueda aplicar la metodología como un requisito a nivel país para el desarrollo de los proyectos de construcción (Briceño, 2018).

Como parte de esta colaboración de la Cámara Costarricense de la Construcción con entes públicos y la empresa privada, ya se tienen los primeros productos del compromiso de la organización, creando talleres de implementación BIM dirigido a ingenieros y arquitectos que están en el proceso de establecimiento de una hoja de ruta para aplicar BIM en sus empresas, donde a partir de conferencias brindadas por profesionales que han ejecutado proyectos de esta índole se busca una forma de visualizar la guía teórica a partir de casos reales de aplicaciones prácticas (Cámara Costarricense de la Construcción, 2019).

Normativa

A nivel internacional existen diferentes normas ISO que estandarizan procesos BIM para mejorar el intercambio de información de todo tipo a lo largo de la vida útil del proyecto entre todos los involucrados en el proceso de diseño, construcción y operación del inmueble.

La normativa de estandarización de procesos BIM está atada a las especificaciones que adopte el ente encargado de la implementación BIM en

cada país. En el caso de Costa Rica, actualmente no existe ningún documento oficial publicado de manera oficial por parte de un organismo regulador del sector construcción para adoptar o establecer una normativa específica que regule la implementación en el país; normalmente, las empresas que han implementado la metodología realizan un compendio de los documentos de estandarización de otros países y lo adaptan a los requerimientos de los proyectos y sus propios métodos de trabajo. Costa Rica normalmente se adapta a la normativa que establezca Estados Unidos, por lo que muy posiblemente, un plan de implementación BIM en el país regule la metodología bajo los estándares de la Guía para la Elaboración de Planes de Ejecución BIM de la Universidad de Pennsylvania.

En el año 2017 nació el BIM Forum Costa Rica el cual es un organismo que, bajo la guía y coordinación de la Cámara Costarricense de la Construcción se han propuesto el objetivo de promover la metodología en el país. La organización se define como “un Comité Técnico conformado con el propósito de promover la implementación consultada y paulatina de los procesos BIM en la industria de la construcción. BIM Forum Costa Rica busca canalizar el conocimiento, información e inquietudes técnicas relacionadas a BIM, constituyéndose también en una instancia de desarrollo, difusión y buenas prácticas para el desarrollo tecnológico del sector construcción” (BIM Forum Costa Rica, 2019).

Implementación de la metodología BIM

La implementación de la metodología en una empresa no es un procedimiento sencillo que se pueda realizar simplemente migrando a otro software para la representación de la información, sino que es todo un proceso en el que se deben involucrar todos los integrantes de la compañía con el fin de enrumbar la transición y que toda la compañía persiga un objetivo común bajo la misión y visión que la gerencia desee definir. El tomar en cuenta a los trabajadores de la empresa, permite también disminuir conflictos de asimilación de ideas durante los nuevos procesos a seguir, así como tener una visión más amplia de cómo se

pueden mejorar los procesos desde cada departamento de la oficina. (Structualia, 2019).

Como parte de las prácticas recomendadas a la hora de incursionar en la metodología BIM, está el realizar un Plan de Implementación BIM (BIP, por sus siglas en inglés), el cual define una serie de aspectos a considerar para saber si la empresa es lo suficientemente sólida para adoptar la metodología o qué acciones se deben tomar para poder realizar el cambio. Un BIP no es un documento con un formato en específico; sin embargo, estas son algunas de las consideraciones que hay que tener en cuenta para comenzar a desarrollarlo desde el punto de vista ingenieril (Coates et al, 2010):

- Revisión detallada y análisis de las prácticas actuales de la empresa
- Identificación de los posibles beneficios en temas de eficiencia administrativa que ofrece BIM.
- Diseño de nuevos flujos de trabajo y procesos que adopten la visión de la metodología para la compañía
- Implementación y desarrollo de BIM, realizar planes piloto en proyectos ejecutados, en desarrollo y por ejecutar para tener una base de datos de los procesos, experiencia y entrenamiento del equipo de trabajo.
- Revisión del proyecto, difusión e integración en el plan de estrategia de implementación desde una perspectiva operacional de la compañía, deben realizarse otro tipo de análisis referentes a la administración del negocio, a continuación, se presentan algunos aspectos a considerar (Structualia, 2019).
- Análisis actual de la organización y las posibles variaciones que se requerirán para el cambio de la forma de trabajo.
- Diagnóstico y propuesta del BIP, tomando en cuenta que debe haber una actualización o reestructuración del personal de la compañía a partir de algunos de los siguientes criterios: Renovación total del equipo de trabajo por profesionales especializados en la metodología BIM, introducción de un grupo BIM especializado que colabore en la implantación o formar al equipo de trabajo actual para que tengan competencias en la metodología BIM.

- Construcción de perfiles BIM y estrategia de formación para los encargados de capacitar al resto del equipo.
- Análisis financiero del retorno de inversión tomando en cuenta costos de capacitación, licenciamiento de software, actualización de hardware, readaptación de procesos y cualquier otro aspecto que conlleve un posible aumento en los costos operacionales de la compañía.

¿Por qué realizar la transición a BIM?

Aunque la etapa de transición a la metodología BIM puede ser un poco complicada en temas económicos y operacionales de la empresa, el cambio es necesario y tarde o temprano todas las empresas constructoras deberán estar en la capacidad de administrar un proyecto con los requerimientos mínimos para que este pueda considerarse BIM.

Primeramente, la evolución de utilizar aplicaciones BIM en lugar de CAD 2D implica un gran avance en cuanto a productividad desde los departamentos de diseño de las empresas sólo por el simple hecho de no tener que modificar manualmente en cada una de las plantas dibujadas las variaciones que se presenten respecto a la versión original y tomando en cuenta que al implantar herramientas de modelado de la información a partir de representaciones visuales en 3D, se construyen los edificios de manera virtual con los elementos reales de construcción, permitiendo anticipar su comportamiento en cuanto a dimensiones, forma, ubicación e integración con el resto de los elementos del modelo (Grobowski, 2010). En la figura 5 se muestra la comparación del tiempo total invertido durante los procesos de diseño, documentación y coordinación de los procesos BIM y CAD 2D.

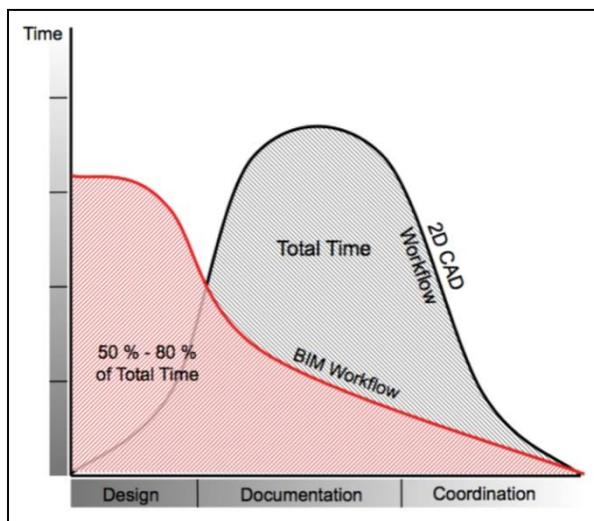


Figura 6. Relación CAD vs BIM
Fuente: GRAPHISOFT, 2019

Esta relación demuestra que dedicándole más tiempo del que normalmente se le invierte a las etapas de diseño, se puede lograr un aumento en la productividad a la hora de obtener la documentación (planos y detalles) y la coordinación al aplicar BIM, y añadiéndole el beneficio que brinda en las siguientes etapas del ciclo de vida del proyecto como la variación del diseño respecto a los cambios realizados en sitio o el control de activos para las etapas de operación de mantenimiento, BIM le saca una clara ventaja a los sistemas CAD 2D y 3D.

Constructibilidad

El concepto constructibilidad abarca uno de los temas de mayor relevancia al aplicar BIM en un proyecto constructivo. La constructibilidad envuelve la integración en tiempo completo de conocimientos basados en experiencia en campo del desarrollo de procesos constructivos durante todo el ciclo de vida del proyecto, iniciando desde el planteamiento preliminar y diseño. Tomando en cuenta los efectos presentados en la curva de esfuerzo constructivo de Mc Leamy de la Figura 4, se observa que a medida que avanza el proyecto, la capacidad de influir en los costos y cambios asociados a los elementos que se van a construir disminuye rápidamente, a la vez que el costo de los cambios realizados aumenta cada vez más, hasta llegar a un punto en el que no es posible

realizar variaciones sin que implique un aumento en el costo o plazo inicial del proyecto.

Una de las causas del bajo rendimiento en la ejecución de una construcción es la mala relación entre los departamentos de ingeniería (diseño), proveeduría y construcción, ya que estos trabajan en silos buscando cumplir con un entregable específico que normalmente no coincide ni responde a las necesidades de sus sucesores, esto se da normalmente por la urgencia de un cliente de construir el proyecto lo antes posible una vez que se firma el contrato, lo cual no permite a los encargados de la etapa constructiva involucrarse en el diseño.

Los expertos en constructibilidad son aquellos ingenieros de proyecto, residentes o maestros de obra que están completamente al tanto de la manera en que se realizan los procesos constructivos y su supervisión, conocen qué actividades o elementos son los que normalmente tienen una mayor complicación constructiva y tienen una gran capacidad de resolver conflictos inesperados presentados en el campo. Su inclusión desde las etapas tempranas de es sumamente importante a la hora de buscar realizar procesos BIM debido a que brindan una perspectiva más real de la manera en que se deben construir los elementos y la secuencia de las actividades, por lo que guían a los diseñadores a realizar modelos optimizados y así disminuir los procesos. (Bentley, 2016).

Plan de Ejecución BIM (BEP)

La implementación de la metodología BIM en un proyecto de construcción, se realiza a partir de la elaboración de un Plan de Ejecución BIM (BEP, por sus siglas en inglés), el cual es una guía utilizada por los equipos de desarrollo de proyectos para diseñar la estrategia BIM de un proyecto, estableciendo así la base la información y requerimientos necesarios para el cumplimiento de los objetivos establecidos y que todo el equipo trabaje sobre una línea de desarrollo del proyecto para que así sea más sencilla la comunicación y la coordinación de los profesionales inmersos en el ciclo de vida del proyecto (Messner et al, 2019).

El Programa de Investigación en la Construcción Asistida por Computadora de la Universidad Estatal de Pennsylvania posee una publicación llamada Guía de Ejecución de Planes

de Ejecución BIM, la cual presenta una serie de fundamentos a tomar a la hora de ejecutar un BEP y la cual será la base de los aspectos a considerar en el proyecto.

Un BEP puede ser tan resumido y conciso o tan extenso y detallado como se desee, lo que se busca es guiar a cada uno de los profesionales involucrados en el proyecto a trabajar bajo una visión conjunta donde se optimicen los procesos y canales de comunicación y colaboración para poder obtener el producto final deseado. El "BIM Plan", como también se le conoce se desarrolla a partir de 7 puntos clave establecidos por la guía de *Penn State* (Messner et al, 2019), los cuales se detallan a continuación:

1. Todos los involucrados deben entender claramente y comunicar los objetivos estratégicos de la implementación BIM en el proyecto.
2. Las organizaciones deben entender sus roles y responsabilidades en la implementación.
3. El equipo debe ser capaz de diseñar un proceso de ejecución que encaje con el negocio, prácticas y flujos de trabajo típicos de cada uno de los miembros.
4. El plan deberá describir los recursos adicionales, capacitaciones y otras

habilidades necesarias para implementar con éxito los usos BIM previstos.

5. El plan proporcionará un punto de referencia que permita describir los procesos a los futuros miembros del equipo de trabajo.
6. A partir de la división de utilidades u honorarios profesionales se puede establecer un compromiso contractual para asegurarse de que cada uno de los integrantes del equipo de trabajo cumpla con las metas asignadas.
7. La línea base de trabajo proveerá objetivos para la medición del progreso a lo largo del proyecto.

La adaptación de procesos BIM debe darse a partir de un análisis de las competencias de todo el equipo de trabajo, realizando adaptaciones en pequeños pasos para así minimizar el riesgo de incumplir los objetivos y generar lecciones aprendidas de cada proyecto finalizado.

Para el desarrollo del Plan de Ejecución BIM, la guía establece un procedimiento a partir de cuatro pasos a seguir diseñados para dirigir a los involucrados en el proyecto a realizar un proceso estructurado para desarrollar planes detallados y concisos para disminuir errores de interpretación o aplicación.

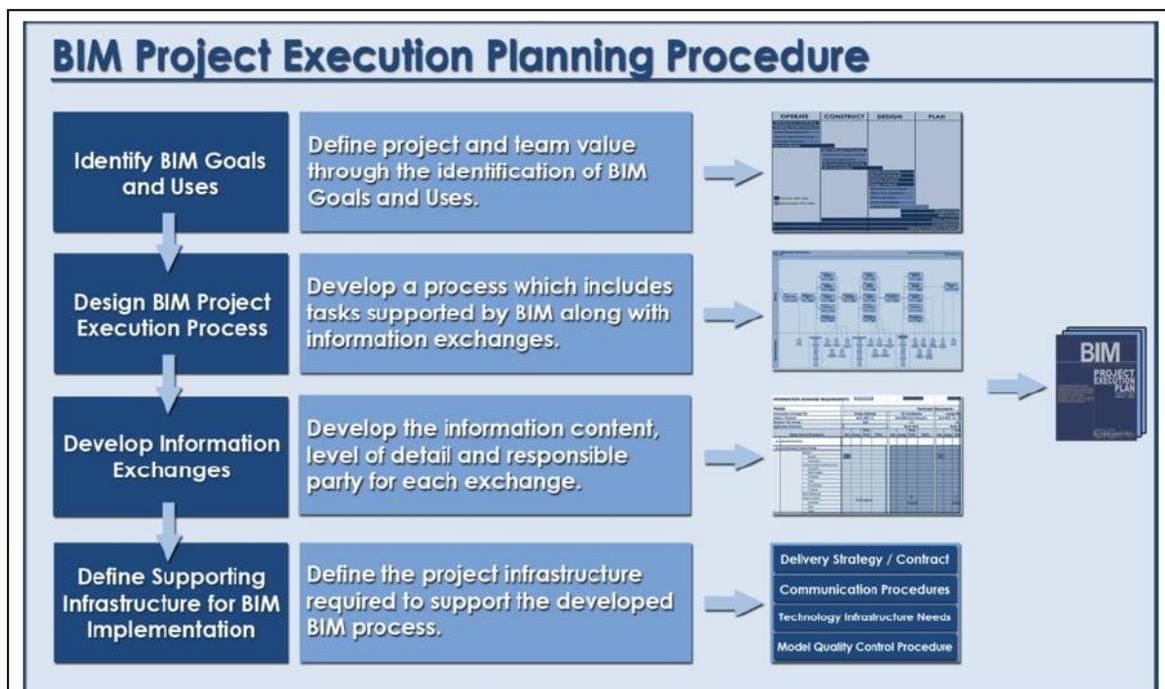


Figura 7. Procedimiento para el desarrollo del Plan de Ejecución BIM
Fuente: (Messner et al, 2019)

Los cuatro pasos buscan definir a qué parte del proyecto se le va a aplicar BIM y de qué forma se llevarán a cabo los procesos, además de estandarizar dentro del equipo de trabajo la manera en que se va a colaborar durante las etapas del proyecto, de qué manera se intercambiará la información, formatos de documentos y archivos, entre otros aspectos.

Objetivos BIM

Los objetivos BIM se obtienen a partir de tener establecidas las metas del proyecto en general, las cuales las define el cliente a partir de establecer qué necesita del proyecto, guiado por algún profesional que conozca del tema y le dé a entender los beneficios que podría llegar a tener. A partir de que el cliente define sus necesidades, el equipo encargado de las fases de construcción deben establecer de qué manera van a lograr cumplir los requerimientos que se les solicitan. Estas metas deben ser medibles para poder llevar un control de su avance y establecer el beneficio real que se podrá obtener.

En general, los objetivos BIM pueden abarcar aspectos de desenvolvimiento en general del proyecto donde se busque disminuir los tiempos de construcción, costos, rendimiento y calidad de los procesos constructivos y aspectos más administrativos como reducción de tiempos de cuantificación de los elementos y plantillas de documentación automáticas que simplifiquen la fase de procesamiento de datos.

Usos BIM

Los usos BIM son el primer paso hacia el desarrollo de un BEP y la implementación de la metodología en general. Este apartado define, a partir de los objetivos del proyecto establecidos inicialmente, 25 usos a través de los cuales se busca cumplir con las metas propuestas para la adaptación de la metodología BIM al proyecto, fraccionados según las fases del ciclo de vida del proyecto en que se manifiestan y se dividen en 2 tipos: Usos BIM primarios y secundarios.

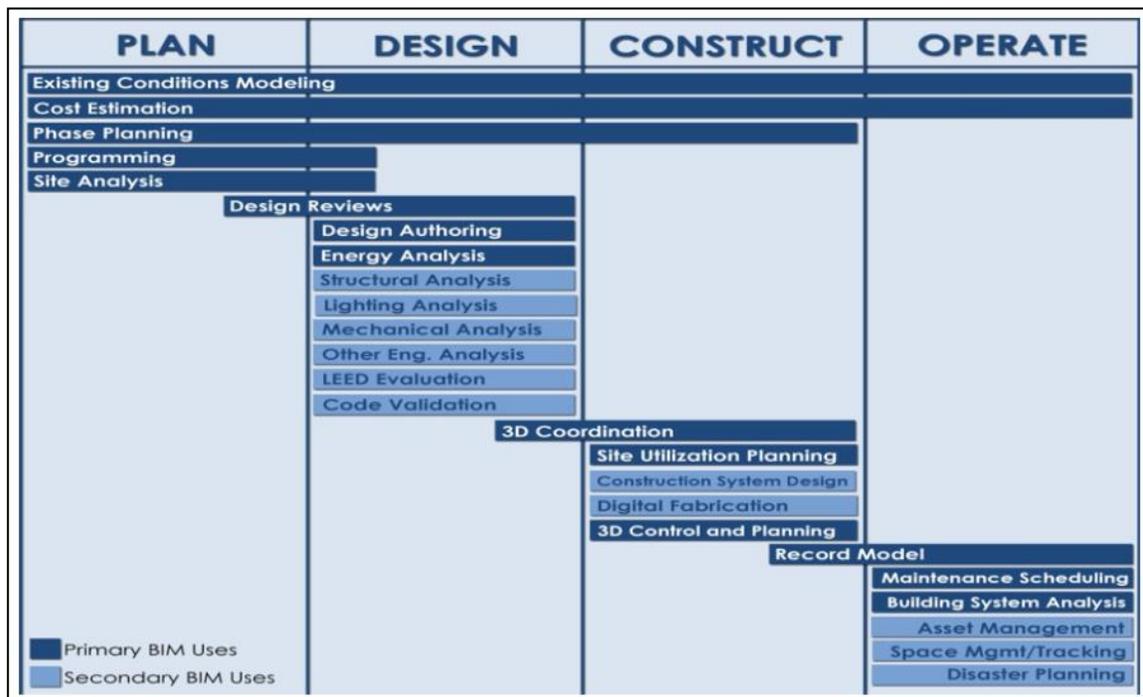


Figura 8. Usos BIM durante el ciclo de vida de un proyecto
Fuente: (Messner et al, 2019)

Los usos primarios comprenden los procesos a realizar que son clave para el cumplimiento de los objetivos y que el proyecto pueda ser definido como BIM en general, mientras que los secundarios comprenden procesos que mejoran el desarrollo de la metodología sirviendo como complemento para cada una de las disciplinas. Como se observa en la Figura 8, los usos pueden estar involucrados únicamente en una fase del proyecto o presentarse durante todo el ciclo de vida del proyecto.

Otra de las publicaciones de Programa de Investigación en la Construcción Asistida por Computadora de la Universidad Estatal de Pennsylvania (Kreyder & Messner, 2013), corresponde a un documento llamado "Los Usos de BIM", en el cual se describen los 25 usos que puede presentar un proyecto con el fin de servir como una base para la clasificación de los objetivos y la selección de los usos BIM a considerar para el desarrollo del BEP. Dentro de los usos considerados para el desarrollo del proyecto se encuentran:

Modelo de condiciones existentes

Consiste en el desarrollo por parte del equipo de trabajo de un modelo 3D que contenga las condiciones existentes del sitio, con el fin de obtener datos de elevaciones, áreas del sitio para definir la ubicación de la construcción y tomar consideraciones para realizar el diseño de sitio. El modelo se realiza a partir de herramientas de levantamiento topográfico y software para el procesamiento y visualización de la información obtenida en sitio.

Estimación de costos

Asociado con la extracción de información del modelo para la cuantificación, comprende un proceso BIM que contribuya a agilizar los procesos de estimación de presupuesto a partir de hojas de cálculo programadas que puedan mostrar los costos y sus variaciones a lo largo de todas las fases del proyecto y poder realizar las intervenciones necesarias en caso de presentar algún tipo de sobrecosto o crédito para el cliente, permitiendo explorar cambios y distintas versiones del mismo proyecto que presenten variaciones

para que este se pueda ajustar al presupuesto del usuario final.

Esto se logra a partir de un modelado preciso de los elementos del edificio que contenga información acerca de los materiales que componen cada uno de ellos, así se disminuye el tiempo de mano de obra de presupuestistas y se da una rápida toma de decisiones para generar mediciones de materiales, lo que permite invertir mayor tiempo y recursos en la auditoría de los procesos constructivos para mejorar aspectos de productividad. Además, el proceso tiene un valor agregado al integrarlo con un programa de obra para así poder realizar algún tipo de simulación que muestre la secuencia de cómo se construirá el edificio y ayude a identificar conflictos antes de comenzar la construcción.

Fase de planificación

Es el proceso en que un modelo 4D (que equivale al modelo 3D con añadiéndole la dimensión temporal), se utiliza para mostrar la secuencia de la construcción del proyecto que se va a desarrollar. Este uso ofrece tanto al equipo de desarrollo del proyecto como al cliente una herramienta para entender cómo se irán desarrollando los hitos del proyecto y los planes de intervención de la construcción como maquinaria necesaria, cuadrillas de intervención y aspectos sobre seguridad laboral.

Para poder realizar este proceso es indispensable poseer software de programación de proyectos y de modelado 4D que permitan integrar la información del cronograma con los objetos del modelo que sea capaz de mostrar la interacción de los elementos físicos modelados con la dimensión espacial insertada.

Revisión de diseño

Proceso en que los involucrados en la fase de diseño visualizan el modelo 3D y brindan la retroalimentación que crean pertinente a considerar para el mejoramiento del funcionamiento de los elementos y sistemas diseñados de cada una de las disciplinas. Este proceso abarca la forma en que los elementos interactúan a partir aspectos espaciales y funcionales de los objetos, con el fin de optimizar

los diseños y cumplir con los requerimientos tanto del cliente como de los profesionales de las otras disciplinas.

En este proceso se incluyen tanto a los diseñadores como a los profesionales de dirección y ejecución del proyecto e incluso a los contratistas, esto con el fin de aportar consideraciones constructivas y operativas que mejoren el diseño y disminuyan los cambios.

Análisis de ingeniería

A partir de los criterios de los diseñadores y de las herramientas a disposición de cada uno de ellos, se busca utilizar el modelo BIM con el fin de encontrar la forma más efectiva de realizar los análisis requeridos por cada disciplina para elaborar los diseños respectivos. Estas herramientas pueden mejorar en gran medida las decisiones por el hecho de que las mismas permiten realizar simulaciones automatizadas de distintos casos para así obtener la mejor opción en cuanto a costo, constructibilidad y productividad.

Autoría de diseño

Proceso en el que es desarrollado un modelo BIM a partir de un software 3D tomando en cuenta los aspectos obtenidos del análisis de cada uno de los diseños a realizar. Este uso se define a partir de dos grupos de aplicaciones: herramientas de creación de diseño y herramientas de auditoría y análisis con las cuales se crean, estudian y alimentan el modelo de información. Las herramientas de creación de diseño son el primer paso hacia BIM y la clave es conectar el modelo 3D con una poderosa base de datos de propiedades, cantidades, medios y métodos, costos y cronogramas, esto contribuye a mejorar el control y calidad de los diseños y costos generales del proyecto, además de brindar una herramienta de visualización más clara que disminuya la posibilidad de errores de interpretación.

Coordinación 3D

Proceso en que se implementa un software de detección de choques para determinar conflictos

que se darán en el campo a partir de la federación de los modelos de diseño de todas las disciplinas. La meta de este uso es anticipar la mayor cantidad de conflictos que se puedan dar durante el proceso constructivo por errores o descuidos de los diseñadores antes de que comience la etapa constructiva. Además, el proceso busca la disminución de órdenes de cambio en el proyecto que puedan generar una variación de costo y plazo e incrementar la productividad a partir de la representación 3D de la interacción de los elementos más importantes de la construcción.

Fabricación digital

Este uso busca, a partir de la elección de elementos en los que normalmente se invierte mucho tiempo en su fabricación por la necesidad de una gran cantidad de detalles e indicaciones, realizar soluciones constructivas a partir de planos de taller que contengan la información necesaria y la modulación óptima de los elementos necesarios para su fabricación ya sea en taller o en el sitio de la construcción.

Modelo de registro

El modelo de registro se obtiene a través del desarrollo del ciclo de vida del proyecto, donde los modelos diseñados y aprobados inicialmente, se vayan actualizando a lo largo del proceso para que así el cliente pueda obtener un modelo de las condiciones existentes finales del proyecto, asegurándose así que esa entrega *as built* contempla todos los cambios realizados a la obra y contiene toda la información necesaria de los elementos instalados para su uso en un posterior programa de mantenimiento o renovación de la estructura.

Cronograma de mantenimiento preventivo

Uso BIM en el cual se desarrolla una herramienta que permita al usuario final llevar el control tanto de los elementos constructivos (materiales utilizados, tipos de acabados, marcas de productos), como de los equipos y accesorios

instalados en la edificación (accesorios eléctricos, ventiladores, equipo de aire acondicionado, bombeo de piscina, etc.). A partir del programa propuesto, se le ofrece una facilidad de administración de la operación al cliente, buscando el desempeño óptimo del edificio y sus componentes principales a lo largo de su ciclo de vida.

En general, cada uno de los usos BIM definidos necesitan de competencias y recursos mínimos

requeridos para los integrantes del equipo de trabajo (incluyendo al cliente) para poder desarrollar cada uno de estos, su conocimiento se puede visualizar como un filtro para la elección del equipo de trabajo del proyecto con el fin de asegurarse que los procesos BIM empleados en el proyecto no vayan a ser entorpecidos por profesionales poco calificados que no conozcan cómo y de qué manera resolver los requerimientos del proyecto.

Equipo de diseño	Equipo de dirección y ejecución	Cliente
Habilidad para manipular, navegar y revisar un modelo 3D		
Habilidad para comunicarse efectivamente entre los involucrados de diseño, construcción, y equipos de operación del edificio.		
Conocimiento de sistemas del edificio		
Conocimiento de aplicaciones de modelos BIM para actualización de sistemas		
Procedimientos de modelado que faciliten la extracción de datos de los modelos		
Habilidad para evaluar un modelo a través de herramientas de análisis de ingeniería		
Conocimiento de técnicas de modelado analítico		
Habilidad para asesorar un modelo a través de herramientas de análisis de ingeniería		
Conocimiento del proceso general de construcción		
Conocimiento de herramientas de creación de modelos BIM		
Conocimiento de principios de constructibilidad		
Capacidad de comprender y crear modelos de fabricación		
Habilidad para reconocer procesos típicos constructivos		
	Capacidad de traducir el conocimiento de campo a un proceso tecnológico	
	Capacidad para manipular e integrar el programa de construcción a un modelo 3D	
	Habilidad para organizar y manipular bases de datos	
	Habilidad para comprender los procesos de operaciones para asegurar un correcto ingreso de información.	

Figura 9. Competencias requeridas del equipo de trabajo en un proyecto BIM
Fuente: Elaboración propia

El nivel de conocimiento de un equipo de trabajo que desarrolle la metodología BIM debe ser elevado, ya que necesitan tanto los conocimientos que comúnmente desarrollan los profesionales de cada área respecto a sus respectivos métodos de diseño, normativa y consideraciones extra como el suplemento de saber manipular herramientas BIM, conocer sus alcances y de qué manera se le puede obtener un beneficio real al proyecto. Es por esto que los profesionales inmersos en los procesos BIM son a veces más costosos que los que no practican la metodología dentro de su ambiente de trabajo, ya que los costos de capacitación y adaptación al BIM son elevados.

En la Figura 9 se muestra el nivel de conocimiento mínimo que debe tener tanto los involucrados en el proceso de diseño, dirección y construcción y el cliente para tener claro el rumbo de la aplicación de la metodología en el proyecto.

Aunque el cliente no solicite el uso de la metodología, es importante mostrarle los beneficios que podría llegar a tener aplicándola, ya que la facilidad que le brinda el aplicar BIM en su proyecto tanto en las etapas de diseño y construcción como en las de operación y mantenimiento de la obra podría resultar en una solución que el cliente esté buscando y que por desconocimiento no crea que aplicando estos principios desde el inicio del ciclo de vida del proyecto pueda obtener información tan valiosa.

Equipo de diseño	Equipo de dirección y ejecución	Cliente
Equipo de topografía convencional		
Software y herramientas de análisis de ingeniería		
Software de diseño		
Normas y códigos de diseño		
Software de modelado de modelos de información de construcción		
	Software para federación y coordinación de modelos 3D	
	Software de estimación basado en modelos	
	Softwares de integración para programación y modelado 4D	
	Información acerca de costos	
	Software de revisión de diseño	
	Métodos de fabricación	
	Software de manipulación de modelos 3D	
		Acceso a la información esencial en formatos electrónicos
		Base de datos de activos y equipos con metadatos
Hardware adecuado para ejecutar software		

Figura 10. Recursos del equipo de trabajo en un proyecto BIM
Fuente: Elaboración propia

La Figura 10 muestra los recursos requeridos para llevar a cabo procesos BIM en cuanto a equipo básico, software, hardware e información básica que maneja normalmente una empresa en cuanto a normativa y registro de rendimientos y procesos constructivos. Algunos de estos recursos son necesarios únicamente para uno de los equipos de trabajo específicos del proyecto, otros son compartidos y algunos involucran hasta al cliente, dependiendo del valor real que tenga la metodología según las funciones que tendrá la edificación durante su ciclo de vida.

Diseño del proceso del Plan de Ejecución BIM

Una vez que se encuentran definidos los usos BIM es importante tener claro el procedimiento para el desarrollo del BEP y su implementación en la generalidad del proyecto. El mapeo del desarrollo de los procesos BIM en la generalidad del proyecto es uno de los pasos a seguir que brinda una gran efectividad a la hora de realizar el plan y funciona como una base de identificación de otros temas importantes de implementación como criterios para la selección de futuros equipos de trabajo,

definición de aspectos contractuales, requerimientos de entrega de información, entre otros.

Mapeo del Proceso de Ejecución del Proyecto

El mapeo de los procesos de ejecución consiste en diagramas de flujo de proceso que contengan la información necesaria para lograr que todo el equipo entienda la manera en que se van a ejecutar los procesos, además de identificar qué información es requerida de cada involucrado y se dividen en dos tipos: Nivel 1 y Nivel 2 (Mora & Murillo, 2019).

Los flujos de proceso de nivel 1 se encargan de ubicar los usos BIM y ordenarlos según la secuencia del proyecto, definen qué información se debe obtener de cada uso y quién es el responsable de la entrega de la documentación.



Figura 11. Formato de entrada de un flujo de proceso nivel 1
Fuente: (Kreyder & Messner, 2013)

La Figura 11 corresponde a un machote de la composición de la información necesaria para la elaboración de un flujo de proceso nivel 1, teniendo como eje central el nombre del uso BIM

que se desarrollará, indicando qué equipo de trabajo es el responsable de llevarlo a cabo, información de entrada que se obtuvo de procesos anteriores, información de salida que corresponde a qué se va a obtener de este uso, en qué fase del ciclo de vida del proyecto se aplicará este uso y por último, un mapa detallado que corresponde a un flujo de proceso nivel 2.

A continuación, se presenta un ejemplo detallado del desarrollo de un flujo de procesos nivel 1.

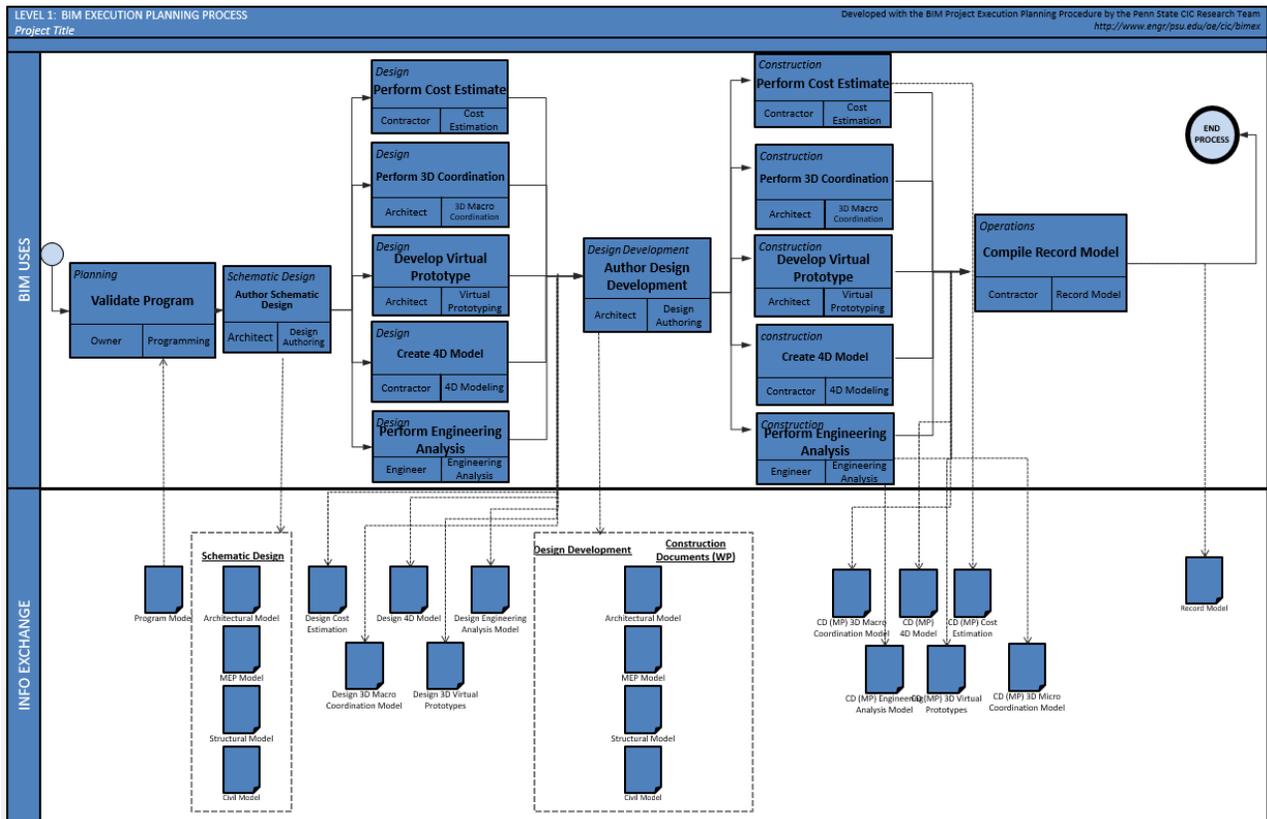


Figura 12. Ejemplo flujo de procesos nivel 1
Fuente: (Kreyder & Messner, 2013)

En el ejemplo de la Figura 12 se puede observar cómo, a partir de los usos BIM definidos desarrollados en el proyecto, se crea un diagrama que lo secuencia, establece precedencias de cada uso y qué información se intercambiará luego de ejecutar algún proceso.

Un flujo de proceso nivel 2 se encarga de demostrar la manera en que se desarrollará cada uno de los usos BIM mostrados en el de nivel 1.

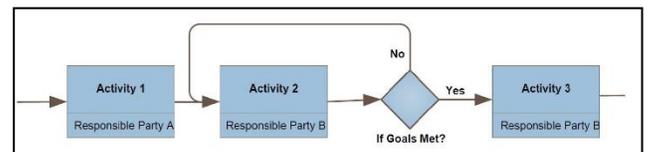


Figura 13. Formato de entrada de un flujo de proceso nivel 2
Fuente: (Kreyder & Messner, 2013)

A diferencia de los diagramas de nivel 1, en estos mapas, se descompone cada uso en procesos individuales, definiendo más

detalladamente quién será el encargado de ejecutar cada actividad. Estos mapas, como se muestra en la Figura 13, contienen procesos de tomas de decisiones, los cuales generan ciclos de

corrección de errores o cumplimiento de requisitos para poder avanzar a la siguiente actividad.

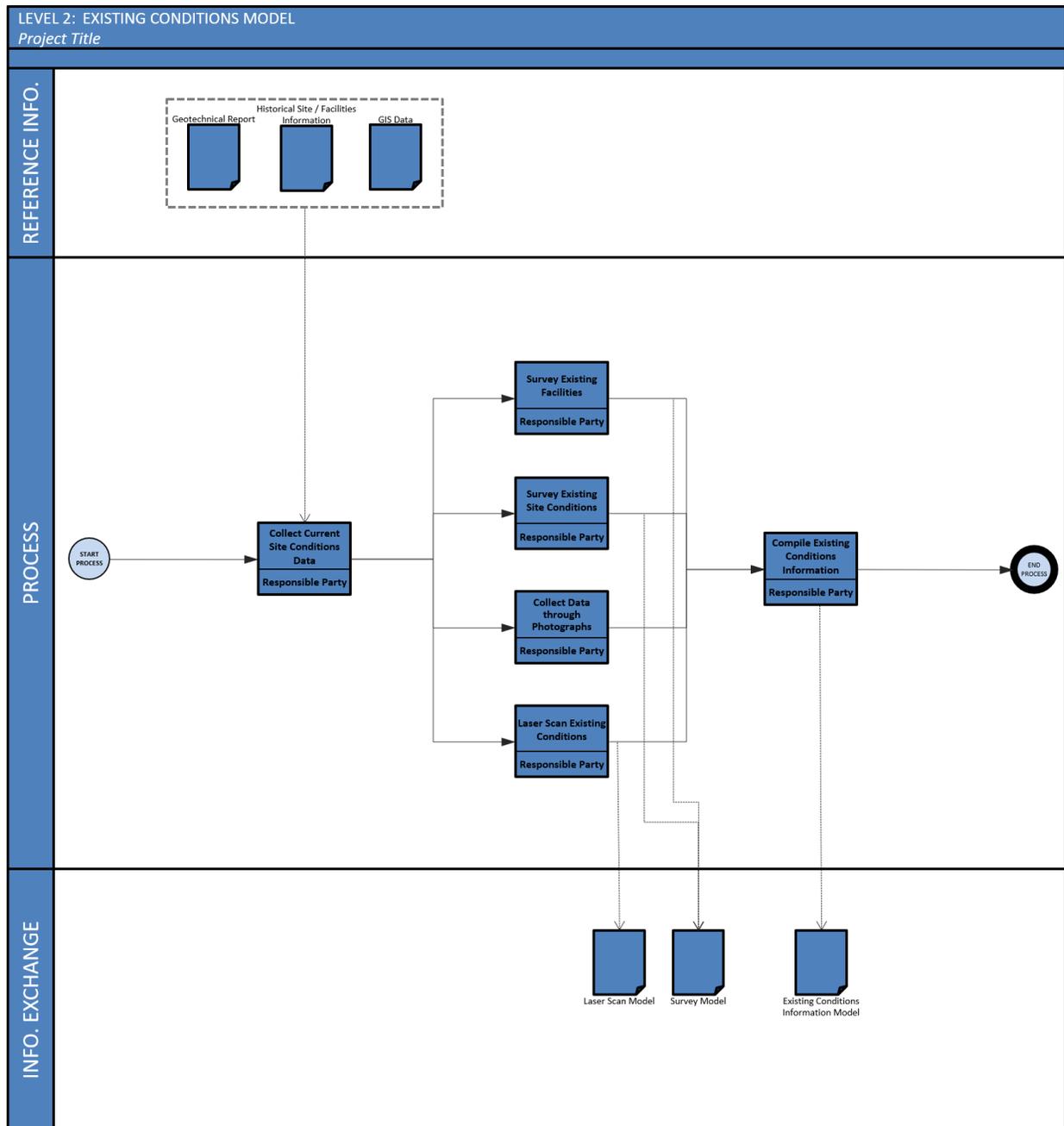


Figura 14. Ejemplo flujo de proceso nivel 2
Fuente: Adaptada de Kreyder & Messner, 2013

En la Figura 14 se muestra un caso típico para la elaboración de un flujo de proceso nivel 2 del uso BIM de Coordinación de Diseño. Este se

diferencia del presentado en la Figura 11 por el hecho de abarcar únicamente uno de todos los usos expuestos, seccionar los procesos en

actividades y los procesos de toma de decisiones; además, ofrece una visualización más sencilla de qué información es requerida para desarrollar cada actividad en específico y qué documentación genera el cumplimiento de esa actividad.

Desarrollo de intercambios de información

Durante este proceso se define la forma en que los involucrados en los procesos de trabajo realizarán la entrega de la información, tomando en cuenta quiénes son los encargados de la creación de la información (definidos en los flujos de procesos) y qué información es necesaria entregar luego del cumplimiento de algún objetivo.

Para definir los requisitos de información se debe elegir un sistema de clasificación de los elementos del modelo (Uniformat, Masterformat, Omniclass...), identificar a quién se le debe entregar la documentación, el formato de los archivos y comparar la información recibida inicialmente con la información de salida, con el fin de comprobar que los elementos de ambos archivos coinciden.

Definición del formato del Plan de Ejecución BIM

Teniendo definidos los objetivos, usos, flujos de trabajo y procesos de intercambio de información del proceso BIM, el paso final para el desarrollo de un BEP es plasmar toda esa información en un solo documento, definiendo una serie de categorías en la que se dividirá el documento que se encargarán de detallar procedimientos, responsables, estándares y estrategias necesarias para desarrollar un proyecto bajo la metodología BIM.



Figura 15. Capítulos del Plan de Ejecución BIM
Fuente: (Kreyder & Messner, 2013)

Kreyder & Messner (2013), definen una serie de categorías del BEP que corresponde a cada capítulo del documento. Estas categorías pueden variar significativamente; sin embargo, componen una base para el desarrollo de un plan de ejecución en la implementación de la metodología BIM en un proyecto. En general presenta desde información básica del proyecto, integrantes y sus roles, contactos hasta procesos complejos establecidos por los equipos de trabajo como los procesos de colaboración interdisciplinaria.

Herramientas BIM

En el mercado hay infinidad de herramientas compatibles para el desarrollo de un proyecto de construcción bajo la metodología BIM. Estas herramientas corresponden principalmente a software de modelado 3D capaces de almacenar información acerca de los elementos que se modelan y que además tengan la capacidad de integrar en un solo ambiente los modelos arquitectónicos, estructurales y MEP (eléctrico, mecánico y plomería) para su posterior proceso de coordinación. Las herramientas utilizadas durante el desarrollo del presente proyecto se muestran a continuación:

LOD Planner

LOD Planner consiste en una herramienta cuya función es administrar el Plan de Ejecución BIM. Esta permite trabajar en un entorno que brinda la facilidad de plantillas para redactar cada uno de las categorías y capítulos del BEP a partir de estándares internacionales, definir el nivel de desarrollo de los elementos a modelar y posee la opción de involucrar al equipo de trabajo para que pueda colaborar en la redacción del plan y revisarlo durante el proceso.

Autodesk AutoCAD

Software de dibujo 2D utilizado para definición espacial inicial del proyecto que posteriormente será utilizada como planta base del proyecto, además de tener la capacidad de procesar datos 3D como puntos de nivel para luego exportarlos a otro programa.

Autodesk Revit

Software de modelado 3D utilizado para el modelado de los elementos arquitectónicos, estructurales y electromecánicos. Estos modelos se desarrollan por separado y luego se federan para visualizar su interacción y auditar el modelo con el fin de corregir cualquier tipo de conflicto presentado.

Autodesk Navisworks

Herramienta en que se federan los modelos realizados, este programa permite tener en un mismo ambiente de trabajo los modelos que cada diseñador y/o modelador realizó a partir de los requerimientos establecidos, además de brindar la opción de detección de choques para la coordinación 3D y herramientas de cuantificación e integración con softwares de programación para el modelado 4D del proyecto.

BIMTrack

Corresponde a una plataforma *online* utilizada para llevar el control de interferencias a partir de un modelo federado desde Navisworks o Revit. Su función es, a partir de una interfaz más amigable, brindar un reporte de las colisiones presentadas en el proyecto, permitiendo interacción con ellas a partir de comentarios, asignación de responsables, historial de interferencias, entre otras funciones.

Cost-it

Cost-it es un software que complementa a REVIT para poder dar el salto del proyecto hacia la quinta dimensión. Es un programa que se alimenta directamente del modelo para así extraer su información y realizar la cuantificación de los elementos y el cálculo de los costos del proyecto.

Nubes de almacenamiento de archivos

A partir de nubes de información como Google Drive y Dropbox se manejará la información pertinente a diseños para que así cada profesional tenga acceso a cada uno de estos documentos y los procesos de cambios y revisión sean más ágiles y eficientes. Además, este proceso se realiza para tener documentos vivos que puedan ser modificados en tiempo real por el profesional responsable y tener una mejor trazabilidad de la información y así evitar que esta se pierda como sucede en muchos casos en proyectos donde los documentos se manejan en físico o por medio de correo electrónico.

Metodología

El proyecto presentado se desarrolló a partir de la información brindada por la empresa constructora Inmobiliaria MDG S.A. y por medio del uso de Softwares análisis de información y modelado 3D; basado en las guías de implementación BIM propuestas por asociaciones tales como BIM Forum de Costa Rica y Chile y la compañía Autodesk.

Desarrollo del BEP

Inicialmente, se deben determinar los aspectos a considerar para la ejecución del modelo BIM a realizar para los cuales se utilizará una adaptación de las plantillas propuestas por la unidad *BIM Planning: Computer integrated research group at Penn State*. Estas plantillas proveen información acerca de la determinación de los objetivos y usos BIM aplicables a un proyecto de construcción, requisitos de información necesarios para la elaboración del plan, regulación de procesos y tareas, especificación de modelos y requisitos, entre otros.

Al adaptar estas plantillas al proyecto en el que deseaba aplicar la metodología, se hace un filtro de la información necesaria para elaborar el Plan de Ejecución BIM, completando estos formularios se obtuvo una base sólida en qué fundamentar la implementación BIM en el proyecto.

El BEP se redactó por medio de LOD Planner, la cual es una herramienta en línea especializada en el desarrollo de Planes de Ejecución BIM que contiene plantillas de los estándares dispuestos a nivel internacional. En este caso se utilizó la base del Plan de Ejecución BIM de Penn State. Este proceso se llevó a cabo involucrando a los equipos de diseño de la casa (arquitecto, ingenieros electromecánicos e ingeniero estructural, ingeniero director y residente) con el

fin de establecer los métodos, procesos, software e intercambio de información necesaria durante el proceso de diseño.

Elaboración de modelos

Como segundo paso de debe realizar el conjunto integrado de modelos 3D del proyecto en con la propuesta de la programación espacial del proyecto. Inicialmente, a partir del estudio topográfico del sitio, se procesan los datos de los puntos de elevación en AutoCAD para luego modelarlos de una manera más sencilla en Revit con el fin de establecer la ubicación de la casa dentro del terreno y aspectos de obra civil a desarrollar para la ejecución de la construcción. A partir de este proceso se obtiene el modelo de condiciones existentes, primer uso BIM que se estableció como objetivo.

El modelado arquitectónico es el primero en realizarse, este se desarrolló por medio del software Autodesk Revit a partir del modelo topográfico de condiciones existentes y contiene la configuración espacial del diseño arquitectónico de la vivienda, las dimensiones de los elementos, alturas, los acabados tanto de los elementos constructivos como de los dispositivos y accesorios que se colocaron, además de información respecto a elementos no constructivos como el equipo inmobiliario de las habitaciones. Este modelo corresponde a la solución gráfica que se le presenta al cliente para la aprobación o solicitud de variaciones. Este modelo se desarrolló en conjunto con el equipo de modelado del arquitecto de la obra con el fin de adaptar el modelo para la etapa de coordinación.

Una vez definidas con el cliente las características base de la casa, se procedió a involucrar a los profesionales de diseño estructural y electromecánico. En el caso de la parte estructural, el ingeniero realizó el diseño de la

vivienda y a partir de los datos brindados, se le añadió al modelo arquitectónico información extra que pudiera tomar en cuenta aspectos del diseño estructural. Esto debido a la decisión del equipo de trabajo de no realizar un modelo totalmente estructural, ya que las horas hombre invertidas para el proceso eran elevadas y a partir del BEP, se estableció que la integración de los elementos estructurales a partir de un modelado con un nivel de desarrollo que involucrara la información geométrica de las cimentaciones de los muros y columnas contenidas en el proyecto, sería suficiente para la representación espacial de los elementos y su integración con los elementos de las demás disciplinas, lo cual permitía cumplir con el alcance del proyecto.

Al mismo tiempo que se desarrolló el modelado estructural, los ingenieros de la disciplina electromecánica iban realizando su propio diseño y modelo para integrarlo al modelo base. Es importante añadir que la disciplina electromecánica en un modelo es de las más importantes para procesos de coordinación y detección de choques, ya que es la que normalmente presenta más interferencias a la hora de realizar el análisis de incongruencias, además que su cuantificación se vuelve más sencilla que obtener las medidas directamente de planos. El trabajo de los ingenieros MEP resultó en dos entregables, un modelo eléctrico y otro mecánico, esto con el fin de agilizar sus procesos de diseño.

Durante el proceso de modelado de las disciplinas, se colaboró con los equipos involucrados versionando los archivos a trabajar a partir de modificaciones arquitectónicas que se revisaban con el cliente mayoritariamente. Estas versiones se iban modificando en conjunto con el modelador arquitectónico y se les brindaban a los electromecánicos para la actualización de su modelo y así asegurarse de que todo el equipo trabajara bajo el mismo archivo base.

Proceso de coordinación

Una vez finalizados y aprobados los modelos, se procedió a realizar el proceso de coordinación 3D por medio del software Autodesk Navisworks, a partir del cual se federaron los modelos, colocándolos en un entorno de trabajo común y se ejecutó el comando de detección de choques que sirvió para la corrección de distintos errores que se estaban cometiendo a partir del desarrollo de los

diseños de las diferentes disciplinas. En conjunto con la herramienta BIM Track, se llevó a cabo el proceso de auditoría del modelo y se realizó un reporte de las interferencias que más afectaban al desarrollo del proyecto, indicando qué disciplinas y equipos de trabajo estaban involucrados y a quién le correspondía realizar la modificación para la resolución del conflicto.

Modelado 4D y 5D

A la espera de las correcciones de los diseños, se procede a llevar el proyecto a la cuarta dimensión BIM, a partir de la estandarización de los elementos modelados bajo el formato Uniformat, y la programación del proyecto a partir de actividades generales con el fin de simular el progreso de la construcción. El proceso consiste en insertar el cronograma realizado en el archivo de Navisworks para que así se muestre la secuencia en que cada uno de los elementos se irá construyendo a partir de la línea del tiempo establecida. Cada actividad del cronograma tiene asignada un elemento para que así, esta se comience a construir una vez que lo indica el programa

Inicialmente, se tenía contemplado sincronizar el modelo a partir del complemento del programa Cost-it de Revit, con el cual se propuso la extracción de la información de los elementos y familias contenidas en el modelo también nombrando los elementos bajo la nomenclatura del sistema Uniformat, para que así control de los costos obtenidos fuera más sencillo de verificar, buscando así simplificar el proceso de estimación de costos, ya que inicialmente la propuesta de determinación de costos se realizaría a partir del software O4Bi; sin embargo, por temas de automatización y productividad se cambió el software para agilizar los procesos; sin embargo no fue posible realizar la integración con el complemento debido a un conflicto con la licencia obtenida que no permitió guardar los resultados obtenidos.

Como solución a este conflicto, se realizó la cuantificación de distintas áreas de la casa y elementos específicos que facilitarían el desarrollo del presupuesto por medio de los procedimientos de la empresa, la determinación de costos a partir de esta información se basó en los requerimientos de la empresa para la definición de elementos y actividades específicas globales cuya

cuantificación era requerida para información del ingeniero.

El valor del sistema contable utilizado por la empresa fue el de obtener datos de costos típicos de los elementos en la zona y materiales de los procesos, ya que mantienen una base de datos de los proyectos anteriores, además de información de costos obtenida del contrato del proyecto.

instalar, este se actualizará en el cronograma de mantenimiento y mostrará las características y cuidados requeridos específicamente de cada elemento seleccionado. Al no conocer aún información acerca de los acabados de los elementos constructivos elegidos por el cliente, la herramienta se reduce al mantenimiento de equipos electromecánicos.

Desarrollo del plan de mantenimiento

Finalmente, para proponer una solución BIM que contemple un plan de mantenimiento del inmueble una vez esté construido, se buscó la integración con un software de operación de edificaciones, en este caso Dalux que permite una integración con los elementos del modelo y su información para presentar de una manera más amigable el plan de mantenimiento al cliente; sin embargo el resultado obtenido al intentar integrar el programa no fue el deseado, ya que la solución era por medio de una opción habilitada por una licencia de pago cuyo costo no era accesible para el alcance del proyecto.

La propuesta del desarrollo del plan de mantenimiento se realizó a partir de la herramienta LOD Planner, la cual fue utilizada para la redacción del BEP; su uso se justifica a partir de que esta posee un visualizador de los modelos de la construcción amigable con el usuario, por lo que a partir del ingreso de información de proveedores y documentos técnicos de los equipos y accesorios instalados en la vivienda, se le brindó la información necesaria al cliente respecto al equipo y bajo el desarrollo de un calendario de Google exclusivo del proyecto, se ingresó la información de las fechas y la frecuencia en que deben de brindarles mantenimiento preventivo.

La interacción del cliente utilizando la herramienta no tiene ninguna repercusión con el flujo de trabajo del proyecto, ya que se le brinda un permiso únicamente de visualizador, por lo que puede observar el trabajo realizado alusivo al BEP y la información de los modelos; sin embargo, no es capaz de modificarlos.

Este plan de mantenimiento igualmente se desarrollará y actualizará a lo largo de todo el proceso constructivo, de manera que, si hay alguna variación de un acabado o equipo a

Resultados

Plan de Ejecución BIM

Como primer paso, se seleccionaron las metas y objetivos BIM para la selección de los usos en los cuales se basará el plan de ejecución, clasificándolos según la prioridad debido a los requerimientos del proyecto.

Cuadro 1 Metas y usos BIM definidos por el grupo de trabajo

PRIORIDAD (Baja/Media/Alta)	DESCRIPCIÓN DE LA META	USOS BIM POTENCIALES
Alta	Modelar los elementos de la casa que permitan además de brindarle un aporte visual al cliente, contenga información que pueda agilizar los procesos constructivos y evitar errores comunes	Programación espacial Análisis de sitio Modelo de condiciones existentes
Alta	Realizar un análisis de interferencias que permita anticipar posibles problemas constructivos durante el proceso de construcción ligados a colisiones entre elementos de las diferentes disciplinas.	Modelo de condiciones existentes Autoría de diseño Revisión de diseño Coordinación 3D
Media	Extraer información de los modelo s que permita agilizar procesos de cálculo de materiales para disminuir incertidumbres y desperdicios.	Modelo de condiciones existentes Estimación de costo
Media	Brindar al cliente una herramienta que permita tener acceso a un plan de mantenimiento de los elementos constructivos y equipos instalados en el hogar.	Modelo de condiciones existentes Programación de mantenimiento del edificio

Fuente: Elaboración propia a partir de la herramienta LOD Planner

La información presentada en el Cuadro 1 representa la base de todo el Plan de Ejecución BIM del proyecto, presentado en el Apéndice 1. Uno de los capítulos más importantes del BEP es el de asignación de roles, en el cual se define la función de cada una de las personas involucradas en el proceso de construcción de la vivienda. Dicha información se presenta adjunta en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Roles y responsabilidades BIM del equipo de trabajo

NOMBRE	CAMPO DE ACCIÓN	ROL BIM	RESPONSABILIDADES
Alejandro M. Chaverri	DIRECCIÓN/EJECUCIÓN	BIM PROJECT MANAGER	Ingeniero en construcción encargado de llevar la dirección y control de la obra. Realizará visitas de inspección al menos una vez por semana.
Juan Diego Artavia	EJECUCIÓN	LEAD CONSTRUCTION	Ingeniero residente.
Fabrizio Medaglia	DISEÑO/AUDITORÍA/INSPECCIÓN/EJECUCIÓN	BIM MANAGER - BIM COORDINATOR - BIM MODELER	Modelador arquitectónico y estructural, encargado de la administración de los modelos para la coordinación y administración de los procesos BIM.
Paul Madriz	DISEÑO/INSPECCIÓN ARQUITECTURA	BIM MODELER - TASK TEAM MANAGER	Arquitecto, encargado del diseño y modelado arquitectónico de la vivienda.
Aarón Fonseca	DISEÑO/INSPECCIÓN ELECTROMECAÁNICA	BIM MODELER - TASK TEAM MANAGER	Ingeniero electromecánico, encargado del diseño y modelado de la disciplina eléctrica.
Andrés Vargas	DISEÑO/INSPECCIÓN ELECTROMECAÁNICA	BIM MODELER - TASK TEAM MANAGER	Ingeniero electromecánico, encargado del diseño y modelado de la disciplina mecánica.
Emanuel Ramírez	DISEÑO/INSPECCIÓN ESTRUCTURAL	TASK TEAM MANAGER	Encargado de realizar los modelos estructurales y brindar la información necesaria para el modelado de información requerida en el modelo arquitectónico.

Fuente: Elaboración propia a partir de la herramienta LOD Planner

Los diagramas de flujo de proceso son de suma importancia para el desarrollo de proyectos BIM y agilizar el cumplimiento de los usos propuestos. Para cada uso, en el BEP, adjuntado como

Apéndice1, muestra el desarrollo de diagramas de flujo de procesos. La Figura 16 muestra un ejemplo del proceso para obtener el modelo de condiciones existentes del terreno.

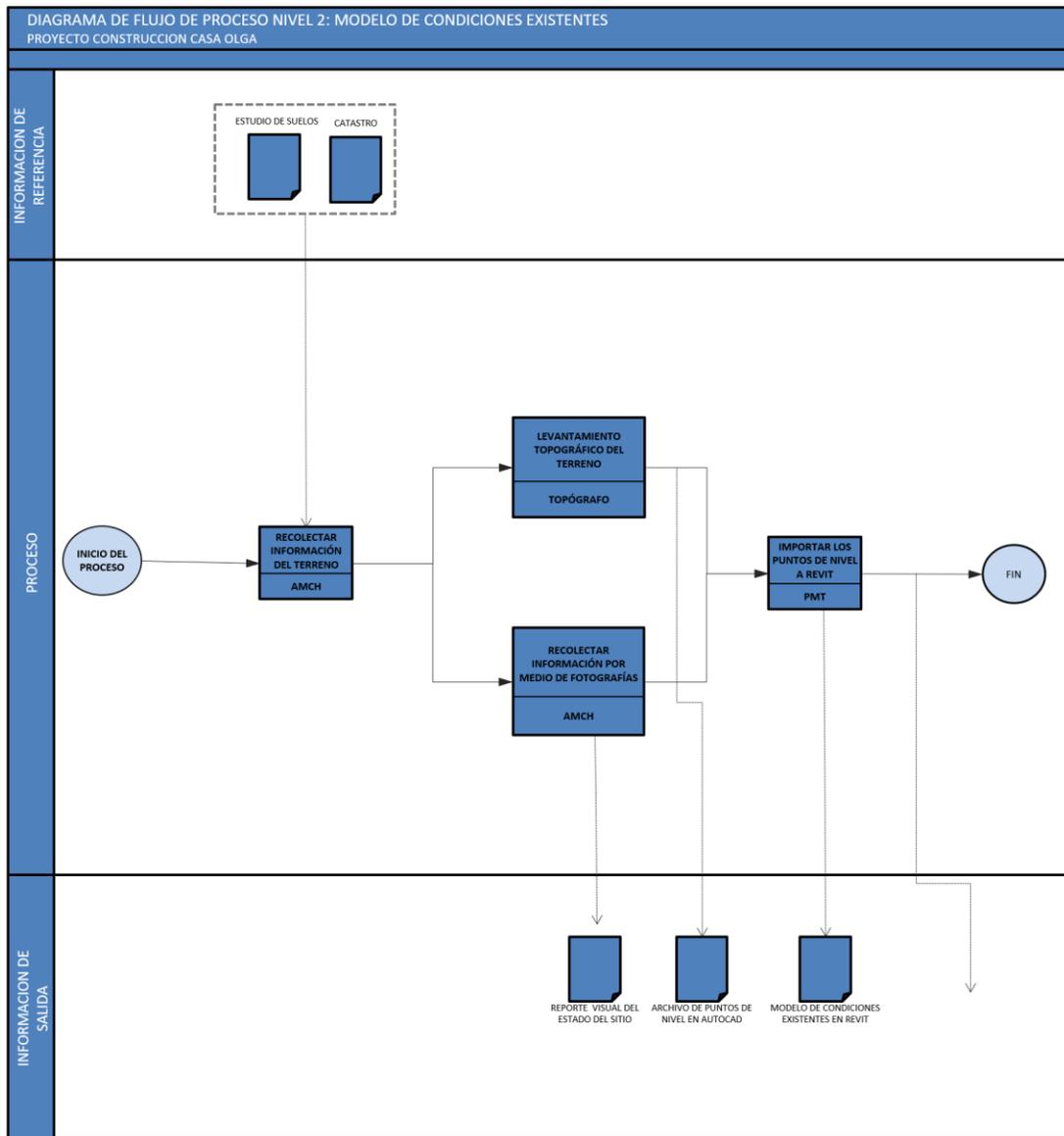


Figura 16. Diagrama de flujo de proceso nivel 2 modelo de condiciones existentes
Fuente: Elaboración propia, adaptación de Kreyder & Messner, 2013

Modelado de elementos

Una vez definidos los requerimientos de la implementación de la metodología, se procede a realizar el modelo de condiciones existentes del

sitio a partir de un levantamiento topográfico del terreno y el catastro del lote en que se va a ubicar la vivienda.

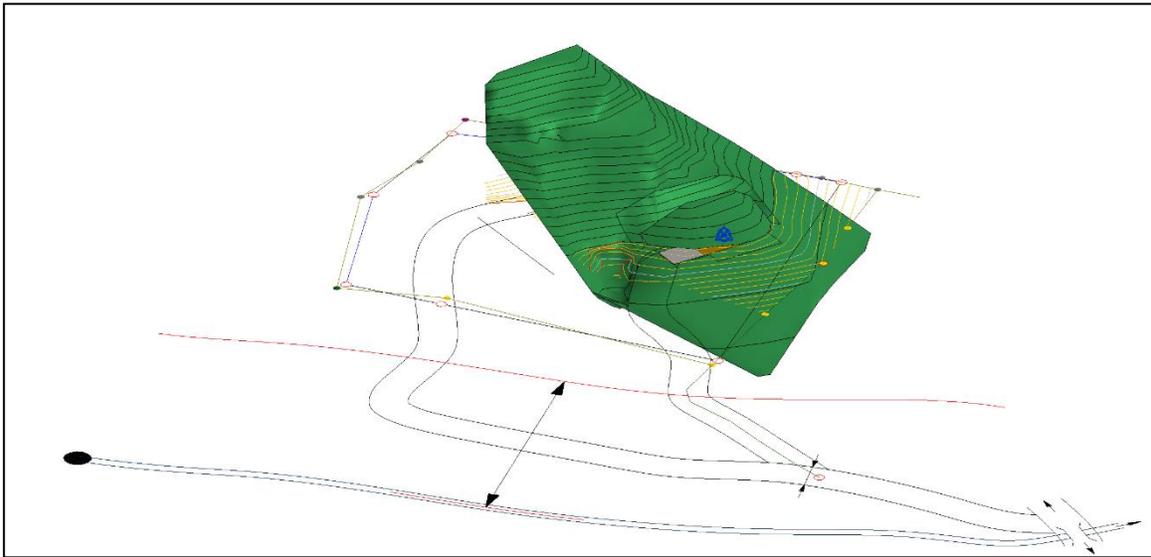


Figura 17. Modelo de condiciones existentes
 Fuente: Elaboración propia a partir de Autodesk Revit 2018.

Conociendo las características del terreno en cuanto a elevaciones, necesidad de muros de retención y excavaciones, se procede a realizar la propuesta inicial 2D del proyecto, a partir de la cual nace el modelo 3D.

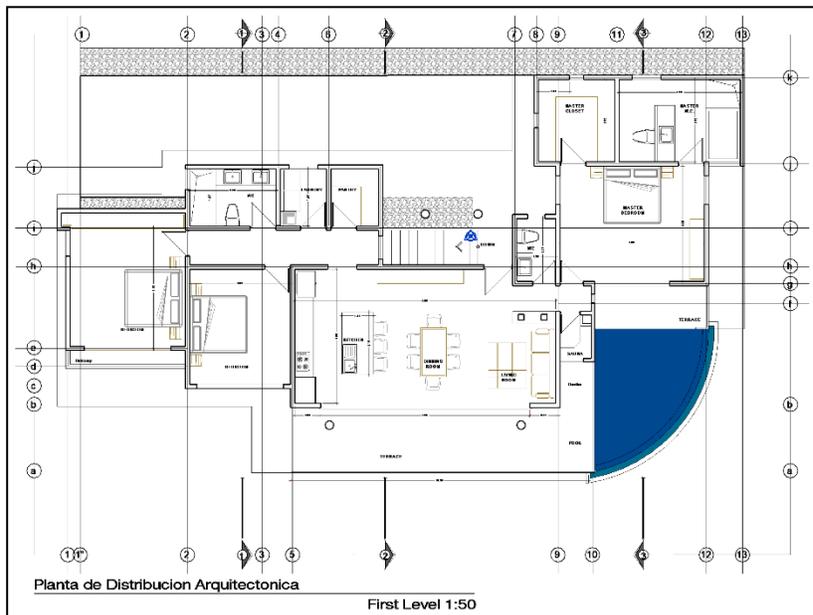


Figura 18. Planta de distribución arquitectónica de la vivienda.
 Fuente: Elaboración propia a partir de Autodesk AutoCAD 2019.

Una vez que se definen aspectos espaciales con el cliente, el equipo de diseño arquitectónico procede a realizar el modelo 3D. La figura 19 muestra una vista exterior del modelo arquitectónico ubicado en la superficie de la topografía.



Figura 19. Modelo 3D de la vivienda

Fuente: Elaboración propia a partir de Autodesk Revit 2018.

La vivienda cuenta con dos niveles en los cuales, el nivel inferior contiene el acceso principal a la cochera y la bodega donde está situado el tablero eléctrico, además del cuarto de máquinas de la piscina

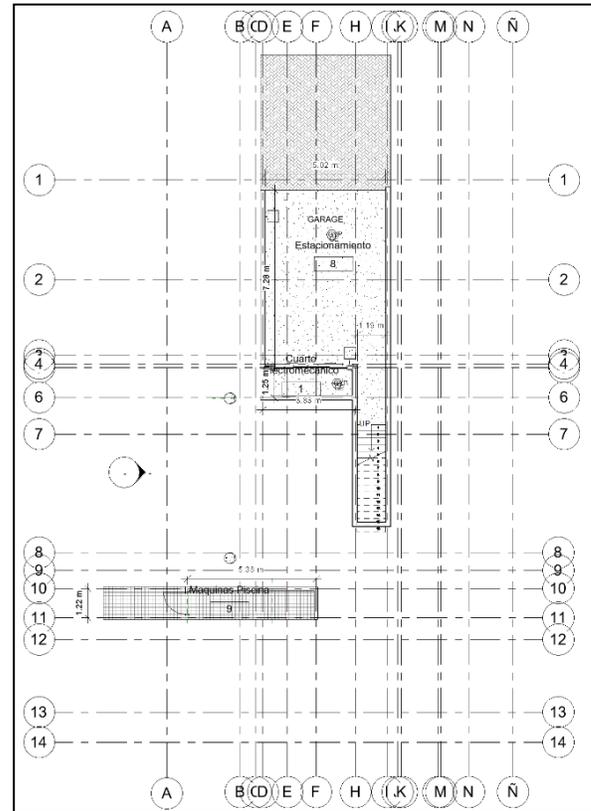


Figura 20. Planta arquitectónica nivel 0-288 cm

Fuente: Elaboración propia a partir de Autodesk Revit 2018.

El nivel principal, ubicado 2.88m por encima del nivel de la cochera, comprende la totalidad de las habitaciones y área social de la casa, con 3 dormitorios, 2 ½ baños, lavandería, *walking closet* en el dormitorio principal, espacio para alacena y área social, además de un *deck* en la fachada principal, piscina y un espacio para instalar un sauna.

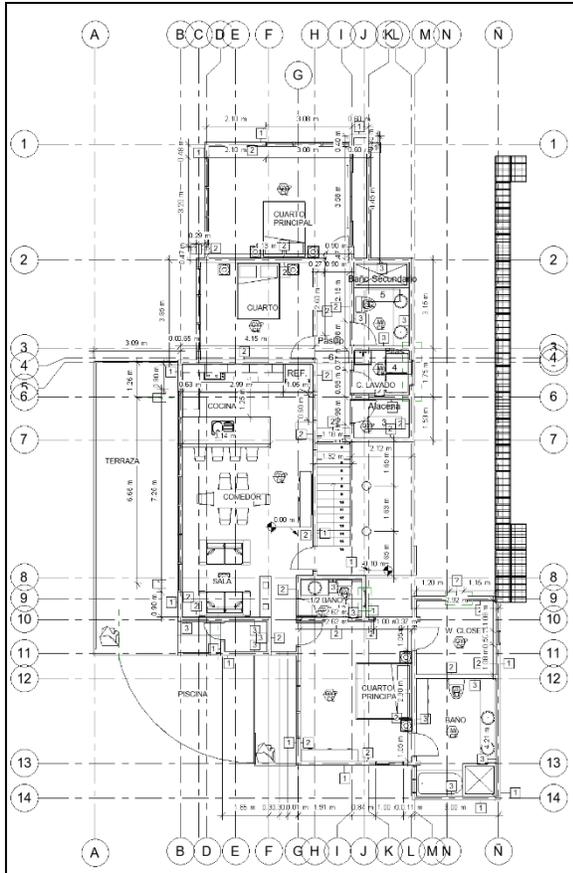


Figura 21. Planta arquitectónica nivel 0+000 cm

Fuente: Elaboración propia a partir de Autodesk Revit 2018.

Con el fin de ahorrar recursos y agilizar tiempos de modelado, el responsable del diseño estructural no realizó su propio modelo, sino que se le añadieron ciertos elementos estructurales al modelo arquitectónico que se consideraban podrían tener algún tipo de incidencia con otro elemento de las demás disciplinas. A continuación, un ejemplo de lo comentado anteriormente:

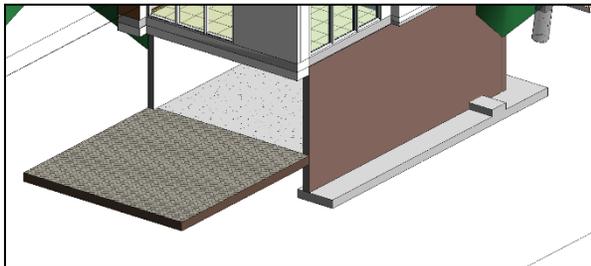


Figura 22. Integración de elementos estructurales al modelo arquitectónico

Elaboración a partir de Autodesk Revit 2018.

Las instalaciones mecánicas fueron modeladas en un archivo independiente, el modelo comprende tubería sanitaria y potable de la totalidad de la casa, así como equipos de piscina de bombeo y filtro de agua, calentador de agua solar, tanque de almacenamiento de agua potable, tanques sépticos y conexiones a los accesorios de acabados mecánicos.

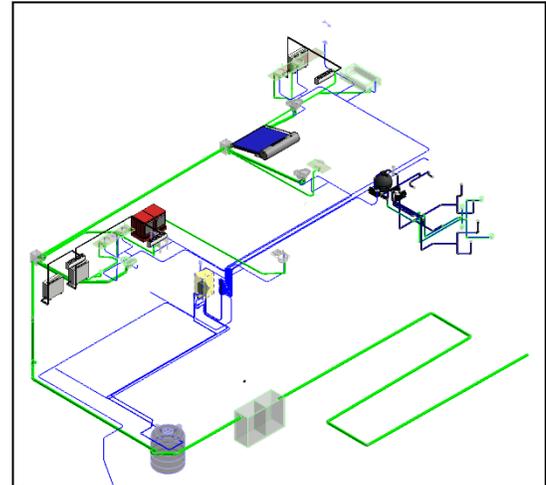


Figura 23 Modelo mecánico de la vivienda

Fuente: PYRAMIS S.A.

Elaboración a partir de Autodesk Revit 2018.

Al igual que el modelo mecánico, la disciplina eléctrica se modeló por aparte, en este caso se modeló la tubería que conduce los cables, accesorios de tomacorrientes e iluminación, además de la conexión al tablero principal.

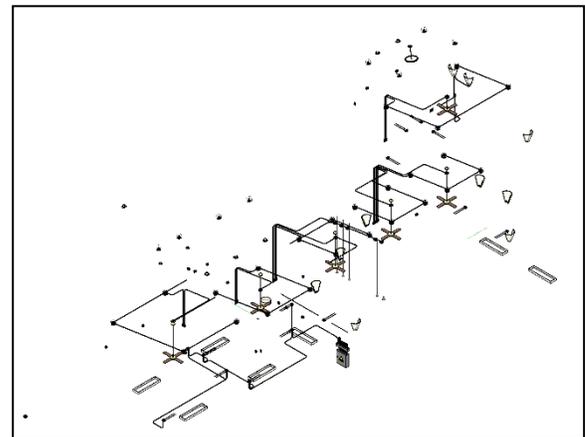


Figura 24 Modelo eléctrico de la vivienda

Fuente: PYRAMIS S.A.

Elaboración a partir de Autodesk Revit 2018.

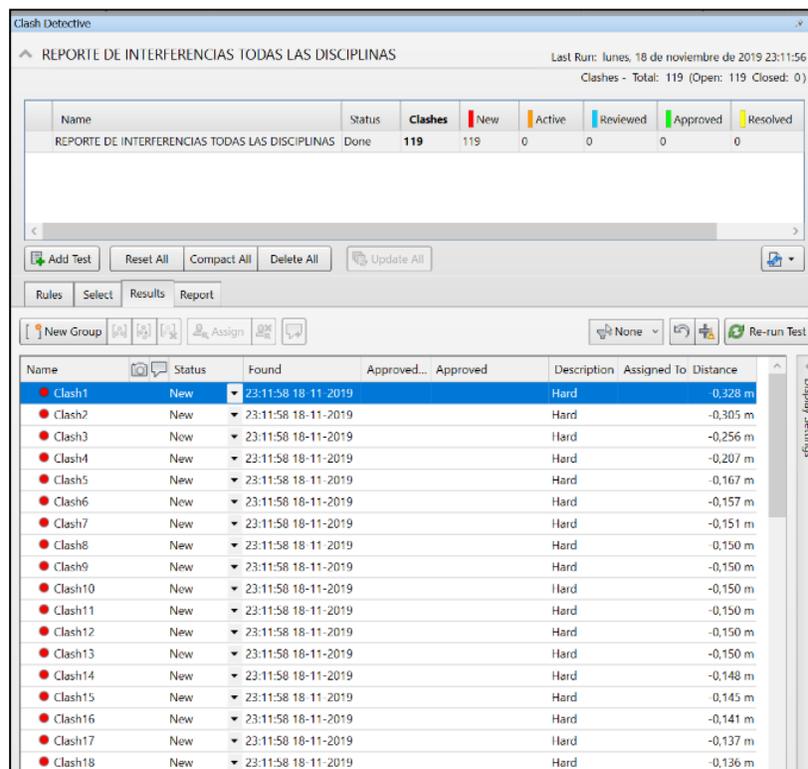
Coordinación

El primer paso para la coordinación de un proyecto BIM corresponde al federado de los modelos. Esto consiste en tomar, en este caso, el modelo arquitectónico, el eléctrico y el mecánico y colocarlos en un entorno común de trabajo y poder visualizarlos uno sobre otro. Los tres modelos deben estar creados bajo las mismas coordenadas base de trabajo, de no ser así, el proceso de federación del modelo no se puede ejecutar.



Figura 25. Federado de los modelos
Fuente: Elaboración a partir de Autodesk Navisworks.

La detección de interferencias arrojó 119 choques entre elementos del modelo federado, donde se definió la condición de mostrar choques de elementos que se traslaparan un mínimo de 5.00cm.



Clash Detective

REPORTE DE INTERFERENCIAS TODAS LAS DISCIPLINAS

Last Run: Lunes, 18 de noviembre de 2019 23:11:56
Clashes - Total: 119 (Open: 119 Closed: 0)

Name	Status	Clashes	New	Active	Reviewed	Approved	Resolved
REPORTE DE INTERFERENCIAS TODAS LAS DISCIPLINAS	Done	119	119	0	0	0	0

Buttons: Add Test, Reset All, Compact All, Delete All, Update All

Buttons: Rules, Select, Results, Report

Buttons: New Group, Assign, Re-run Test

Name	Status	Found	Approved...	Approved	Description	Assigned To	Distance
Clash1	New	23:11:58 18-11-2019			Hard		-0,328 m
Clash2	New	23:11:58 18-11-2019			Hard		-0,305 m
Clash3	New	23:11:58 18-11-2019			Hard		-0,256 m
Clash4	New	23:11:58 18-11-2019			Hard		-0,207 m
Clash5	New	23:11:58 18-11-2019			Hard		-0,167 m
Clash6	New	23:11:58 18-11-2019			Hard		-0,157 m
Clash7	New	23:11:58 18-11-2019			Hard		-0,151 m
Clash8	New	23:11:58 18-11-2019			Hard		0,150 m
Clash9	New	23:11:58 18-11-2019			Hard		-0,150 m
Clash10	New	23:11:58 18-11-2019			Hard		-0,150 m
Clash11	New	23:11:58 18-11-2019			Hard		-0,150 m
Clash12	New	23:11:58 18-11-2019			Hard		-0,150 m
Clash13	New	23:11:58 18-11-2019			Hard		-0,150 m
Clash14	New	23:11:58 18-11-2019			Hard		-0,148 m
Clash15	New	23:11:58 18-11-2019			Hard		0,145 m
Clash16	New	23:11:58 18-11-2019			Hard		-0,141 m
Clash17	New	23:11:58 18-11-2019			Hard		-0,137 m
Clash18	New	23:11:58 18-11-2019			Hard		-0,136 m

Figura 26. Choques detectados en la coordinación del modelo
Fuente: Autodesk Navisworks Manage 2018

A partir del reporte de choques, se procedió a seleccionar aquellos que presentaran una afectación mayor durante la ejecución del proyecto y que de haberse encontrado, su solución no

hubiese sido tan sencilla, lo cual hubiera implicado una variación de costo o plazo del proyecto.

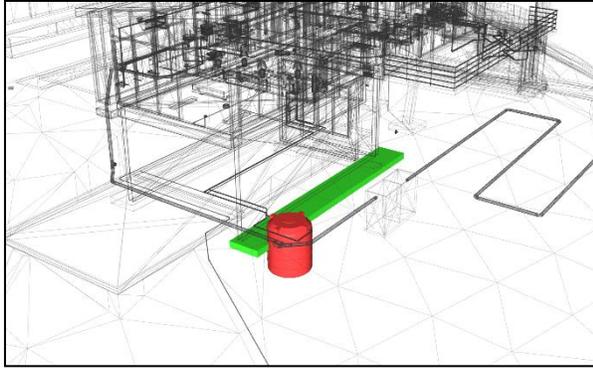


Figura 27. Choque entre cimentación de muro y tanque de agua potable

Fuente: Autodesk Navisworks Manage 2018

La selección de las interferencias se realiza desde Navisworks para hacer un filtro de los conflictos, una vez que se seleccionan, a partir de BIM Track se realizan los reportes, donde se indica qué es el problema, su prioridad, qué disciplinas está afectando cuáles miembros del equipo están involucrados. Es importante, aparte de realizar el análisis de interferencias, hacer un recorrido dentro de la casa y observar con más claridad detalles que puedan ocasionar algún tipo de problema, ya que estos deben también reportarse como detalles a corregir.

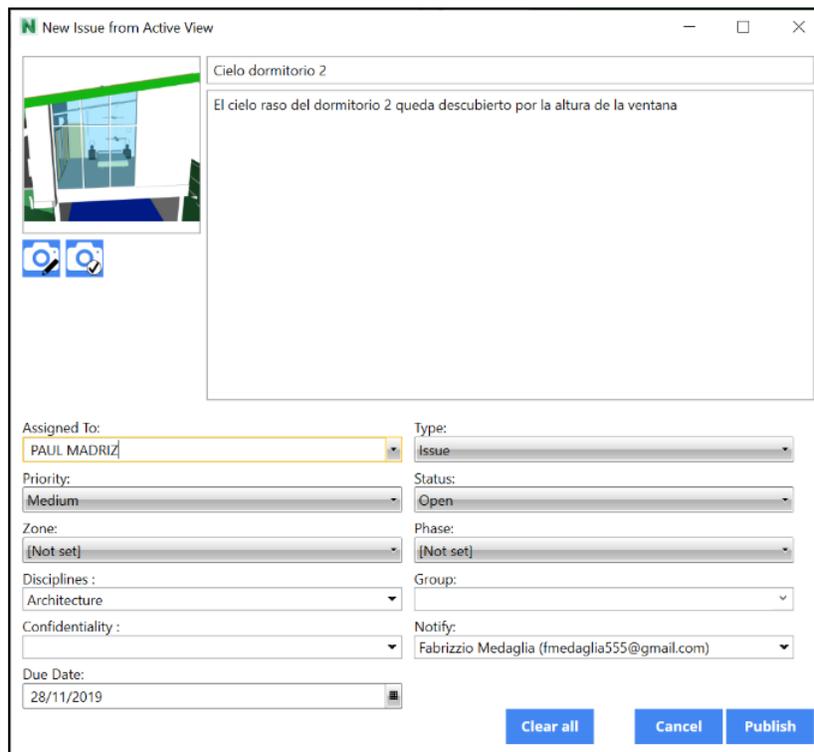


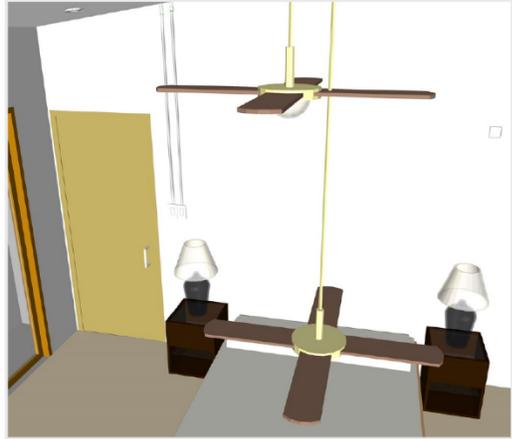
Figura 28. Reporte de conflicto del modelo federado no señalado desde Navisworks con el complemento de BIM Track.
Fuente: Autodesk Navisworks Manage 2018.

BIM Track realiza un reporte general donde muestra todos los conflictos reportados junto con sus propiedades en un archivo tipo PDF. Al estar todo el equipo de trabajo ingresado en la interfaz de la herramienta, es posible que cualquier miembro del equipo de trabajo con la extensión de BIM Track, incluso en Revit, observe los errores y

a partir de los elementos e imágenes seleccionadas, esté a un clic de que el programa lo lleve directamente a donde necesita corregir el problema. En el Apéndice 2 se presenta el reporte general de los conflictos observados durante el proceso de coordinación.

3. Electrico dormitorio 2

Description: El ventilador e está duplicado
La tubería de los apagadores quedó descubierta

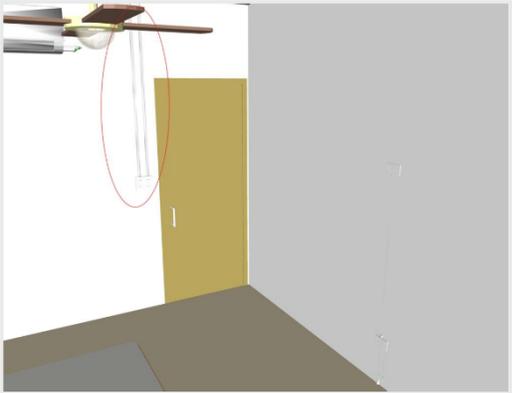


Author	Fabrizio Medaglia (fmedaglia555@gmail.com)
Created	11/14/2019
Last changed by	Fabrizio Medaglia (fmedaglia555@gmail.com)
Last changed	11/14/2019
Due date	11/28/2019
Assigned to	Fabrizio Medaglia (fmedaglia555@gmail.com)
Type	Issue
Priority	High
Status	Open
Zone	
Phase	
Disciplines	Electrical
Issue group	
Confidentiality	
Notification list	AARON FONSECA, ANDRES VARGAS

Figura 29 Reporte de interferencias, conflicto #3
Fuente: Elaboración propia a partir de BIM Track

4. Electrico dormitorio 3

Description: La tubería de los apagadores quedó descubierta, los tomacorrientes también



Author	Fabrizio Medaglia (fmedaglia555@gmail.com)
Created	11/14/2019 12:01 PM
Last changed by	Fabrizio Medaglia (fmedaglia555@gmail.com)
Last changed	11/18/2019 10:32 PM
Due date	11/28/2019 6:00 AM
Assigned to	Fabrizio Medaglia (fmedaglia555@gmail.com)
Type	Issue
Priority	Medium
Status	Open
Zone	
Phase	
Disciplines	Electrical
Issue group	
Confidentiality	
Notification list	AARON FONSECA, ANDRES VARGAS

Figura 30 Reporte de interferencias, conflicto #4

5. Electrico area social

Description: La tubería de los apagadores quedó descubierta



Author	Fabrizio Medaglia (fmedaglia555@gmail.com)
Created	11/14/2019 12:03 PM
Last changed by	Fabrizio Medaglia (fmedaglia555@gmail.com)
Last changed	11/18/2019 10:33 PM
Due date	11/28/2019 6:00 AM
Assigned to	Fabrizio Medaglia (fmedaglia555@gmail.com)
Type	Issue
Priority	Medium
Status	Open
Zone	
Phase	
Disciplines	Electrical
Issue group	
Confidentiality	
Notification list	AARON FONSECA, ANDRES VARGAS

Figura 31. Reporte de interferencias, conflicto #5
Fuente: Elaboración propia a partir de BIM Track

6. Tubo AC Baño principal

Description: La tubería de aire acondicionado pasa por debajo del cielo raso



Author	Fabrizio Medaglia (fmedaglia555@gmail.com)
Created	11/14/2019 12:05 PM
Last changed by	Fabrizio Medaglia (fmedaglia555@gmail.com)
Last changed	11/14/2019 12:19 PM
Due date	11/28/2019 6:00 AM
Assigned to	Fabrizio Medaglia (fmedaglia555@gmail.com)
Type	Issue
Priority	High
Status	Open
Zone	
Phase	
Disciplines	Architecture, Electrical
Issue group	
Confidentiality	
Notification list	AARON FONSECA, ANDRES VARGAS, PAUL MADRIZ

Figura 32. Reporte de interferencias, conflicto #6
Fuente: Elaboración propia a partir de BIM Track

7. Equipo de piscina mal colocado

Description: El equipo de piscina se debe colocar en el cuarto de máquinas que está debajo del deck, ese es el espacio para el sauna



Author	Fabrizio Medaglia (fmedaglia555@gmail.com)
Created	11/14/2019 12:07 PM
Last changed by	Fabrizio Medaglia (fmedaglia555@gmail.com)
Last changed	11/14/2019 12:18 PM
Due date	11/28/2019 6:00 AM
Assigned to	Fabrizio Medaglia (fmedaglia555@gmail.com)
Type	Issue
Priority	Critical
Status	Open
Zone	
Phase	
Disciplines	Electrical
Issue group	
Confidentiality	
Notification list	AARON FONSECA, ANDRES VARGAS

Figura 33. Reporte de interferencias, conflicto #7
Fuente: Elaboración propia a partir de BIM Track

Modelado 4D

A partir del modelo arquitectónico, en Navisworks se realiza el proceso de simulación de la construcción. Inicialmente, se acomoda la información de tal manera que se tenga la base del orden en que se irán construyendo los elementos. Dentro del programa, a este paso se le llama definición de sets de trabajo a partir del árbol de selección, el cual corresponde a toda la información contenida en el modelo.

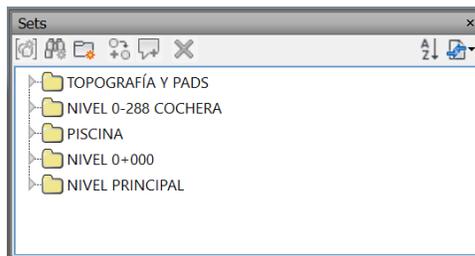


Figura 34. Secuencia de construcción del proyecto.
Fuente: Autodesk Navisworks

En el Apéndice 3 y 4 se muestran los desgloses del árbol de selección y sets de trabajo correspondientes al modelo.

A partir de la secuencia de la construcción, se procede a realizar el cronograma de los procesos en Microsoft Project, en este se definirán las fechas establecidas para el desarrollo del proyecto a partir del WBS generado. La programación total de la obra se encuentra en el Apéndice 5

Una vez que se ha realizado la programación, se adjunta el archivo al documento de Navisworks con el fin de insertar la información temporal para pasar de un modelo 3D a 4D. Una vez que se realiza este paso, se puede observar la forma en que se ejecutará la construcción de la casa. Sincronizada la información temporal de la ejecución del proyecto, se obtienen los siguientes resultados:

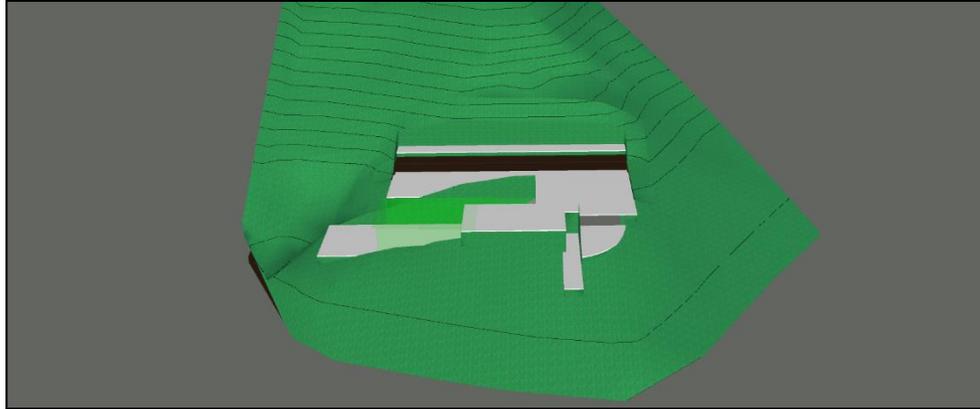


Figura 35. Simulación del proceso de construcción mes 1
Fuente: Autodesk Navisworks Manage 2018

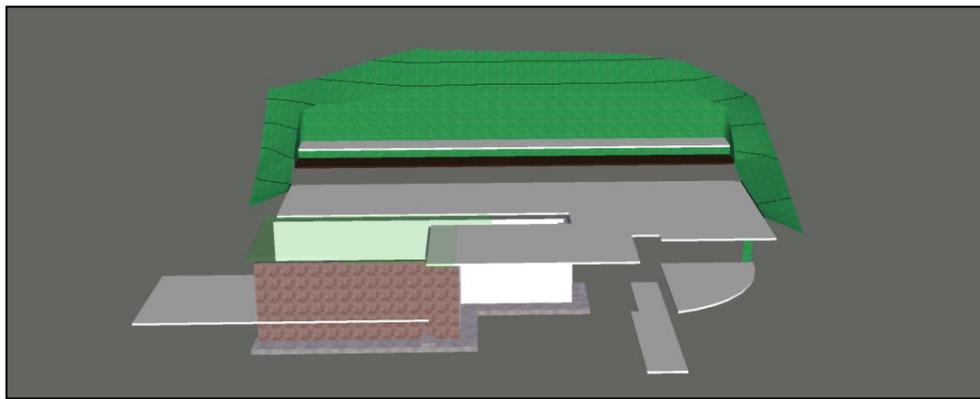


Figura 36. Simulación del proceso de construcción mes 2
Fuente: Autodesk Navisworks Manage 2018

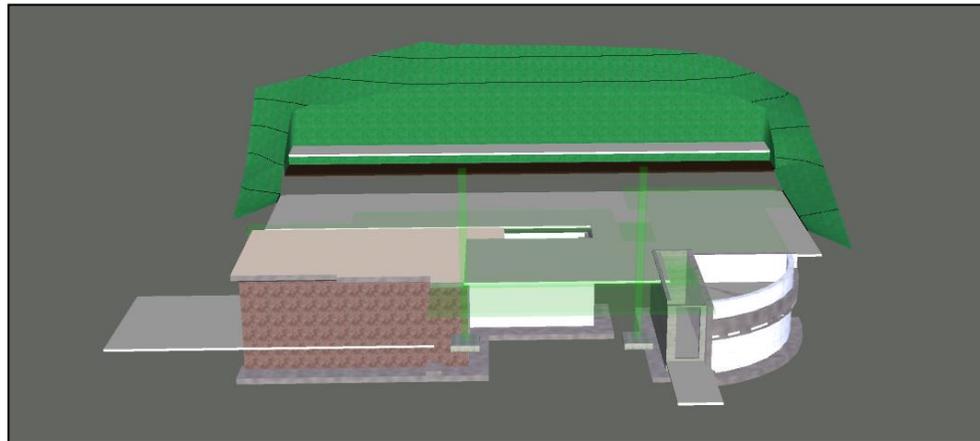


Figura 37. Simulación del proceso de construcción mes 3
Fuente: Autodesk Navisworks Manage 2018

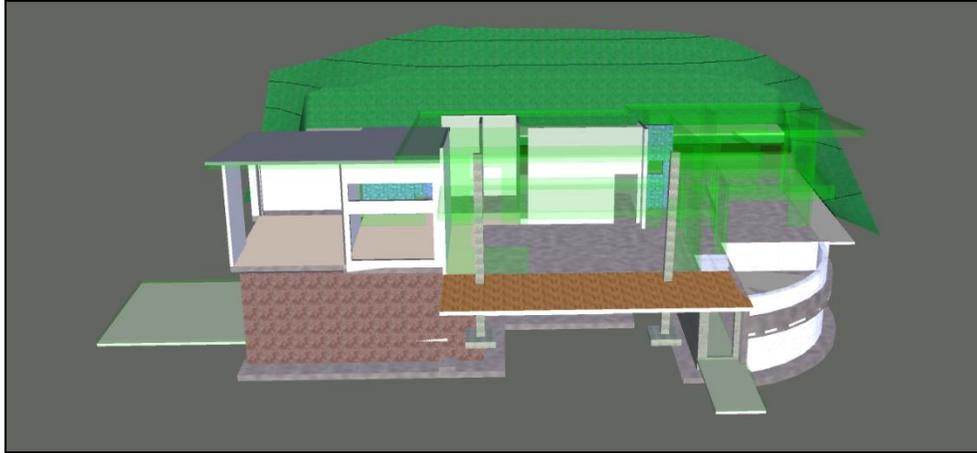


Figura 38. Simulación del proceso de construcción mes 4
Fuente: Autodesk Navisworks Manage 2018

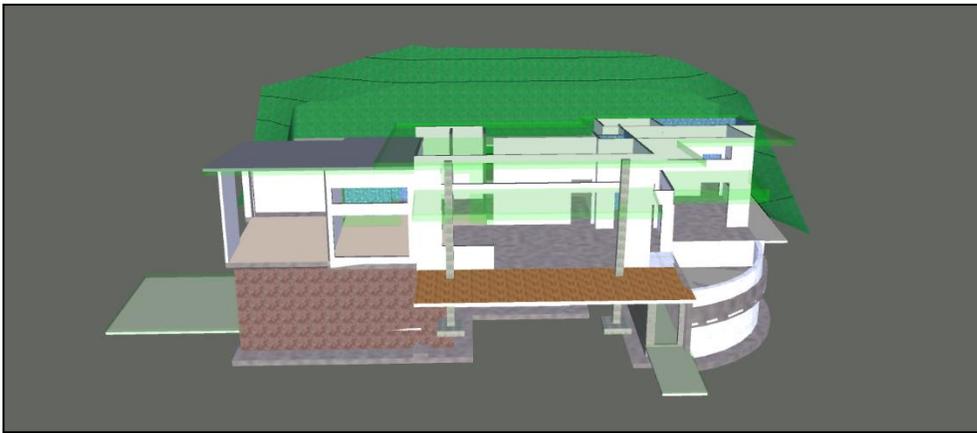


Figura 39. Simulación del proceso de construcción mes 5
Fuente: Autodesk Navisworks Manage 2018



Figura 40. Simulación del proceso de construcción mes 6
Fuente: Autodesk Navisworks Manage 2018

Cálculo de costos

El cálculo de costos se ejecutó para procesos específicos requeridos por la empresa según las tablas de cuantificaciones extraídas en Revit desde el modelo desarrollado, las cuales contienen información requerida para el cálculo posterior tanto de elementos constructivos como de acabados a instalar.

<AREAS HABITACIONES PRINCIPALES>				
A	B	C	D	E
NUMERO	NOMBRE	AREA	PERIMETRO	AREA DE PARED
3	Alacena	3 m ²	6.81 m	18 m ²
4	Cuarto de lavado	3 m ²	7.24 m	19 m ²
6	Pasillo	8 m ²	15.04 m	39 m ²
2	Cuarto secundario	20 m ²	18.17 m	47 m ²
7	Cuarto secundario 2	14 m ²	15.12 m	39 m ²
10	Cocina	17 m ²	16.97 m	44 m ²
11	Comedor	11 m ²	14.20 m	37 m ²
12	Sala	14 m ²	20.87 m	54 m ²
13	Cuarto principal	20 m ²	18.10 m	47 m ²
14	Walking closet	8 m ²	11.43 m	30 m ²
Grand total: 10		118 m ²	143.96 m	374 m ²

Figura 41. Extracción de información de habitaciones
Fuente: Autodesk Revit 2018

<HABITACIONES COMPLEMENTARIAS>			
A	B	C	D
NUMERO	NOMBRE	AREA	PERIMETRO
1	Bodega tablero	4 m ²	9.34 m
8	Estacionamiento	44 m ²	37.61 m
9	Maquinas Piscina	7 m ²	12.99 m
16	Sauna	2 m ²	5.27 m
19	Deck	33 m ²	29.81 m
20	Salida cuarto princi	6 m ²	10.94 m
18	Entrada adoquin	31 m ²	21.87 m
Grand total: 7		126 m ²	127.84 m

Figura 42. Extracción de información de habitaciones
Fuente: Autodesk Revit 2018

<AREAS BAÑOS>				
A	B	C	D	E
NUMERO	NOMBRE	AREA	PERIMETRO	AREA DE PARED
5	Baño Secundario	6 m ²	9.98 m	26 m ²
15	Baño principal	12 m ²	14.45 m	38 m ²
17	1/2 Baño	3 m ²	7.12 m	19 m ²
Grand total: 3		21 m ²	31.56 m	82 m ²

Figura 43. Extracción de información de habitaciones
Fuente: Autodesk Revit 2018

<ENTREPISO Y CONTRAPISO>				
A	B	C	D	E
Family and Type	Assembly Code	Assembly Description	Area	Volume
Floor: DECK	B1010.20	Floor Decks, Slabs, and Toppings	34 m ²	5.03 m ³
Floor: LOSA PISO PISCINA	B1010.20	Floor Decks, Slabs, and Toppings	18 m ²	3.51 m ³
Floor: PISO COCHERA	B1010.20	Floor Decks, Slabs, and Toppings	45 m ²	14.29 m ³
Floor: PISO ADOQUIN 100X200X60MM	G2010.10	Roadway Pavement	31 m ²	7.96 m ³
Floor: LOSA DE FUNDACION NIVEL PRINCIPAL	B1010.20	Floor Decks, Slabs, and Toppings	128 m ²	32.01 m ³
Floor: PISO CUARTO DE MAQUINAS - PISCINA	A4010.10	Standard Slabs-on-Grade	15 m ²	1.76 m ³
Floor: ENTREPISO VIGUETAS PREFABRICADAS	B1010.20	Floor Decks, Slabs, and Toppings	52 m ²	11.38 m ³
Floor: LOSA DE FUNDACION NIVEL PRINCIPAL	B1010.20	Floor Decks, Slabs, and Toppings	3 m ²	0.77 m ³
Grand total: 8				76.70 m ³

Figura 44. Extracción de volúmenes de concreto de entepiso y contrapiso
Fuente: Autodesk Revit 2018

<FUNDACIONES>			
A	B	C	D
Family and Type	Assembly Code	Assembly Descripti	Volume
Wall Foundation: FUNDACIONES MUROS M1	A1010.10	Wall Foundations	2.96 m ³
Wall Foundation: FUNDACIONES MUROS M1	A1010.10	Wall Foundations	4.54 m ³
Wall Foundation: FUNDACIONES MUROS M1	A1010.10	Wall Foundations	0.60 m ³
Wall Foundation: FUNDACIONES MUROS M1	A1010.10	Wall Foundations	0.79 m ³
Wall Foundation: FUNDACIONES MUROS M1	A1010.10	Wall Foundations	1.96 m ³
Wall Foundation: FUNDACIONES MUROS PC1	A1010.10	Wall Foundations	0.68 m ³
Wall Foundation: FUNDACIONES MUROS M4	A1010.10	Wall Foundations	2.77 m ³
Pile Cap-Rectangular: FUNDACIÓN COLUMNAS DECK	A1010.30	Column Foundation	0.30 m ³
Pile Cap-Rectangular: FUNDACIÓN COLUMNAS DECK	A1010.30	Column Foundation	0.30 m ³
Wall Foundation: FUNDACIONES MUROS M6	A1010.10	Wall Foundations	0.43 m ³
Wall Foundation: FUNDACIONES MUROS M6	A1010.10	Wall Foundations	1.03 m ³
Wall Foundation: FUNDACIONES MUROS M6	A1010.10	Wall Foundations	0.18 m ³
Wall Foundation: FUNDACIONES MUROS M6	A1010.10	Wall Foundations	0.92 m ³
Grand total: 13			17.47 m ³

Figura 45. Extracción de volúmenes de concreto de fundaciones
Fuente: Autodesk Revit 2018

CUADRO 3. ENTREGABLE DE COSTOS REQUERIDOS A PARTIR DE LA EXTRACCIÓN DE INFORMACIÓN				
ELEMENTO DE ACABADO	DESCRIPCION Y DETALLE	COSTO EN \$/m2	CUANTIFICACIÓN (m2)	COSTO TOTAL
Pisos internos	Se consideran en porcelanato con mortero de pega laticrete y fragua laticrete	\$20	118	\$ 2 360,00
Pisos en baños	Se consideran en porcelanato con mortero de pega laticrete y fragua laticrete	\$20,00	21	\$ 420,00
Enchapes en baños	Se considera acabado total en piso. Área de ducha hasta cielo y en áreas exteriores de ducha a 1,50m de altura.	\$20,00	82	\$ 1 640,00
Deck	Se considera en tablancillo de teca de 1x3 con separación entre ellos en 1" con acabado natural aceite laro top de Sur	\$70,00	33	\$ 2 310,00
Adoquines exteriores	Se consideran adoquín exterior del área de parqueo hasta el acceso de la vivienda en 6cm de espesor con base de lastre de 20m compactado 95%	\$20,00	31	\$ 620,00
Cubierta de Techo lámina rectangular color a escoger calibre 26	Serán suplidos por el PROPIETARIO e instalados por el CONTRATISTA.	\$12,00	261	\$ 3 132,00

Fuente: Elaboración propia en MS Excel

Programa de mantenimiento

A partir de los elementos ya modelados, se realiza la alimentación de la información a los equipos y accesorios operativos de la vivienda de con el fin de brindar al cliente un mejor control para el mantenimiento de los dispositivos instalados. De dichos elementos, a partir del uso de la herramienta LOD Planner, se crea una facilidad para el cliente en la que, a partir del modelo y un visualizador amigable, pueda navegar y seleccionar cada uno de los objetos y estos desplegarán una ventana con información acerca de ellos.

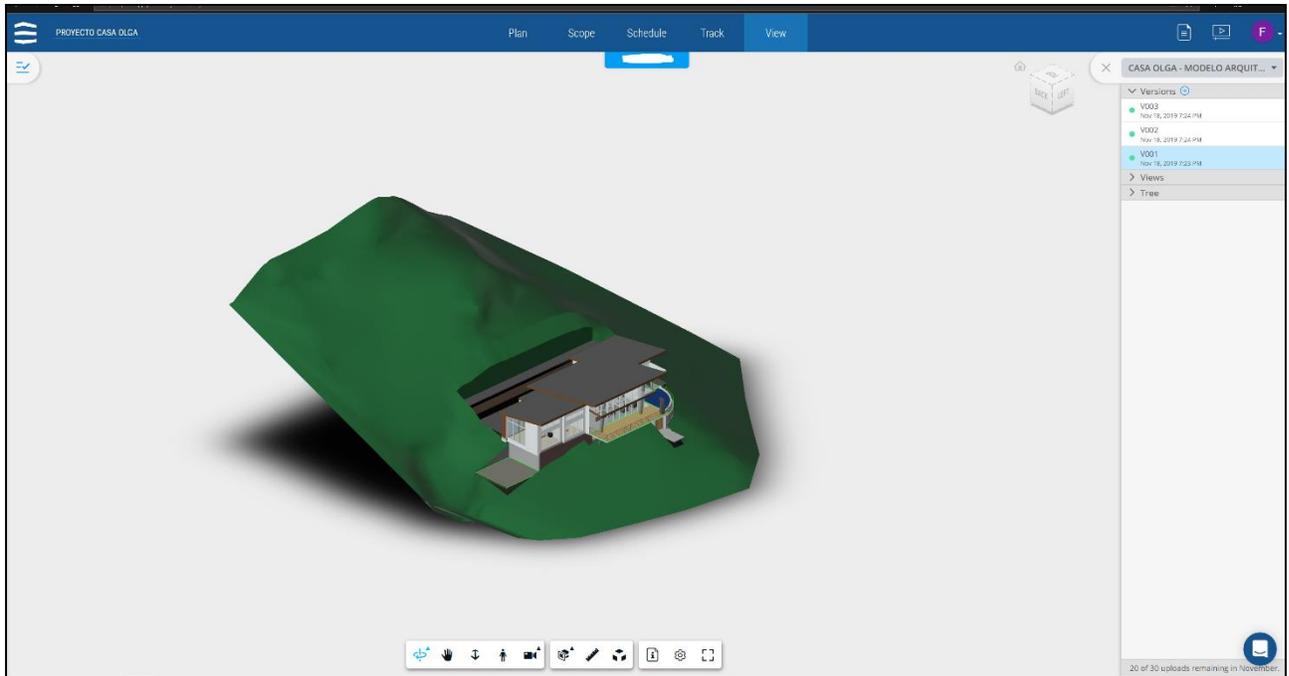


Figura 46. Visualización del modelo arquitectónico en la herramienta LOD Planner
Fuente: Elaboración propia a partir de LOD Planner

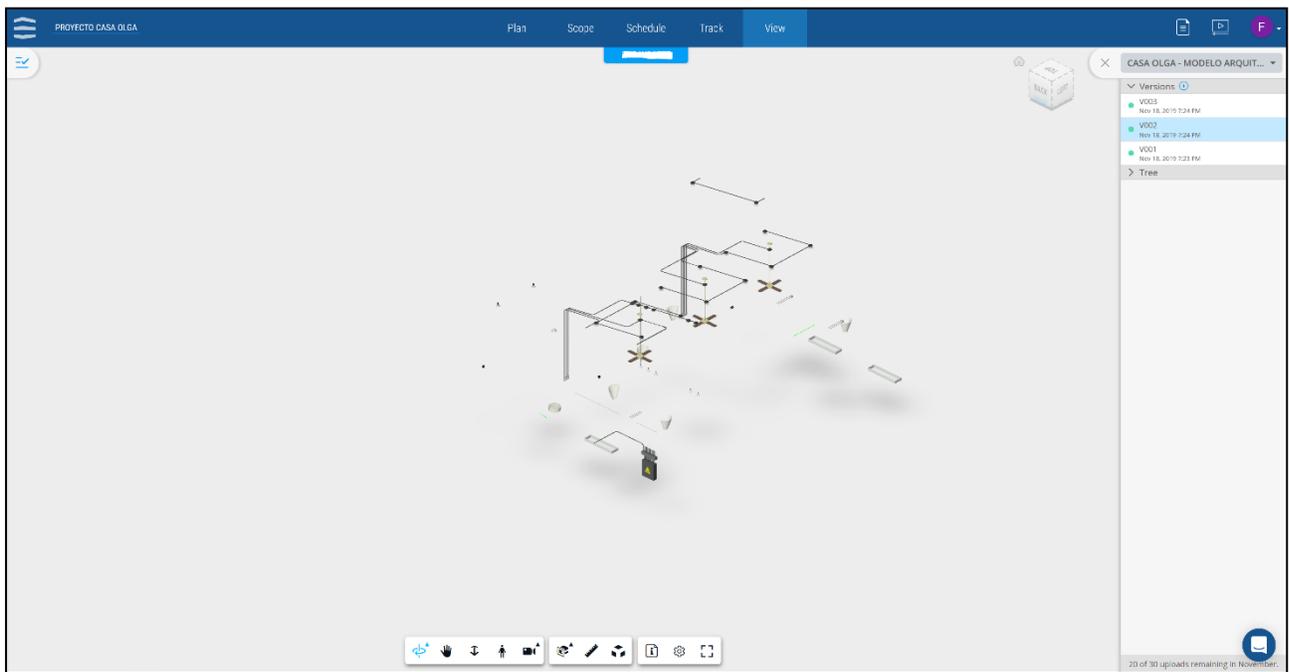


Figura 47. Visualización del modelo eléctrico en la herramienta LOD Planner
Fuente: Elaboración propia a partir de LOD Planner

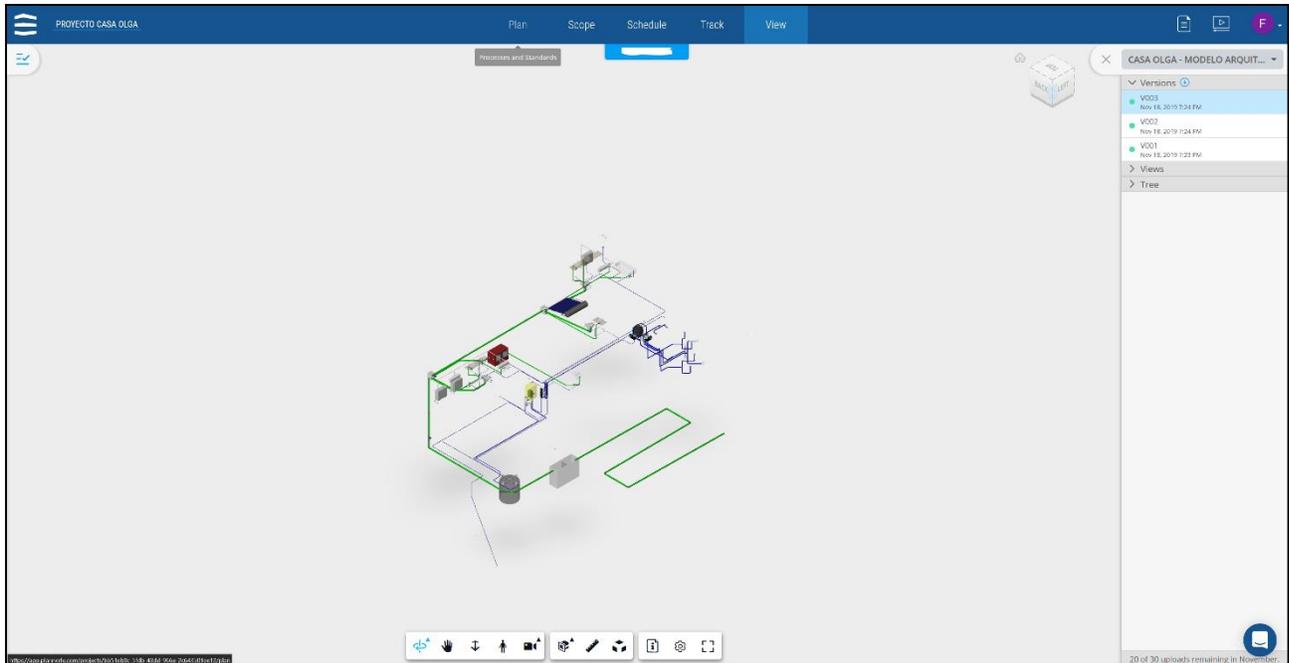


Figura 48. Visualización del modelo mecánico en la herramienta LOD Planner
Fuente: Elaboración propia a partir de LOD Planner

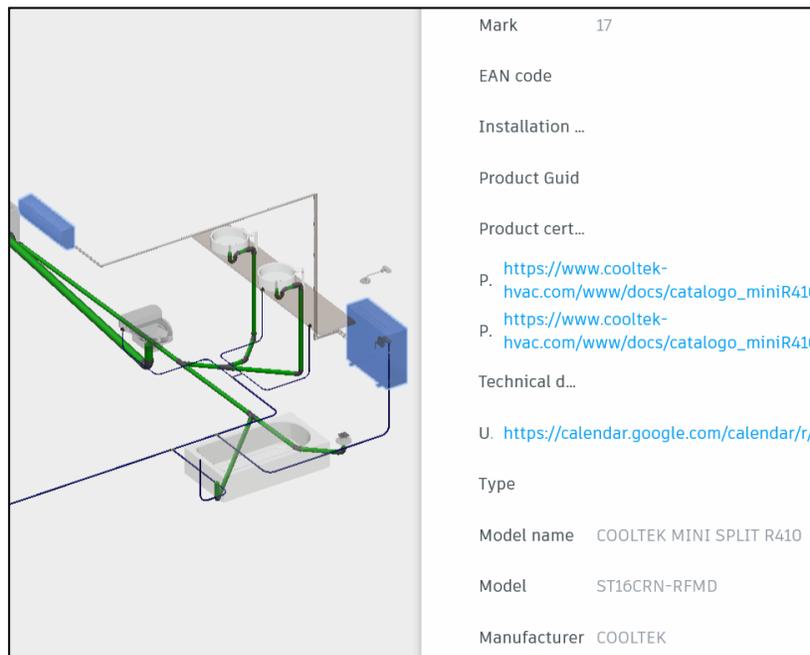


Figura 49. Datos de identificación del equipo de aire acondicionado
Fuente: Elaboración propia a partir de LOD Planner

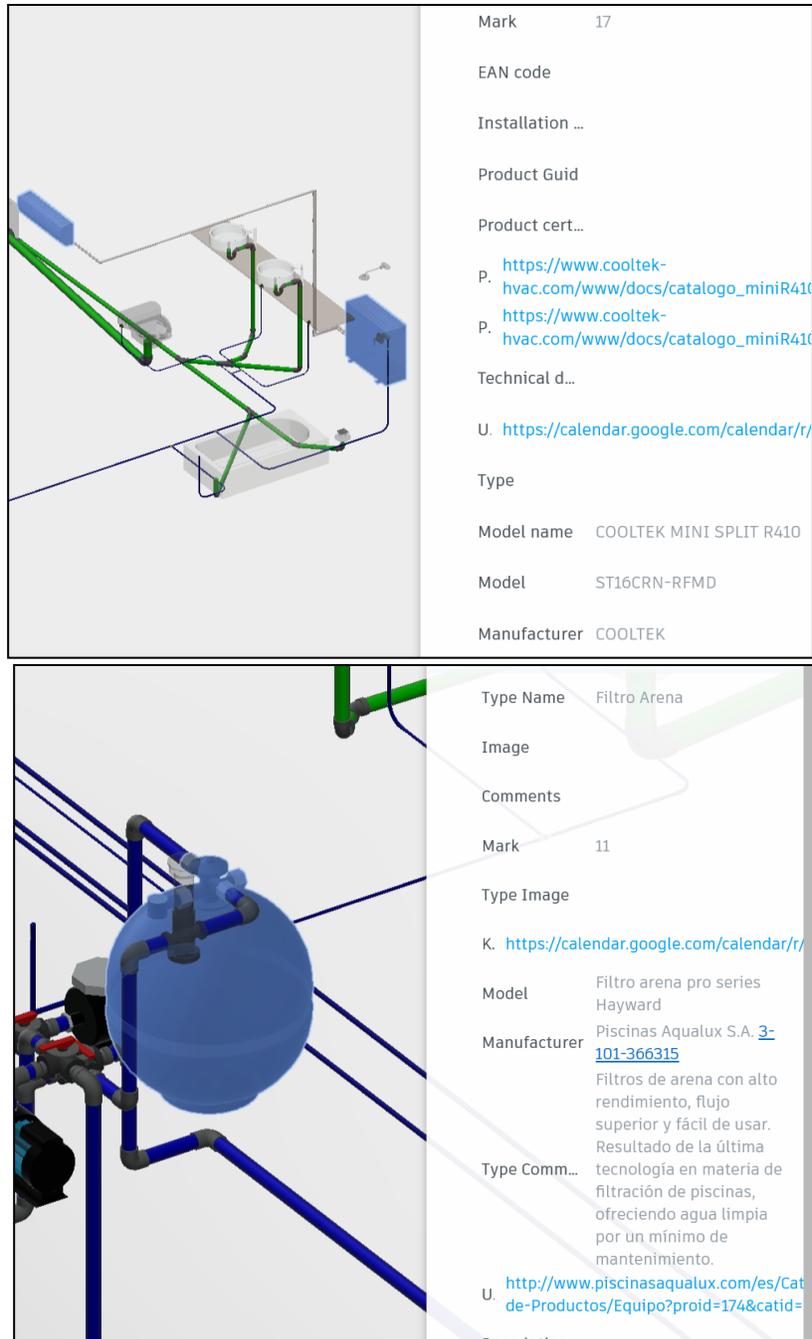


Figura 50. Datos de identificación del filtro de la piscina
Fuente: Elaboración propia a partir de LOD Planner

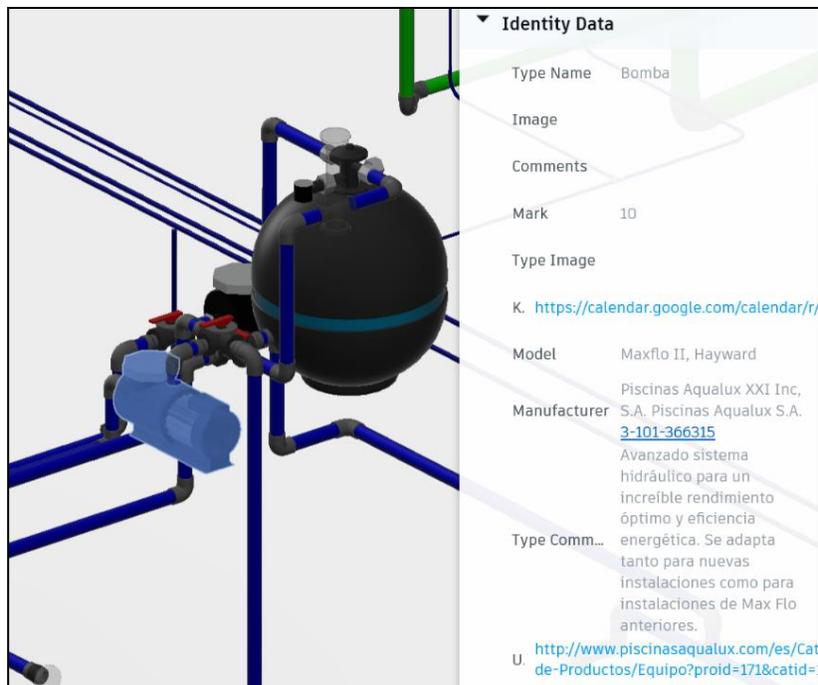


Figura 51. Datos de identificación de la bomba de la piscina
Fuente: Elaboración propia a partir de LOD Planner

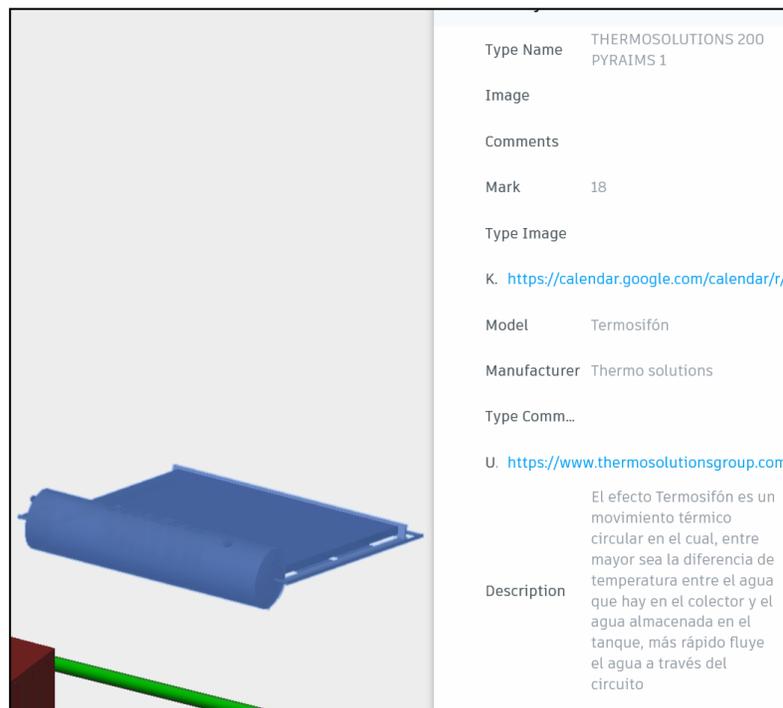


Figura 52. Datos de identificación del calentador de agua
Fuente: Elaboración propia a partir de LOD Planner

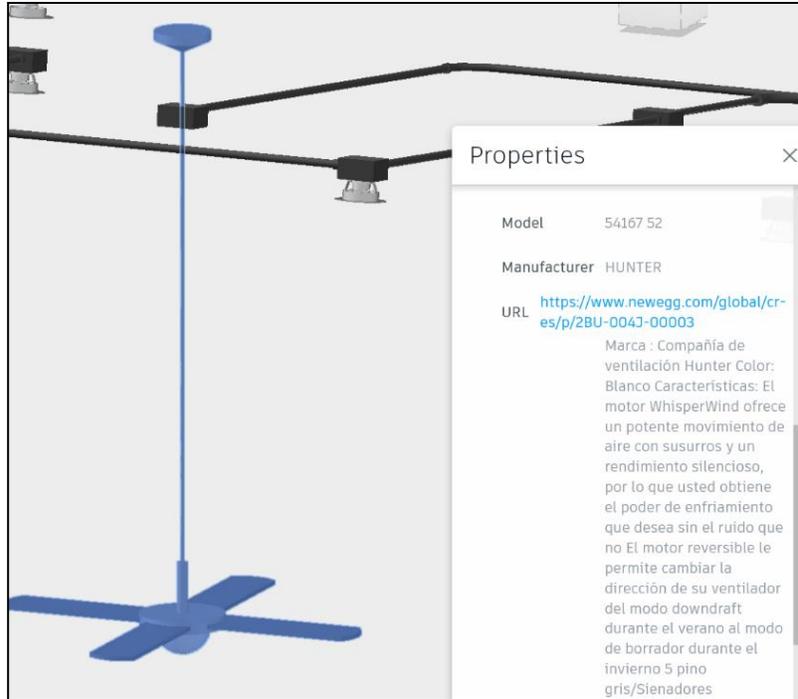


Figura 53. Datos de identificación de los ventiladores a instalar
Fuente: Elaboración propia a partir de LOD Planner

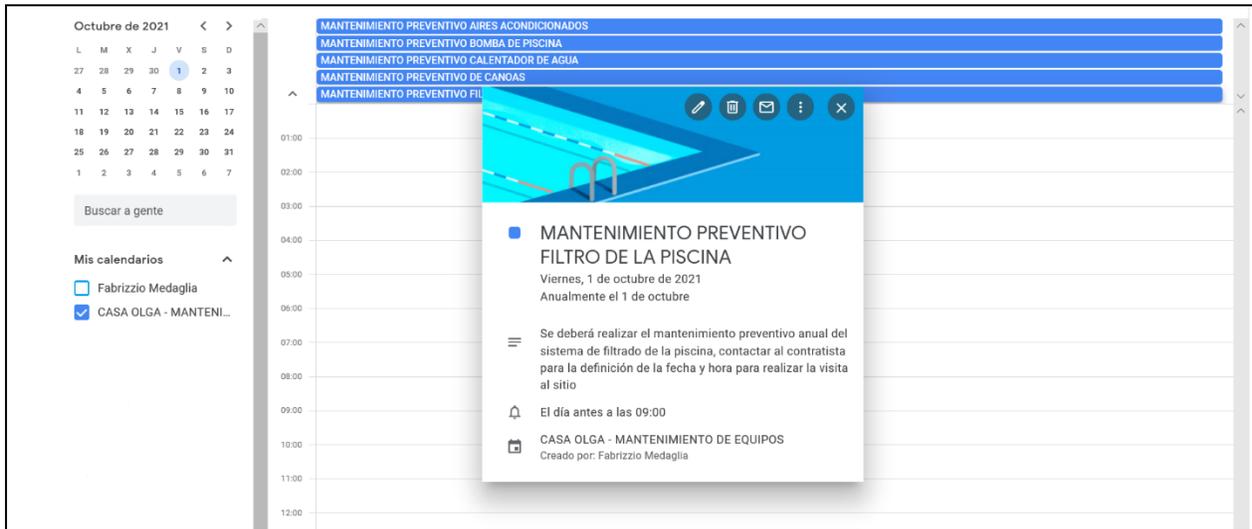


Figura 54. Información del cronograma de mantenimiento preventivo de los equipos
Fuente: Elaboración propia a partir de LOD Planner

Análisis de los resultados

El plan de Ejecución BIM es el primer y más importante paso para lograr tener éxito al implementar la metodología en un proyecto de construcción. Es importante indicar claramente las funciones y responsabilidades que tendrán cada uno de los miembros del equipo de trabajo, esto debido a que en estos nuevos procesos, los profesionales diseñadores no están acostumbrados a darle un seguimiento y actualización a sus diseños una vez que ya están aprobados y documentados, por lo que puede que su labor sea más costosa o que no se encuentren lo suficientemente motivados para cumplir con los objetivos del proceso y se deteriore la relación durante la construcción. Igualmente, es recomendable que el Plan de Ejecución BIM forme parte de la información contractual del proyecto y sea adaptado como un documento oficial de acatamiento obligatorio por parte de la empresa, esto con el fin de profesionalizar el proceso y de tomar acciones en caso de ser necesario.

Es de suma importancia prestarle la atención necesaria a la fase de planeamiento y diseño de la construcción como si fuera la de ejecución, ya que la idea fundamental del BIM es invertir más tiempo, dinero y horas profesionales durante este proceso en busca de recuperar ese gasto extra durante el desarrollo del proyecto, al aumentar la productividad, y anticipar los errores; sin embargo, si algún miembro del equipo de trabajo no cumple su parte de llevar este proceso con la seriedad y motivación que se requiere, puede que incluso el proyecto sea más costoso que si se hubiera dirigido bajo los métodos tradicionales. El desarrollo de los diagramas de flujo de procesos nivel 1 y 2 son fundamentales para el desarrollo de un proceso BIM exitoso, ya que, aplicando los principios de LEAN Construction, se dice que, aunque se crea que el proceso es sumamente sencillo y que se desarrolla de una forma eficiente, siempre hay puntos débiles y métodos para la mejora continua, y el estar recordando constantemente el procedimiento del flujo de

trabajo permite estar al tanto de nuevas y mejores formas de resolverlo (Ramirez, 2018).

El desarrollo de los diagramas de proceso de los usos BIM propuestos por en el formato del BEP de *Penn State* permiten tener mayor claridad de la forma en que se van a desarrollar los objetivos BIM del proyecto, indicando a cada uno de los objetivos su uso correspondiente y creando una secuencia del proceso de trabajo, en el caso del nivel 1, presentado en la Figura 15.

Los diagramas de flujo de proceso nivel 2 de los usos BIM como el mostrado en la Figura 16 están separados en tres secciones: Información de referencia, Proceso e Información de salida. La primera se refiere a la documentación procedente de otros procesos requerida para el cumplimiento de uso, en este caso se requiere de un estudio de suelos para conocer las características del terreno y el catastro del lote para conocer los límites de la propiedad y así poder realizar el levantamiento.

La sección de proceso corresponde un diagrama de flujo de los pasos a seguir para desarrollar el objetivo, indicando en su parte inferior la persona encargada del llevar a cabo cada objetivo, en este caso se utilizó las iniciales de los miembros del equipo de trabajo.

Por último, se tiene la información de salida, que corresponde a la documentación obtenida del cumplimiento de cada actividad asignada, esto es el producto del desarrollo del proceso para el cumplimiento del uso BIM y puede ser utilizada como información de referencia de otro diagrama.

La selección del equipo de trabajo también es muy importante, ya que hay que asegurarse de que los recursos de trabajo que tenga cada profesional sea compatible con el que se quiere trabajar y así evitar otro tipo de conflictos, ya que los softwares de modelado de información poseen licencias sumamente costosas y puede que no sea viable para algún profesional considerado para formar parte del equipo de trabajo, el adquirir la licencia sin tener la certeza de que va a tener la

cantidad de trabajo necesaria durante el año para poder costearla.

El ente encargado del desarrollo y operación de la metodología BIM en Chile, Planbim (2017) da una definición más amplia de los roles BIM en el BEP, indicando que lo que determina es un tipo de jerarquía según las capacidades formativas que tiene cada uno de los involucrados en el equipo de trabajo sobre la metodología, los roles no representan en sí un cargo dentro del proyecto, sino una obligación de cumplir con ciertas responsabilidades para el cumplimiento del plan de ejecución.

La puesta en práctica del plan de ejecución BIM es un proceso complejo que requiere de la cooperación y coordinación de muchas personas. El modelo de condiciones existentes junto con el diseño arquitectónico de la vivienda son los más importantes, ya que sobre estos se desarrollará el resto de los modelos de las otras disciplinas. En este caso, el modelo arquitectónico realizado por el arquitecto fue adaptado de tal forma que se le fue añadiendo información estructural con el fin de representar geoméricamente los elementos y que el análisis de interferencias fuera más real y preciso. Además, se adaptó cada uno de los elementos constructivos del modelo de tal forma que cumplieran con la nomenclatura Uniformat, para tener un filtro de información estandarizado y agilizar los procesos de cuantificación y planificación. En la Figura 44 y 45 se muestra la forma en que se le asignó a los elementos del modelo bajo la función de Revit: *Asssembly Code* y *Assembly Name*.

El proceso más comercializado por la industria del BIM es sin duda la detección de interferencias o, como el uso BIM lo define: coordinación 3D. Es lo más atractivo a la hora de vender un proyecto ejecutado bajo la metodología BIM y es de las funcionalidades de más provecho ya que permite hacer lo que hace varios años no se podía a partir de diseños aislados en planos 2D y vistas de las elevaciones: mostrar la interacción real de todos los elementos que componen lo que se va a construir.

En el caso de análisis del proyecto estudiado, el caso de la Figura 27 muestra la forma en que un tanque de almacenamiento de agua potable está ubicado en el mismo sitio que la cimentación de uno de los muros de la cochera, esto demuestra dos cosas:

- a) La importancia de modelar al menos las características geométricas de los

elementos estructurales, ya que el ingeniero electromecánico se basó en el modelo arquitectónico y no contempló que la cimentación de ese muro pudiera llegar hasta donde él colocó el tanque.

- b) La necesidad de establecer qué disciplina tiene jerarquía sobre cuál, en este caso, ya que, aunque el modelador MEP no tenía la información estructural de la casa a la hora de realizar su diseño, resulta más sencillo desplazar el tanque un par de metros hasta que no interfiera con la placa que rediseñar la placa.

Igualmente, en las Figuras 29, 30 y 31 se presenta otro ejemplo de este fenómeno, donde la tubería eléctrica está fuera de las paredes; sin embargo, el reporte no manifiesta que hay una incongruencia porque detecta que cumple con los parámetros establecidos de 5cm de choque mínimo.

La detección de incongruencias no finaliza en la revisión de los choques de la simulación de Navisworks, en este caso. Se debe aprovechar las facilidades que brinda el software para sacar el mayor provecho posible y simplificar al máximo los errores. A partir de las opciones de recorrido virtual por el proyecto, el programa brinda otra herramienta para que, en conjunto con ingenieros de proyecto que estén al tanto de problemas comunes en construcciones, se pueda planificar mejor la construcción con el fin de aplicar conceptos de constructibilidad a los elementos, mejorar la planificación y la coordinación de recursos para agilizar los procesos (Taboada, J., Alcántara, V., Lovera, D., Santos, R., Diego, J., 2011).

Para explicar el valor de lo expresado anteriormente, en la Figura 28 se muestra un conflicto en el que la ventana de la habitación es muy alta y llega hasta donde finaliza la pared, por lo que no se podría colocar el cielo raso. Este es un conflicto que no se presentó en la simulación, debido a que no hay ningún tipo de interferencia entre elementos; sin embargo, se debe corregir el diseño arquitectónico ya que el dejarlo así no cumpliría con las expectativas del cliente y generaría una posterior orden de cambio. La repercusión de esta interferencia contempla la reducción de la ventana a la altura de cargador que tienen las ventanas de la pared adyacente.

En la Figura 33 se muestra la colocación del equipo de bombeo y filtrado de la piscina, el cual se encuentra mal ubicado, ya que ese cuarto

corresponde al sauna. El equipo de la piscina debería ir en el Cuarto de Máquinas de Piscina el cual se encuentra debajo del deck, por lo que habrá que hacer una reestructuración de las conexiones mecánicas del equipo según la nueva ruta con base en la ubicación real.

BIM Track comprende una herramienta tanto para una mejor representación de los conflictos por medio de reportes con información específica de cada uno como para su uso durante la etapa de ejecución del proyecto, ya que permite ser utilizada en un dispositivo móvil y navegar y generar los reportes en sitio durante las inspecciones.

Para llegar a la cuarta dimensión BIM es necesario incorporar a cada actividad del modelo BIM el factor tiempo para llegar al punto de visualizar cómo se desarrollará el proyecto y explorar, en caso de que sea posible, la optimización de los procesos y alternativas de diseño. (Montilla, A, s.f.).

La programación de la construcción inicia como se muestra en la Figura 35, una vez que se realizaron las excavaciones y los ajustes en el terreno para iniciar el proceso de obra gris, a partir de eso se plantea que el desarrollo de los elementos de obra gris del proyecto tarde al menos 5 meses y una vez cumplidos, comiencen los procesos de acabados de la vivienda.

Al realizar la simulación, se observó que la secuenciación de la construcción requiere de una adaptación del sitio para que la maquinaria propuesta pueda acceder a lugares clave para mejorar el rendimiento, información que no se representó dentro del modelo, pero que el ingeniero del proyecto contempló para el diseño de sitio, a partir del avance planeado en el cuarto mes, mostrado en la Figura 38 donde inician las labores de lanzamiento del concreto y colocación de los paneles del sistema constructivo Covintec es donde se presentaría mayor aglomeración de personal, por lo que habrá que considerar la cantidad de cuadrillas de intervención para ese momento.

Una de las actividades más críticas en temas de seguridad laboral es la construcción de las columnas de concreto ubicadas en el área del *deck*, ya que, como se observa en la representación del modelo federado de la Figura 25, la pendiente del terreno en esa zona es pronunciada y las columnas tienen una altura total de 4,60 metros por lo que, a partir de la simulación realizada, se tomó la decisión de rediseñar las

columnas y seccionarlas en dos partes: una de concreto que comienza en la fundación y finaliza en la losa del *deck* y otra de acero desde el nivel de piso hasta donde finaliza sirviendo como apoyo al techo. Esto con el fin de disminuir los tiempos de trabajo y así las posibilidades de errores y accidentes, lo cual implica una consideración extra en el proceso constructivo de tomar en cuenta el alquiler de una grúa que simplifique la colocación de las columnas.

Entre los procesos que se podrían agilizar está el colocado de los paneles de COVINTEC, para los cuales se podría cambiar la secuenciación del alzado para explorar opciones en donde los trabajadores no se estorben entre ellos; situación que analizará el ingeniero director junto con el residente a partir del modelo 4D para buscar una mejor productividad.

El dimensionamiento 5D del modelo no fue posible debido a las complicaciones de encontrar un software que brindara el acceso a esta dimensión por temas de costo y capacitación en el tema, por lo que el uso planteado de los códigos de identificación Uniformat no cumplió con la función propuesta; sin embargo, se abordó esta solución desde una perspectiva diferente buscando facilidades que permitieran la cuantificación en cuanto a áreas y volúmenes para que así el proceso de estimación de costos que normalmente desarrolla la empresa sea más ágil y aumente su productividad.

El cálculo de costos presenta la desventaja de que no todo puede modelarse, por lo que es muy difícil tener un presupuesto completamente detallado de un proyecto (Montilla, A., s.f.). Es por esto que tomó la decisión de cuantificar únicamente los elementos solicitados por el ingeniero director para así poder realizar una comparación de las cantidades obtenidas con los precios establecidos por la empresa en el contrato de trabajo. Los costos presentados en el Cuadro 3 están asociados a la cuantificación directa de los elementos en Revit desde sus tablas de programación mostradas y al precio ingresado de los costos establecidos por la empresa.

Igualmente, como se muestra de la Figura 41 a la Figura 45, se obtuvo información adicional a partir de las tablas de planificación de Revit que servirán posteriormente al desarrollo del presupuesto, el cual, al no poderse desarrollar bajo la integración directa de un software con Revit, lo desarrollará la empresa con los mismos

recursos utilizados hasta el momento, por medio del software 04B.

Como complemento de entrega para el cliente, el desarrollo del plan de mantenimiento de los equipos inicialmente estaba contemplado a partir de un software de operación de edificaciones; sin embargo, el costo del licenciamiento comparado con las características del proyecto, no justificaban tal inversión, por lo que se optó por otra solución a partir de la herramienta LOD Planner. La herramienta utilizada para el desarrollo del BEP, posee un visualizador de modelos 3D con una interfaz amigable que permite navegar a través del modelo sin requerir de hardware muy avanzado, además, la aplicación permite compartir el proyecto al cliente sin necesidad de que este adquiriera una licencia ni interfiera con la labor del equipo de trabajo debido a que únicamente posee permisos de visualización del proyecto.

A partir de los modelos visualizados, expuestos en las Figuras 46, 47 y 48, el operador tiene la facilidad de seleccionar cualquier elemento del modelo y visualizar sus características, tales como acabados o dimensiones en el caso de los elementos constructivos como información de los equipos instalados, teniendo la facilidad de acceder a una página web donde encontrará la información general del producto como fabricante, proveedor y su ficha técnica, dicha información se muestra para ciertos equipos electromecánicos instalados, mostrados en las Figuras 49 a 53.

Además, dentro de la solución propuesta, cada uno de los elementos posee dentro de su descripción un *link* asociado a un calendario de Google en el cual se especifica la fecha y la frecuencia de los mantenimientos preventivos que se deben desarrollar en la etapa de operación de la vivienda, la información que visualizaría el operador se muestra en la Figura 54. A partir de esta facilidad, el dueño de la vivienda recibe recordatorios de las fechas en que hay que realizar los mantenimientos, al igual que la oficina de la empresa constructora, lo que permite una mejor comunicación y coordinación para la ejecución de estas actividades.

Conclusiones

- a) Para desarrollar un proceso de implementación BIM en una empresa donde el tema es un mundo completamente nuevo, es importante estar capacitado acerca de la materia para así no crear expectativas que no se puedan cumplir e ir poco a poco introduciendo procesos BIM en la etapa de operativa de la empresa y en los procesos constructivos, mostrando pequeños casos de éxito los miembros del equipo de trabajo poco a poco irán descubriendo el valor real de la metodología y adaptar más procesos.
- b) El plan de ejecución BIM debe ser parte de la documentación contractual de los profesionales de diseño para así evitar conflictos que entorpezcan el proceso BIM.
- c) La implementación de la metodología BIM debe estar sujeta a un cambio en la cultura organizacional de la empresa, capacitando a sus trabajadores y mostrándoles el valor real que esta brinda, con el fin de lograr una transición lo más fluida posible; además, esta cultura se debe transmitir a sus subcontratistas y demás equipos de trabajo con el fin de lograr obtener los beneficios desde todos los frentes de trabajo.
- d) Es importante contar con información de todas las disciplinas en el desarrollo de los modelos para que la etapa de coordinación arroje resultados que más de acerquen a la realidad y sean más confiables.
- e) La detección de interferencias debe realizarse tanto por medio de la función del software como por medio de la navegación a través del proyecto, con el fin de visualizar conflictos que no se muestran en el reporte general.
- f) Herramientas como BIM Track permiten una interfaz amigable y sencilla para la auditoría de modelos en la etapa de inspección y así crear modificaciones durante el proceso constructivo que permitan llevar el control de un modelo de registro.
- g) La simulación 4D del proceso constructivo comprende una solución para anticipar condiciones presentes durante el proceso constructivo y así tomar decisiones acerca del desarrollo y modificaciones durante la construcción.
- h) Para la estimación de costos detallada a partir de un modelo es necesario contar exclusivamente con un modelo por disciplina, esto debido a que al adaptar un modelo para que contenga información de otro, se pierde la capacidad de extracción de todos los materiales que componen un elemento.
- i) El modelado 5D requiere preferiblemente de una base de datos de precios y recursos en un formato compatible con el software para así referenciar los datos.
- j) Las tablas de planificación obtenidas de Revit comprenden una solución de cuantificación más directa que los procesos tradicionales, por lo que el tiempo de estimación de costos también se ve disminuido utilizando esta propuesta de solución.
- k) El programa de mantenimiento se debe realizar a partir de un software de manejo de activos, lo cual lo hace muy costoso y difícil de aplicar para este tipo de proyectos.
- l) La solución del programa de mantenimiento es un archivo vivo que se actualiza durante todo el proceso constructivo debido a requerimientos específicos de elementos por diseño u órdenes de cambio, su entrega final está condicionada a la finalización del proyecto.

- m) A partir de software de uso libre o de bajo costo se puede establecer una base para la implementación del BIM en una empresa, tomando en cuenta lo desarrollado en el proyecto, estas herramientas iniciales podrían ser Google Drive, LOD Planner y BIM Track.

Recomendaciones

- a) Se debe capacitar a al menos un miembro del equipo de trabajo para que sea este el que guíe el desarrollo del plan de implementación sobre bases sólidas y concretas, esto para evitar las malas prácticas y que la implementación de la metodología en la empresa sea un fracaso.
- b) Para el modelado 4D y 5D se recomienda investigar acerca de cómo nombrar las familias generales de Revit en los estándares utilizados (Uniformat en este caso), ya que la nomenclatura aplicaba únicamente para las familias insertadas en el modelo.
- c) Se recomienda investigar acerca de la interacción de complementos de extracción de información para cuantificación del modelo como Cost-it con el fin de conocer los procedimientos de modelado para obtener cantidades detalladas de materiales e integrar bases de datos de costos para el desarrollo total del presupuesto buscando que la información sea actualizable de ser requerido.
- d) Generar un modelo por disciplina con el fin de poder almacenar más información de los elementos modelados y no utilizar elementos genéricos que brinden mayoritariamente información geométrica.
- e) A partir de los procesos de simulación se pueden realizar análisis por parte de los encargados de la dirección y ejecución de los proyectos con el fin de, a partir de criterios basados en la experiencia, generar propuestas de aumento de productividad en las tareas y definición de recursos necesarios para el cumplimiento del cronograma.

Apéndices

Durante el desarrollo del proyecto se realizaron cinco apéndices que responden a las distintas necesidades de información de un proceso de ejecución BIM.

El primero de los apéndices corresponde al desarrollo del Plan de Ejecución BIM, el cual es la base de la implementación y contempla los requerimientos y consideraciones necesarias para llevar a cabo un proyecto BIM.

A partir del proceso de coordinación 3D se genera un reporte de interferencias por medio de la herramienta BIM Track, este reporte funge como el medio de comunicación entre el equipo de coordinación BIM con los diseñadores para realizar los cambios respectivos a los choques detectados.

Para el modelo 4D, se desarrolló el cronograma de trabajo necesario para que Navisworks ejecutara la simulación del proceso constructivo, dicho cronograma se presenta en la presente sección, además del árbol de selección y los sets de trabajo establecidos para cumplir con este objetivo.

Apéndice 1

PLAN DE EJECUCIÓN BIM PROYECTO CONSTRUCCIÓN CASA OLGA

NOVIEMBRE, 2019

PROYECTO CASA OLGA

01



TIPO DE PROYECTO

Residencial



UBICACIÓN

Puntarenas Province, Uvita, Costa Rica

INFORMACIÓN DEL PROYECTO



Fabrizio Medaglia's Team
Owner

OWN



Fabrizio Medaglia

fmedaglia555@gmail.com

83439064



- 1 INFORMACIÓN GENERAL
 - 1.1 Misión del Plan de Ejecución BIM
 - 1.2 Información del proyecto
 - 1.3 Contactos clave del proyecto
- 2 OBJETIVOS DEL PROYECTO Y USOS BIM
 - 2.1 Objetivos del proyecto / Usos BIM
 - 2.2 Usos BIM
- 3 USOS BIM
 - 3.1 Modelo de condiciones existentes
 - 3.2 Estimación de costos
 - 3.3 Fase de planeamiento: Modelado 4D
 - 3.4 Programación espacial
 - 3.5 Revisión de diseño
 - 3.6 Autoría de diseño
 - 3.7 Análisis de Ingeniería
 - 3.8 Coordinación 3D
 - 3.9 Fabricación digital
 - 3.10 Control 3D y planeamiento
 - 3.11 Modelo de registro
 - 3.12 Cronograma de mantenimiento
- 4 EQUIPO DE TRABAJO Y ROLES
 - 4.1 Roles y responsabilidades BIM
- 5 DISEÑO DE PROCESOS BIM
 - 5.1 Mapa de flujo de procesos nivel 1
 - 5.2 Mapas de flujo de proceso nivel 2 de los usos BIM
- 6 BIM Y REQUERIMIENTOS DE INFORMACIÓN
 - 6.1 Estrategia de colaboración y entorno común de datos (CDE)
- 7 PROCEDIMIENTOS DE COLABORACIÓN
 - 7.1 Procedimientos de reunión
 - 7.2 Formatos y softwares de intercambio de información

1 INFORMACIÓN GENERAL

04

1.1 Misión del Plan de Ejecución BIM

El Plan de Ejecución BIM debe desarrollarse para procurar implementar satisfactoriamente la metodología BIM en un Proyecto de construcción. Este BEP define a partir de los objetivos planteados, los usos BIM que se buscan cumplir a lo largo del proyecto junto con el diseño detallado de los procesos que se deben seguir para aplicar BIM a lo largo del ciclo de vida del proyecto llamado Construcción Casa Olga, Uvita, Puntarenas, de la empresa constructora Inmobiliaria MDG S.A. en colaboración con las empresas 10-84 Arquitectos encargada del diseño arquitectónico y Pyramis S.A., diseñadores de los elementos electromecánicos del proyecto

Este documento contiene las secciones y el especificaciones establecidas en la guía de estándares BIM de Penn State University para el desarrollo de Planes de Ejecución BIM, con el objetivo de establecer las pautas necesarias para que los miembros del equipo de planificación, diseño y ejecución de la obra sean capaces de completar el alcance propuesto para cada uno en busca de realizar el proyecto bajo el desarrollo de procesos BIM que permitan mejorar aspectos productivos y operativos tanto en la empresa desarrolladora de la obra, como en los consultores externos involucrados.

El nivel de desarrollo (LOD) y nivel de información (LOI) de los elementos modelados quedan a criterio de cada uno de los diseñadores y modeladores; sin embargo, es responsabilidad de cada uno el añadir información o contenido gráfico a los elementos de ser requerido por alguno de los miembros del equipo de trabajo durante el desarrollo del proyecto.

PLAN

1.2 Información del proyecto

1. Dueño del Proyecto:
2. Nombre del Proyecto: Casa Olga
3. Ubicación y dirección del Proyecto: Playa Hermosa, Uvita, Osa, Puntarenas, Costa Rica
4. Tipo de contrato: Llave en mano: Diseño y construcción del proyecto
5. Breve descripción del proyecto: Casa de habitación unifamiliar de dos plantas con cochera en la planta inferior, tres dormitorios, sala, cocina, comedor, dos baños y medio, sauna y piscina, con un área total aproximada de 200m².
6. Número de proyecto:
7. Fases del proyecto

FASE DEL PROYECTO	INICIO ESTIMADO	FINALIZACIÓN ESTIMADA	INVOLUCRADOS
PLANEAMIENTO PRELIMINAR	Julio 2019	Setiembre 2019	Cliente, Director del proyecto, Arquitecto
DISEÑO Y MODELADO	Setiembre 2019	Noviembre 2019	Director del proyecto, Asistente de ingeniería, Arquitecto, Ingenieros electromecánicos
REVISIÓN DE DISEÑO, CORRECCIONES, DOCUMENTACIÓN	Noviembre 2019	Noviembre 2019	Director del proyecto, Asistente de ingeniería, Arquitecto, Ingenieros electromecánicos
CONSTRUCCIÓN	Diciembre 2019	Octubre 2020	Director del Proyecto, Ingeniero residente, Asistente de ingeniería, Arquitecto, Ingenieros electromecánicos, Cuadrillas de trabajo, Subcontratistas
MANTENIMIENTO	Octubre 2020	-	Empresa constructora, Cliente

1.3 Contactos clave del proyecto

Rol	Organización	Contacto	Localización	E-Mail	Teléfono
Director de proyecto	Inmobiliaria MDG S.A.	Alejandro Medaglia Chaverri	Cartago	amedagliach@gmail.com	83352771
Ingeniero Residente	Inmobiliaria MDG S.A.	Juan Diego Artavia Álvarez	Puntarenas	jartavia@alcafam.co.cr	83544860
Asistente de ingeniería / Coordinador BIM	Inmobiliaria MDG S.A.	Fabrizzio Medaglia Mata	Cartago	fmedaglia555@gmail.com	83439064
Ingenieros electromecánicos / Modeladores MEP	PYRAMIS	Aarón Fonseca Andrés Vargas	San José	afonsecah@cfia.or.cr avargas@cfia.or.cr	61795486 89070444
Arquitecto / Modelador arquitectónico	10-84 Arquitectos	Paul Madriz T.	San José	pmadriz@10-84arquitectos.com	88314630
Ingeniero Estructural	Construcciones PIEDRANGULAR	Emanuel Ramírez Jiménez	San José	eramjim@gmail.com	83438180

04

PLAN

2 OBJETIVOS DEL PROYECTO Y USOS BIM

04

© 2.1 Objetivos del proyecto / Usos BIM

1. METAS Y OBJETIVOS BIM:

Estado de la metas y objetivos BIM

PRIORIDAD (Baja/Media/Alta)	DESCRIPCIÓN DE LA META	USOS BIM POTENCIALES
Alta	Representar los elementos diseñados de la vivienda en un software de modelado de información 3D que permitan, además de brindarle un aporte visual al cliente, contener información que pueda agilizar los procesos constructivos y evitar errores comunes.	Programación espacial Análisis de ingeniería Revisión de diseño Autoría de diseño Modelo de condiciones existentes
Alta	Realizar un análisis de interferencias que permita anticipar posibles problemas constructivos durante el proceso de construcción ligados a colisiones entre elementos de las diferentes disciplinas, además de problemas con los diseños que requieran de modificaciones.	Modelo de condiciones existentes Autoría de diseño Revisión de diseño Coordinación 3D
Media	Extraer información de los modelos que permita agilizar procesos de cálculo de costos generales y de materiales, para así disminuir desperdicios y ahorrar tiempos de cuantificación.	Modelo de condiciones existentes Planificación Estimación de costos
Media	Realizar una simulación general del proceso constructivo del proyecto con el fin de observar posibles mejoras a los procesos constructivos y a la vez establecer necesidades en el diseño de sitio para amentar el rendimiento.	Modelo de condiciones existentes Planificación Revisión de diseño Coordinación 3D Utilización de sitio Control 3D y planificación

PLAN

Media	Brindar al cliente una herramienta que permita tener acceso a un plan de mantenimiento de los elementos constructivos y equipos instalados en el hogar.	Modelo de condiciones existentes Cronograma de mantenimiento preventivo Modelo de registro
Baja	Obtener a partir de los modelos, representación detallada de algunos elementos que tengan una alta complejidad constructiva a partir de planos de taller y modulación de sus elementos	Modelo de condiciones existentes Control 3D y planificación Fabricación digital

© 2.2 Usos BIM

Para la ejecución del Proyecto, se estableció trabajar bajo el objetivo común de cumplir con los objetivos BIM propuestos a partir de las metas establecidas en la sección 2.2. A continuación se presentan los usos BIM asociados a cada una de las fases del ciclo de vida de la vivienda a construir.

04

PLAN	DISEÑO	CONSTRUCCIÓN	OPERACIÓN
MODELO DE CONDICIONES EXISTENTES			
ESTIMACIÓN DE COSTOS			
PLANEAMIENTO			
PROGRAMACIÓN ESPACIAL			
REVISIÓN DE DISEÑO			
	ANÁLISIS DE INGENIERÍA		
	VALIDACIÓN DE CÓDIGO		
	AUTORÍA DE DISEÑO		
COORDINACIÓN 3D			
		DISEÑO DE SITIO	
		FABRICACIÓN DIGITAL	
		CONTROL 3D & PLANIFICACIÓN	
		MODELO DE REGISTRO	
			CRONOGRAMA DE MANTENIMIENTO

PLAN

© 3.1 Modelo de condiciones existentes

Descripción

Como requisito inicial del proyecto, se debe conocer la base sobre la cual se estará trabajando. Esta base corresponde al terreno donde estará ubicada la vivienda, el cual brindará una serie de consideraciones clave para el desenvolvimiento de todos los equipos de trabajo involucrados. Se realizará un levantamiento topográfico con el fin de obtener datos de elevaciones y dimensiones básicas del terreno, sus resultados se procesarán y se modelarán en el software Autodesk Revit para poder comenzar construir el modelo arquitectónico.

Valor potencial

- Tener a disposición información que permita trabajar el proceso de diseño a partir de las condiciones reales que se presentan en el sitio de construcción.
- Tomar el modelo como base para la elaboración de los futuros modelos y coordinación 3D

Recursos Requeridos

- Profesional y equipo topográfico
- Software de manipulación de información de puntos de nivel
- Software de autoría de modelos 3D a partir de puntos de nivel. Autodesk Revit

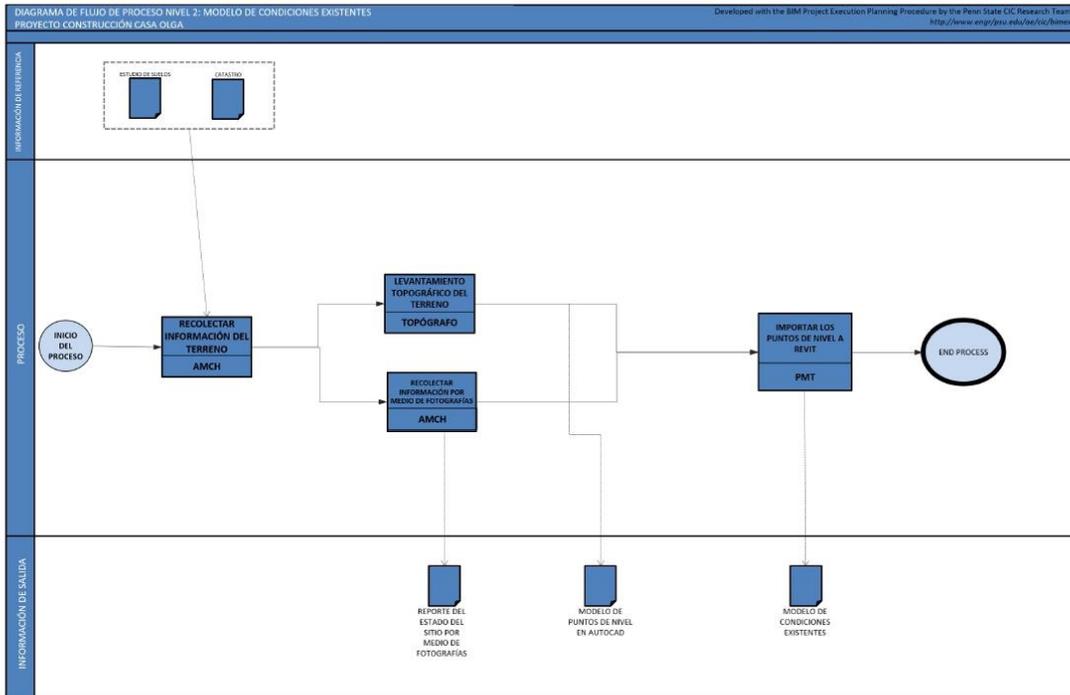
Habilidades requeridas del equipo

- Capacidad de manipular, navegar y revisar modelos 3D
- Conocimiento de herramientas BIM para la autoría de modelos 3D y manipulación de información de puntos topográficos
- Modelar a partir de los puntos de nivel la superficie de topografía en Revit

Información de salida

- Modelo 3D de la topografía del terreno

Mapa de proceso nivel 2:



© 3.2 Estimación de costos

Descripción

Proceso en que, asistidos con los modelos 3D realizados, se procederá a elaborar tablas de costos que simplifiquen el proceso de presupuestación, obteniendo de una manera más eficiente áreas, volúmenes y materiales requeridos para la construcción. Así mismo, este uso BIM será de ayuda para verificar cualquier variación de costos que se produzca por alguna modificación realizada, con el fin de tomar mejores decisiones a la hora de ejecutar órdenes de cambio y brindarle al cliente un dato preciso de la variación de costo que pueda presentar su solicitud.

El proceso de cuantificación y cálculo de costos se realizará únicamente para elementos requeridos por la empresa constructora:

- Costos por volumen de concreto para las cimentaciones de los muros y columnas
- Costo por volumen de concreto de muros de concreto
- Costo por volumen de concreto de contrapisos
- Costo por volumen de concreto de escaleras
- Costo de acceso en a la cochera adoquines
- Costo por volumen de las columnas del deck
- Costos de áreas de acabados de pisos según habitación y el monto establecido en el contrato
- Costos de áreas de acabados de paredes según habitación y el monto establecido en el contrato
- Costos de barandas
- Costos de cubierta de techo según área y el monto establecido en el contrato (instalación)
- Costo de puertas

Valor potencial

- Cuantificación general de materiales de obra gris, acabados y accesorios instalados en la vivienda.
- Rápida generación de cantidades que agilicen el proceso de toma de decisiones.
- Estimación de costos en menor tiempo.
- Brindar al propietario una respuesta rápida en la variación de costos que pueda generar una decisión durante el proceso de diseño y el resto de vida útil del inmueble.
- Ahorro de tiempo del presupuestista
- Permite tener más tiempo para enfocarse en otro tipo de actividades que mejoren el proceso de construcción.
- Fácil exploración de otras opciones de acabados y sistemas constructivos que varíen el costo de manera significativa.
- Es más sencillo capacitar a nuevos presupuestistas a que lleven a cabo este proceso.

Recursos requeridos

- Software capaz de generar presupuestos y base de datos de costos a partir de la extracción de información del modelo.
- Base de datos de costos de mano de obra y materiales .
- Software de autoría de modelos 3D que contengan información extraíble.

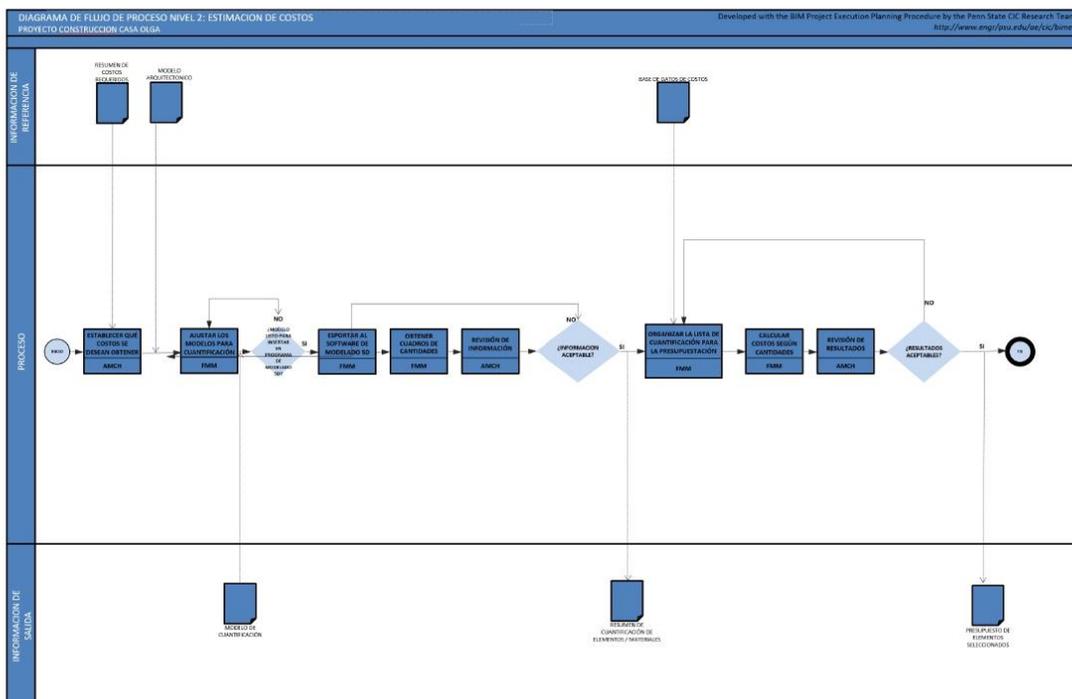
Habilidades requeridas del equipo

- Capacidad de manipular la información del software de diseño necesaria del para agilizar los procesos
- Experiencia y criterio profesional para comprobar que los datos extraídos tienen un sentido lógico

Información de salida

Cuantificación de materiales de elementos específicos.
 Estimación de costos de elementos específicos.

Mapa de proceso nivel 2:



© 3.3 Fase de planeamiento: Modelado 4D

Descripción

El proceso de modelado 4D del proyecto, consiste en integrar la programación temporal del desarrollo de las actividades al modelo 3D, esto con el fin de realizar una simulación del edificio y visualizar la secuencia de la construcción para detectar desde posibles conflictos constructivos hasta realizar análisis de diseño de sitio dependiendo de la actividad que se debe desarrollar y tomar consideraciones para la seguridad de los trabajadores.

Valor Potencial

- Mejor entendimiento de la secuencia constructiva de la vivienda
- Visualización dinámica de los procesos que permite definir la cantidad de trabajadores que deban estar interviniendo en la obra para evitar disminuir la productividad, ajustar calendarios de actividades y estimar los costos de los instantes en que se deba contar con más mano de obra.
- Identificar momentos clave en que se deban introducir maquinaria especial al proyecto para realizar o agilizar algún proceso constructivo, así como agendar entregas de materiales.
- Es más atractivo para el cliente observar la simulación que diagramas de barra a partir de la programación.

Recursos requeridos

- Realizar la programación del proyecto en MS Project o un software a fin.
- Asociar la información de la programación a los elementos del modelo arquitectónico del proyecto.
- A partir de Autodesk Navisworks, procesar la información y mostrar la simulación del proceso constructivo del proyecto.

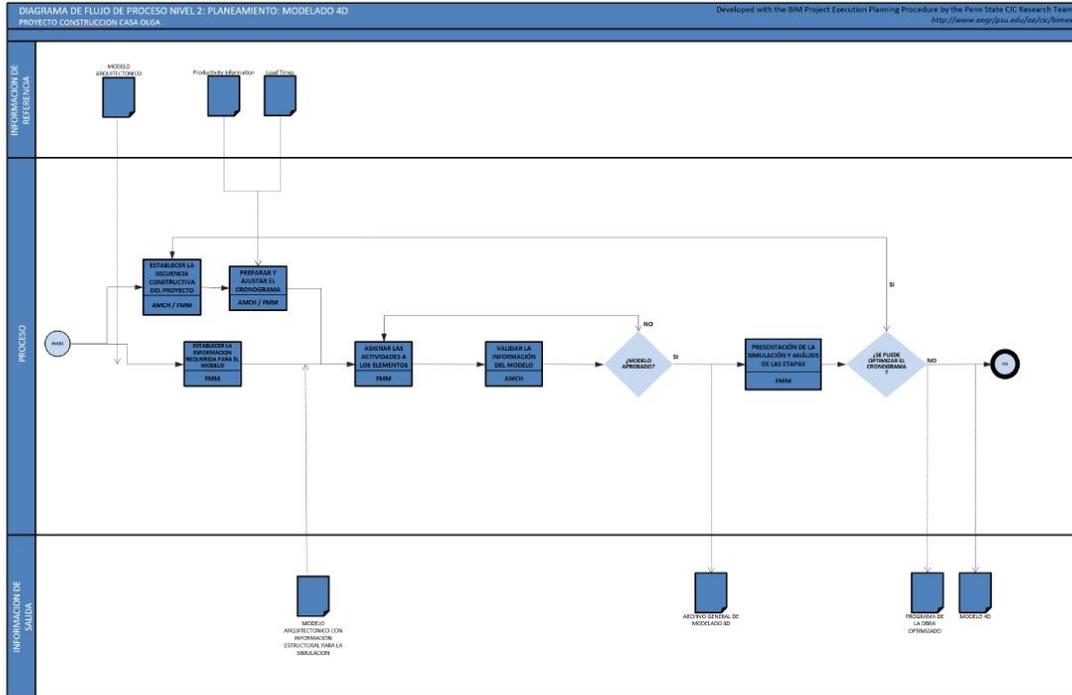
Habilidades requeridas del equipo

- Generar un modelo arquitectónico cuya información permita asociar los elementos fácilmente a un programa de trabajo. Esto nombrando los elementos bajo estándares Uniformat
- Tener conocimiento de los procesos constructivos y su secuencia lógica a la hora de hacer la programación.
- Manipular Navisworks para poder ejecutar el proceso de integración del programa al modelo y hacer la simulación.

Información de salida

- Video de la secuencia de construcción de los elementos a construir
- Reporte de errores o conflictos encontrados al analizar la simulación
- Análisis de variaciones del proyecto según su avance.

Mapa de proceso nivel 2



© 3.4 Programación espacial

Description

Proceso en que se define un eficiente y preciso manejo del espacio disponible para que, a partir de las especificaciones del contratante, se realice el diseño espacial de la vivienda. La implementación de la metodología BIM permite al equipo desarrollador a analizar los espacios y entender la complejidad de lo que el cliente desea construir. Esta fase comprende la base arquitectónica de lo que será el producto final entregado.

Valor potencial

- Evaluación eficiente y precisa del rendimiento del diseño con respecto a los requisitos espaciales del propietario

Recursos Requeridos

- AutoCAD
- Revit

Habilidades del equipo requeridas

- Habilidad de manejar softwares de modelado 3D y 2D

Posible información de salida

Propuesta espacial del proyecto que se utilizará para realizar los próximos diseños.

Planos en AutoCAD que serán la base del modelo Revit

© 3.5 Revisión de diseño

04

Descripción

En este proceso los involucrados en el proceso de diseño revisan los modelos y dan su retroalimentación para validar o corregir aspectos importantes.

Valor potencial

- Optimizar diseños para abaratar costos
- Eliminar el uso de maquetas tradicionales que resultan costosas y requieren de mucho tiempo para su ejecución y cuya única función es brindar un aporte visual que seguramente va a cambiar en la etapa constructiva
- Generar procesos de revisión de diseño y cambios más eficientes
- Evaluar la efectividad de los diseños presentados de acuerdo a los requerimientos del cliente.
- Promover una fácil comunicación entre el propietario, contratista y el equipo de diseño.

Recursos requeridos

- Espacio interactivo para la revisión de diseños
- Softwares de diseño que promuevan un sencillo control de cambios del trabajo

Habilidades del equipo requeridas

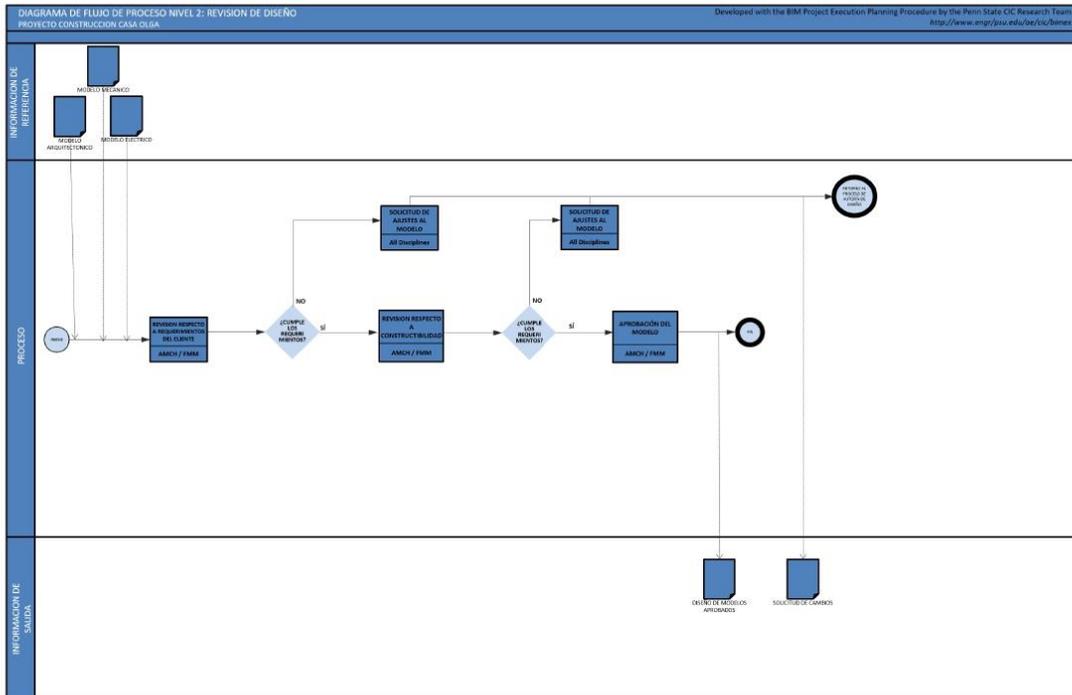
- Capacidad de manipular, navegar y revisar modelos 3D.
- El revisor debe tener experiencia en proyectos de construcción para ser capaz de coordinar los diseños y comprender en casos específicos qué disciplina tiene mayores complicaciones para hacer algún cambio específico entre otra.
- Conocer cómo los sistemas de diseño integrado se relacionan entre sí.

Información de salida

- Modelos con retroalimentación de solicitudes de rediseño y reportes de historiales de diseño

PLAN

Mapa de proceso nivel 2



© 3.6 Autoría de diseño

04

Descripción

Proceso en que se utiliza el software 3D para desarrollar el modelo BIM basado en las características de los diseños ejecutados por los profesionales de cada disciplina. Los modelos se irán creando y modificando según las correcciones que se den durante el proceso de diseño. A partir de estos modelos se extrae la información necesaria para los procesos del ciclo de vida del proyecto y se federan para obtener el análisis de interferencias por medio de la coordinación 3D.

En el proyecto se presentan 3 tipos de autoría de diseño:

Arquitectónica - Paul / Fabrizio

Paul es el encargado de realizar la propuesta inicial del diseño arquitectónico, a partir de la cual Fabrizio realizará los cambios o adaptaciones necesarias para que el modelo cumpla con el cumplimiento de los usos BIM definidos.

Estructural - Emanuel / Fabrizio

Emanuel se encargará del diseño estructural general del proyecto, mientras que Fabrizio colaborará como modelador estructural de los elementos considerados de mayor influencia ante un futuro proceso de coordinación 3D.

Electromecánica - Aarón y Andrés

Los integrantes de PYRAMIS S.A. se encargarán del 100% de los aspectos electromecánicos, tanto el diseño como el modelado 3D en Revit a partir del modelo arquitectónico facilitado.

Valor potencial

- Transparencia en el diseño de los responsables.
- Mejor control de calidad en el diseño, programación de entregas y costos, importante también en la responsabilidad de garantía de las fases del proyecto. .
- Mejor y más sencilla visualización del diseño
- Colaboración real entre los involucrados en el proceso de diseño de las diferentes disciplinas y los diferentes usuarios del proyecto.

Recursos requeridos

- Softwares de autoría de diseño
- Herramientas para el diseño
- Modelado 3D a partir de Revit

Habilidades del equipo requeridas

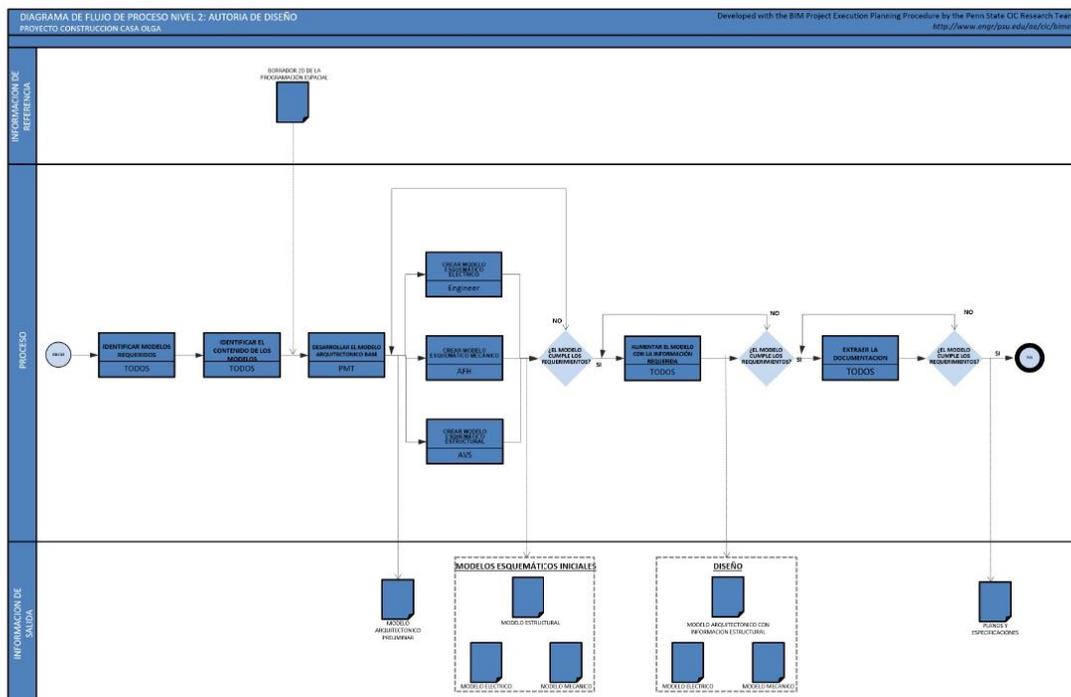
- Capacidad de manipular, navegar y revisar modelos 3D.
- Conocimiento de los procesos constructivos y métodos de diseño.
- Conocimiento y aplicación de las normativas vigentes para el desarrollo de los diseños.
- Saber cómo linkear el archivo arquitectónico para que sea la base de la colocación de Iso elementos de las otras disciplinas y desvincularlo en caso de que se actualice la versión del modelo base.

Información de salida

Modelos de diseño.

Modelos 3D en Revit de las estructuras y elementos diseñados.

Mapa de proceso nivel 2



© 3.7 Análisis de Ingeniería

Descripción

Quedará a disposición de cada profesional el uso de herramientas BIM que permitan el análisis de los elementos de cada una de las disciplinas, ya que lo que se busca es que cumplan con el entregable final del modelo 3D con la información establecida y requerida para la posterior explotación en el cumplimiento de los usos BIM del proyecto.

04

© 3.8 Coordinación 3D

04

Descripción

Proceso realizado por Fabrizio, el cual, a partir de los modelos 3D realizados (eléctrico, mecánico y arquitectónico con información estructural), se hace una detección de choques en Navisworks con una incidencia entre elementos de al menos 5.00cm para así, navegar por el modelo e identificar los conflictos que se presentaron entre cada uno de los diseños.

El objetivo de la navegación es seleccionar cuáles interferencias son las que realmente están afectando significativamente al proyecto, estas interferencias se trasladan al complemento BIM Track dentro de Navisworks para desarrollar el reporte de conflictos y presentar a los diseñadores las correcciones que deben hacer en sus respectivos modelos. Una vez presentado el reporte, se dará un tiempo prudencial para la corrección de los modelos y se volverá a iniciar el proceso.

El proceso de coordinación 3D y solicitud de cambios se extiende hasta la finalización del proyecto

Valor potencial

- Coordinar la construcción del proyecto por medio del modelo
- Reducir significativamente las órdenes de cambio
- Visualizar la interacción de los elementos de las disciplinas
- Aumentar la productividad
- Reducir la variación de costos
- Disminuir tiempos de construcción
- Planos as built mejor detallados

Recursos requeridos

- Autodesk Navisworks
- Modelos de todas las disciplinas
- Complemento de Navisworks BIM Track

Habilidades del equipo requeridas

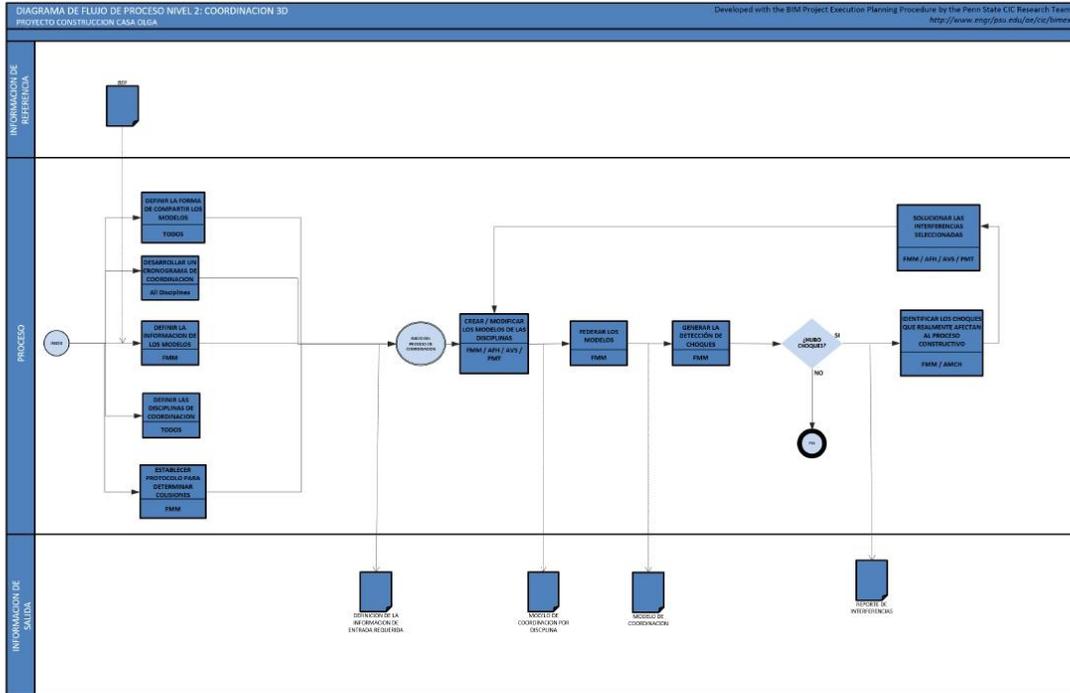
- Estar abiertos a realizar las variaciones solicitadas
- Manipular Navisworks y saber generar reportes en BIM Track

Información de salida

- Modelo federado y coordinado en Navisworks
- Reporte de conflictos

PLAN

Mapa de proceso nivel 2



© 3.9 Fabricación digital

04

Descripción

Este uso está enfocado en la etapa de ejecución del proyecto, donde el equipo encargado de la construcción definirá qué elementos requieren con un alto nivel de detalle en cuanto a representación gráfica y modulación de sus componentes con el fin de optimizar los materiales utilizados y aumentar la productividad de la mano de obra.

Dentro de los potenciales elementos a apicar este uso se encuentran:

1. Modulación piso deck
2. Modulación techos generales
3. Modulación techos de policarbonato
4. Modulación cielos suspendidos de gypsum
5. Cualquier elemento no contemplado que el equipo de construcción considere aplicarle este proceso.

Valor potencial

- Asegurarse de la calidad de la información
- Minimizar las tolerancias de desperdicio de materiales
- Incrementar la productividad del equipo constructor
- Simplificar la inspección y el control de calidad
- Adaptar nuevos requerimientos del proyecto establecidos durante el proceso constructivo

Recursos requeridos

- Software de autoría de diseño: Revit

Información de salida

Modelos de fabricación en revit con el nivel de detalle necesario para modular elementos y utilizarse como planos de taller

Planos de taller

PLAN

© 3.10 Control 3D y planeamiento

Descripción

En ese uso, a partir del modelo de coordinación y el modelo 4D se busca identificar aspectos importantes para tomar en cuenta durante el proceso constructivo como diseño de sitio y ubicación de obras y caminos preliminares que contribuyan a un más eficiente proceso de trabajo.

04

© 3.11 Modelo de registro

Descripción

El modelo de registro corresponde a la actualización constante de los modelos desarrollados al inicio del proyecto durante el transcurso de la construcción, donde se registren los cambios solicitados y modificaciones para que estos representen la realidad de la construcción.

Record Modeling is the process used to depict an accurate representation of the physical conditions, environment, and assets of a facility. The record model should, at a minimum, contain information relating to the main architectural, structural, and MEP elements. It is the culmination of all the BIM Modeling throughout the project, including linking Operation, Maintenance, and Asset data to the As-Built model (created from the Design, Construction, 4D Coordination Models, and Subcontractor Fabrication Models) to deliver a record model to the owner or facility manager. Additional information including equipment and space planning systems may be necessary if the owner intends to utilize the information in the future.

Valor potencial

Recurso disponible del modelo de la vivienda para una posible restauración o remodelación en el futuro con todos los elementos de las disciplinas establecidas modelados y ubicados en las posiciones correctas.

Disminuir los conflictos con el cliente al final del proyecto debido a entregas de documentación del edificio o planos desactualizados que no reflejen la realidad de la construcción

Disponer de información real de elementos del edificio que permitan generar una posterior herramienta para el mantenimiento del mismo

Recursos y competencias del equipo requeridas

Habilidad de manipular el modelo 3D de la construcción y registrar los cambios efectuados en el proceso constructivo.

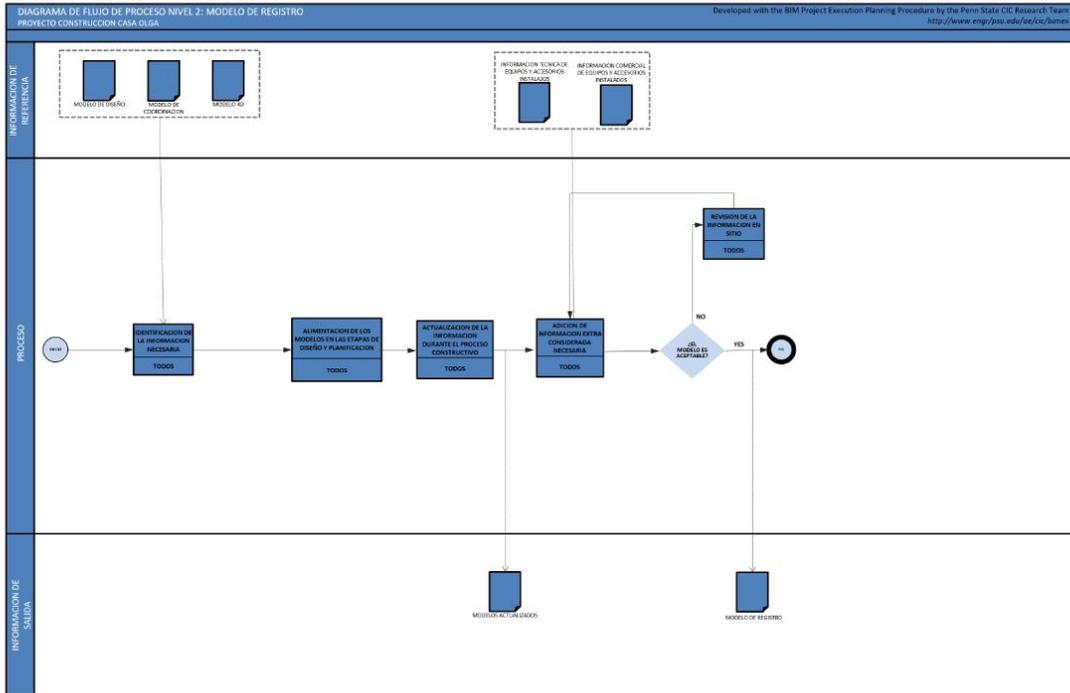
Disposición de actualizar el modelo luego de cada inspección realizada

Información de salida

Modelo con información suficiente para desarrollar una posterior herramienta de mantenimiento

Modelo de registro actualizado que arroje planos as built con menor costo.

Mapa de proceso nivel 2



© 3.12 Cronograma de mantenimiento

Descripción

Este proceso corresponde al desarrollo de una herramienta para el mantenimiento de los accesorios, equipos y elementos constructivos del proyecto desarrollado.

El alcance de este uso comprende el alimentar los elemento del modelo con información acerca de su fabricante, ficha técnica, manuales de uso e información adicional que permita un mejor control del mantenimiento de la vivienda

Valor potencial

- Brindar al cliente información acerca de los elementos instalados para su cuidado, correcto uso, mantenimiento y reparación.
- Llevar un historial de mantenimientos
- Reducción de gastos de reparación o cambio de equipos dañados por un incorrecto uso o falta de mantenimiento preventivo.

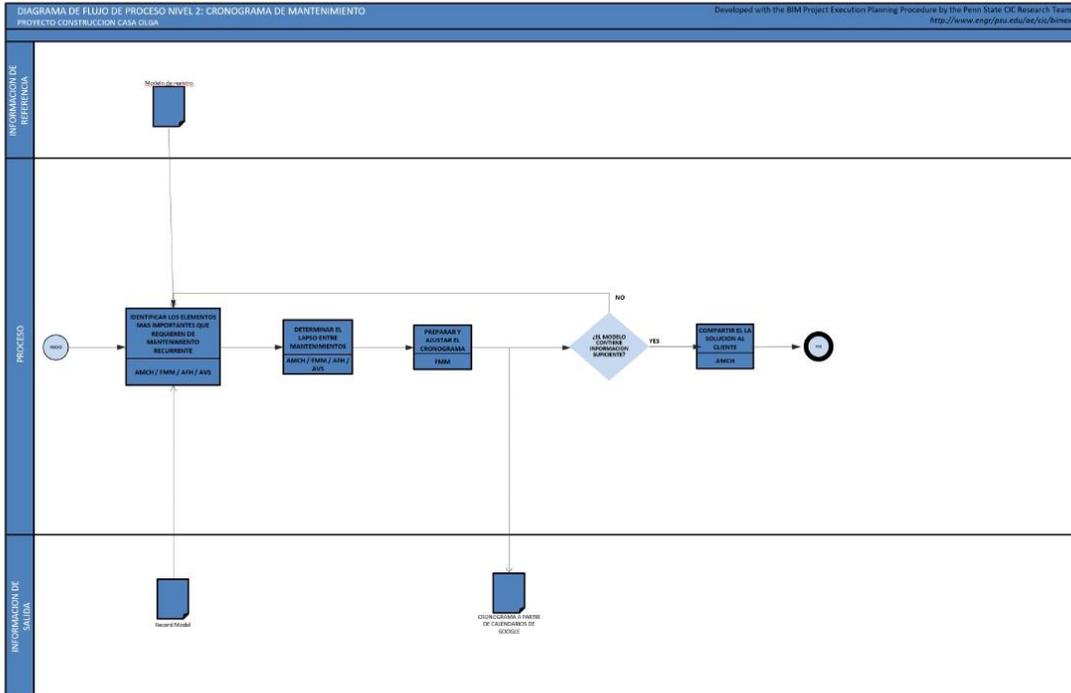
Información de salida

Elementos del modelo alimentados con la información necesaria para llevar un plan de mantenimiento

Cronograma de mantenimiento preventivo de los equipos

Visualización del modelo en un entorno más amigable a partir de LOD Planner

Mapa de proceso nivel 2



4 EQUIPO DE TRABAJO Y ROLES

04

© 4.1 Roles y responsabilidades BIM

A continuación se presentan los roles y responsabilidades del equipo de trabajo de diseño y construcción del proyecto.

NOMBRE	CAMPO DE ACCIÓN	ROL BIM	RESPONSABILIDADES
Alejandro M. Chaverri	DIRECCIÓN/EJECUCIÓN	BIM PROJECT MANAGER	Ingeniero en construcción encargado de llevar la dirección y control de la obra. Realizará visitas de inspección al menos una vez por semana.
Juan Diego Artavia	EJECUCIÓN	LEAD CONSTRUCTION	Ingeniero residente.
Fabrizio Medaglia	DISEÑO/AUDITORÍA/INSPECCIÓN/EJECUCIÓN	BIM MANAGER - BIM COORDINATOR - BIM MODELER	Modelador arquitectónico y estructural, encargado de la administración de los modelos para la coordinación y administración de los procesos BIM.
Paul Madriz	DISEÑO/INSPECCIÓN ARQUITECTURA	BIM MODELER - TASK TEAM MANAGER	Arquitecto, encargado del diseño y modelado arquitectónico de la vivienda.
Aarón Fonseca	DISEÑO/INSPECCIÓN ELECTROMECÁNICA	BIM MODELER - TASK TEAM MANAGER	Ingeniero electromecánico, encargado del diseño y modelado de la disciplina eléctrica.
Andrés Vargas	DISEÑO/INSPECCIÓN ELECTROMECÁNICA	BIM MODELER - TASK TEAM MANAGER	Ingeniero electromecánico, encargado del diseño y modelado de la disciplina mecánica.

PLAN

Emanuel Ramírez	DISEÑO/INSPECCIÓN ESTRUCTURAL	TASK TEAM MANAGER	Encargado de realizar los modelos estructurales y brindar la información necesaria para el modelado de información requerida en el modelo arquitectónico.
-----------------	-------------------------------	-------------------	---

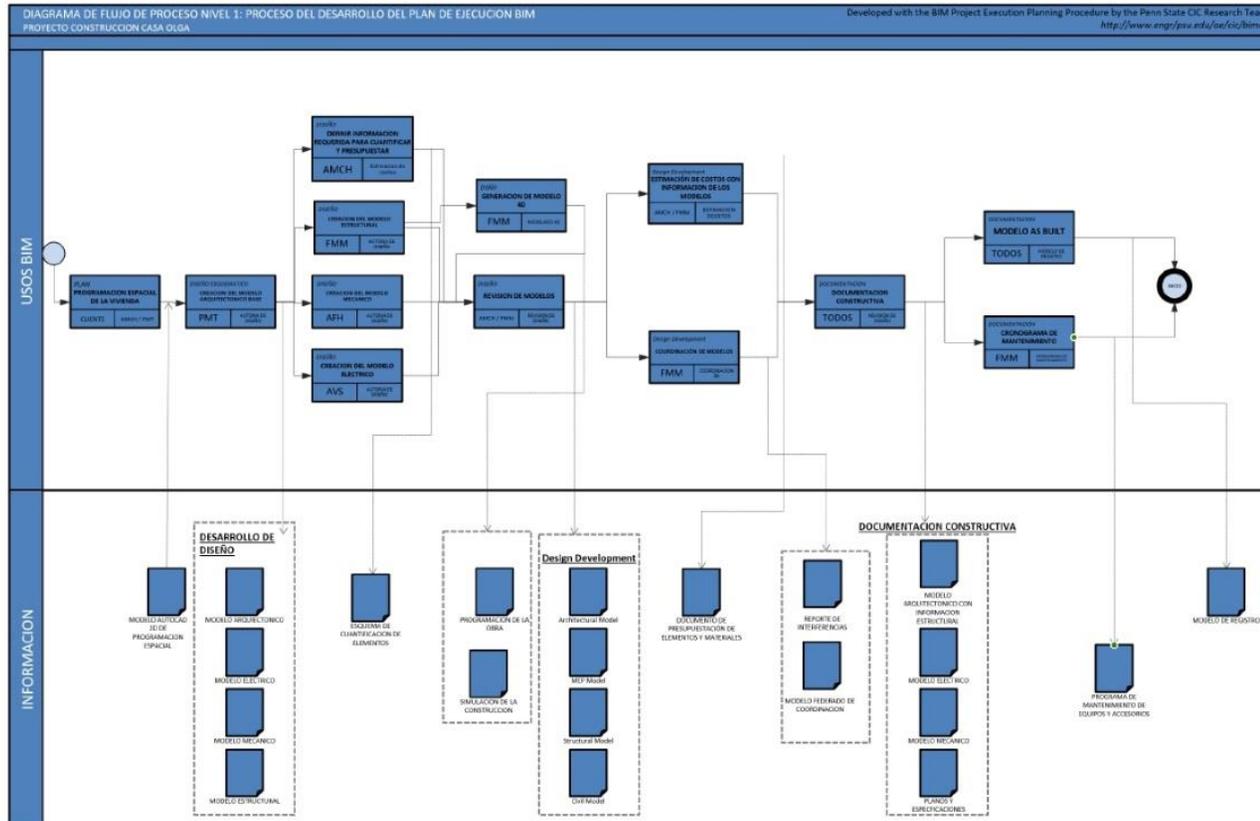
04

© 5.1 Mapa de flujo de procesos nivel 1

Este mapa representa la secuencia en que se desarrollará cada uso BIM del proyecto, así como la información obtenida de cada uno de los procesos

SmartLeanBIM™





04

PLAN

© 5.2 Mapas de flujo de proceso nivel 2 de los usos BIM

Mapas de flujos de proceso de los usos BIM

Los mapas de los flujos de proceso nivel 2 se encuentran adjuntos en la descripción de cada uso

🌐 6.1 Estrategia de colaboración y entorno común de datos (CDE)

La estrategia de colaboración del proyecto se desarrollará a partir de un entorno común de datos definido por el equipo de diseño de la obra. Dicho CDE será por medio de Google Drive, donde Paul alimentará el archivo principal del modelo arquitectónico, el cual usarán Aarón y Andrés de base para realizar sus modelos.

A partir del modelo subido por Paul, Fabrizio se encargará de manipularlo e ingresarle la información del diseño estructural realizado por Emanuel de los elementos definidos para realizar la coordinación 3D. Cada modificación y actualización del modelo debe de comunicarse con el resto del equipo para procurar que todos estén trabajando con la misma base y evitar retrabajos.

Cada cambio de versionamiento debe archivar en la carpeta "PROCESO DE DISEÑO" y los trabajos actuales se colocarán en la carpeta "Versiones finales"

7 PROCEDIMIENTOS DE COLABORACIÓN

04

7.1 Procedimientos de reunión

Tipo de reunión	Etapa	Frecuencia	Participantes	Método de reunión
ESTABLECIMIENTO DE REQUERIMIENTOS BIM	Planeamiento/ diseño	Una vez	Todos	Llamadas / videoconferencias / Chats
DEMOSTRACIÓN DEL BEP	Planeamiento	Una vez	Todos	Llamadas / videoconferencias / Chats
COORDINACIÓN DE DISEÑO	Diseño	Semanal	Paul Fabrizzio Emanuel Andrés Aarón	Llamadas / videoconferencias / Chats
INSPECCIÓN DEL PROYECTO	Ejecución	Semanal	Todos	Presencial en el proyecto. Uvita, Puntarenas
COORDINACIÓN DURANTE EJECUCIÓN	Ejecución	Ejecución	Todos	Llamadas / videoconferencias / Chats

PLAN

7.2 Formatos y softwares de intercambio de información

04

Intercambio de información	¿Quién envía el archivo?	¿Quién recibe el archivo?	Frecuencia	Disciplina del archivo	Software	Tipo de archivo
Diseño arquitectónico	Paul	Fabrizio Emanuel Andrés Aarón	Sujeta a los cambios a realizar	Arquitectónica	Revit 2018	.RVT
Diseño estructural	Emanuel	Fabrizio	Sujeta a los cambios a realizar	Estructural	AutoCAD 2019	.DWG .PDF
Modelado eléctrico	Andrés	Fabrizio	Sujeta a los cambios a realizar	Eléctrica	Revit 2018	.RVT
Modelo mecánico	Aarón	Fabrizio	Sujeta a los cambios a realizar	Mecánica	Revit 2018	.RVT

PLAN

Apéndice 2



Summary

Total project issues : 7

Total printed issues : 7

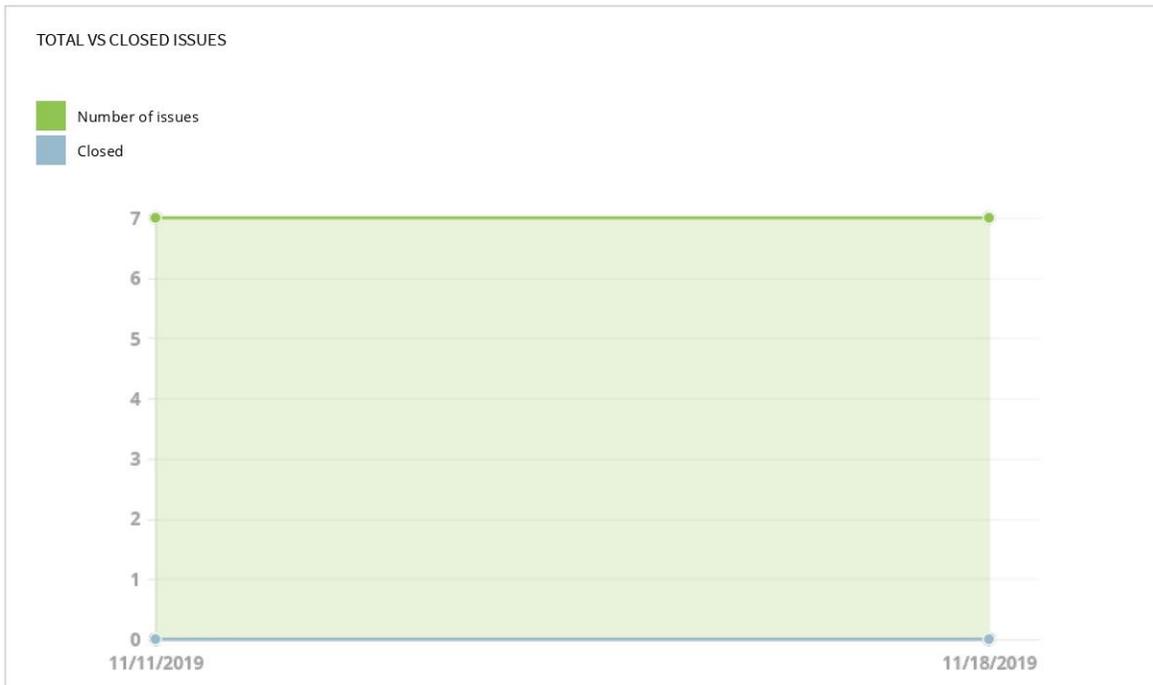
Title	All	Description	All
Assigned to	All	Zones	All
Types	All	Phases	All
Priorities	All	Disciplines	All
Status	All	Issue group	All
Confidentiality	All	Author	All
Numbers	All		

0 days

AVERAGE TIME TO CLOSE AN ISSUE

5.3 days

AVERAGE OPENED ISSUE AGE



ISSUES BY ASSIGNED TO



[Not set]	1
fmedaglia555@gmail.com	6

ISSUES BY PRIORITIES



Critical	2
High	2
Medium	3

ISSUES BY PHASES



[Not set]	7
-----------	---

ISSUES BY ZONES



■ [Not set]

7

ISSUES BY STATUS



■ Open

7

ISSUES BY TYPE



■ Issue

7

ISSUES BY CONFIDENTIALITY



■ [Not set]

7

ISSUES BY GROUPS



■ [Not set]

7

ISSUES BY DISCIPLINES



■ Architecture
■ Electrical
■ Mechanical
■ Structure

2

5

1

1

ISSUES BY AUTHOR



fmedaglia555@gmail.com

7

fmedaglia555@gmail.com

7. Equipo de piscina mal colocado

Description: El equipo de piscina se debe colocar en el cuarto de máquinas que está debajo del deck, ese es el espacio para el sauna



Author	Fabrizio Medaglia (fmedaglia555@gmail.com)
Created	11/14/2019 12:07 PM
Last changed by	Fabrizio Medaglia (fmedaglia555@gmail.com)
Last changed	11/14/2019 12:18 PM
Due date	11/28/2019 6:00 AM
Assigned to	Fabrizio Medaglia (fmedaglia555@gmail.com)
Type	Issue
Priority	Critical
Status	Open
Zone	
Phase	
Disciplines	Electrical
Issue group	
Confidentiality	
Notification list	AARON FONSECA, ANDRES VARGAS

fmedaglia555@gmail.com

6. Tubo AC Baño principal

Description: La tubería de aire acondicionado pasa por debajo del cielo raso



Author	Fabrizio Medaglia (fmedaglia555@gmail.com)
Created	11/14/2019 12:05 PM
Last changed by	Fabrizio Medaglia (fmedaglia555@gmail.com)
Last changed	11/14/2019 12:19 PM
Due date	11/28/2019 6:00 AM
Assigned to	Fabrizio Medaglia (fmedaglia555@gmail.com)
Type	Issue
Priority	High
Status	Open
Zone	
Phase	
Disciplines	Architecture, Electrical
Issue group	
Confidentiality	
Notification list	AARON FONSECA, ANDRES VARGAS, PAUL MADRIZ

fmedaglia555@gmail.com

5. Electrico area social

Description: La tubería de los apagadores quedó descubierta

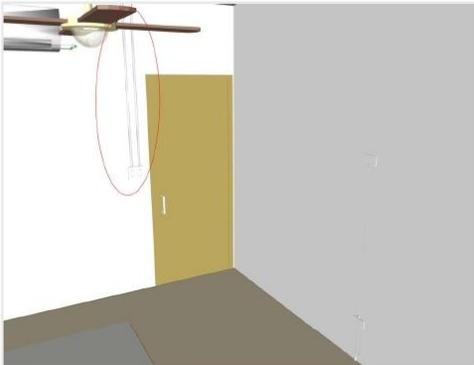


Author	Fabrizio Medaglia (fmedaglia555@gmail.com)
Created	11/14/2019 12:03 PM
Last changed by	Fabrizio Medaglia (fmedaglia555@gmail.com)
Last changed	11/18/2019 10:33 PM
Due date	11/28/2019 6:00 AM
Assigned to	Fabrizio Medaglia (fmedaglia555@gmail.com)
Type	Issue
Priority	Medium
Status	Open
Zone	
Phase	
Disciplines	Electrical
Issue group	
Confidentiality	
Notification list	AARON FONSECA, ANDRES VARGAS

fmedaglia555@gmail.com

4. Electrico dormitorio 3

Description: La tubería de los apagadores quedó descubierta, los tomacorrientes también

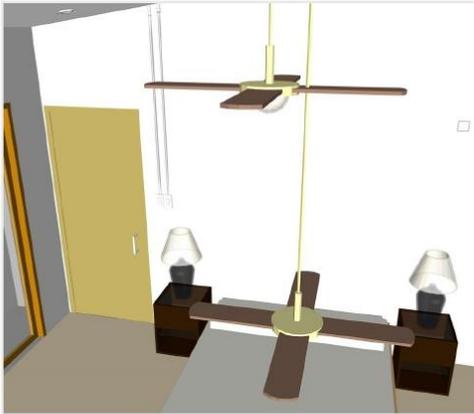


Author	Fabrizio Medaglia (fmedaglia555@gmail.com)
Created	11/14/2019 12:01 PM
Last changed by	Fabrizio Medaglia (fmedaglia555@gmail.com)
Last changed	11/18/2019 10:32 PM
Due date	11/28/2019 6:00 AM
Assigned to	Fabrizio Medaglia (fmedaglia555@gmail.com)
Type	Issue
Priority	Medium
Status	Open
Zone	
Phase	
Disciplines	Electrical
Issue group	
Confidentiality	
Notification list	AARON FONSECA, ANDRES VARGAS

fmedaglia555@gmail.com

3. Electrico dormitorio 2

Description: El ventilador e está duplicado
La tubería de los apagadores quedó descubierta



Author	Fabrizio Medaglia (fmedaglia555@gmail.com)
Created	11/14/2019 11:58 AM
Last changed by	Fabrizio Medaglia (fmedaglia555@gmail.com)
Last changed	11/14/2019 12:20 PM
Due date	11/28/2019 6:00 AM
Assigned to	Fabrizio Medaglia (fmedaglia555@gmail.com)
Type	Issue
Priority	High
Status	Open
Zone	
Phase	
Disciplines	Electrical
Issue group	
Confidentiality	
Notification list	AARON FONSECA, ANDRES VARGAS

fmedaglia555@gmail.com

2. Cielo dormitorio 2

Description: El cielo raso del dormitorio 2 queda descubierto por la altura de la ventana

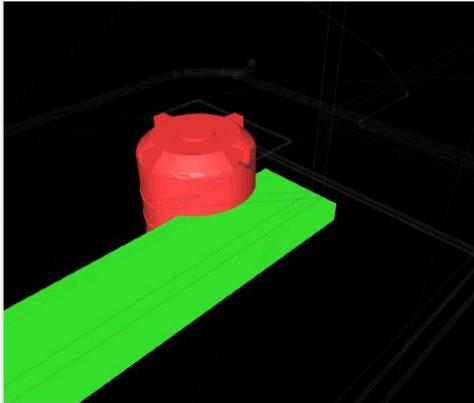


Author	Fabrizio Medaglia (fmedaglia555@gmail.com)
Created	11/14/2019 11:56 AM
Last changed by	Fabrizio Medaglia (fmedaglia555@gmail.com)
Last changed	11/14/2019 12:20 PM
Due date	11/28/2019 6:00 AM
Assigned to	
Type	Issue
Priority	Medium
Status	Open
Zone	
Phase	
Disciplines	Architecture
Issue group	
Confidentiality	
Notification list	AARON FONSECA, ANDRES VARGAS, PAUL MADRIZ

fmedaglia555@gmail.com

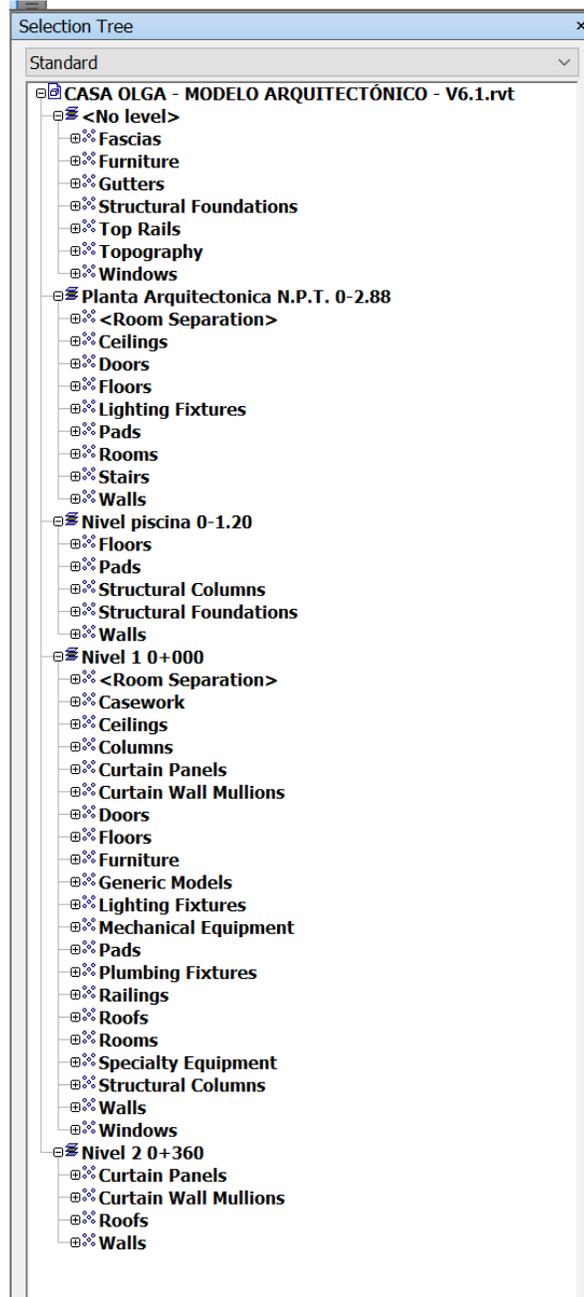
1. Choque tanque de agua potable con cimentación de paredes de cochera

Description: Se debe mover el tanque de agua potable para que deje de interferir con la cimentación del muro



Author	Fabrizio Medaglia (fmedaglia555@gmail.com)
Created	11/12/2019 5:24 AM
Last changed by	Fabrizio Medaglia (fmedaglia555@gmail.com)
Last changed	11/14/2019 12:21 PM
Due date	11/18/2019 6:00 AM
Assigned to	Fabrizio Medaglia (fmedaglia555@gmail.com)
Type	Issue
Priority	Critical
Status	Open
Zone	
Phase	
Disciplines	Mechanical, Structure
Issue group	
Confidentiality	
Notification list	AARON FONSECA, ANDRES VARGAS, PAUL MADRIZ

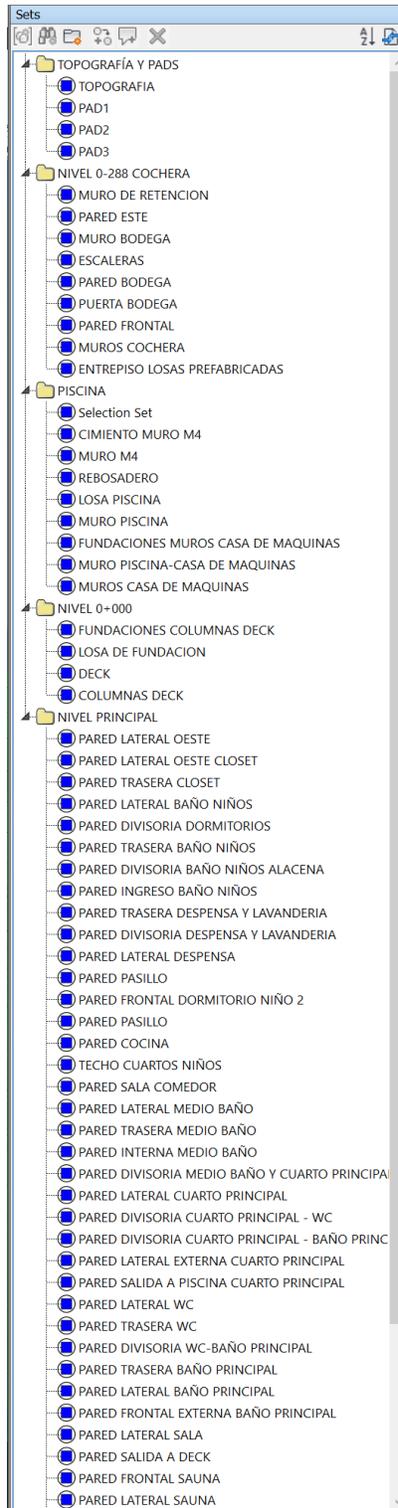
Apéndice 3



Árbol de selección requerido para el modelo 4D

Fuente: Elaboración propia a partir de Navisworks Manage 2018

Apéndice 4



Sets de trabajo establecidos para el modelo 4D
Fuente: Elaboración propia a partir de Navisworks Manage 2018

Referencias

- Aguilera, T., Alarcón, M., Bravo, J., Bustos, C., Eliash, A., Fabio, S.,... Vallejós, J. (2017). *Guía inicial para implementar BIM en las organizaciones*. Primera edición. Corporación de desarrollo tecnológico. Cámara Chilena de la Construcción. BIM Forum Chile
- Obtenido de: <https://www.buildingsmart.es/observatorio-bim/estudios/en-iso-19650/>
- Asociación Española de Normalización y Certificación. (s.f.). *Estándares en apoyo del BIM*.
- Azhar, S. (2011). Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry. En ASCE, *Leadership and Management in Engineering* (págs. 241-252). England .
- Dahmash, L. (2018). *autodesk. Acelere el movimiento a BIM y reduzca la interrupción con los 10 pasos clave para BIM*. Obtenido de <https://www.autodesk.com/solutions/bim/hub/10-steps-to-bim>
- Bentley Sustaining Infrastructure [Bentley Construction] (2016, abril 19) Constructability in 3 minutes [Archivo de video]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=7ot5dZUSpRg>
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Kathleen, L. (2011). *A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Bernardete Barison, M., & Toledo Santos, E. (enero de 2010). *An overview of BIM specialists* . Sao Paulo: Nottingham University Press.
- Editeca. (06 de junio de 2017). *Editeca. Dimensiones BIM, el alcance del programa*. Obtenido de <https://editeca.com/dimensiones-bim-alcance-del-programa/>
- Bimetriclab. (27 de abril de 2016). espacio LEAN BIM. *EPISODIO 10: EFECTO DEL BIM EN LAS FASES DEL CICLO DE VIDA DE UN PROYECTO*. Obtenido de <http://www.espacioleanbim.com/episodio-10-efecto-del-bim-las-fases-del-ciclo-vida-proyecto/>
- González, P. (24 de mayo de 2017). Up. *¿Cuales son los usos y requerimientos de un modelo BIM en la fase de construcción?* Obtenido de <https://www.upbim.com/single-post/usosdelbimenlaconstruccion>
- Briceño Obando, C. (2018). BIM, La Metodología Colaborativa que ya Construye el Presente. *Revista Construcción*, 6-27.
- Grabowski, R. (diciembre de 2010). *CAD & BIM: Is There A Free Pass? A Report on GRAPHISOFT ArchiCAD's DWG Workflow*. upFront.eZine Publishing. Obtenido de
- Building Smart Spain (2019). *Introducción a la serie EN-ISO-19650 Partes 1 y 2*.

- https://www.graphisoft.com/ftp/marketing/white_papers/GRAPHISOFT_White_Paper_CADandBIM.pdf
- metodología + herramientas.
Universidad Creativa. Costa Rica
- GRAPHISOFT. (2019). *GRAPHISOFT*. Obtenido de https://www.graphisoft.es/archicad/open_bim/about_bim/
- Jiménez M, G. (21 de octubre de 2019). Cámara Costarricense de la Construcción. *Participe en el taller de Implementación BIM*. Obtenido de <https://www.construccion.co.cr/Post/Detalle/32730/participe-en-el-taller-de-implementacion-bim>
- Kjartansdóttir, I. B., Mordue, S., Nowak, P., Philp, D., & Snæbjörnsson, J. T. (2017). *BUILDING INFORMATION MODELLING BIM*. Iceland: Erasmus.
- Kreider, Ralph G. and Messner, John I. (2013). "The Uses of BIM: Classifying and Selecting BIM Uses". Version 0.9, September, The Pennsylvania State University, University Park, PA, USA. <http://bim.psu.edu>
- Messner, J., Anumba, C., Dubler, C., Goodman, S., Kasprzak, C., Kreider, R., Leicht, R., Saluja, C., and Zikic, N. (2019). BIM Project Execution Planning Guide, Version 2.2. Computer Integrated Construction Research Program, The Pennsylvania State University, University Park, PA, USA, August, Available at <http://bim.psu.edu>.
- Monfort Pitarch, C. (2015). Impacto del BIM en la gestión del proyecto y la obra de arquitectura. Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia .
- Montilla, A. (s.f.). Gestión BIM 4D y 5D: planificación temporal y gestión de costes. Revista digital IESEM. Recuperado de: <https://revistadigital.inesem.es/disenyo-y-artes-graficas/bim-4d-5d/>
- Mora, J., Murillo, P. (2019). Introducción BIM [Material de clase]. BIM Ejecutivo,
- Moreno Gallosa, G. M. (2018). *Implementación BIM en la etapa de diseño* . TYCH Ingeniería y Construcción .
- National BIM standard. (2019). *National Institute of Building Sciences*. Obtenido de <https://www.nationalbimstandard.org/faqs>
- Ortega Gómez, M. (13 de marzo de 2017). *esBIM*. Obtenido de <https://www.esbim.es/en/blog/digitalizacion-de-la-industria-aec/>
- PennState. (2019). *Planificación BIM*. Obtenido de <https://www.bim.psu.edu/>
- Planbim. (2019). *Planbim*. Obtenido de <https://planbim.cl/academia/>
- Planbim. (2017). *Roles BIM*. Obtenido de <https://planbim.cl/wp-content/uploads/2017/11/documento-roles-bim-nov2017.pdf>
- Ramírez A. (2018). Lean construction; La mejora continua en el sector AECO. *Zigurat Global Institute of Tecnology*. Obtenido de <https://www.e-zigurat.com/blog/es/lean-construction-mejora-continua/>
- Ramírez González, M. (2018). Cámara Costarricense de la Construcción. *BIM Forum*. Obtenido de <https://www.construccion.co.cr/BimForum>
- Said, H. M., & Reginato, J. (2018). *Impact of Design Changes on Virtual Design and Construction Performance for Electrical Contractors*. ASCE.
- SARAH Constructions. (12 de abril de 2018). SARAH. *BIM: El futuro de la construcción*. Obtenido de <https://sarah.com.au/building-information-modelling-future-construction/>
- Smith, P. (2014). BIM implementation - global strategies . En *Procedia Engineering* (págs. 482-492). Broadway: ELSEVIER.

Strafaci, A. (30 de setiembre de 2008). CENews.com. *What does BIM mean for civil engineers?* Obtenido de <http://216.119.86.79/whitepapers/civil/What%20Does%20BIM%20Mean%20for%20Civil%20Engineers.pdf>

Taboada, J., Alcántara, V., Lovera, D., Santos, R., Diego, J. (2011). Detección de interferencias e incompatibilidades en el diseño de proyectos de edificaciones usando tecnologías BIM. Universidad Católica del Perú. Recuperado de: revistasinnve-]