


Aplicación de la metodología BIM (Modelación de la Información en la Construcción) a un proyecto de interés social

CONSTANCIA DE DEFENSA PÚBLICA DE PROYECTO DE GRADUACIÓN

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



Ing. Ana Grettel Leandro Hernández.
En representación del Director



Ing. Gustavo Rojas Moya.
Profesor Guía



Ing. Juan Carlos Coghi Montoya.
Profesor Lector



Ing. Milton Sandoval Quirós.
Profesor Observador

Abstract

The develop of this project apply knowledges to the administration of building modelling with Building Information Modelling across of the principals' phases of a construction project. Specifically applied to the structure and gray work phases of a project. Flow and work diagrams are designed, too check list to quality control and organization of work for the use recommended of the BIM tools according to the scope they have according to the development of this technology.

On the other hand, the process created is applied to a social interest project catalogued in Costa Rica, showing in this way an alternative of develop of this kind of good social projects.

Through a BEP (BIM Execution Plan) is design and applied the Design, Check and Analysis (quality control of the model), Quantification, Programming projects in BIM. The whole phases are represented by diagrams.

Is determined that, to implement this type of process in companies, too as a national level is necessary a standardization structure of the concept, too as a intensive training in the use of software that belong to BIM

Resumen

El desarrollo de este proyecto aplica conocimientos a la administración de la información en la construcción mediante modelos de información a lo largo de las principales fases de un proyecto de construcción. Específicamente aplicado a las fases de estructura y obra gris de un proyecto. Se diseñan diagramas de flujo y de trabajo, así como listas de verificación para control de calidad y orden de trabajo para el uso recomendado de las herramientas BIM, según los alcances que estos tengan de acuerdo con el desarrollo de esta tecnología.

Por otra parte, se aplica el procedimiento generado a un proyecto catalogado en Costa Rica como de interés social, mostrando de esta forma, una alternativa de desarrollo de este tipo de proyectos de bien social.

Mediante un BEP (Plan de ejecución BIM) se diseñan y aplican las fases de: diseño, verificación y análisis (control de calidad del modelo), cuantificación, programación de proyectos en BIM y construcción. Todas las fases son representadas por diagramas.

Se determina que, para implementar este tipo de procesos en empresas a nivel nacional, se necesita una estructura de estandarización del concepto, así como una capacitación intensiva en el uso de los programas de computación que competen a BIM.

Aplicación de la metodología BIM (Modelación de la Información en la Construcción) a un proyecto de interés social

Aplicación de la metodología BIM (Modelación de la Información en la Construcción) a un proyecto de interés social

RAFAEL JOSÉ SÁNCHEZ MORALES

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

Noviembre 2017

Contenido

Prefacio	1
Resumen ejecutivo.....	2
Introducción.....	4
Marco teórico	8
Normativa BIM	12
Propuesta de implementación de la metodología BIM	17
Aplicación de la metodología. (Resultados)	29
Análisis de los resultados	53
Conclusiones.....	58
Recomendaciones	59
Apéndices	60
Anexos	84
Referencias	85

Prefacio

En Costa Rica, el uso de las herramientas y tecnologías BIM ha ido en incremento en los últimos años; sin embargo, las empresas e industrias emplean las herramientas sin considerar procedimientos estandarizados adaptados a las necesidades del mercado nacional. Costa Rica al no tener estándares que permitan la implementación y aprovechamiento del potencial de las herramientas, se dificulta la implementación de la cultura BIM a los proyectos de construcción desarrollados con intelecto nacional. (Piedra Díaz, 2017).

Dificultades con estandarización en Costa Rica en cuanto a implementación BIM en el mercado nacional y una falta de conocimiento de la filosofía de estas metodologías por parte de los profesionales y demás involucrados, crea una barrera que dificulta que la tecnología se desarrolle adecuadamente. (Piedra Díaz, 2017).

Se considera que las herramientas BIM pueden soportar todo el ciclo de vida de la información del ciclo de vida de un proyecto (Building Smart Spain Chapter, 2017, Eastman, Teicholz, Sacks, & Liston, 2011) lo que permite el acceso y administración para la toma de decisiones dentro del sentido de la automatización.

Las tecnologías BIM se encuentran en constante evolución en paralelo al desarrollo de computadoras que soporten su funcionalidad. Opciones de estas herramientas son de fácil acceso; versiones educacionales permiten el desarrollo de este proyecto indicando que las tecnologías se encuentran al alcance de la mano; lo complicado para ella es que son desconocidas para la mayoría de los interesados en el campo de la construcción por lo que es necesario promocionar. Un ejemplo conocido dentro del sector educativo es la compañía Autodesk, Inc. que genera herramientas de este tipo como Revit, y por otra parte como complemento y administración de proyectos en Revit, Navisworks. Estas son dos herramientas que se pueden

obtener de forma estudiantil para fines investigativos, como en este caso.

Muchos países a nivel mundial, en los últimos años, han desarrollado iniciativas para implementar las herramientas BIM en el sector construcción, por ejemplo, en Norteamérica, Europa, países asiáticos y Australia, se han presentado iniciativas de implementaciones de estas herramientas en el sector público, rescatando su aplicabilidad en el mercado. (Building Smart Spain Chapter, 2017)

El desarrollo de esta tecnología ha generado que, en la última década, el desarrollo de investigaciones haya crecido de forma exponencial pasando de dos investigaciones a doscientos por año en un lapso de diez años, lo que indica el interés del sector educativo por el desarrollo del conocimiento de este tema. (Thomson Reuters, 2017). En el desarrollo de este trabajo se detalla al respecto.

En consecuencia, sería deseable diseñar un plan de implementación BIM según las necesidades que se presentan en este país; aplicar el plan a un proyecto de interés social que impacte todo el ciclo de vida del proyecto, creando las fases de ejecución que las metodologías BIM necesiten, con el fin de alcanzar su potencial de forma optimizada.

Quiero agradecer a Dios por la bendición de permitirme experimentar y finalizar esta etapa y muchas otras bendiciones. A mi familia que me ha apoyado, a mi hermano Iván por mostrarme la ilusión de todo esto, a mi madre Berna y padre Evelio, por velar que hiciera lo que más me gusta. Al ingeniero Gustavo Rojas, por motivarme a desarrollar un tema de innovación como este. A la ingeniera BIM Manager España, Cristina Fernández por sus conocimientos y motivación en el campo de estudio y al BIM Manager Costa Rica Arón Piedra por la confianza en el uso de estas tecnologías. A mis compañeros y amigos (no podría mencionar todos) que día a día se preocuparon por mi persona.

Resumen ejecutivo

El desarrollo de las tecnologías en distintas áreas del desarrollo humano invitar al sector construcción a desarrollarse con dichas herramientas. Este estudio “Aplicación de la metodología BIM (Modelación de la Información en la Construcción) a un proyecto de interés social” permite acercar la profesión de Ingeniería en Construcción y a los ingenieros tecnólogos a las tecnologías de información buscando la amigabilidad entre las tecnologías BIM y el profesional.

Para la Escuela de Ingeniería en Construcción, el desarrollo de este proyecto permite identificar cuáles son los focos de investigación en donde próximos proyectos de investigación puedan concentrarse. El conocimiento de las experiencias aprendidas es de gran importancia debido a los pocos antecedentes existentes a nivel nacional. Un avance en tecnologías aplicado al sector construcción invita a la colaboración de nuevas áreas de conocimiento a participar en los procesos de construcción. Se puede pensar en colaboraciones con otras escuelas del Tecnológico como Arquitectura o Computación para lograr desarrollar esta herramienta a nivel de investigación y hacer crecer de forma colaborativa nuevas áreas del mercado de la tecnología, ciencia y técnica.

Como objetivo en este proyecto se plantea generar un compilado teórico en el que se logre determinar cuáles son las metodologías de uso de herramientas BIM en el sector y que sea utilizado para la adaptación de un diseño de implementación de herramientas BIM a un proyecto de interés social.

Por otra parte, se opta por diseñar un procedimiento de aplicación de la metodología BIM enfocado en las áreas de aseguramiento de la calidad en cuanto al uso de la herramienta, área de arquitectura, área de estructura y composición de soporte y en el proceso de construcción de proyectos de construcción de baja escala como lo son los de interés social.

También se aplica y muestra, mediante un proyecto real la aplicación de la metodología en las áreas de aseguramiento de la calidad, arquitectura, construcción y estructura.

Por último, se realiza una validación de la metodología para evaluar la efectividad dentro del mercado laboral.

Las herramientas usadas en este proyecto son (*Navisworks* y *Revit Structure y Architecture 2017*), modelos arquitectónicos de viviendas de interés social usados por MUCAP (Mutual Cartago de Ahorro y Préstamo); como herramientas bibliográficas se usan principalmente las creadas por Building Smart Spain Chapter y profesionales de categoría BIM Manager.

La metodología planteada para desarrollar el plan de implementación BIM es el BEP conocido a nivel mundial como el Plan de Ejecución BIM, en el cual se especifican los elementos que hacen que un BIM sea aplicado a un proyecto de interés social.

La intención de la metodología es simplificar o crear un camino amigable para la aplicación de las herramientas BIM que se encuentran en el mercado y no son aprovechadas en su máximo potencial. El procedimiento canaliza una mejor opción por la cual se puedan desarrollar proyectos de baja escala de forma ágil y rápida, en los que se involucre la mayor parte de información del proyecto mediante modelos BIM para su administración, así como para su análisis. Así mismo, se crean diagramas de flujo, procedimientos y listas de control y verificación del uso de modelos BIM.

El objetivo principal del proyecto es la creación de un plan de implementación BIM y el resultado de su desarrollo es el BIM Execution Plan (BEP o Plan de Ejecución BIM) adaptado a un proyecto de interés social.

Se obtienen modelos arquitectónicos, así como estructurales, sus respectivos planos, modelos en tercera dimensión, elementos con parámetros como cantidades y volúmenes, sistema de calidad del modelo que afecta la eficacia de las posteriores fases, base de datos de cuantificación de los elementos modelados, un sistema de planificación de proyectos con vinculación de cantidades, así como visualizaciones en tiempo real de la ejecución del proyecto elemento por elemento.

Se determina que no existe dos direcciones en los flujos de los procesos a la hora de administrar la información en BIM. Esto limita la

funcionalidad o agilidad de los procesos en este proyecto, lo que se le atribuye a la marca de programa utilizado. El plan de implementación BIM puede utilizar otra variación de programas de computación, pero se debe realizar una evaluación de los procesos para determinar si se cumplen ambas direcciones en los flujos de estos. Por otra parte, se determina que la herramienta BIM colabora con los acuerdos en las soluciones de diseño de proyectos de construcción debido al alto contacto entre los involucrados en el proyecto lo

que aumenta la comunicación. También se establece que el alto costo de trabajo en la modelación de proyectos de construcción en BIM se ve recompensado con la agilización de la administración de la información, como por ejemplo en la obtención de resultados. Por último se puntualiza, que es necesario contar con normas de estandarización dentro del mercado nacional o empresa privada para lograr implementar los procesos BIM.

Introducción

Las herramientas computacionales en el campo de la Ingeniería en Construcción como las de tipo CAD (Computer Aided Design) se encuentran en constante desarrollo, en forma paralela a la implementación de los equipos de computación (Hardware). Aplicar herramientas de este tipo ayuda a mejorar los procesos de análisis de datos (Building Smart Spain Chapter, 2017). Conforme avanza el siglo XXI se desarrollan estudios a nivel de automatización en la construcción con el fin de demostrar cuáles son sus beneficios.

Mojica & Rivera (2012) en su tesis de graduación concluye que los primeros pasos de la metodología BIM data de los años 80's. En 1986 aparecieron los primeros documentos que desarrollaban explícitamente el concepto BIM. Recalcan por otra parte, que el autor directo de desarrollar fuertemente este concepto fue el Máster y Bachiller en Arquitectura Charles Eastman en 1975 (Georgia Tech School of Architecture, 2017). Mediante el principio de la practicidad, Eastman consideraba que se desperdiciaba tiempo en la modificación de planos en momentos no adecuados. Consideró que estos cambios se deben realizar una sola vez mediante la interoperabilidad y la actualización de todos los documentos involucrados en el diseño.

Por otra parte, (Mojica & Rivera, 2012) indican que los primeros desarrollos de los softwares computacionales BIM se dan en 1984 con un profesor húngaro y un estudiante, quienes mediante dos computadoras Mac se centran en el desarrollo de un software 3D. En 1982, la empresa Autodesk desarrolla los programas computacionales 2D y por otra parte, la empresa Graphisoft en 1984 lanza la primera versión ArchiCAD. Silva, (2011) como se citó en (Mojica & Rivera, 2012) indican que son las primeras empresas desarrolladoras de paquetes de dibujo asistidos por computadora (CAD) y presentaban visiones un tanto distintas con respecto al apoyo que los sistemas computacionales debían realizar en el campo de la construcción. Silva, (2011) determina que la empresa Autodesk presentaba

una visión en donde las mesas de dibujo convencionales pasan a ser mesas de dibujo electrónicas, y se sustituyen por paquetes de dibujo 2D con el fin de solucionar los problemas de confección de planos. Con esto surgió una revolución y mayor practicidad en las primeras etapas de los proyectos de construcción. Por otro lado, la visión Graphisoft era la simulación del edificio utilizando los procesos de diseño en 2D.

En la actualidad existen muchas iniciativas y organizaciones para el desarrollo, aprovechamiento, implementación de la metodología BIM. Más adelante se mencionará, rescatando la importancia de esta herramienta y se justificará la necesidad de un cambio que debe ser aplicado en el sector de construcción.

Primeros esfuerzos para el intercambio de información con sistemas CAD

Un breve repaso que realizan Umit & Jason (2010) indica que en los años 70 los desarrolladores de sistemas CAD se dan cuenta del intercambio de información en la industria de la construcción. Por lo tanto, los mismos autores desarrollaron metodologías para el intercambio de información con la vinculación de distintas aplicaciones del momento. Según el nivel de desarrollo de la tecnología para ese momento se presentaban distintas situaciones que impedían la implementación de esas metodologías. Según indican Umit & Jason, (2010) para ese momento era necesario el uso de varios formatos de archivos para lograr desarrollar esa metodología por lo que se presentan los siguientes inconvenientes.

- a) Que son controladas e implementadas por distintas compañías, por lo que era probable que cambiara en cualquier momento.
- b) Otro problema, según indica Umit y Jason es en el momento en que fuera necesario intercambiar información entre las aplicaciones. Cuando se tiene N aplicaciones y se requiere el intercambio de un nuevo archivo se requiere de la traducción y escritura en (N-1) aplicaciones, lo que genera un trabajo arduo en términos de equipo, logística y orden en la metodología.

Por otra parte Umit & Jason, (2010) indica que una de las primeras intervenciones a cargo de *International Organization for the Standardization (ISO)* fue el advenimiento de *STEP-10303: Standard for the Exchange Product model data*, cuya intención era proporcionar información de valor a los ingenieros usuarios con la necesidad de intercambiar información de productos con clientes y proveedores (SCRA , 2017). El surgimiento a esta norma se da a causa de las deficiencias de intercambio de información de los sistemas CAD y por las recomendaciones de grupos de investigación basados en la industria. (Umit & Jason, 2010)

Estas normas surgen con la institución de un comité técnico (*Technical Committee TC184*) para iniciar el subcomité (*Sub Committee SC4*) con el fin de desarrollar las normas *STEP-10303*, con la visión de largo plazo y desarrollos progresivos en la comunicación en ingeniería con la integración de estándares abiertos que permitan el intercambio de datos. (Umit & Jason, 2010) La primera edición de *STEP-10303* se desarrolló en 1990, en ese momento se realiza una distinción importante entre compartir e intercambiar información de la industria de la ingeniería. Esta norma se desarrollaba en cuatro niveles, el primer nivel se ocupaba del intercambio de información entre programas, mientras que el segundo y tercer nivel implementaban metodologías para manipular información de datos de ingeniería.

Tendencia de las últimas investigaciones con la modelación BIM enfatizadas en la

Ingeniería en Construcción

Las primeras investigaciones en donde se desarrolla la interoperabilidad de software CAD fueron generadas hace una década aproximadamente. Al analizar su contenido se puede realizar una proyección del avance que tendrían estas herramientas en un futuro. Mediante una revisión de documentos a nivel de base de datos científicas como *Web of the knowledge* mediante la búsqueda de “Building Information Modeling” y utilizando la opción de mejora de búsqueda “BIM” se desea encontrar la tendencia de las investigaciones estrictamente a nivel de Ingeniería en Construcción. A continuación, se realiza un resumen de las investigaciones publicadas en su mayoría por la mayor editorial de libros de medicina y literatura científica del Mundo, *Elsevier*. (Thomson Reuters, 2017)

Temas de investigación

- a) 2012: Sistemas BIM basados en el conocimiento para el mantenimiento del Edificio. (Motawa & Almarshad, 2013)
- b) 2012: Mediciones del progreso de la construcción automatizada usando modelos de información 4D. (Kim, Son, & Kim, 2013)
- c) 2013: Educación BIM para la administración y la Ingeniería en la Construcción. (Pikas, Sacks, & Hazzan, 2013)
- d) 2013: Caracterizaciones basadas en últimas investigaciones para la extracción de información en BIM. (Nepal M. , Staub-French, Pottinger, & Zhang, 2013)
- e) 2014: Habilitación de modelos BIM para el análisis y optimización de procesos de diseño estructural. (Chi, Wang, & Jiao, 2015)
- f) 2015: Administración progresiva en tiempo real de proyectos de construcción (Matthews, Love, Chandler, Rumsey, & Olatunj, 2015)
- g) 2015: Necesidades y adopción de tecnologías mediante la observación de las experiencias BIM. (Singh & Holmstrom, 2015)
- h) 2015: Revisiones de los principales esfuerzos del sector público para la adopción de la Metodología en la industria de la Construcción. (Cheng & M.Phil, 2015)

- i) 2016: Investigación acerca de la necesidad del cambio de cultura en la industria de la construcción al paso de modelos 2D hacia modelos BIM. (Cus Badic & Rebolj, 2016)
- j) 2016: Implementación de procesos interoperables para optimizar las fases de diseño y construcción. (Ciribini, Mastrolembro, & Paneromi, 2016)
- k) 2016: Marcos de referencia para la implementación de sistemas de administración en la construcción. (Oti, Kurul, Cheung, & Tah, 2016)
- l) 2016: Apoyos a las tareas de gestión de la construcción mediante el uso de metodologías BIM (Nepal & Staub-French, 2015)
- m) 2016: Ciclos de vida de la administración de la información usando Open-Standard BIM (Hoeber & Alsem, 2016)
- n) 2016: Creación de parámetros de comparación para indicar si una modelación de la información en la construcción es exitosa mediante casos de estudio. (Won & Lee, 2016)

Como lo muestra la lista anterior, la tendencia general de las investigaciones se da a nivel de la administración y control del desarrollo de las etapas de los proyectos. En primera instancia, los documentos enfatizan en un control de la edificación mediante procesos de mantenimiento. Esto indica un control de todo el edificio durante el periodo de operación. Luego se desarrolla un sistema educativo para lograr realizar adopciones de la metodología BIM al proceso de construcción mediante el control del progreso de este. Continuando se muestran las exploraciones de los modelos BIM para determinar los beneficios de realizar una extracción pertinente de información de sus modelos, ya sea exploraciones para adoptar la metodología en procesos de diseño y administración. Así mismo se presentan los primeros intentos para realizar procesos de administración de la construcción en tiempo real, así como la evaluación de la necesidad de la implementación de estas metodologías para ser adoptadas en los sectores públicos. Se alude a la generación de marcos de referencia y distintas metodologías de sistemas de la administración. Terminando con procesos de calidad en la documentación de la modelación BIM mediante procesos de administración de la información en los modelos y criterios de evaluación para

determinar si un proceso de modelación ha sido realizado exitosamente.

Es claro indicar que la evolución de las investigaciones se va incrementando desde la exploración de los beneficios que tiene como resultado de la metodología hasta procesos de aplicación de esta y finaliza con la generación criterios de calidad para determinar su éxito.

Por otra parte, es necesario indicar el alto incremento del número de investigaciones alrededor del tema, lo que se puede mostrar mediante una gráfica de la búsqueda realizada.

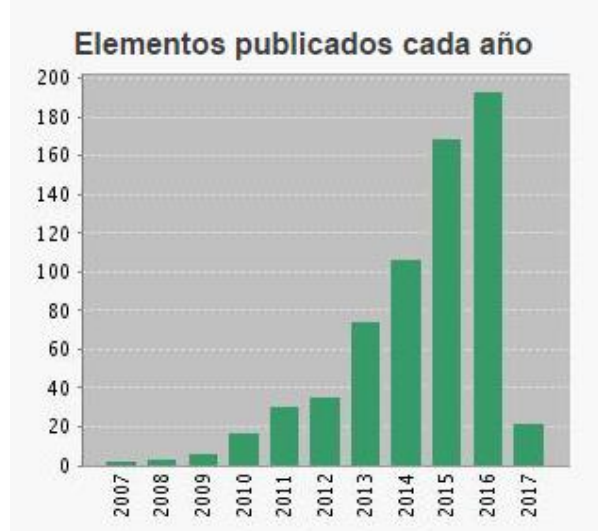


Figura 1: Publicaciones por año en la base de datos Web of the Knowledge (Thomson Reuters, 2017)

Dicha gráfica se genera mediante la búsqueda de “Building Information Modeling” con la opción Refinar Resultados “BIM”. Si bien la tendencia crece, al año 2017 la caída en la barra se debe a que se muestra solo los resultados de búsqueda encontrados hasta ese momento, primer cuatrimestre de 2017. A causa de eso se debe observar los diez años, de 2007 a 2016.

Principales esfuerzos a nivel mundial por parte del sector público para la implementación de la metodología BIM en el sector de la Construcción

Los principales esfuerzos a nivel mundial para la adopción de la metodología BIM se puede catalogar según lo indican Lu & Cheng, (2015) (Building Smart Spain Chapter, 2017). Los cuatro grupos destacados a nivel mundial son: Estados Unidos, Europa, Asia y Australia como principales potencias en donde el desarrollo de BIM emerge en pasos notables. Por otra parte, se puede catalogar los esfuerzos de implementación en: Uso obligatorio en proyectos públicos, uso obligado previsto en proyectos públicos, uso habitual y uso incipiente.

Lu & Cheng, (2015) hacen una caracterización exhaustiva de los esfuerzos que realiza el sector público para culturalizar las metodologías BIM en sus naciones. Un modelo completo para la implementación de la

metodología puede ser con el apoyo de los países en los siguientes aspectos: como iniciador y conductor o guía, aportes en el campo de la investigación, como demostrador de los resultados, como agencia financiera, educadora y primordialmente como regulador. Se puede decir que un país con gran potencial en el desarrollo de las metodologías BIM en su área debe cumplir con todos o la mayoría de estos aspectos para considerarse como líder en el campo.

En el documento *A review of the efforts and roles of the public sector for BIM adoption worldwide* (Lu & Cheng, 2015) se indica que para el 2015 Estados Unidos encabeza la lista cumpliendo con todos esos aspectos; en segundo lugar, países de Europa como Reino Unido presentan gran capacidad exponencial de adopción de las metodologías. Detrás de estos se encuentra la mayoría de los países de Asia a excepción de Singapur, que es uno de los líderes mundiales. Por otra parte, Australia en conjunto con Nueva Zelanda, trabajan para el desarrollo de normas de aplicación que pueden ser usadas por cualquiera de los dos países. Los autores indican que este es muy buen ejemplo de la cooperación multinacional para el desarrollo de Normas BIM. A continuación, se presenta un mapeo mundial de las iniciativas del sector público.

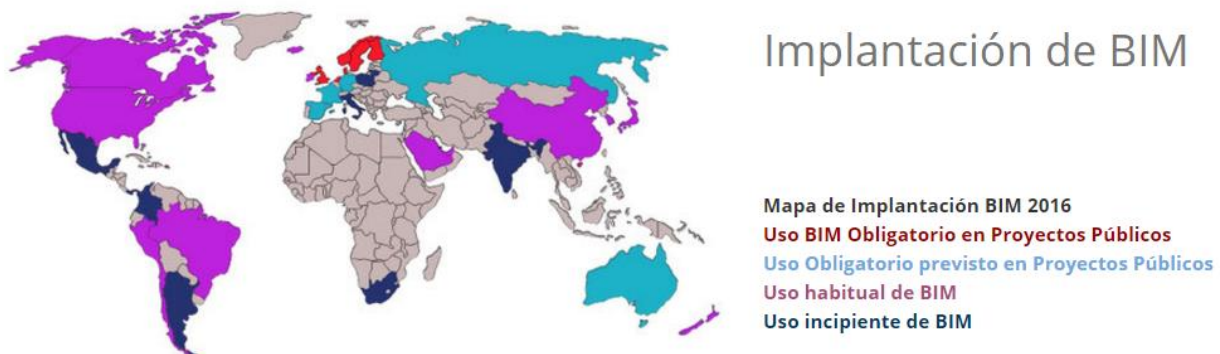


Figura 2 Implantación de las metodologías BIM en el año 2016 tomado de (Building Smart Spain Chapter, 2017)

Marco teórico

Modelación de la información en la construcción, BIM (Building Information Modelling)

Concepto

Distintas organizaciones no gubernamentales y sin fines de lucro en el mundo entre las cuales Building Smart Spain Chapter, (2017) indica que: “Es una metodología de trabajo colaborativa para la creación y gestión de un proyecto de construcción. Su objetivo es centralizar toda la información digital creada por todos sus agentes.” Por lo que es necesario comprender que la metodología pretende involucrar todas las fases de un proyecto constructivo independientemente de su categoría. El uso de BIM va más allá de las fases de diseño abarcando la construcción del proyecto en todas sus fases lo que permite la gestión de proyectos, así como la reducción de los costes de operación como consecuencia del control estricto de los recursos. (Building Smart Spanish Chapter; 2017).

Conforme el desarrollo de la metodología BIM crece, se determina que el enfoque es proporcionar información digital consistente, que pueda ser reusada por los interesados en el proyecto a través del ciclo de vida de la construcción. Esto permite decir que esta metodología ayudará a reducir los costos, tiempos de entrega de proyectos por vía rápida, costos de implementación de calidad, así como asistir con el control de activos de la obra. (Oti, Kurul, Cheung, & Tah, 2016).

La alta interacción y comunicación de la información en la construcción permiten un desarrollo integral de los procesos de un proyecto constructivo mediante la administración eficaz y en

tiempo real de la información. Los interesados en el proyecto pueden interactuar de manera integrada en donde se simplifique la secuencia de construcción de proyectos, mediante control y administración. Esta metodología no contempla la calidad de los procesos en campo con el control de mano de obra.

CAD en BIM

El desarrollo de diseño en BIM consiste en la modelación de elementos geométricos debidamente parametrizados, con el fin de realizar una documentación adecuada para posteriores análisis y control de la información que compete en cada etapa del proyecto de construcción.

La modelación de la información en la construcción es una evolución notable del diseño asistido por computadora por lo que se considera que CAD en BIM es una base importante, pero no es el complemento de la tecnología BIM.

El potencial de la metodología radica en la logística de la información por medio de la parametrización de esta con el fin de ser consultada con distintos fines.

Diseño paramétrico

El diseño paramétrico es la acción de asignar parámetros o variables a distintos elementos o familias (por ejemplo, elementos columnas) con el fin de poder gestionar de manera eficiente, sus propiedades (Building Smart Spanish Chapter, 2017). El diseño paramétrico es la modelación de la documentación por medio de procesos de parametrización con el fin de lograr gestionar, de manera ágil, la información del modelo.

Por lo que se considera que los parámetros de diseño en BIM permiten manipular las propiedades de las familias con el propósito de realizar análisis posteriores como una documentación de costos o control de obra en la construcción.

Interoperabilidad

Se considera la interoperabilidad como la capacidad de dos o más componentes computacionales para intercambiar información y a la vez, lograr interpretar o tener la capacidad de administrar esa información intercambiada (Antonio & Goncalves, 2010). En dicha instancia se considera la necesidad de unificar tipos de archivos con el fin de que exista una compatibilidad universal de tal manera que todos los sistemas de modelación BIM no se vean perjudicados con la transferencia e intercambio de datos.

Éstos tipos de archivos de lectura universal no pueden ser monopolizado por el mercado debido al interés universal del sector ingeniería. Este tipo de archivo se considera como un avance en la información de la ingeniería de datos en la industria de la construcción.

Existen iniciativas para la universalización de los archivos. SmartBIM, organización europea sin fines de lucro, tiene como intención la generación o estandarización de los archivos de datos de tipo IFC (Industry Foundation Clases), como resultado de los esfuerzos de Desarrollos de Intercambio de Datos de Productos PDE (Developing Product Data Exchange) (Robert, Mark, & Sebastian, 2011).

IFC (Industry Foundation Clases)

Los archivos IFC cumplen con la siguiente información (Robert, Mark, & Sebastian, 2011):

- a) Estructura espacial de la construcción. Representa la arquitectura y distribución de los elementos del proyecto. Un documento en tres dimensiones es el archivo que lo representa
- b) Información acerca de los elementos de la edificación. Representan las propiedades de los elementos o base de datos.
- c) Relación lógica entre elementos y espacios. Son los flujos entre los elementos o información.
- d) Geometría 3D para detección de choques. Información geoespacial que permite verificar colisiones entre elementos.
- e) Diseño visual 2D y 3D. Dimensiones y distribuciones espaciales de los elementos

- f) Información propia de los elementos de construcción. Contiene información que es necesaria para el desarrollo de los procesos constructivos.
- g) Otros sistemas con capacidad de análisis energético, diseño y detallado de concreto premezclado y reforzado. Por último, facilidades básicas de administración.

Ciclo de vida de un proyecto

Para el desarrollo de la metodología BIM es necesario tener en cuenta cuáles son las fases de un proyecto que compete a construcción. Un conocimiento claro de todas las etapas o ciclo de vida de un proyecto permite que la tecnología BIM trabaje de forma adecuada. Mantener de forma correcta la información en cada etapa permite realizar su respectiva consulta, asegurando que esta es veraz y confiable.

A lo largo de todo el ciclo de vida de un proyecto, la información relacionada con la construcción puede ser utilizada mediante la captura y reúso. (Xun, Ling, & Lieyun, 2014)

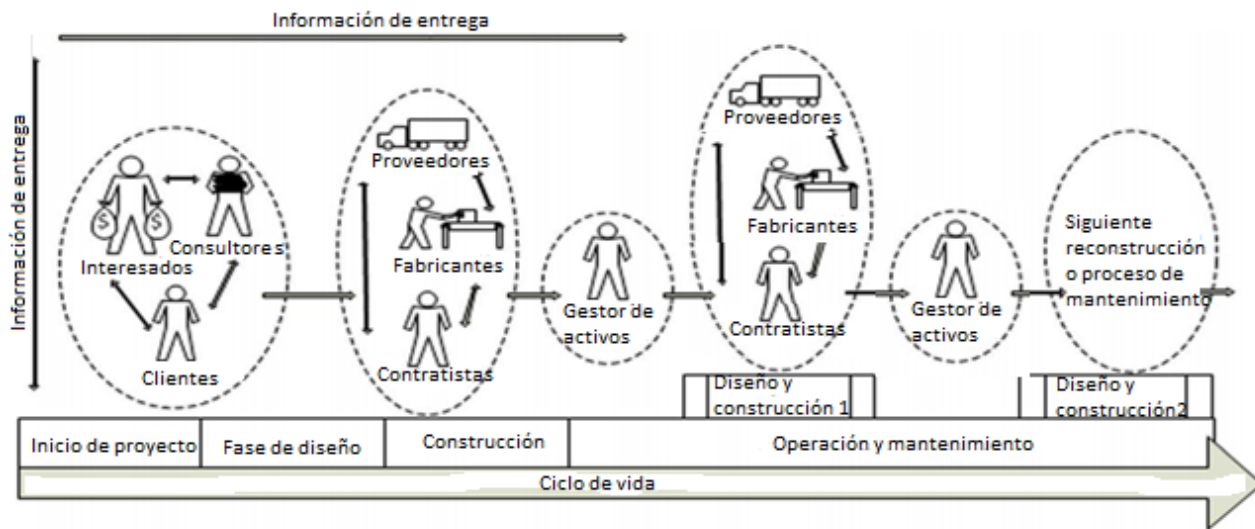


Figura 3 Ciclo de vida de un proyecto de construcción según el intercambio de información en cada etapa. Fuente Hoerber & Alsem, (2016)

Globalmente como lo muestra la figura anterior, los componentes de un proyecto de construcción se encuentran definidos por diseño inicial o preliminar, diseño, construcción y operación-mantenimiento. Por otra parte, se muestran las relaciones entre elementos de cada fase (las relaciones se muestran con las flechas) tales como clientes, consultores, constructores, proveedores, fabricantes, administrador de proyectos principalmente.

Ciclo de vida de la información de un proyecto.

Una propuesta que desarrollan, (Xun, Ling, & Lieyun, 2014) dice que se pueden clasificar en tres las funciones de BIM mediante el dimensionamiento de la información en tres: Información de los componentes, información de los flujos o relaciones e información de las funciones o aplicaciones. La primera corresponde a la documentación en sí, la base informativa que contiene los componentes con el fin identidad; la segunda tiene que ver con todas las relaciones que puede tener y cómo esa información es manipulada o transportada a lo largo de las fases del proyecto; y por último, la información de función o aplicabilidad, finalidad de la documentación.

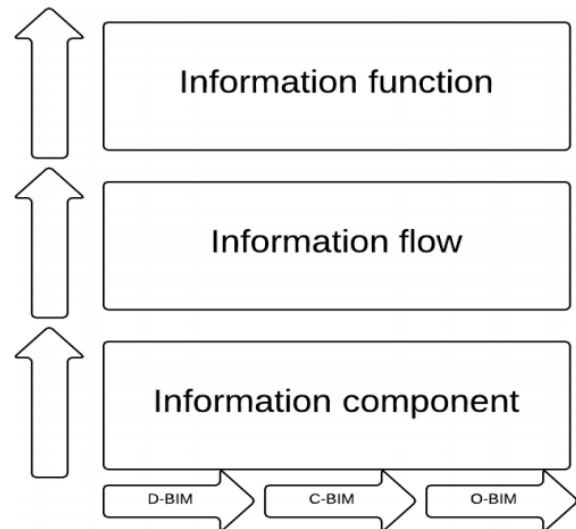


Figura 4 Ciclo de vida de la información en BIM. Fuente: Xun, Ling, & Lieyun, (2014)

Ya sea en el proceso de diseño, construcción u operación, cada una de ellas requiere del mismo esquema de información: de componentes, de flujo y función.

Teniendo esto en cuenta se presenta el siguiente esquema del ciclo de vida de la modelación de información en el ciclo de vida del proyecto. (Cuadro 1) (Xun, Ling, & Lieyun, 2014)

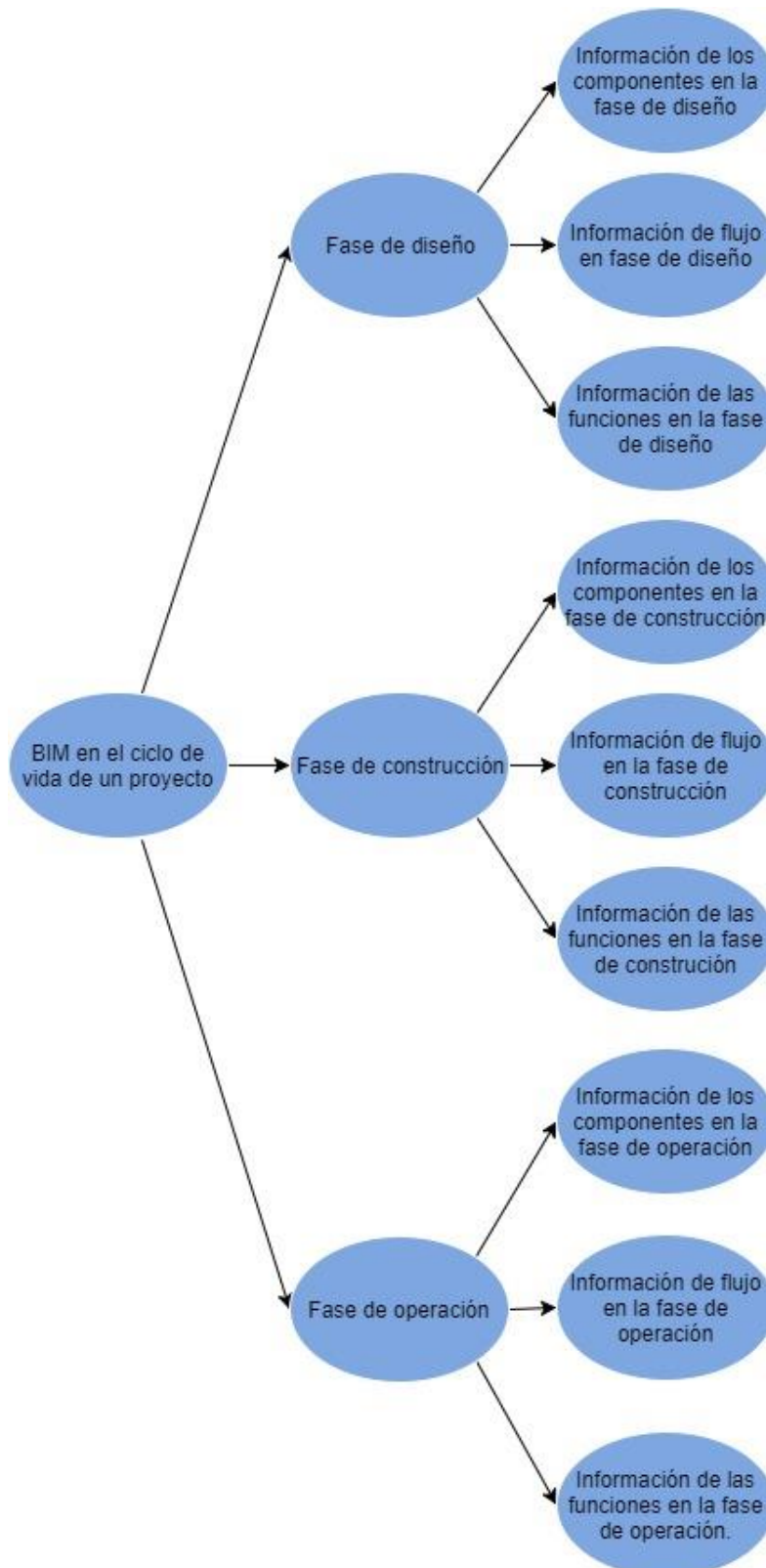


Figura 5 Ciclo de vida de la información en BIM. Fuente: Elaboración propia con base en Xun, Ling, & Lieyun, (2014)

Normativa BIM

Consideraciones a nivel europeo dentro del marco de obra pública

Con el fin de implementar estas tecnologías a nivel europeo, se siguen las recomendaciones de la legislación “Directiva 2014/24UE del departamento europeo y del consejo” (Building Smart Spain Chapter, 2017) publicado de 26 de febrero de 2014 sobre la contratación pública (Parlamento europeo y del concejo, 2014) con el fin de desarrollar iniciativas que implementen la tecnología BIM en proyectos de públicos mediante las licitaciones que cada país realice. (Building Smart Spain Chapter, 2017)

Estandarización según International Organization for Standardization.

La estandarización por parte ISO recaen el subcomité ISO/TC 59/SC 13 “Edificación y obra civil. Organización de la Información de los trabajos de construcción”. Las normas que pretenden estandarizar los procedimientos BIM son: ISO/TS 12911:2012 “Framework for building information modelling (BIM) guidance”, ISO 16757-1:2015 “Data structures for electronic product catalogues for building services. Part 1: Concepts, architecture and model”, ISO 12006-2:2015 “Building construction. Organization of information about construction works. Part 2: Framework for classification”. ISO 21006-3:2007 “Building construction. Organization of information about construction works. Part 3 Framework for object-oriented information”, ISO 16354:2013 Guidelines for knowledge libraries and object libraries” ISO 22263:2008 “Organization of information about construction works. Framework

for management of project information”, ISO 29481-1:2016 “Building information models. Information delivery manual. Part 1: Methodology and format” ISO 29481-2:2012 “Building information models. Information delivery manual. Part 2: Interaction framework.

Las características principales de estas normas son las siguientes (International Organization for Standardization (ISO), 2017):

- a) ISO/TS 12911:2012: Funciona como una guía para la implementación de la metodología BIM indistintamente del proyecto que se esté trabajando, teniendo la finalidad de la administración de la construcción a lo largo del ciclo de vida de un proyecto.
- b) ISO 16757-1:2015: Desarrolla el concepto de estructura de datos mediante la creación de catálogos de productos electrónicos.
- c) ISO 12006-2:2015: Define un sistema de clasificación ambiental del edificio que considera todos los procesos de un proyecto de construcción incluyendo la demolición.
- d) ISO 21006-3:2007: Define un modelo de información de lenguaje independiente que permite trabajar con todos los componentes que involucra BIM (Clasificación de sistemas, información de modelos de objetos y modelos de procesos) dentro de un mismo marco de trabajo
- e) ISO 16354:2013: Categoriza las bibliotecas de conocimiento, las bibliotecas de objetos, recomendaciones para su creación.
- f) ISO 22263:2008: Desarrolla un marco de referencia para la organización de la información del proyecto. Su función es facilitar la maniobrabilidad de la información a lo largo de la vida útil del proyecto.
- g) ISO 29481-1:2016: Facilita la interoperabilidad entre los programas computacionales usados en todas la etapas del ciclo de vida del proyecto.
- h) ISO 29481-2:2012: Coordina la interacción entre los autores, asignando sus responsabilidades en las diferentes etapas a lo largo del ciclo de vida del proyecto.



Figura 6. Enfoques de las normas ISO a nivel de modelación de información. Fuente: Elaboración propia con base en International Organization for Standardization (ISO), (2017) y elaboración propia)

Guías de implementación a nivel internacional

A nivel europeo, las iniciativas por parte de la organización de BuildingSmart y BuildingSmart Spain Chapter en España, diseñan guías para facilitar la implementación de la metodología BIM. El presente trabajo toma como referencia estas recomendaciones para el diseño de un procedimiento para la implementación de herramientas BIM

BuildingSmart Spain Chapter divide estas guías en 13 módulos con el objetivo de generar un modelo de información en construcción que

permita desarrollar las siguientes actividades: (Building Smart Spanish Chapter, 2017)

- Dar soporte a la toma de decisiones del proyecto.
- Permitir el compromiso de las partes con los objetivos del proyecto.
- Visualizar soluciones de diseño.
- Asistir durante la fase de diseño y coordinar entre los distintos diseños.
- Incrementar y asegurar la calidad del proceso de construcción y del producto final
- Hacer más eficaces los procesos durante la etapa de construcción.
- Mejorar la seguridad durante las fases de construcción y explotación del edificio.

- h) Dar soporte a los análisis de costes del proyecto y del ciclo de vida del edificio.
- i) Permitir la gestión y la transferencia de datos del proyecto durante la operación.

Para efectos de este trabajo se considerarán cuatro guías que definen los siguientes temas: Arquitectura, Estructural, Construcción y Aseguramiento de la calidad. Se indica que todas las disciplinas que se desarrollan alrededor del proyecto deben cumplir o acatar las recomendaciones del capítulo Aseguramiento de la Calidad, por lo que se debe realizar una adecuada integración de las disciplinas por desarrollar. Por otra parte, las 13 guías están dirigidas a integrar en BIM el proyecto por completo; pero el estudio de este es amplio y extenso como para incluirlo en este trabajo. A continuación, se detallan las características principales de cada capítulo.

Aseguramiento de la calidad del proyecto BIM

El proceso de documentación de la información en la construcción presenta su complejidad debido a la variabilidad de disciplinas y tópicos. El trabajo de modelación de cada una de las disciplinas a lo largo de la documentación debe ir de la mano del aseguramiento de la calidad para garantizar el éxito del modelo (Building Smart Spain Chapter, 2017) y se puedan cumplir las pautas que al inicio de este tema se tratan. Se hace hincapié en las legislaciones y normas como el caso de las Normas ISO mencionadas.

El fin de la calidad en la modelación tiene influencia directa en el control del modelo durante la fase de diseño dentro de BIM para el cual se presentan responsables, involucrados y beneficiados, así como tareas. (Building Smart Spain Chapter, 2017).

A continuación, se detallan las mejores acciones por parte de los responsables a cargo de la calidad del modelo para que esto se cumpla.

- a) *Chequeos periódicos*: básicamente funciona cuando se puede comparar la información chequeada con otra información de referencia, por ejemplo, longitudes o áreas de elementos. Estas revisiones deben ser tan frecuentes como se necesiten. La experiencia del profesional a cargo es vital para los procesos

de chequeo, a causa de estar familiarizado con el concepto correcto de las modelaciones.

- b) *Inspecciones*: Se ayuda principalmente con las herramientas que presenta BIM para producir información significativa haciendo más práctica la evaluación de la información.

Según indica la guía Aseguramiento de la calidad, los principales archivos BIM que deben ser verificados son los siguientes:

- a) Inventario BIM. Básicamente que los nombres, áreas y visualizaciones de los espacios sean debidamente revisados.
- b) BIM espacial
- c) Construcción de elementos BIM
- d) Sistema MEP (Sistema eléctrico mecánico)
- e) BIM fusionado

Diseño arquitectónico

Aquí se concibe la idea general de la necesidad de un proyecto de construcción y la herramienta inicial para adentrarse al campo BIM. Se toma como base el diseño arquitectónico en la modelación de la información en conjunto con el diseño geométrico; se desarrolla un sistema que organiza, clasifica, muestra el concepto del edificio considerando la mayoría de los aspectos desde planeación, diseño, construcción, operación y mantenimiento del proyecto.

Building Smart, dentro del diseño geométrico, menciona una serie de pautas por seguir para la modelación de la información en la construcción como parte del proceso de implementación BIM. (BuildingSmart Spain Chapter, 2017)

Fundamentos del modelo arquitectónico:

- a) *Coordenadas y unidades*: se parte que la modelación del proyecto se realiza dentro de cuadrante XY positivo para no tener problemas con los valores absolutos, partiendo de puntos cercanos al 0,0 y con verificaciones que se trabajen en un mismo punto de coordenadas cuando así se haga en archivos separados según el área de trabajo. Se considera la posición "Z" como la altura.
- b) *Divisiones de trabajo*: Se crea un modelo o archivo independiente por edificio o estructura importante. También es necesario dividir el

edificio por niveles o por cualquier otra división que permita trabajar modelos complejos.

- c) Niveles del contenido BIM: Se divide tres niveles de contenido de los modelos BIM los cuales son base y se pueden adaptar a las necesidades del caso.
 - a. **1° nivel** indica información base para comunicación y colaboración de los diseñadores, información primordial después de la concepción de las necesidades.
 - b. **2° nivel** cubre la información necesaria para realizar análisis ya sean energéticos, estimación de costos medidas y demás información afín.
 - c. **3° nivel** brinda información relevante para la planificación de la obra, así como pedidos del contratista.
- d) Elementos estructurales: Para casos de modelación de diseño arquitectónico estas muestran las capas visibles, es decir se logran ver las capas superficiales del modelo, no es necesario adjuntar las capas internas, pero sí modelar las capas externas de las estructuras soportantes.
- e) Publicación de modelo y control de calidad: Se refiere al compartir avances de modelos con otros equipos de trabajo según sean las necesidades y avances del proyecto. A la hora de subir archivos para compartir es necesario asegurarse que la cantidad de información que este tenga sea la necesaria, así como mantener un mismo tipo de formato para la lectura.
- f) Principal función: Los modelos de trabajo BIM básicamente deben ser un método rápido y flexible para el intercambio de información con el fin de llegar a soluciones de diseño.
- g) Ficha descriptiva: Básicamente funciona a la hora de compartir los modelos con otros equipos de trabajo en los que se debe detallar en qué consiste el modelo, cual es la información que presenta, así como cuál es el avance del modelo, y si tiene cambios, indicar cuáles son.

Diseño estructural

El diseño estructural en la modelación de la información tiene cabida dentro de la logística y comunicación que tenga esta disciplina con otras.

Se debe tener en cuenta un diseño soportante de sí mismo, así como funcional en otras áreas que permitan al proyecto desempeñarse de la mejor forma. Por otra parte, el nivel de detalle implica un control adecuado de la información y que se pueda disponer de ella dentro del proceso de construcción de acuerdo con los estándares de calidad de cada país.

A continuación, se expone una serie de pautas para tomar en cuenta durante la modelación de información, así como de su implementación. (Building Smart Spain Chapter, 2017).

- a) Estructuras por modelar. Se deben modelar todas las estructuras portantes de carga, todos los elementos constructivos que afecten de alguna manera otras disciplinas (Por ejemplo, choques entre sistema estructural y sistema electromecánico). Por otra parte, se debe generar un modelo donde los elementos por parametrizar se puedan exportar con formato de intercambio. (IFC)
- b) Esquema estructural. Es recomendable crear un prediseño de un sistema estructural que abarque todas las necesidades del usuario y que se encuentre en concordancia con el resto de las disciplinas que involucra el proyecto.
- c) Definición de sección y plantas. Las estructuras se modelan en secciones y plantas de acuerdo con el plan de ejecución, así como en el esquema estructural del punto "b". Esto ayuda con la visualización del proyecto durante el periodo de ejecución.
- d) Numeración y etiquetado. Conforme los elementos se van creando en el modelo BIM a la vez se enumeran los elementos de forma única de manera que sean identificables a lo largo de la vida útil del proyecto. Es importante mantener esta codificación en caso de que haya que modificar elementos en vez de crear uno nuevo. Esta codificación servirá para futuros análisis de cualquier tipo en la cual se deba obtener información del elemento involucrado. Dicha codificación es importante para la información y comunicación adecuada de los interesados a fin de usar el modelo.
- e) Grado de finalización. Es importante definir el grado de detalle o información que debe tener el modelo por diseñar con el fin de no tener información inútil o sobrante.
- f) Control de calidad. Un modelo estructural a la hora de ser publicado solo debe presentar

elementos propios de la disciplina, aun así, elementos que funcionen de base para la creación elementos estructurales. Para el uso de los interesados, el modelo debe transmitir la información necesaria de la forma más simple que el modelo lo permita.

Fase de Construcción

El uso de las herramientas BIM en la fase constructiva presenta una serie de alternativas para su uso. A manera de resumen, se indica el uso en intercambios de información entre el constructor principal y los contratistas, programación de la construcción, presentación de informes con contenido del estado actual de información para reuniones de cualquier tipo, así como control de las disciplinas de seguridad y salud en la construcción. A continuación, se presenta la filosofía BIM dentro de la fase constructiva. (Building Smart Spain Chapter, 2014).

- a) Procesos de entrega de modelos de información en la construcción.
Partiendo de las necesidades y dependiendo del proceso o etapa constructiva así serán los modelos por utilizar; por otra parte, se debe definir el nivel de detalle de los modelos manteniendo una adecuada calidad de la información. Definir los interesados y responsables de los modelos con el fin de mantener un control de calidad tanto del modelo, así como de la etapa constructiva. Las listas de chequeo de verificación de obra que funcionen de la mano al modelo deben ser definidas, permitiendo un adecuado control y uso. En caso de ser estrictamente necesario, se debe acordar dentro del grupo de interesados cuáles son los documentos por imprimir sin dejar de referenciar el modelo BIM de origen.
- b) Requisitos BIM para la fase de construcción.
En la fase constructiva, como requisito para los procedimientos, se puede plantear el uso BIM para las siguientes tareas: *Visualizaciones*, *Mediciones* como procesos interactivos con la herramienta que permiten al constructor mejorar

la productividad de las tareas y procesos; y por otra parte en la *Licitación*.

- c) Es posible integrar la programación de construcción dentro de los modelos BIM en donde estos complementan los trabajos de control de obra. Mediante visualizaciones de los distintos elementos enmarcados se pueden dimensionar los procesos o secuencias por seguir según el orden planteado. El formato de distribución es variable según las capacidades BIM por lo que se debe detallar para cada proyecto según las necesidades.
- d) Modelos de organización de las obras. Durante los periodos de construcción de obra se pueden plantear programas de visualización de la obra que permitan una secuencia lógica de esta. Estos modelos se deben definir de acuerdo con las fases del proyecto y ambiente.
- e) Órdenes de cambio. Se involucran el ciclo completo de implementación de las metodologías de la información en la construcción. De manera que los cambios sean modificados en todos los formatos que se presentan en tiempo real. Desde la fase de diseño hasta la planificación y cuantificación de los materiales del sector propio de las órdenes de cambio.

Propuesta de implementación de la metodología BIM

Introducción

La idea general al diseñar un plan de implementación BIM es generar una opción con el fin de implementar las herramientas BIM a lo largo del todo el ciclo de vida del proyecto, principalmente en la fase de obra gris y constructiva. Este tiene la intención de determinar cuáles son las líneas de flujo de información y tiene como base un modelo de proyecto en 3D.

Como se menciona, la administración de la información en la construcción mediante herramientas BIM considera una agilización en el flujo de información gracias al formato en el que se maneja.

Se determinan cuáles son los involucrados, sus respectivos roles, los alcances del trabajo, los requisitos de información, herramientas por usar (desde el uso de programas de computación hasta el diseño de plantillas y listas de chequeo), procedimientos por aplicar en campo, así como los resultados por obtener.

Debe aclararse que la adaptación de estas metodologías tiene sus implicaciones, que surgen como resultado de la experiencia e investigación y según las exigencias mundiales. Esto apunta a que la adaptación de esta metodología implica una serie de etapas naturales como las del aprendizaje de cualquier habilidad, tomando en cuenta las dificultades que el entorno proporciona.

Diseño del plan (General)

Se considera dentro de las pautas lo siguiente:

- a) Se considera la fase constructiva de obra gris; cimientos, armaduras, vigas columnas, muros.
- b) Se considera como el ciclo de vida del proyecto para este ejercicio a: Fase de diseño, verificación y análisis, cuantificación, planificación y construcción del proyecto, todo dentro de la planificación de un proyecto de construcción.

BIM Manager

Comúnmente conocido como BIM Manager, el administrador de la información mediante herramientas BIM es el encargado de controlar todo el proceso constructivo, recopilar y decir cómo se va a hacer el traspaso de toda la información, así como el encargado de redactar el documento BEP.

BEP (BIM Execution Plan/ Plan de Ejecución BIM)

Mediante un plan de ejecución BIM se pueden plantear todas las pautas necesarias para lograr un flujo de información adecuado mediante las herramientas BIM. Este plan debe mantener una línea que permita un flujo adecuado de información. Es necesario mantener una idea globalizada del campo de trabajo de un BEP debido a que las metodologías BIM en mayor medida ayudan de una forma integrada durante la ejecución de un proyecto de construcción.

Mediante una matriz de planificación del trabajo BIM se esquematiza el contenido general que involucra un BEP para este caso mostrado en la figura 7 (Matriz BEP)

En el encabezado vertical se presentan, diferenciadas, las etapas del ciclo de vida de la información propuesta y en el horizontal, se encuentran cuáles son los aspectos por contemplar dentro de cada caso, considerando la personalización que requiera cada fase.

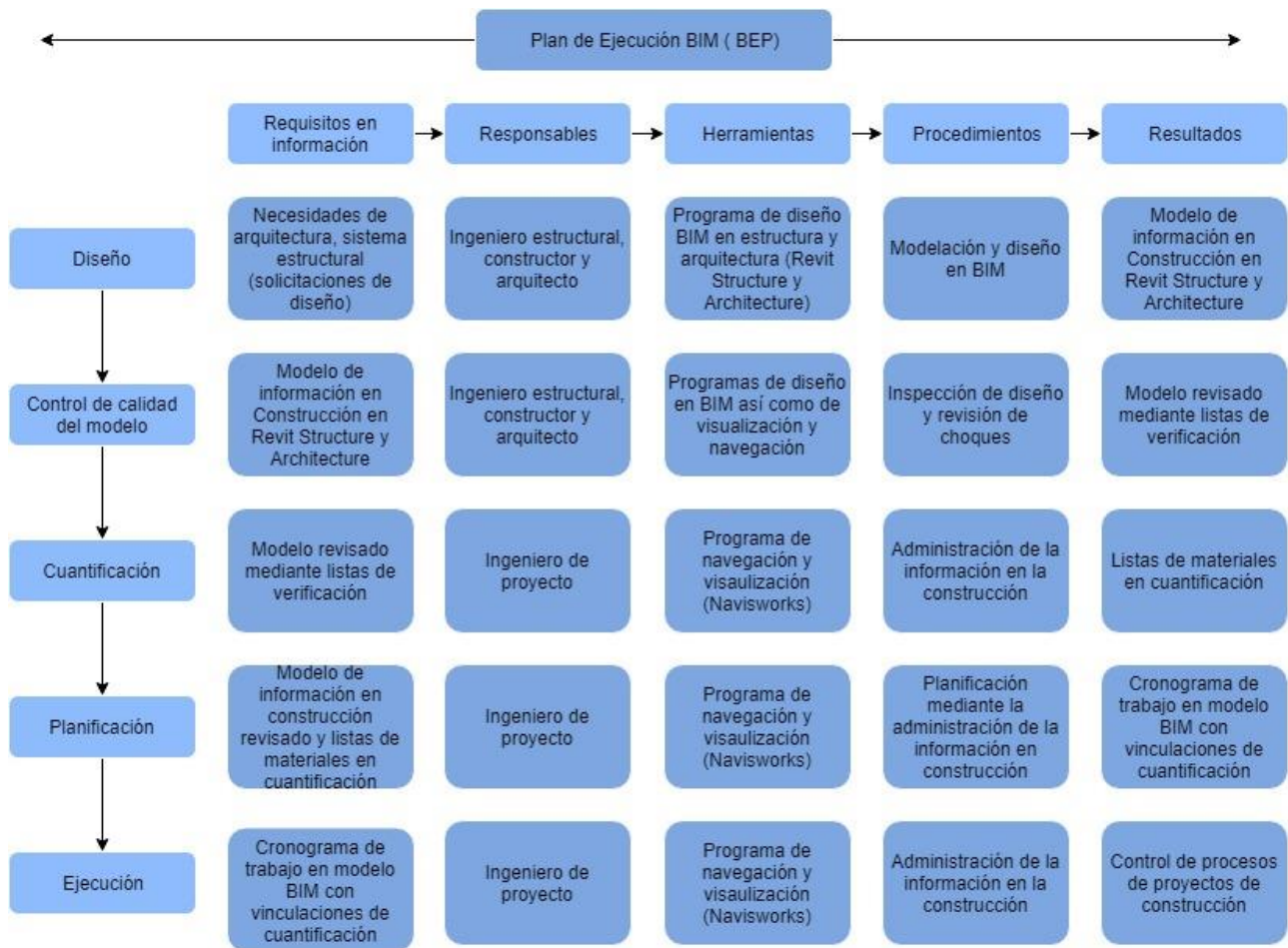


Figura 7 Diagrama general de flujo de información y trabajo en BIM, BEP (BIM Execution Plan) Fuente: Elaboración propia

Diseño

El diseño comprende el modelado del proyecto a partir de las necesidades. Modelado de la información que se necesita como producto final del proyecto. Se debe mantener un esquema de información necesaria, de acuerdo con el producto final, así como en cada una de las fases para su conceptualización.

Se pretende generar un esquema de flujo de información general que permita la optimización del diseño, así como los tiempos de trabajo.

Según las necesidades de uso del modelo y con la cantidad y calidad de información que se necesite, es necesario definir cuáles son los niveles de información que se deben manejar.

Resultados/Objetivos

Modelado de la información en la construcción en estructura y arquitectura básica que comprende toda la obra gris, elementos estructurales, materiales, concretos y aceros. Este modelo se diseñará en archivo tipo “.rvt” (Revit) y de forma colaborativa se trabajará “.ifc” (IFC para cualquier otro tipo de archivo)

Requisitos de información

La información necesaria es la que repercute directamente en el diseño estructural, en donde se supone a la necesidad de asegurarse su integridad ante un sismo. Por lo que para este caso por ley se utiliza el “Código Sísmico de Costa Rica 2010” Capítulos 16 y 17, donde, respectivamente, se

indican los requisitos para documentos de diseño, inspección y construcción; así como aspectos importantes en cuanto al tema estructural de vivienda unifamiliar capítulo 17, donde se mencionarán los apartados. (Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos, 2010)

A nivel de arquitectura se toma en cuenta el tema de accesibilidad y que la estructura cumpla con las necesidades humanas exigidas por la legislación tales como ley 7600 y leyes conexas.

Responsables

En primera instancia se define como responsable al ingeniero estructural con conocimientos estructurales y constructivos (así como conocimientos en modelación BIM en el área de estructuras y en todo el proyecto); De acuerdo con las necesidades de arquitectura, debe velar por el cumplimiento de los requisitos para el diseño de una vivienda unifamiliar dentro del modelo BIM por generar.

Herramientas

Se plantea el uso de las siguientes herramientas computacionales con el fin de mantener un adecuado flujo de información entre ellas.

- a) Revit Architecture 2016: Diseñado para el modelo arquitectónico de obras de construcción donde soporta información como familias y clases de elementos, materiales y dimensiones de forma parametrizada para cada elemento que se diseñe en el modelo BIM.
- b) Revit Structure 2016: Diseño para soportar información estructural dentro de plantillas estructurales de Autodesk, soporta información como familias y clases de elementos y materiales, así como sus dimensiones de manera parametrizada. Cuenta con capacidad de generar el sistema estructural (mediante el modelo 3D Analítico) según se esté generando el modelo BIM que pueda ser exportado e importado a programas de análisis estructural como SAP2000 mediante archivos de tipo IFC “.ifc”.

Procedimientos

- 1) Definición del tipo de sistema estructural: Las diferencias en los sistemas estructurales

principalmente impacta en el modo en que se realiza el análisis estructural, así como en el orden y procedimiento en que se modela una estructura en BIM.

- 2) Generación de plantilla estructural y generación de plantilla arquitectura: Autodesk a nivel de modelación de la información en la construcción dentro de los paquetes de los programas computacionales se facilitan plantillas estructurales, arquitectura y electromecánico con el fin de agilizar los procesos de modelación de información en construcción. Canaliza los resultados por obtener como en la generación de los modelos 3D analítico.
- 3) Generación de grilla de trabajo y de vistas de elevaciones a distintas alturas: Los modelos BIM se caracterizan por el orden y fraccionamiento en el modelado considerando la parametrización. Se menciona la importancia de que todos los elementos están enlazados a las grillas y elevaciones.
- 4) Distribución de planta arquitectónica: generalmente el modelado de proyectos de construcción comienza con el modelo arquitectónico cumpliendo con las necesidades de espacio y comodidad. Esto permite generar un modelo estructural sobre el arquitectónico con el fin de mantener la sincronización.
- 5) Definición de tipo de material y sus características: Información necesaria que requieren los modelos BIM para su funcionamiento, de manera de distintos grupos de elementos para modelación en BIM, según brinde la compañía del software. Se incluye tipo de material a utilizar, características como resistencia, composición y tipo de conformado, ya sea prefabricado o colado in situ.
- 6) Modelado de Cimientos: Se modelan cimientos con los requerimientos del apartado del Codigo Sísmico de Costa Rica 2010 “17.3.2 Fundaciones” en su sección “a. Fundaciones para paredes de mampostería o de concreto reforzado”.
- 7) Modelado de Columnas y Muros. Se modelan mediante los requerimientos del apartado “17.3.3 Paredes” donde según el tipo de sistema estructural se puede definir (tomando en cuenta los sistemas en marco o duales en concreto) “a. Paredes de mampostería en general”, “b. Paredes de mampostería

integral”, “c. Paredes de mampostería confinada”, “d. Paredes de concreto reforzado”.

- 8) Modelado de Vigas. Se modelan mediante los requerimientos del apartado “17.3.4 Estabilidad lateral de las paredes” en la sección “a. Estabilidad de las paredes de mampostería o de concreto reforzado” donde se definen los requisitos mínimos de diseño de elementos para proveer estabilidad lateral al sistema de mampostería o concreto reforzado.
- 9) Definición de las características y modelado de acero de refuerzo en cada elemento. Se modela mediante los requisitos mínimos de los apartados mencionados en los puntos 6, 7 y 8 de la presente lista.
- 10) Generación de Modelo 3D analítico. Mediante una coordinación entre Revit y SAP2000 se permite una interoperabilidad mediante las funciones importar y exportar en archivos .ifc para que el procedimiento de rediseño sea amigable.

A continuación, se presenta un esquema mediante el cual se muestran estos puntos mediante un flujo de trabajo colaborativo.

Resumen de flujo de información del procedimiento

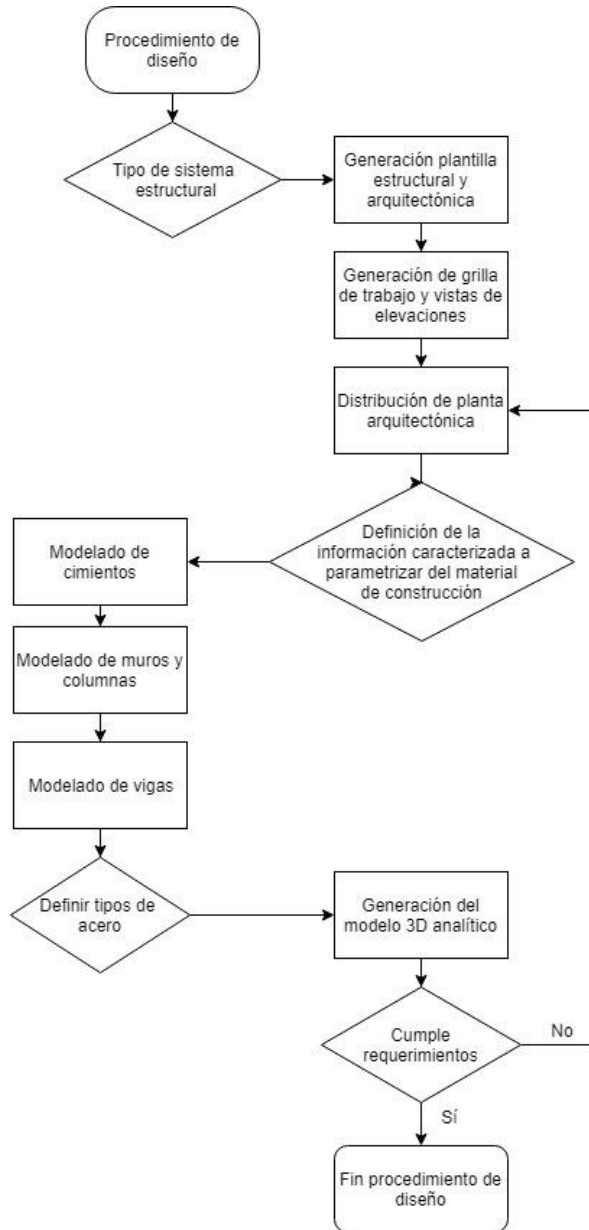


Figura 8. Diagrama de flujo del procedimiento en diseño (Los requisitos son los recomendados según la visión de BuildingSmart que pretende el uso de herramientas BIM en todo el ciclo de vida del proyecto bajo la línea de trabajo colaborativo mediante la interoperabilidad).

Verificación y análisis (control de calidad del modelo)

Resultados/Objetivos

Corroborar errores de diseño que impacten en planificación, cuantificación, estructura y choques entre los elementos. Diseñar y aplicar las listas de verificación que permitan una supervisión adecuada de los modelos.

Requisitos de información

Modelado de la información en la construcción en estructura y arquitectura básica comprendiendo toda la obra gris, elementos estructurales, materiales, concretos y aceros. Este modelo se diseñará en archivo tipo “.rvt” (Revit) y de forma colaborativa se trabajará en “.nwc” (Navisworks) o “.ifc” (IFC para cualquier otro tipo de archivo).

Responsables

En primera instancia se define al ingeniero estructural con conocimientos estructurales y

constructivos así como conocimientos en modelación BIM en el área de estructuras y general, en todo el proyecto. De acuerdo con las necesidades de arquitectura debe velarse por el cumplimiento de los requisitos para el diseño de una vivienda unifamiliar dentro del modelo BIM por generar.

Herramientas

Software de modelación BIM en estructura y arquitectura (Revit Structure y Architecture) así como software de navegación de proyectos (Navisworks) para el análisis de detección de choques y supervisión.

Procedimientos

- 1) Revisión de modelo BIM mediante lista de verificación: Completado el modelado de la estructura, se somete a revisión por los diseñadores. Se verifica el cumplimiento del modelo con las listas de requisitos planteadas en “Requisitos CC1” mostrados en la figura 9.
- 2) Requisitos CC1 tiene la finalidad de generar un primer filtro de comprobación de elementos modelados que permita reducir los errores previos al análisis de detección de choques.

Lista verificación CC1				
	Acceptado	Incongruencias	No relevante	Comentarios
a				Formato de archivo de los modelos compatibilizados (IFC y otros achivos acordados)
b				El sistema de coodenadas se corresponde con el acordado
c				Las capas están definidas
d				Se han modelado elementos de construcción acordados por los requisitos de diseño
e				Los elementos estructurales se modelan con las herramientas adecuadas
f				Las estructuras son nombradas según lo acordado en el programa
g				Modelo, no hay elementos adicionales en el modelo
h				El modelo no está anidado o no tiene elementos de construcción duplicados
i				Hay correspondencia entre elementos estructura y arquitectura
j				Se admiten las estructuras
k				La estructura ha previsto reservas para el pase de los sistemas MEP

Figura 9. Lista de verificación CC1 para filtro #1 tomado de Building Smart Spain Chapter, (2017)

- a) Se refiere al tipo de archivo en el cual se intenta la interoperabilidad de programas de computación. En el momento de guardar los archivos deben estar en formato que otros programas puedan codificar.
- b) En caso de ser necesario, se verifica la ubicación geoespacial, que permita verificar el proyecto en el terreno correspondiente.
- c) Se asegura de mantener una codificación adecuada según lo planificado para su localización.
- d) Se verifica el cumplimiento de las pautas de diseño definidas anteriormente.

- e) Se Verifica que cada elemento sea creado con la herramienta correspondiente, debido a la variabilidad de sus funciones (un muro sea creado con las herramientas de muro).
- f) Verificar el cumplimiento de los nombramientos de los elementos según lo planeado.
- g) Elaborar un modelo con información necesaria y sin excesos según los niveles de información planteados (Nivel 1, 2, 3).
- h) Verificar que no existan traslapes entre elementos, así como elementos duplicados ocultos.
- i) Verificar la coordinación entre el sistema estructural y arquitectura.
- j) Cada elemento es aceptado por el sistema de modelación, no se presentan errores de programa de computación

k) Permitir espacios para la instalación de sistemas electromecánicos, con el fin de dar solución a futuros problemas.

3) Requisitos CC2 son los que se cumplen mediante un análisis realizado directamente en el software por lo que es preciso.

4) Análisis de detección de choques en Navisworks. Se hace un análisis de detección de intersección de choques mediante dos métodos para la corroboración de todo el proyecto. La primera parte consta de la detección de choques bajo el grupo de acero de refuerzo, ya sea desde duplicidad de elementos, así como intersección de superficies para el detalle de acero de refuerzo. La segunda parte es detectar la duplicidad o choques de elementos de concreto permitiendo encontrar excesos de elementos. En Análisis de choques se debe considerar lo siguiente:

a. El análisis de choques mediante la importación de modelos a extensiones BIM como Navisworks permite un resultado más detallado que programas que presentan la herramienta integrada. (Eastman, Teicholz, Sacks, & Liston, 2011)

b. El flujo de información según el uso de programas seleccionados para este trabajo es unidireccional (Eastman, Teicholz, Sacks, & Liston, 2011); lo que indica que se realiza un flujo entre Revit y Navisworks, Al contrario no es posible.

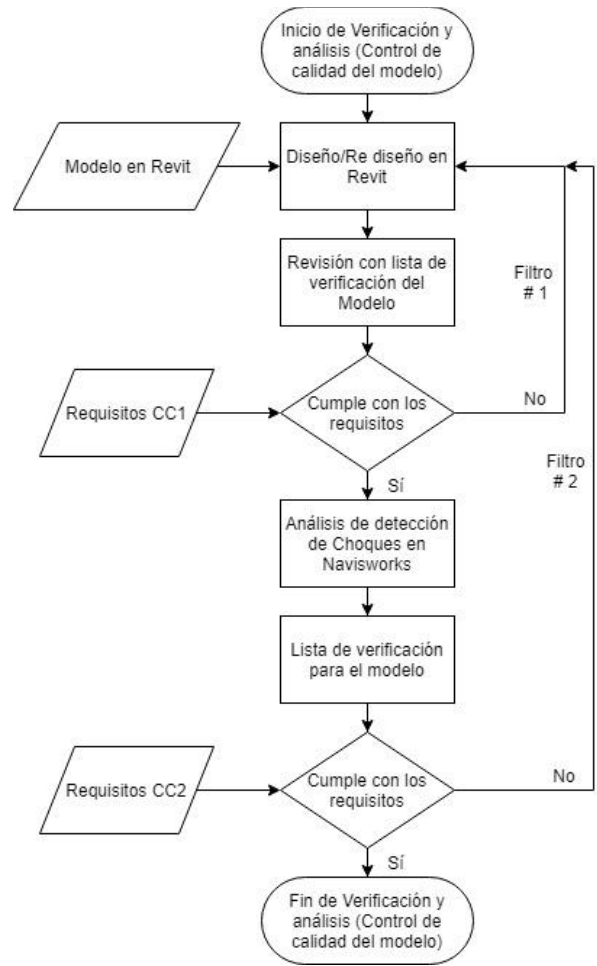


Figura 10. Diagrama de flujo del procedimiento en verificación y análisis (control de calidad del modelo) Fuente: elaboración propia

Resumen de flujo de información del procedimiento

Cuantificación

Resultados/Objetivos

Generar listas de materiales según su clasificación y tipo con posteriores usos en costos, planificación y control de obra mediante herramientas BIM, logrando cooperatividad e interoperabilidad. Es necesario mencionar que la aplicabilidad de la cuantificación es anticipar costos en los diseños generados, con el objetivo de tener en cuenta el factor económico durante el diseño.

Requisitos de información

Se necesita un modelado de la información en la construcción en estructura y arquitectura básica que comprenda toda la obra gris, elementos estructurales, materiales, concretos y aceros. Este modelo se diseñará en archivo tipo “.rvt” (Revit) e “.ifc” (Industrial Foundation Clases) para otros programas y de forma colaborativa se trabajará en “.nwc” (Navisworks).

Responsables

En este caso los responsables son el ingeniero o encargado en planificación, así como ingeniero de proyecto con conocimiento en herramientas BIM (Revit y Nvisworks para este caso)

Herramientas

Software de modelación BIM en estructura y arquitectura (Revit Structure y Architecture) así como software de navegación de proyectos (Navisworks) para la generación de listas de materiales.

Procedimientos

- 1) Previo a la cuantificación de materiales, se debe asegurar la reducción de errores para garantizar resultados confiables.
- 2) Como parte de la interoperabilidad se importa el modelo BIM al programa de computación de navegación de proyectos (Navisworks) para realizar la posterior administración de datos del modelo.

- 3) En el software se realizan los libros de cuantificación para lograr archivar los resultados según los agrupamientos que conforman la obra.
- 4) Los datos que se pueden extraer son, longitud, espesor, grosor, altura, perímetro, área, volumen, peso. Para efectos del proyecto se considera importante considerar solo longitud, volumen y peso.
- 5) Estos datos pueden ser exportados a Excel en formato .xlsx donde, según la necesidad, se genera un formato acorde con el coste económico de la lista.

Resumen de flujo de información del procedimiento

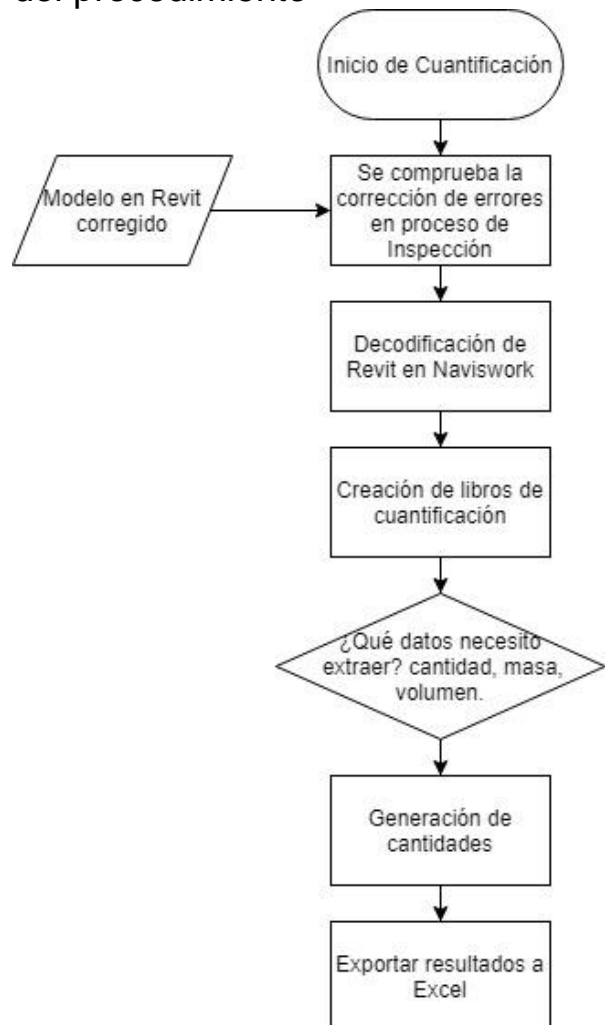


Figura 11. Diagrama de flujo del procedimiento en cuantificación Fuente: elaboración propia

Programación de proyectos en BIM

Resultados/Objetivos

Generar un plan de trabajo mediante visualizaciones 3D. Esta planificación permite tener un control visual, así como la gestión de los trabajos por hacer tomando en cuenta los espacios de trabajo.

Requisitos de información

Es requisito un modelo de la información en la construcción en estructura y arquitectura básica que comprenda toda la obra gris, elementos estructurales, materiales, concretos y aceros. Este modelo se diseñará en archivo tipo “.rvt” (Revit) e “.ifc” (Industrial Foundation Clases) para otros programas y de forma colaborativa se trabajará en “.nwc” (Navisworks).

Responsables

Ingeniero o encargado en planificación, así como ingeniero de proyecto con conocimiento en herramientas BIM (Revit y Navisworks para este caso) y en programación de proyectos de construcción mediante el uso de programas. (Project Manager)

Herramientas

Software de modelación BIM en estructura y arquitectura (Revit Structure y Architecture) así como software de navegación de proyectos (Navisworks) para la generación de listas de materiales.

Flujo de trabajo

- 1) Se tiene como requisito la calidad del modelo mediante el procedimiento de inspección del presente trabajo.
- 2) Creación de carta Gantt mediante dos métodos
 - a. Generado directamente desde la herramienta BIM, la cual presenta

una configuración de cronograma poco personalizada.

- b. Mediante la herramienta Project Manager se diseña la carta Gantt con todos los pormenores del proyecto.
- 3) Mediante los árboles de selección como método más eficaz y general se realiza el enlace entre las actividades y los elementos BIM.
- 4) Mediante un recorrido a lo largo de las actividades y vinculación con elementos BIM se hace una simulación de construcción del proyecto.
 - a. Se hace una inspección visual del cronograma de trabajo para corroborar una secuencia adecuada de actividades. Esta sección permite conocer qué actividades tendrán problemas en un futuro, según sean los recursos de espacio y tiempo o dependencias con otras actividades.
- 5) Hay dos opciones en el replanteo del cronograma de trabajo. Se hacen las modificaciones directamente en el software BIM y se exporta a Project Manager o las modificaciones se hacen directamente en el archivo de Project Manager.
- 6) En ciertos casos, es necesario realizar una segregación de los elementos. En selección de elementos, se disponen según la configuración a la hora de ser modelados, lo cual en ocasiones no se ajusta a la división de tareas requeridas en la programación.

Resumen de flujo de información del procedimiento

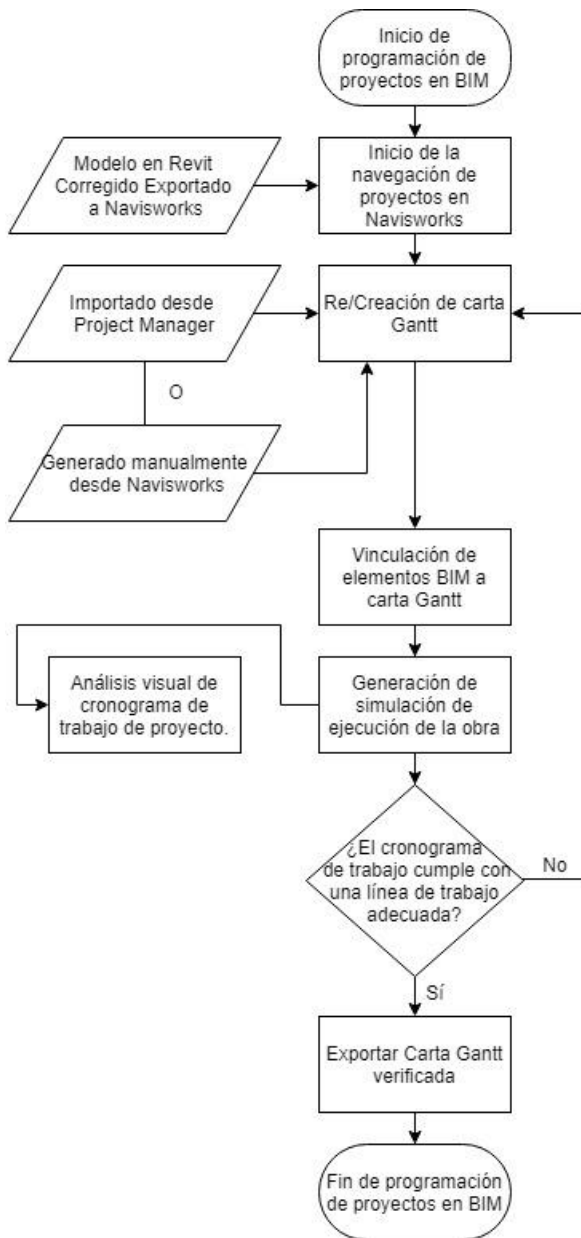


Figura 12. Diagrama de flujo del procedimiento en programación de proyectos en BIM o planificación Fuente: elaboración propia

Construcción

Resultados/Objetivos

Se espera tener como resultado un proceso de ejecución de proyectos de construcción mediante la implementación de herramientas BIM. Flujo de información en el proceso de construcción a partir de los modelos BIM tanto Modelo BIM estructural y Navegación de proyectos.

La idea general de este apartado es brindar una guía mediante la cual se logre obtener de forma adecuada, información necesaria para la construcción del proyecto.

Requisitos de información.

Modelo BIM estructural generado en Revit Structure en archivo “.rvt” e “.ifc”, Modelo de cuantificación, modelo de planificación de proyectos y modelo de simulación de ensamblado de proyectos en programa de navegación de proyectos Navisworks, archivos tipo “.nwc” e “.ifc”.

Responsables

Mediante reuniones es recomendable indicar cuál es el papel de cada miembro del proyecto en cuanto al uso de las herramientas BIM. El ingeniero a cargo de la información en BIM se encarga de administrar esta de manera que se logren los objetivos de comunicación, interoperabilidad entre personal y herramientas respectivamente.

Herramientas

Sistema de modelación BIM estructural (Revit Structure 2016), Sistema de navegación de proyectos BIM (Navisorks 2016), Microsoft Project, Office Excel y documentos en .pdf para uso de planos u otra documentación de 2D

Procedimientos

1) La información necesaria para el desarrollo del proyecto depende de su estado de avance, por lo que con anticipaciones y ayudado

por el cronograma de trabajo, se hacen las listas de documentos necesarios.

2) Se debe definir el nivel de detalle de la información repartida según el uso que se hará.

3) Según sea el caso, es necesario compartir a los subcontratistas a partir de los modelos BIM: planos de detalle a partir del modelo BIM, elementos BIM por contratar del modelo BIM, y lista de los materiales de los elementos BIM.

a. Planos de detalle a partir del modelo BIM: se define la creación de planos en cimentaciones, contrapiso y paredes; por último, viga corona.

b. Elementos BIM por contratar. Con el fin de no tener malentendidos se crea un archivo con los elementos por contratar, estos servirán para tener control de responsabilidades y en caso de rediseño, se realiza en un archivo de copia para mantener los cambios y ser evaluados para órdenes de cambio.

c. Lista de materiales de los elementos BIM: con el objetivo de mantener el control de costos y pagos a subcontratos.

4) Durante el ensamblado de la estructura se utiliza el cronograma de trabajo y, según evolucione la obra y los cambios necesarios, se realizan los procedimientos correspondientes según los apartados “Diseño”, “Verificación e inspección de calidad del modelo”, “Programación de proyectos en BIM” y “Cuantificación” con el fin de realizar el control de obra.

En la etapa de construcción, los cambios a causa de imprevistos afectan en cadena etapas posteriores como cuantificación y planificación. Por lo tanto, las consultas a los modelos de diseño se harán las veces necesarias respetando los flujos necesarios.

a. Diseño: Las modificaciones necesarias se realizan partiendo de modelos originales con el fin de: control de cambios, generación de modelo as-built, donde automáticamente se generan los planos as-built.

b. Verificación e inspección de calidad del modelo: Cada vez que se generen cambios es necesario realizar la inspección de todo el modelo prestando atención a los cambios generados.

c. Programación de proyectos en BIM: Los cambios se reprograman realizando el análisis adecuado de programa para determinar la solución que menor afecte la fecha final del proyecto.

d. Cuantificación: Instantáneamente se hace cálculo de cuantificación verificando los cambios en costos.

Resumen de flujo de información del procedimiento

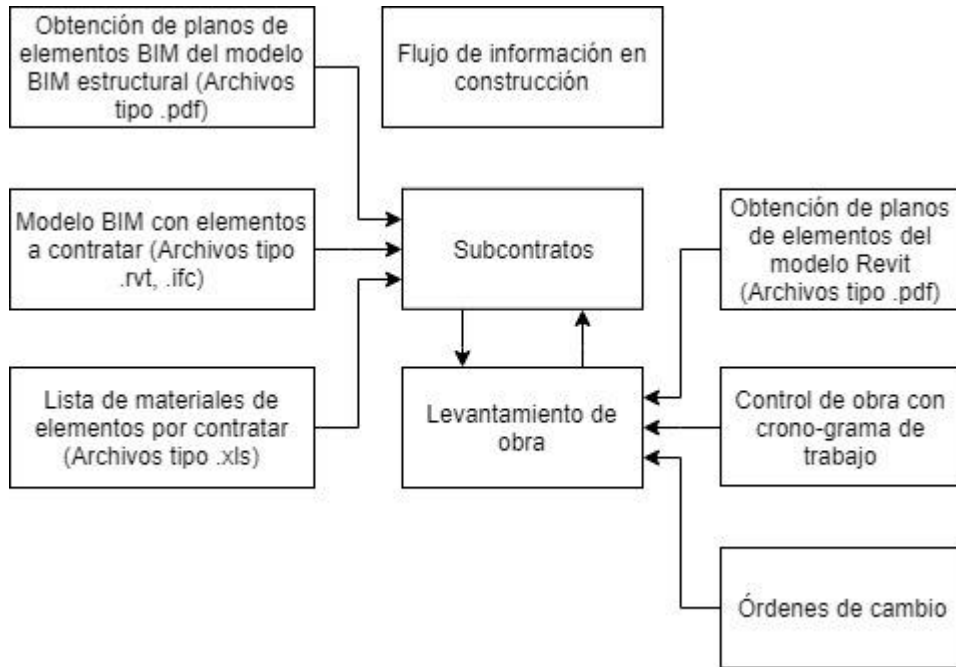


Figura 13. Diagrama de flujo del procedimiento en construcción, Fuente: elaboración propia

Aplicación de la metodología (Resultados)

Se utilizará un ejemplo de proyecto de interés social, el cual consta de una planta de aproximadamente cincuenta metros cuadrados, dos dormitorios, una cocina, comedor, baño completo y área de cuarto de pilas, sistema de muros de concreto reforzado de 15 m de espesor. (Figura 14)

Se aplicará el plan de implementación BIM desde la fase de diseño, planificación y construcción de la obra, mostrando las áreas de trabajo de las herramientas BIM en proyectos de pequeña escala.

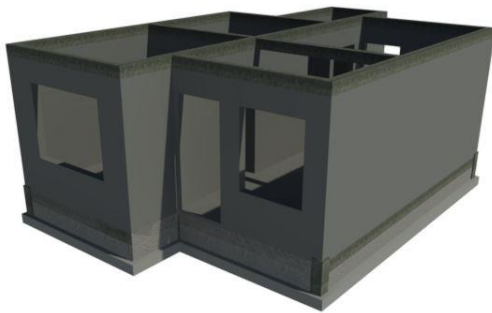


Figura 14. Presentación inicial de obra gris de vivienda modelada en Revit Structure 2016. Fuente: Elaboración propia (Revit 2016)

Diseño

Se modela la obra gris de la vivienda que comprende las siguientes fases según los puntos 1 a 10. Los componentes de la obra modelados en BIM son los siguientes: Cimentaciones, Muros de cimentación, refuerzo de sobre losa, sobre losa, muros o paredes, viga corona y acero de refuerzo en cada elemento.

Se diseñan las placas corridas a lo largo de los ejes en donde se modelarán los muros. Las placas cuentan con dimensiones de 20 cm x 35 cm en toda su extensión con la herramienta “Fundaciones” (Figura 15 y 23). El refuerzo de acero de fundaciones de 3 varillas # 3 a lo largo de la placa, así como varilla de acero # 3 a cada 25 cm a lo largo de línea de placa corrida. (Figura 24)

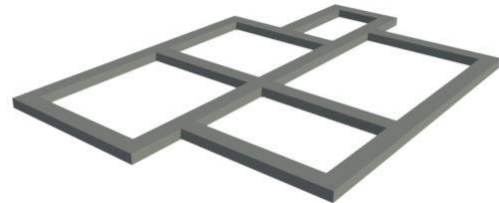


Figura 15. Modelado de fundaciones, Placa corrida. Fuente: Elaboración propia (Revit 2016)

Con la herramienta “Muros” y la familia “Muros de cimentación” se diseñan muros de 15 cm de espesor a una altura de desplante de 60 cm (Figura 16 y 23) y un refuerzo requerido de anclaje entre placa y muro de acero #3 a cada 20 cm (Figura 24).

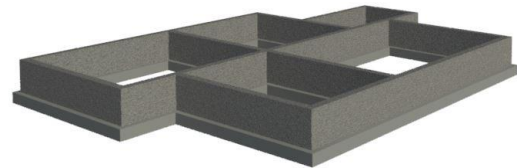


Figura 16. Modelado de muros de cimentación. Fuente: Elaboración propia (Revit 2016)

Con la herramienta “Borde de losa” de “herramienta piso” se diseña un soporte de concreto trapezoidal a lo largo de la línea de borde del contrapiso con base superior de 60 cm y base inferior 30 cm (Figura 17 y 25).



Figura 17. Modelado de soporte de concreto trapezoidal. Fuente: Elaboración propia (Revit 2016)

Se modela un contrapiso a los bordes de las paredes externas con la herramienta “*piso*” con un espesor de 7,5 cm (Figura 18). Acero de refuerzo varilla #3 en ambas direcciones a cada 15 cm y varilla de anclaje losas-muros de cimentación #3 a cada 20 cm aproximadamente (Figura 25)

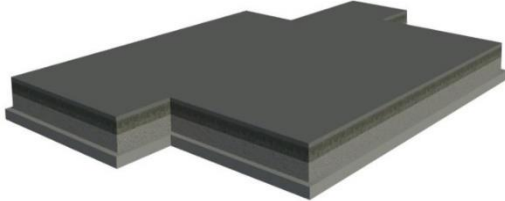


Figura 18. Modelado de contrapiso. Fuente: Elaboración propia (Revit 2016)

Se continúa con paredes; con la herramienta “*Muros*” se diseñan las paredes de 15 cm de espesor y una altura de 25 cm y se generan las puertas y ventanas con la herramienta “*Abertura de muros*” con puertas de 90 cm de ancho y altura máxima de 210 cm, así como para ventanas (Figura 19). Un refuerzo como varillas de acero # 3 vertical y horizontal a cada 40 cm (Figura 26) y refuerzo en las esquinas de ventanas y puertas de 80 cm con inclinación de 45° sobre la horizontal. (Figura 28)

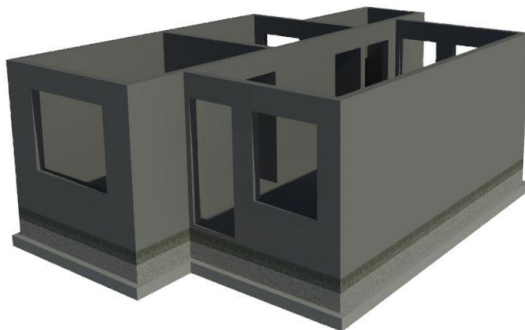


Figura 19. Modelado de muros o paredes. Fuente: Elaboración propia (Revit 2016)

Como sistema de soporte lateral se diseñan las vigas corona con herramienta “*Viga*” con dimensiones de 15 cm y 20 cm a lo largo de la línea de muros (Figura 20 y 27). Cuatro varillas #3

y aros de varillas de acero liso #2 a cada 20 cm (Figura 27)

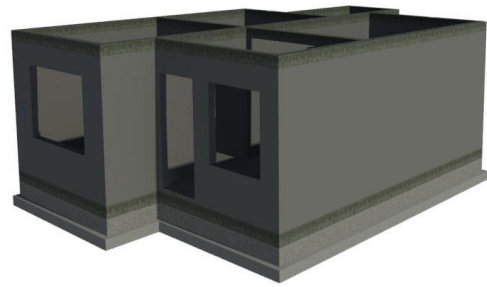


Figura 20 Modelado de viga corona. Fuente: Elaboración propia (Revit 2016)

Para simplificar la visualización del acero de refuerzo se crea su presentación en 3D. Permite percibir los errores de diseño en colocación de acero en cada uno de los elementos estructurales (Figura 21)

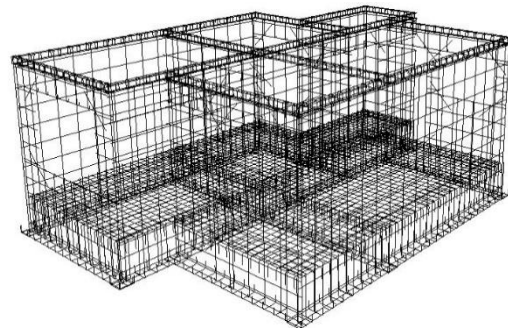


Figura 21 Modelado de acero de refuerzo. Fuente: Elaboración propia (Revit 2016)

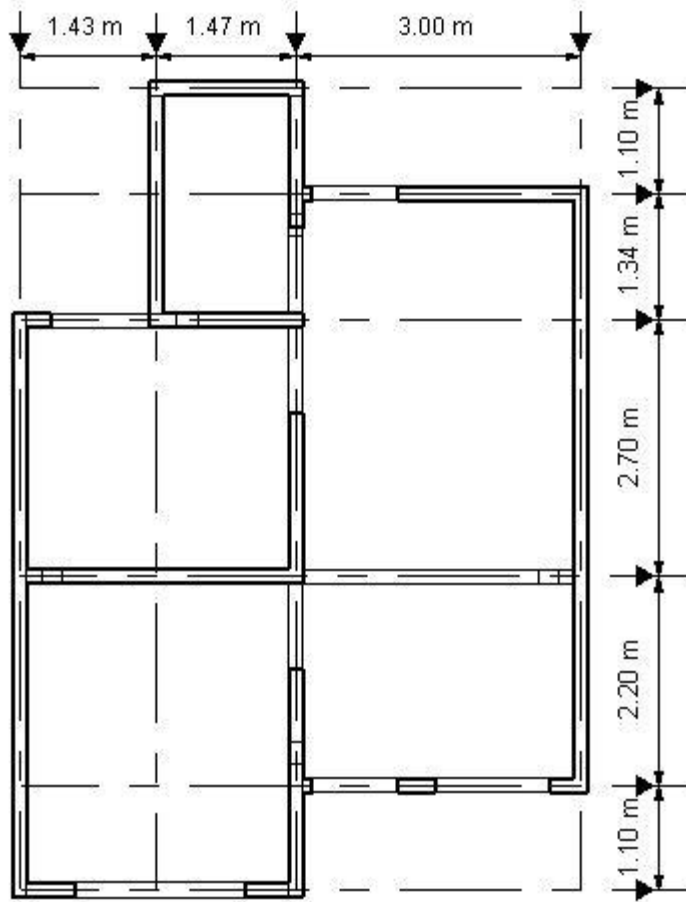


Figura 22. Modelado de distribución arquitectónica de muros. Fuente: Elaboración propia (Revit 2016)

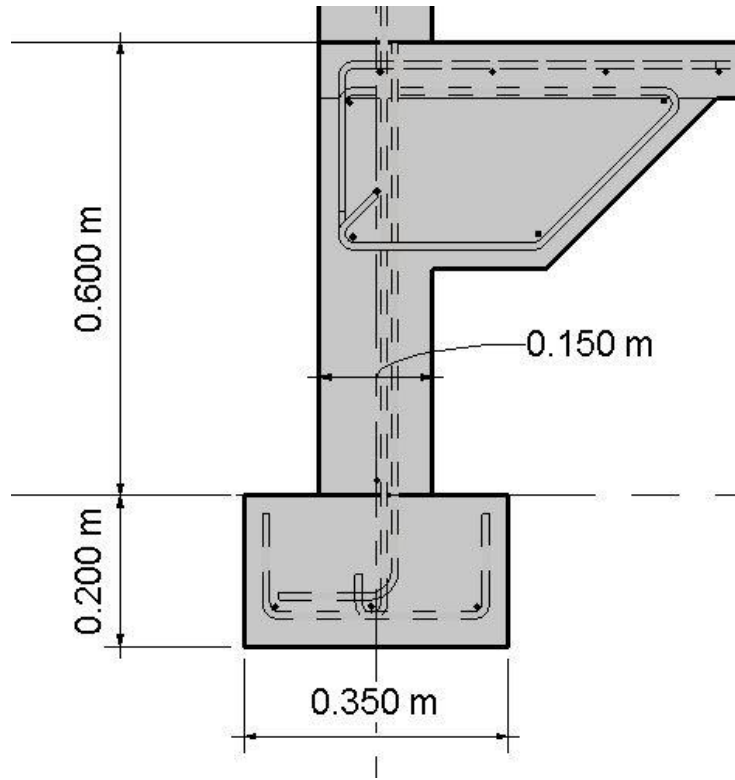


Figura 23. Detalle geométrico de fundaciones. Fuente: Elaboración propia (Revit 2016)

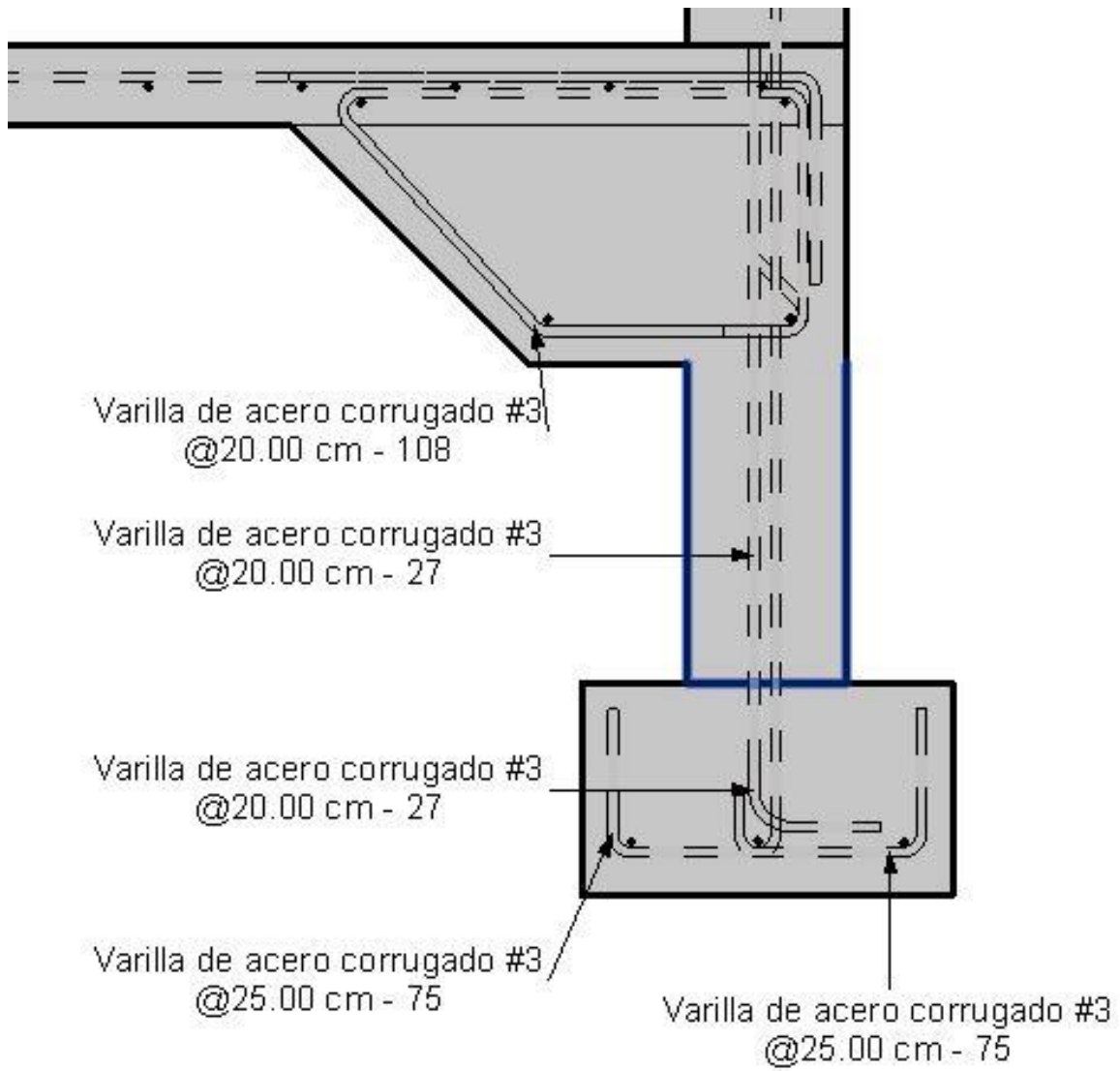


Figura 24. Detalle de acero de refuerzo fundaciones. Fuente: Elaboración propia (Revit 2016)

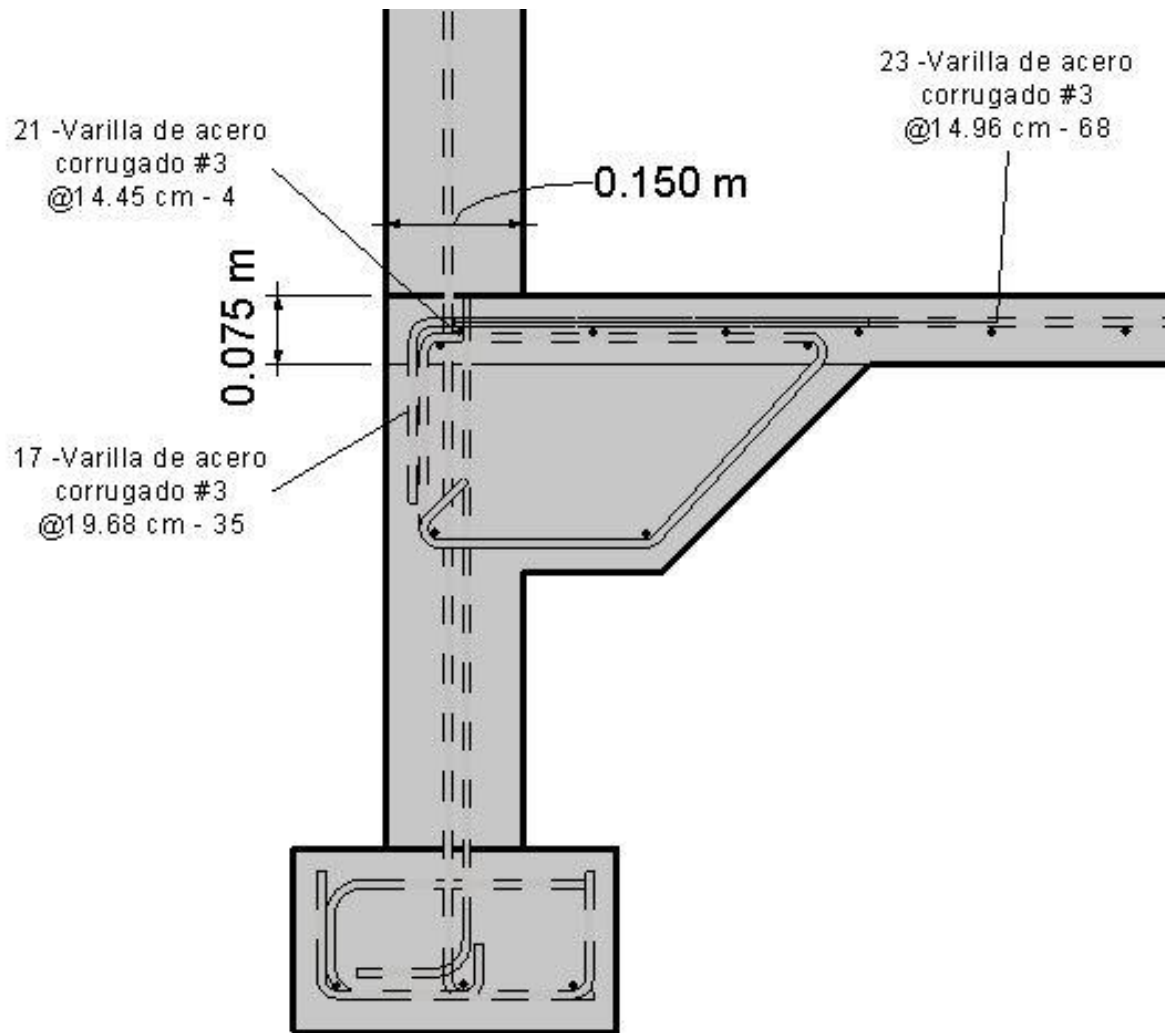


Figura 25. Detalle de contrapiso. Fuente: Elaboración propia (Revit 2016)

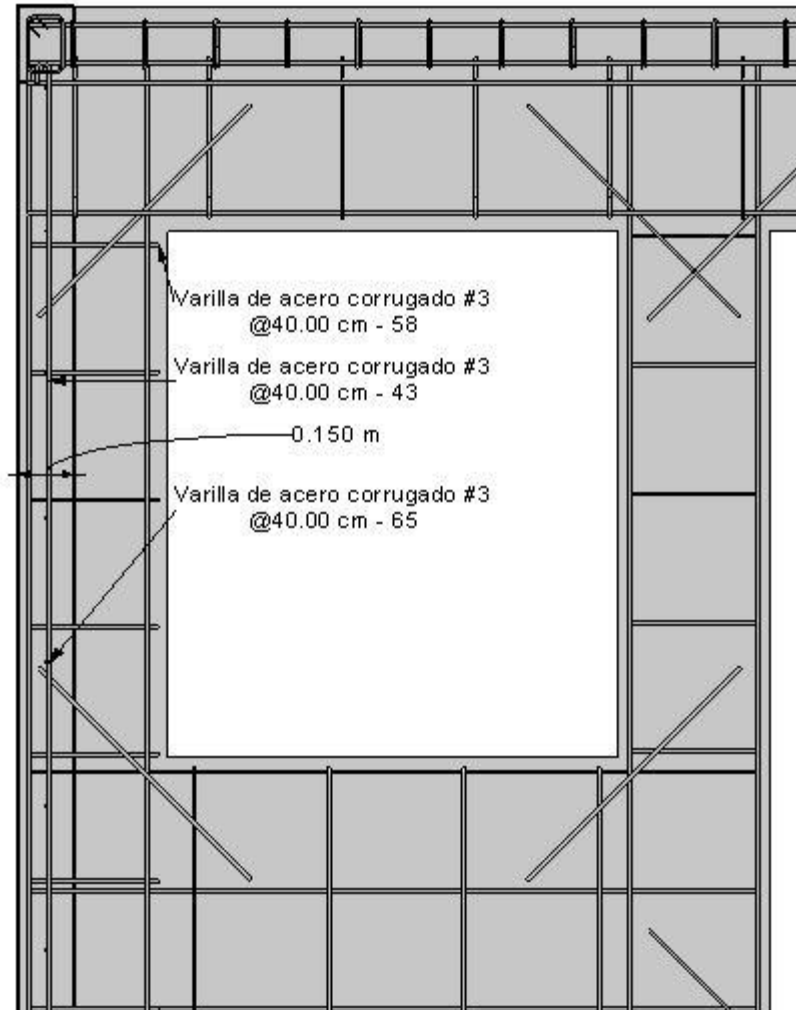


Figura 26. Detalle geométrico y de refuerzo de muros o paredes. Fuente: Elaboración propia (Revit 2016)

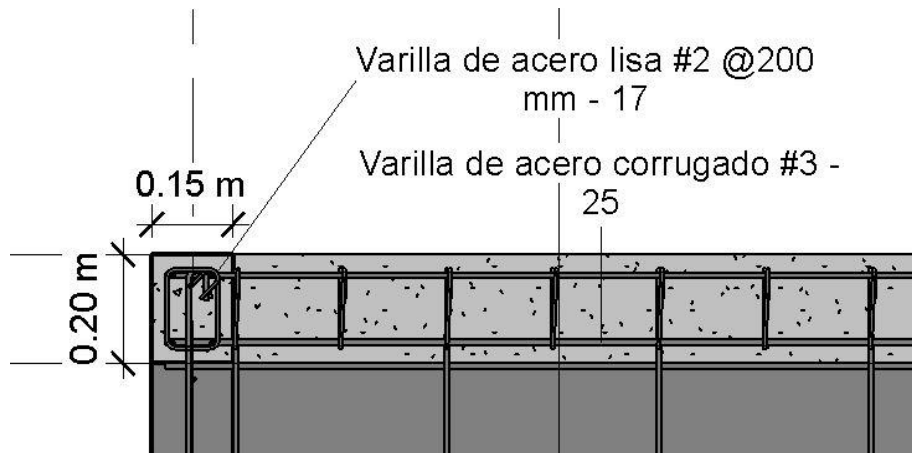


Figura 27. Detalle de geométrico y de acero de refuerzo de vigas corona. Fuente: Elaboración propia (Revit 2016)

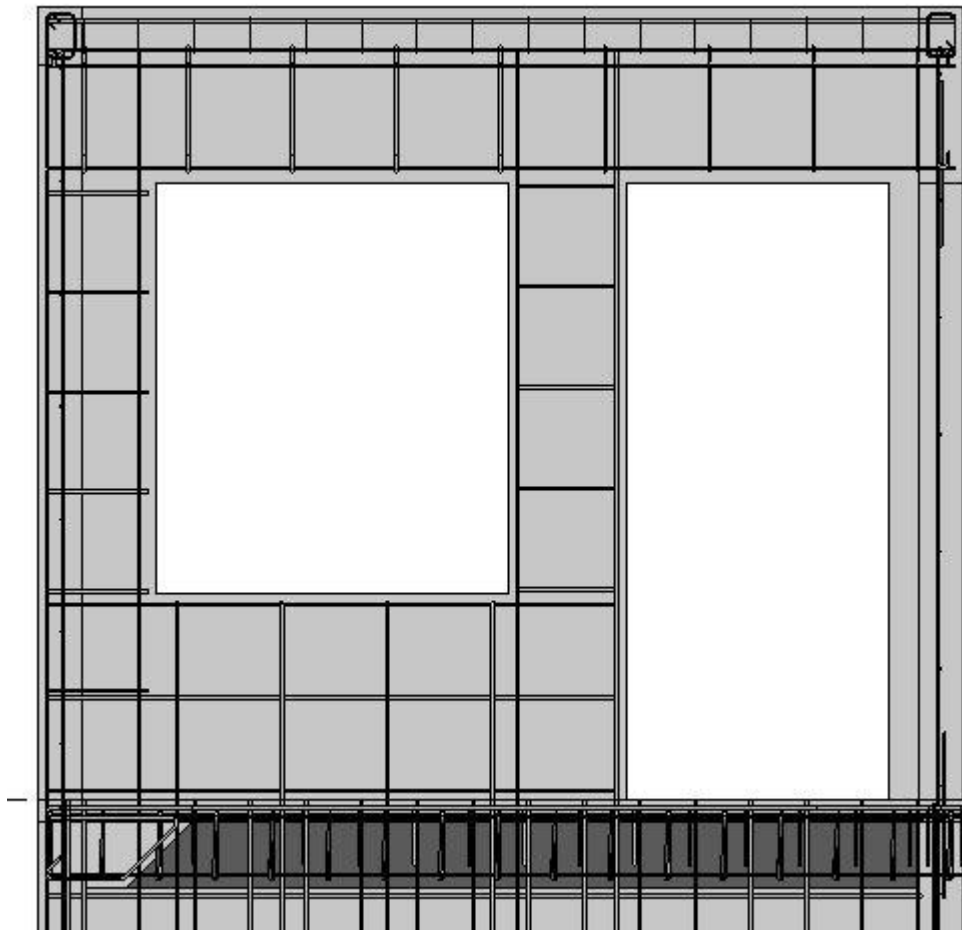


Figura 28. Detalle de acero de refuerzo para esquinas de puertas y ventanas. Fuente: Elaboración propia (Revit 2016)

El modelo analítico del modelo estructural BIM permite corroborar la funcionalidad de los elementos, ya sea como cortante en muros de cimiento y paredes, diafragma, flexión, compresión y cortante en vigas corona y diafragma en contrapiso. El modelo resultante del modelo estructural BIM en Revit puede ser exportado en formato "IFC" a programas de análisis estructural como SAP2000, para afinar el diseño de elementos portantes; como en este caso se realiza un diseño por el método simplificado, no es necesario.

El modelo analítico es generado automáticamente en Revit con la plantilla estructural que Autodesk tiene a disposición. (Figura 29 y 30). Según cada elemento BIM estructural modelado, automáticamente, el programa interpreta su funcionalidad estructural, esta, representada gráficamente. (Figura 30) Por ejemplo, los muros de fundaciones y las paredes se interpretan como muros en cortante, el contrapiso como diafragma y las vigas coronas como elementos a flexo-compresión.

La idea de esta herramienta en Revit es aprovechar el modelo estructural a partir del modelo estructural en BIM y representar el mismo modelo en un programa de análisis estructural ya sea manualmente o en algunos casos, dependiendo de la compatibilidad de los

programas, importando los archivos que son modelados en BIM. Ver figura 34, en donde se muestra una forma del tipo de archivo que puede ser importado a distintos archivos con modelos 3D.

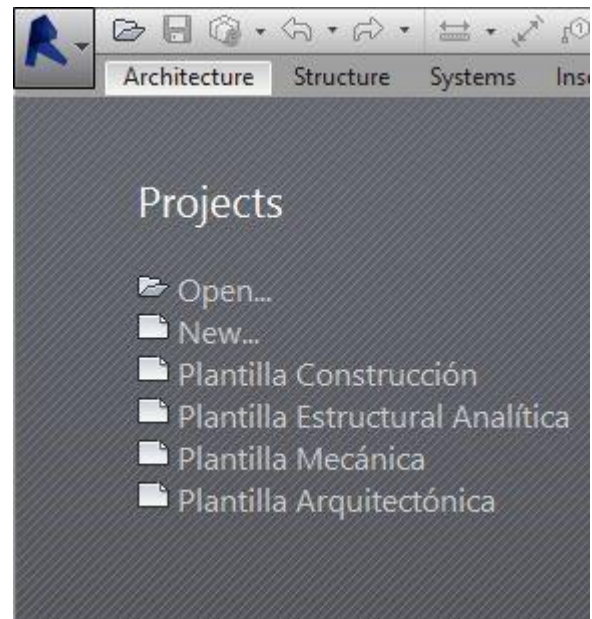


Figura 29. Ejemplo de pantalla inicial de Revit donde se muestra la plantilla estructural. Fuente, elaboración propia (Revit 2016)

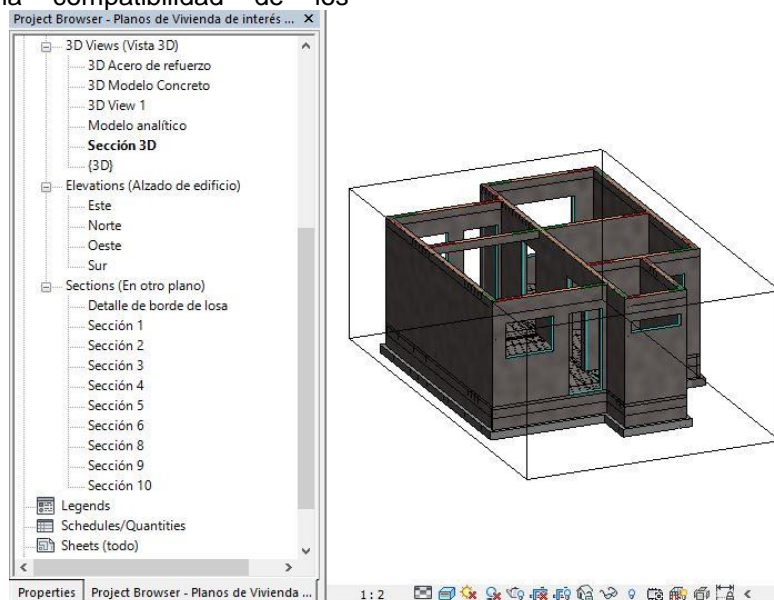


Figura 30. Ejemplo de selección del proyecto modelado en tres dimensiones. En vista se selecciona "Sección 3D". Fuente, elaboración propia (Revit 2016)

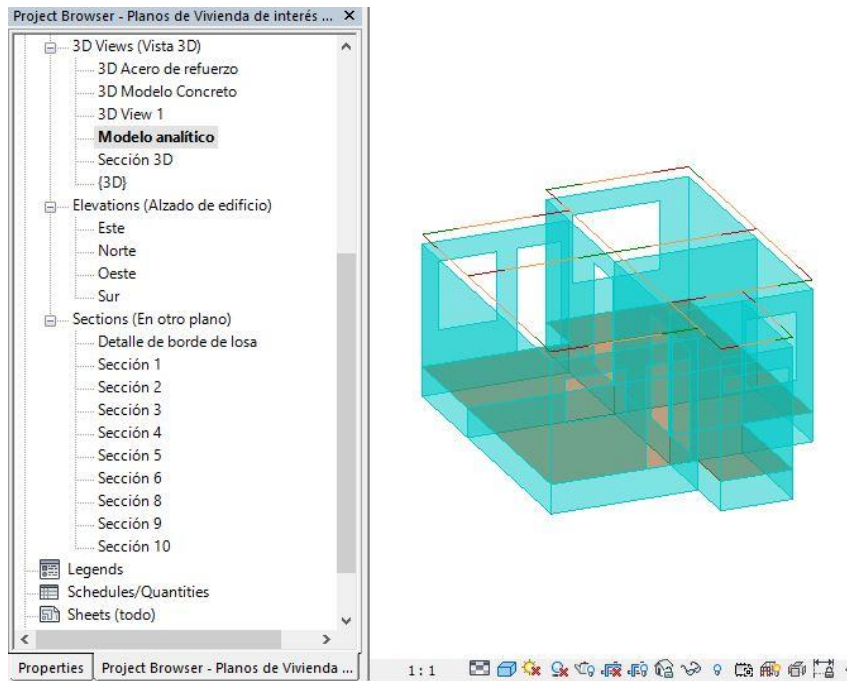
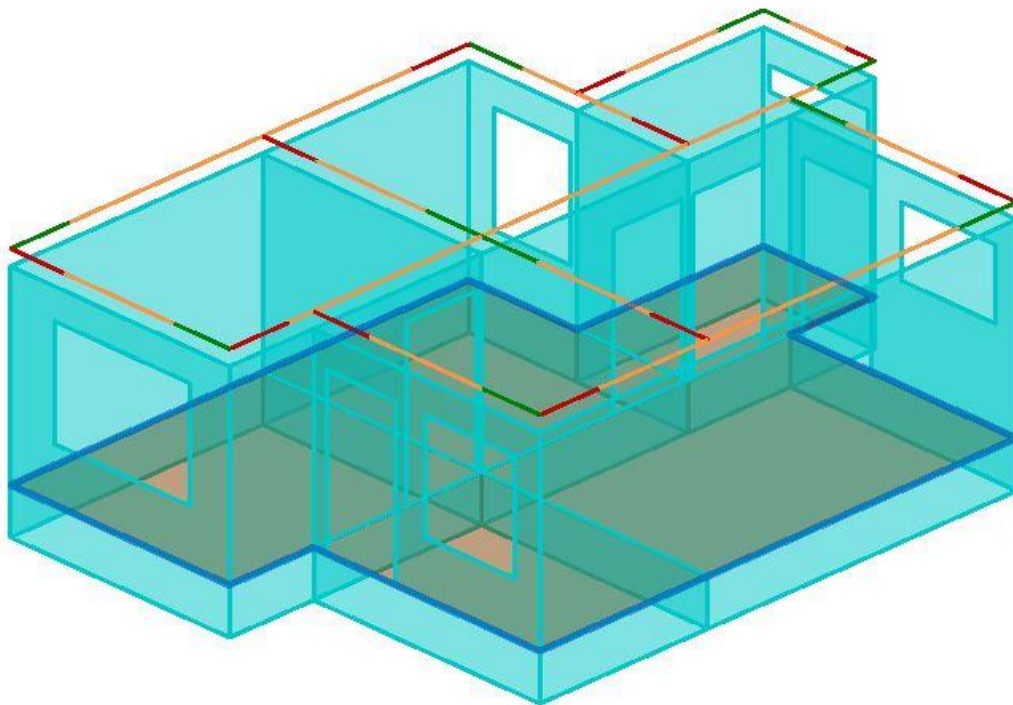


Figura 31. Ejemplo de selección del modelo analítico en tres dimensiones. En vista se selecciona "Modelo analítico". Fuente, elaboración propia (Revit 2016)



2

Figura 32. Modelo analítico del modelo estructural BIM. Fuente: Elaboración propia (Revit 2016)

Verificación y análisis (control de calidad del modelo)

Se verificará la calidad del modelo generado con el fin de extraer información veraz que permita ser utilizada en fases posteriores. Se logrará encontrar errores de diseño, como multiplicidad, traslape, conformidad de elementos según lo planeado. La efectividad de esta fase es clave para la calidad de las siguientes: cuantificación, planificación y construcción.

Se cuenta con el modelo estructural de vivienda con acero de refuerzo y un modelo analítico indicando el sistema de soporte estructural; todo el proyecto en formato .rtv e .ifc.

Calidad del modelo

Mediante una lista de verificación se analiza el cumplimiento de los requisitos del modelo según los objetivos planteados en este trabajo. (Figura 116)

- a) Se crea un formato del archivo versión .ifc (Figura 117)
- b) Este punto importante aplica para un proyecto masivo, como un proyecto habitacional de viviendas de interés social donde cada proyecto cuente con su ubicación e identificación.
- c) Se relaciona con el agrupamiento de los elementos que el programa lo aplica por definición o se deja que el método de modelación genere estos grupos automáticamente.

Lista verificación CC1					
		Aceptado	Incongruencias	No relevante	Comentarios
Formato de archivo de los modelos					
a	compatibilizados (IFC y otros achivos acordados)	x			
b	El sistema de coodenadas se corresponde con el acordado			x	No se ha añadido sistema de coordenadas
c	Las capas están definidas			x	
d	Se han modelado elementos de construcción acordados por los requisitos de diseño	x			
e	Los elementos estructurales se modelan con las herramientas adecuadas	x			
f	Las estructuras son nombradas según lo acordado en el programa	x			
g	Modelo, no hay elementos adicionales en el modelo	x			
h	El modelo no está anidado o no tiene elementos de construcción duplicados	x			
i	Hay correspondencia entre elementos estructura y arquitectura			x	
j	Se admiten las estructuras			x	
k	La estructura ha previsto reservas para el pase de los sistemas MEP			x	

Figura 33. Lista de verificación de calidad de modelo BIM estructural para caso de estudio. Fuente: Elaboración propia (Revit 2016)

- d) El cumplimiento de los requisitos de diseño geométrico y cumplimiento de acero de refuerzo según las condiciones en diseño quedan determinadas en las figuras (15 – 32)
- e) Los elementos de construcción se modelan con las herramientas correspondientes según su tipo. (Figura 35)
- f) El nombramiento de los elementos se hace de forma que puedan ser utilizados en el plan de trabajo. (Figura 35)
- g) Se verifica que no existan elementos adicionales en el modelo (Figuras 37 – 43)
- h) Se verifica que el modelo no se encuentre anidado, así como elementos duplicados.
- i) No aplica la verificación de la coordinación del modelo estructural y arquitectura.
- j) La modelación del diseño es soportada por el programa de computación.

k) En este caso, puesto que no se tiene información de sistema MEP no se puede hacer dicho proceso.

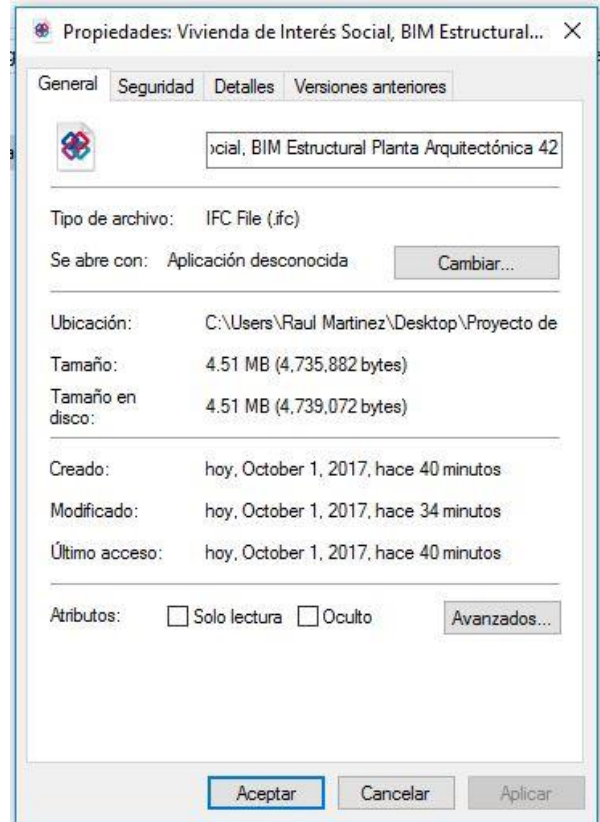


Figura 34. Modelo BIM estructural en formato estándar .ifc. Fuente: Elaboración propia (Revit 2016)



Figura 35. Cumplimiento con los nombramientos y uso de herramientas para el modelado de los elementos estructurales. Fuente: Elaboración propia (Revit 2016)

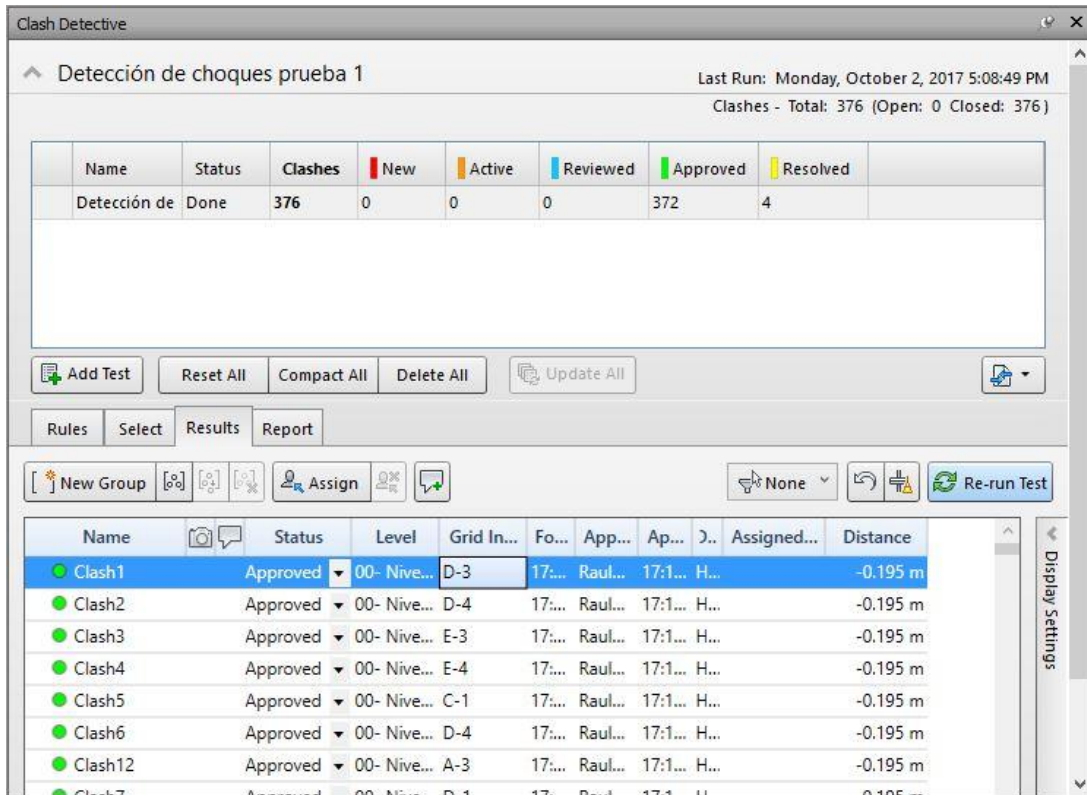


Figura 36 Ventana de resultados de análisis de detección de choques entre elementos de acero. Fuente: Elaboración propia (Navisworks, 2016)

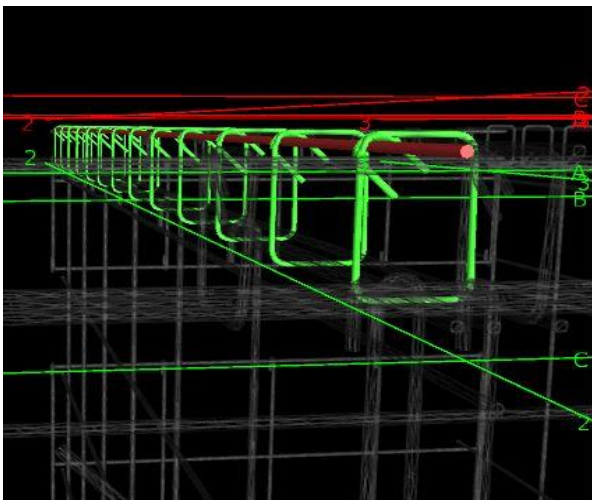


Figura 37 Ejemplo de choques aprobados. Fuente: Elaboración propia (Navisworks, 2016)

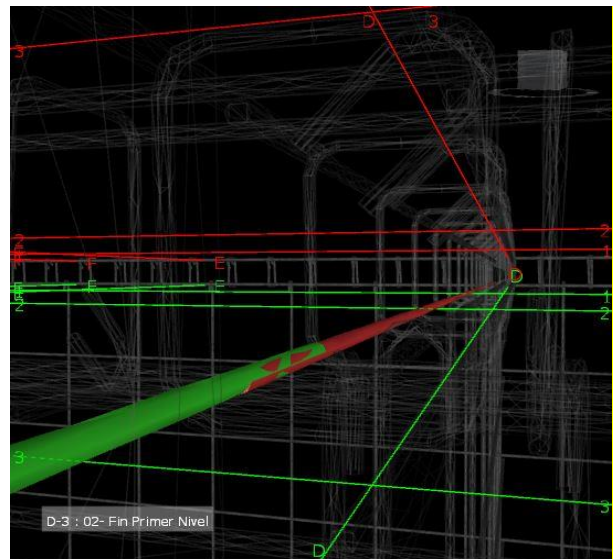


Figura 38 Ejemplo de choques resueltos. Fuente: Elaboración propia (Navisworks, 2016)

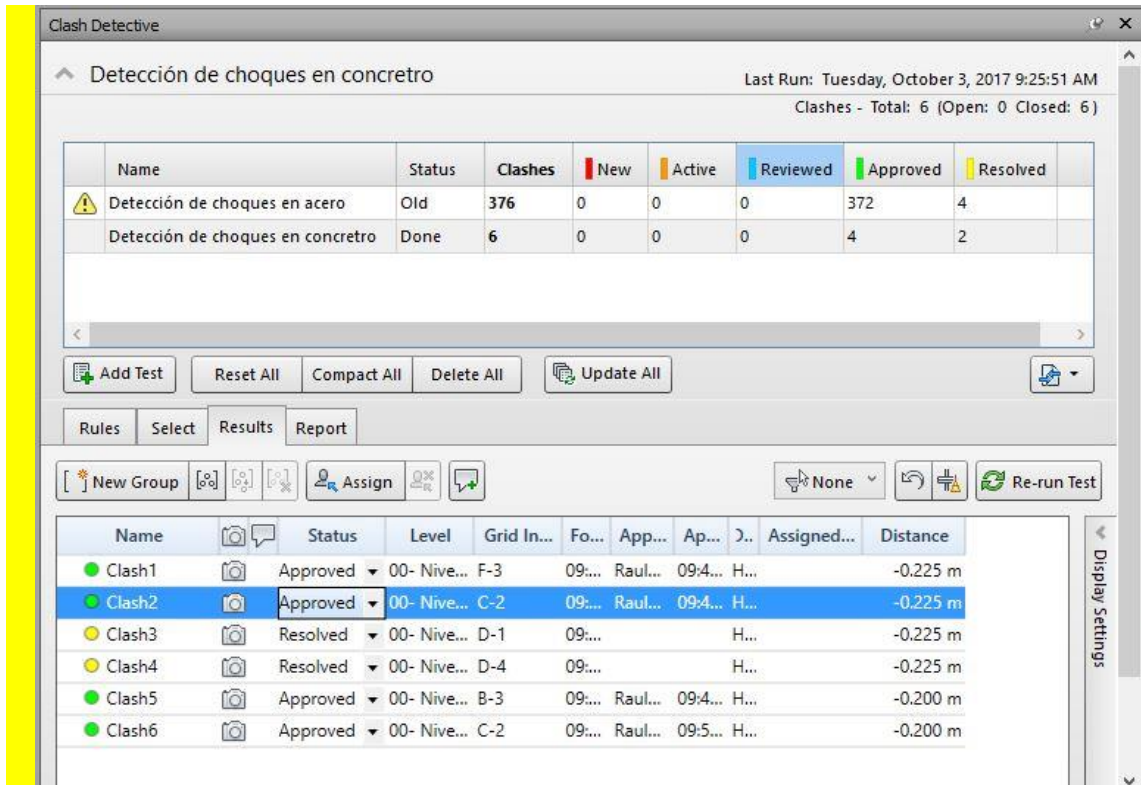


Figura 39 Ventana de resultados de análisis de detección de choques entre elementos de concreto. Fuente: Elaboración propia (Navisworks, 2016)

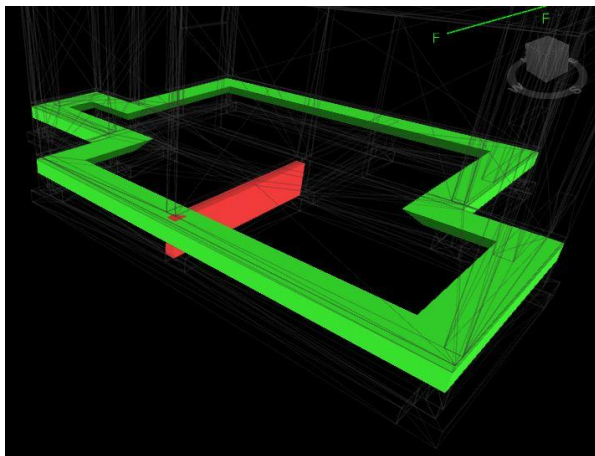


Figura 40 Ejemplo de detección de choques resueltos. Fuente: Elaboración propia (Navisworks, 2016)

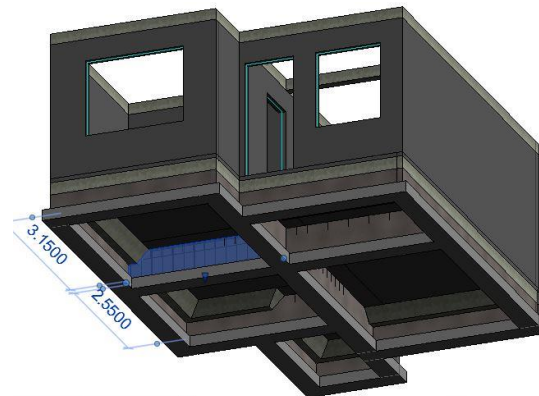


Figura 41 Ejemplo de detección de choques resueltos. Fuente: Elaboración propia (Navisworks, 2016)

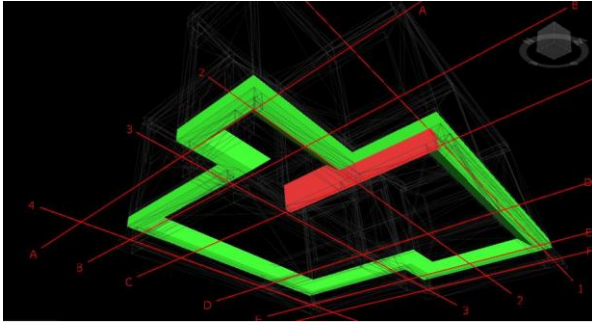


Figura 42 Ejemplo de detección de choques aprobados.
Fuente: Elaboración propia (Navisworks, 2016)

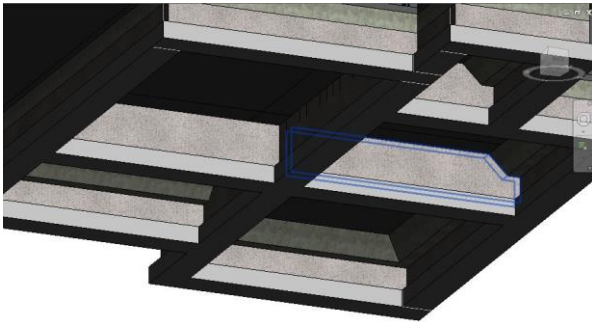


Figura 43 Ejemplo de detección de choques aprobados.
Fuente: Elaboración propia (Navisworks, 2016)

Cuantificación

Se plantea la generación de cantidades de distintas propiedades de los materiales, según dimensiones y masa, por lo que se generan libros de cuantificación en la herramienta BIM como base de datos en Excel para finalizar.

En este momento se cuenta con un modelo estructural debidamente corregido, el cual es trabajado para esta etapa en el programa de navegación de proyectos para generar la debida cuantificación.

The screenshot shows the 'Item Catalog' window in Navisworks. On the left, a tree view lists items under 'Substructure' and 'Shell'. The 'Placas' item is selected, showing its WBS code 'A.10.1.2'. On the right, the 'Item Properties' panel is visible, showing the 'Item Name' as 'Placas' and 'Work Breakdown Structure' as '2'. Below this, the 'Object Appearance' section shows 'Color' as blue, 'Opaque' checked, and 'Line Thickness' as 0.3281 ft. The 'Item Calculations' section contains a table of variables and formulas:

Variable	Formula	Units
Length	=ModelLength	Meters
Width	=ModelWidth	Meters
Thickness	=ModelThickness	Meters
Height	=ModelHeight	Meters
Perimeter	=ModelPerimeter	Meters
Area	=ModelArea	Square Meters
Volume	=ModelVolume	Cubic Meters
Weight	=ModelVolume*2400	Kilogram
Count	=1	Each

Figura 44 Ejemplo de cálculo de ítems y administración de parámetros de elementos. Fuente: Elaboración propia (Navisworks, 2016)

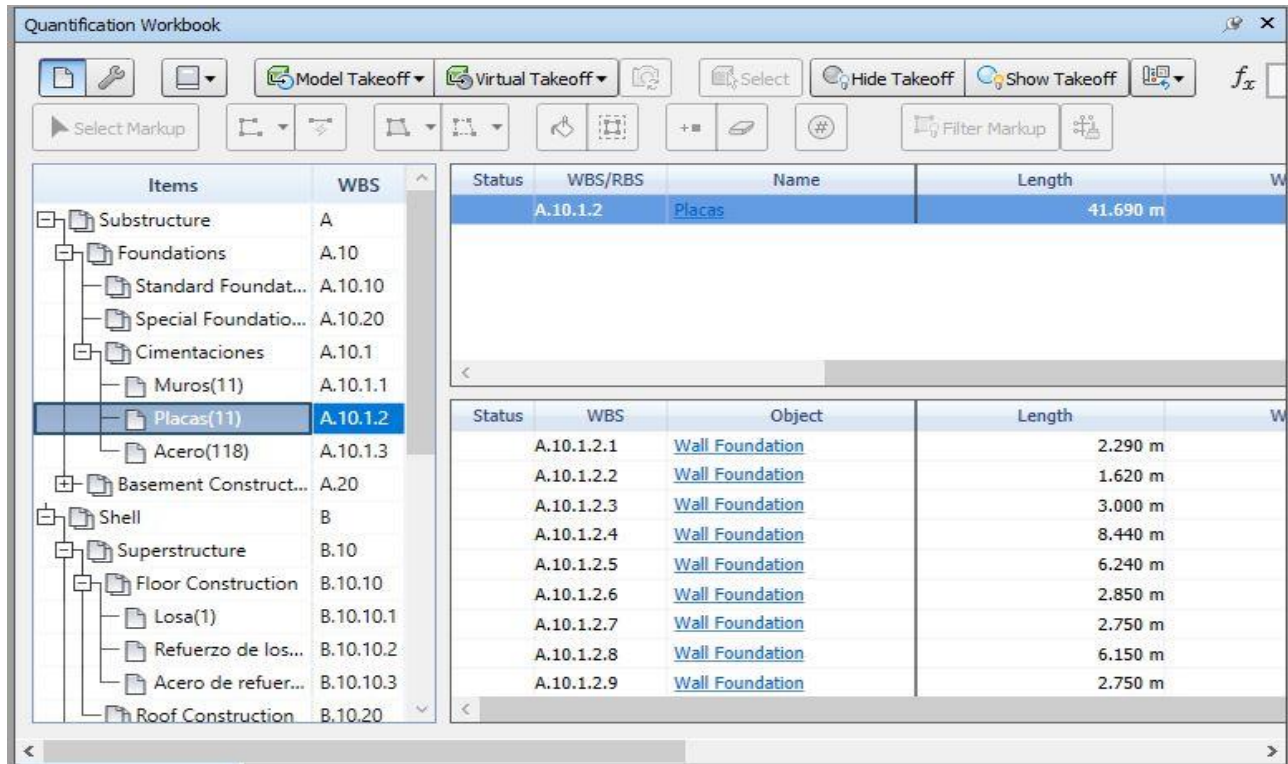


Figura 45 Ejemplo libro de cuantificación del proyecto. Fuente: Elaboración propia (Navisworks, 2016)

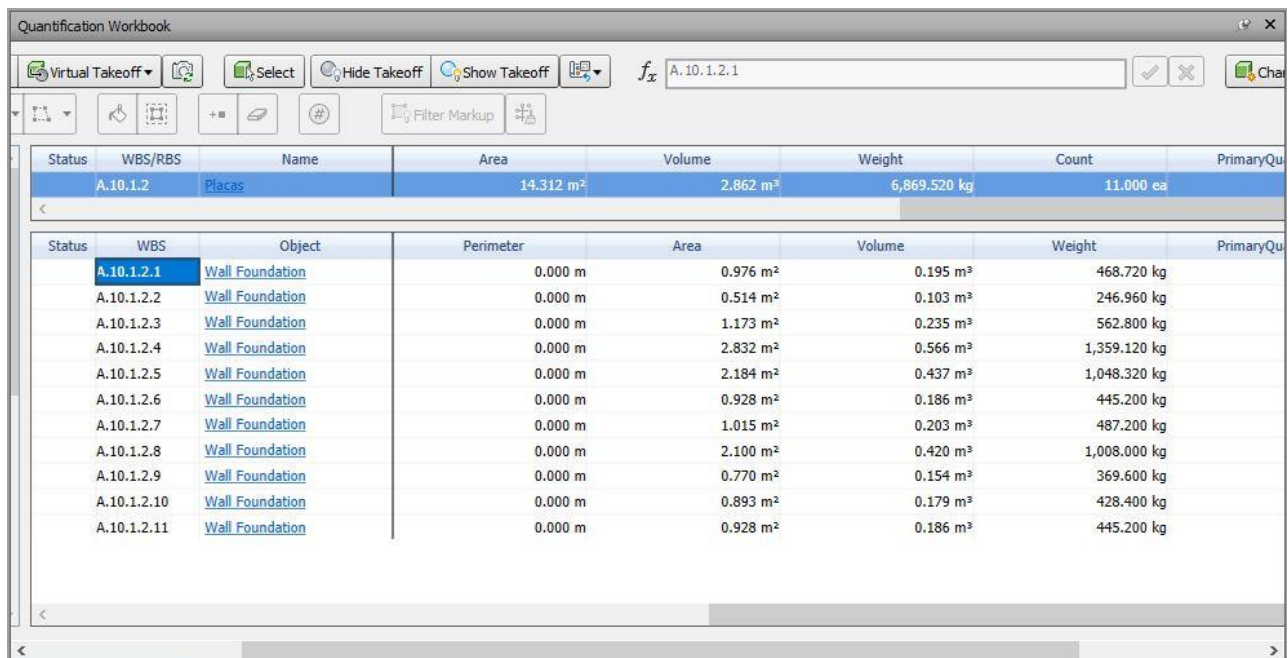


Figura 46 Cálculo de concreto en placas. Fuente: Elaboración propia (Navisworks, 2016)

Quantification Workbook

Virtual Takeoff | Select | Hide Takeoff | Show Takeoff | f_x

Filter Markup

Status	WBS/RBS	Name	Area	Volume	Weight	Count	Primary
	A.10.1.1	Muros	15.139 m ²	2.271 m ³	5,450.018 kg	11.000 ea	

Status	WBS	Object	Perimeter	Area	Volume	Weight	Primary
A.10.1.1.1		Basic Wall	0.000 m	0.486 m ²	0.073 m ³	174.960 kg	
A.10.1.1.2		Basic Wall	0.000 m	3.784 m ²	0.568 m ³	1,362.285 kg	
A.10.1.1.3		Basic Wall	0.000 m	1.845 m ²	0.277 m ³	664.200 kg	
A.10.1.1.4		Basic Wall	0.000 m	1.063 m ²	0.159 m ³	382.658 kg	
A.10.1.1.5		Basic Wall	0.000 m	0.687 m ²	0.103 m ³	247.320 kg	
A.10.1.1.6		Basic Wall	0.000 m	0.900 m ²	0.135 m ³	324.000 kg	
A.10.1.1.7		Basic Wall	0.000 m	1.872 m ²	0.281 m ³	673.920 kg	
A.10.1.1.8		Basic Wall	0.000 m	0.855 m ²	0.128 m ³	307.800 kg	
A.10.1.1.9		Basic Wall	0.000 m	0.825 m ²	0.124 m ³	297.000 kg	
A.10.1.1.10		Basic Wall	0.000 m	1.385 m ²	0.208 m ³	498.488 kg	
A.10.1.1.11		Basic Wall	0.000 m	1.437 m ²	0.216 m ³	517.388 kg	

Figura 47 Cálculo de concreto en muros. Fuente: Elaboración propia (Navisworks, 2016)

Quantification Workbook

Virtual Takeoff | Select | Hide Takeoff | Show Takeoff | f_x

Filter Markup

Status	WBS/RBS	Name	Area	Volume	Weight	Count	Primary
	B.10.10.1	Losa	41.880 m ²	3.141 m ³	7,538.454 kg	1.000 ea	

Status	WBS	Object	Perimeter	Area	Volume	Weight	Primary
B.10.10.1.1		Floor	29.280 m	41.880 m ²	3.141 m ³	7,538.454 kg	

Figura 48 Cálculo de concreto en losa de piso. Fuente: Elaboración propia (Navisworks, 2016)

Quantification Workbook

Virtual Takeoff | Select | Hide Takeoff | Show Takeoff | f_x

Filter Markup

Status	WBS/RBS	Name	Area	Volume	Weight	Count	Primary
	B.10.10.2	Refuerzo de losa	0.000 m ²	2.561 m ³	6,145.470 kg	1.000 ea	

Status	WBS	Object	Perimeter	Area	Volume	Weight	Primary
B.10.10.2.1		Slab Edge	0.000 m	0.000 m ²	2.561 m ³	6,145.470 kg	

Figura 49 Cálculo de concreto de refuerzo de contrapiso. Fuente: Elaboración propia (Navisworks, 2016)

Quantification Workbook

Virtual Takeoff | Select | Hide Takeoff | Show Takeoff | f_x

Status	WBS/RBS	Name	Area	Volume	Weight	Count
	B.20.10.1.1	Paredes	80.490 m ²	12.073 m ³	28,976.400 kg	10.000 ea

Status	WBS	Object	Perimeter	Area	Volume	Weight
	B.20.10.1.1.1	Basic Wall	0.000 m	3.657 m ²	0.549 m ³	1,316.520 kg
	B.20.10.1.1.2	Basic Wall	0.000 m	5.808 m ²	0.871 m ³	2,090.880 kg
	B.20.10.1.1.3	Basic Wall	0.000 m	5.725 m ²	0.859 m ³	2,061.000 kg
	B.20.10.1.1.4	Basic Wall	0.000 m	4.485 m ²	0.673 m ³	1,614.600 kg
	B.20.10.1.1.5	Basic Wall	0.000 m	15.600 m ²	2.340 m ³	5,616.000 kg
	B.20.10.1.1.6	Basic Wall	0.000 m	3.555 m ²	0.533 m ³	1,279.800 kg
	B.20.10.1.1.7	Basic Wall	0.000 m	15.000 m ²	2.250 m ³	5,400.000 kg
	B.20.10.1.1.8	Basic Wall	0.000 m	4.730 m ²	0.709 m ³	1,702.800 kg
	B.20.10.1.1.9	Basic Wall	0.000 m	6.875 m ²	1.031 m ³	2,475.000 kg
	B.20.10.1.1.10	Basic Wall	0.000 m	15.055 m ²	2.258 m ³	5,419.800 kg

Quantification Workbook | Item Catalog | Resource Catalog

Figura 50 Cálculo de concreto en paredes. Fuente: Elaboración propia (Navisworks, 2016)

Quantification Workbook

Virtual Takeoff | Select | Hide Takeoff | Show Takeoff | f_x

Status	WBS/RBS	Name	Area	Volume	Weight	Count
	B.20.10.2.1	Concreto	14.922 m ²	1.251 m ³	3,001.680 kg	11.000 ea

Status	WBS	Object	Perimeter	Area	Volume	Weight
	B.20.10.2.1.1	Hormigón-Viga rectangular	0.000 m	3.037 m ²	0.258 m ³	618.480 kg
	B.20.10.2.1.2	Hormigón-Viga rectangular	0.000 m	1.045 m ²	0.087 m ³	208.800 kg
	B.20.10.2.1.3	Hormigón-Viga rectangular	0.000 m	2.130 m ²	0.180 m ³	432.000 kg
	B.20.10.2.1.4	Hormigón-Viga rectangular	0.000 m	0.993 m ²	0.083 m ³	198.000 kg
	B.20.10.2.1.5	Hormigón-Viga rectangular	0.000 m	0.993 m ²	0.083 m ³	198.000 kg
	B.20.10.2.1.6	Hormigón-Viga rectangular	0.000 m	0.884 m ²	0.073 m ³	175.680 kg
	B.20.10.2.1.7	Hormigón-Viga rectangular	0.000 m	1.080 m ²	0.090 m ³	216.000 kg
	B.20.10.2.1.8	Hormigón-Viga rectangular	0.000 m	2.214 m ²	0.187 m ³	449.280 kg
	B.20.10.2.1.9	Hormigón-Viga rectangular	0.000 m	1.028 m ²	0.086 m ³	205.200 kg
	B.20.10.2.1.10	Hormigón-Viga rectangular	0.000 m	1.028 m ²	0.086 m ³	205.200 kg
	B.20.10.2.1.11	Hormigón-Viga rectangular	0.000 m	0.492 m ²	0.040 m ³	95.040 kg

Quantification Workbook | Item Catalog | Resource Catalog

Figura 51 Cálculo de concreto en vigas corona. Fuente: Elaboración propia (Navisworks, 2016)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Etiquetas de fila	Length	Width	Thickness	Height	Perimeter	Area	Volume	Weight	Count	PrimaryQuantity
2	Proyecto de Interes Social Estructural										
3	(en blanco)										
4	(en blanco)										
5	Contrapiso concreto 75 mm espesor	0.00	0.00	0.075	0.00	29.28	41.88	3.14	0.00	1	
6	Muros de cimentación 150 mm espesor	42.29	1.65	0.000	6.60	0.00	15.14	2.27	0.00	11	
7	Muros de concreto 150 mm espesor	39.29	1.50	0.000	25.00	0.00	80.49	12.07	0.00	10	
8	Placa Corrida - 350 mm x 200 mm	41.69	3.85	0.000	0.00	0.00	14.31	2.86	0.00	11	
9	Refuerzo de concreto para sobrelosa	29.28	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	2.56	0.00	1	
10	Varilla de acero corrugado #3	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	218	
11	Varilla de acero lisa #2	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11	
12	Viga Corona 150 mm x 200 mm	42.29	0.00	0.000	0.00	0.00	14.92	1.25	0.00	11	

Figura 52 Resumen de cantidades de elementos de estructura generados automáticamente. Fuente: Elaboración propia (Navisworks, 2016)

Programación de proyectos en BIM

En el presente apartado se tiene la intención de generar una programación de proyectos mediante la herramienta Navisworks. Se obtiene una carta Gantt de la obra gris del proyecto.

Previo a esta etapa se tiene un modelo BIM estructural diseñado y corregido en anteriores procedimientos de trabajo (Verificación y análisis y Control de calidad). El modelo en BIM exportado a archivo .nwc para que sea decodificado en Navisworks.

Mediante la lista de elementos del modelo se realiza una división de estos en actividades con el objetivo de generar una secuencia de trabajo adecuada. (Figura 50)

Name	Status	Planned Start	Planned End
BIM Estructural Proyecto de Interés...		1/1/2018	3/25/2018
Cimentaciones		1/1/2018	2/4/2018
Acero de cimentaciones		1/1/2018	1/3/2018
Acero de cimentaciones1		1/1/2018	1/1/2018
Acero de cimentaciones2		1/2/2018	1/2/2018
Acero de cimentaciones2		1/3/2018	1/3/2018
Placas de cimentación		1/4/2018	1/5/2018
Curación de placas de cimentación		1/5/2018	1/19/2018
Muros de cimentación		1/20/2018	1/20/2018
Curación Muros de cimentación		1/20/2018	2/4/2018
Contrapiso		2/4/2018	2/19/2018
Acero de refuerzo		2/4/2018	2/5/2018
Colado de refuerzo contrapiso		2/5/2018	2/5/2018
Colado de contrapiso		2/5/2018	2/5/2018
Curación concreto		2/5/2018	2/19/2018
Paredes		2/19/2018	3/9/2018
Acero de refuerzo		2/19/2018	2/21/2018
Acero1		2/19/2018	2/19/2018
Acero2		2/20/2018	2/20/2018
Acero3		2/21/2018	2/21/2018
Concreto		2/21/2018	2/23/2018
Concreto 1		2/21/2018	2/21/2018
Concreto 2		2/22/2018	2/22/2018
Concreto 3		2/23/2018	2/23/2018
Curado de concreto		2/23/2018	3/9/2018
Viga Corona		3/9/2018	3/25/2018
Acero Viga Corona		3/9/2018	3/10/2018
Acero1		3/9/2018	3/9/2018
Acero2		3/10/2018	3/10/2018
Colado de viga		3/11/2018	3/11/2018

Figura 53 División de actividades para Carta Gantt según elementos modelados. Fuente: Elaboración propia (Navisworks, 2016)

Una vez diferenciadas las actividades para el programa de trabajo mediante visualizaciones se realiza el enlace de los elementos del modelo BIM a las actividades. La idea de realizar este

trabajo es determinar cuál es la mejor secuencia de trabajo según el espacio y recursos de trabajo. (Figura 54).

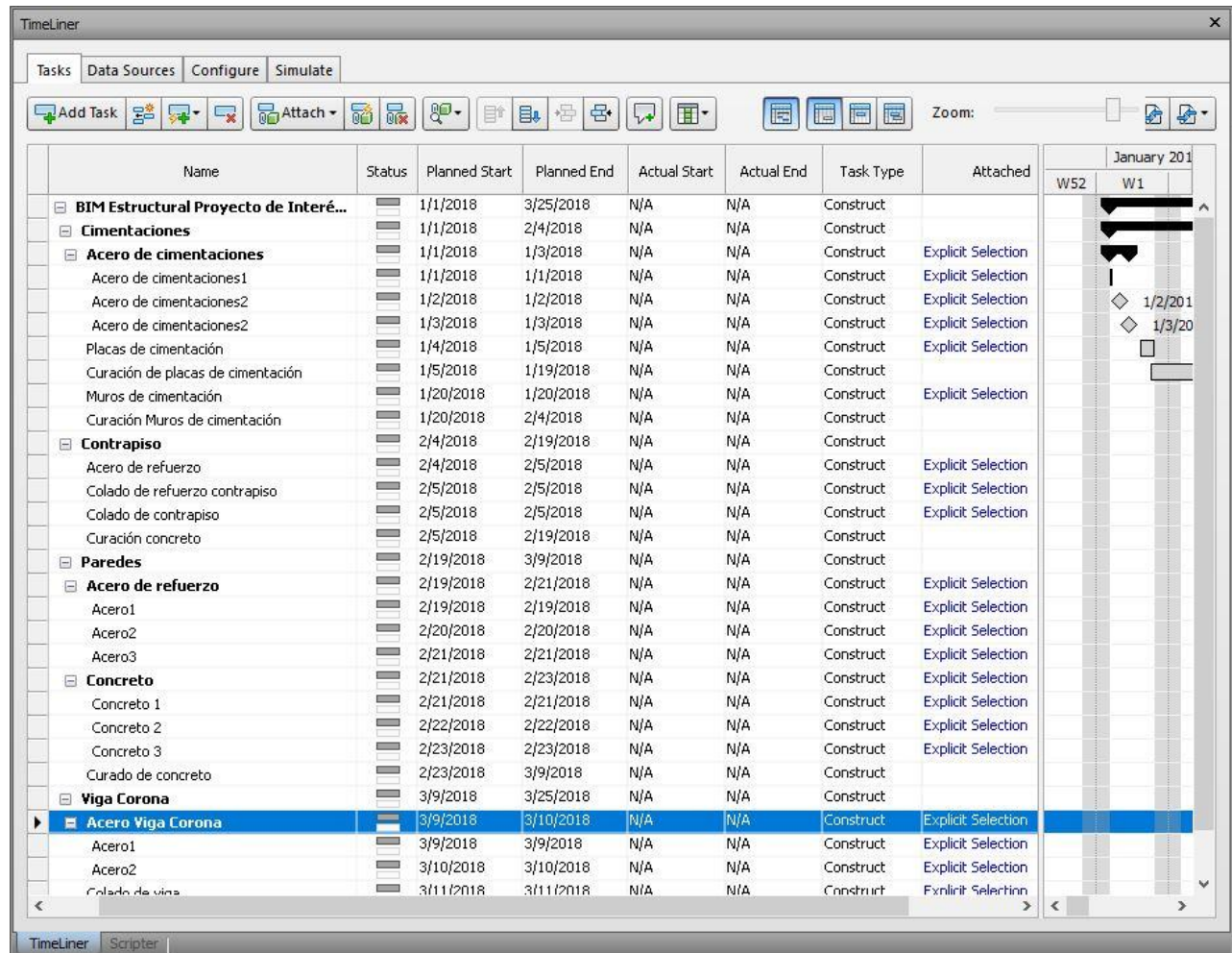


Figura 54 Enlace de los elementos en modelo BIM a actividades para carta Gantt. Fuente: Elaboración propia (Navisworks, 2016)

Automáticamente se genera la carta Gantt que permite determinar la secuencia de trabajo en el proyecto, Figura (55). Esta hoja solo permite observar los trabajos a realizar en un tiempo determinado, pero de manera general. Esto quiere decir que no se puede ajustar a fechas personalizadas como por ejemplo donde existan feriados, horas extra, trabajo en medio tiempo y

otras horas de trabajo extraordinarias; por lo que es recomendable realizar un archivo en Microsoft Project en donde se puede configurar lo mencionado. La idea general es que existe interoperabilidad en ambas direcciones entre estos dos programas de computación, lo que permite un adecuado trabajo.

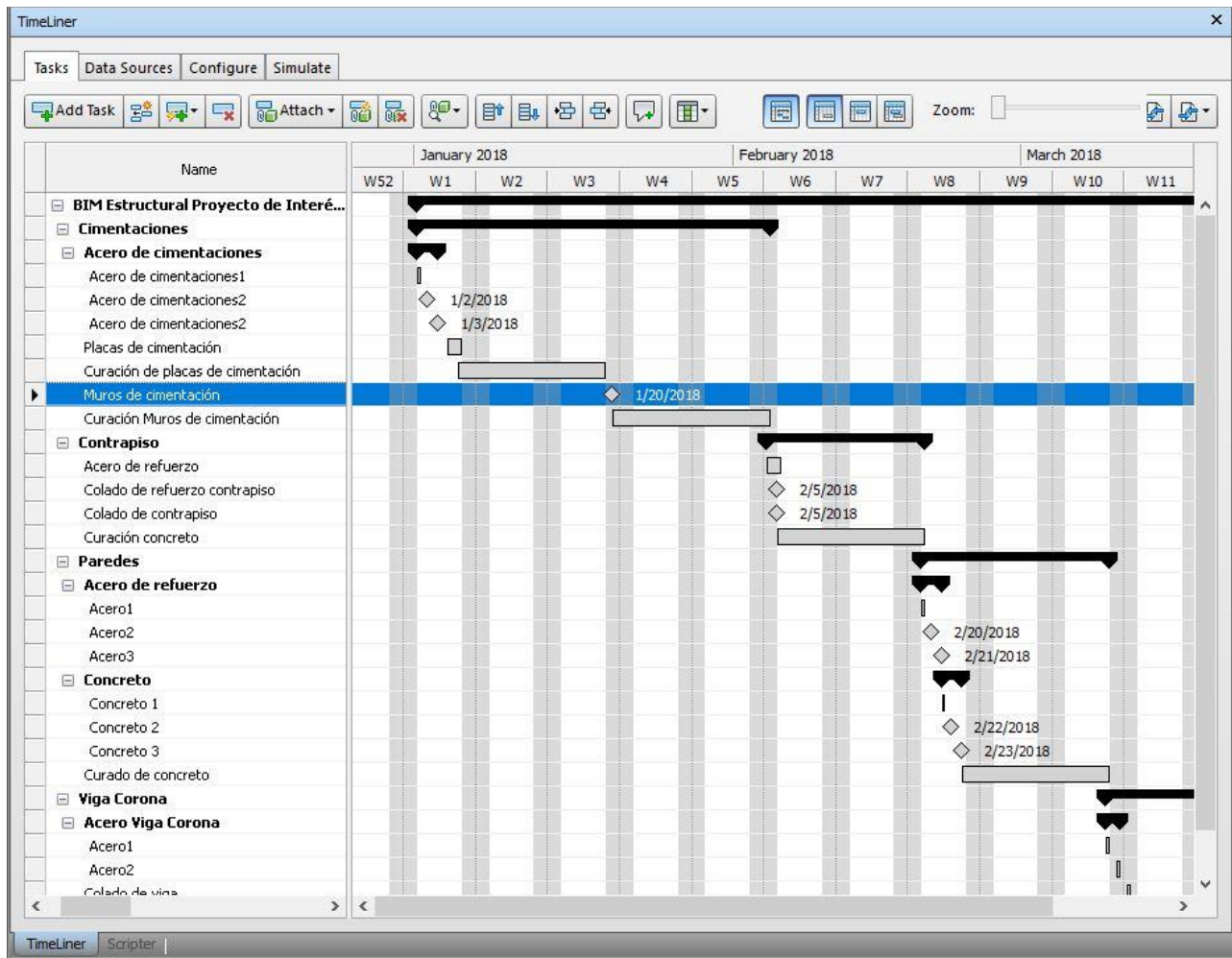


Figura 55 Generación automática de carta Gantt en el software de Navegación de proyectos. Fuente: Elaboración propia (Navisworks, 2016)

Para comprobar una adecuada programación del proyecto se realiza una simulación de ejecución de este, con el fin de encontrar disconformidades en la carta Gantt. Debido a que la inspección es visual se pueden encontrar los errores de programación de forma amigable y colaborativa de manera que más de un encargado puede realizar la inspección simultáneamente.

En la figura 56 se muestra una simulación de la ejecución de obra en el cual se logra observar en tiempo real de planificación los procesos de ensamble de elementos, en ejecución y prontos a ejecutarse. Se logra configurar el cronograma de manera que levantamientos de paredes y levantamiento de acero se realicen sin

interferencias. De las figuras 57 y 58, el ejemplo dos es consecuente al ejemplo uno.

Mediante simulaciones en video se puede realizar el análisis de forma continua para comprobar los trabajos. Se recuerda que para realizar una simulación del ensamblado del proyecto en 3D, cada uno de sus elementos, desde placas hasta viga corona debe estar vinculado con la programación deseada, con el objetivo que la simulación se ejecute conforme a la planificación esperada. Según lo muestra la figura 56 el botón simular (Simulate) comienza a hacer un recorrido entre la programación y el modelo, en donde cada fase se ensambla según las fechas. Ver Apéndice 1 y diagrama de figura 12.

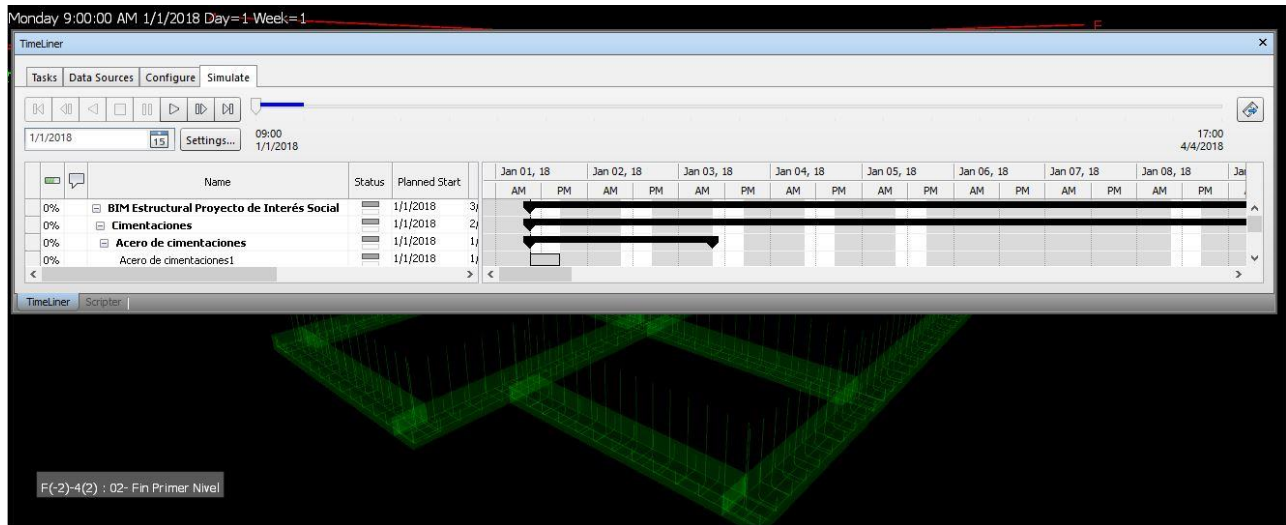


Figura 56 Simulación de ejemplo resultante de planificación de proyectos en BIM. Fuente: Elaboración propia (Navisworks, 2016)

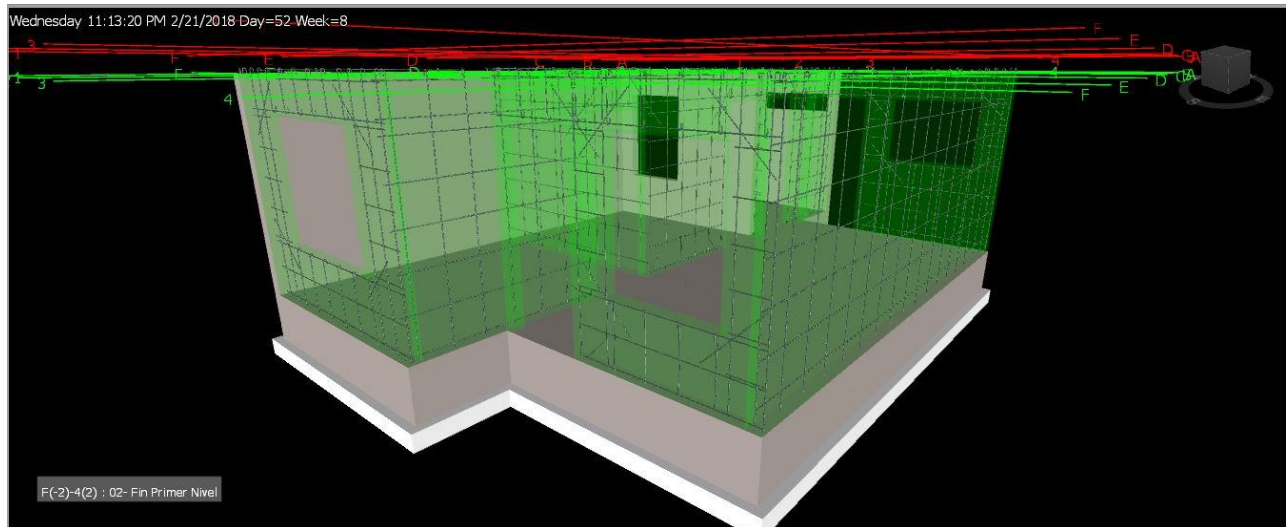


Figura 57 Ejemplo 1 de visualización de elementos ejecutados (en grises), en ejecución (en grises) y prontos a ejecutarse (verde con 90 % de transparencia) según cronograma de trabajo. Fuente: Elaboración propia (Navisworks, 2016)

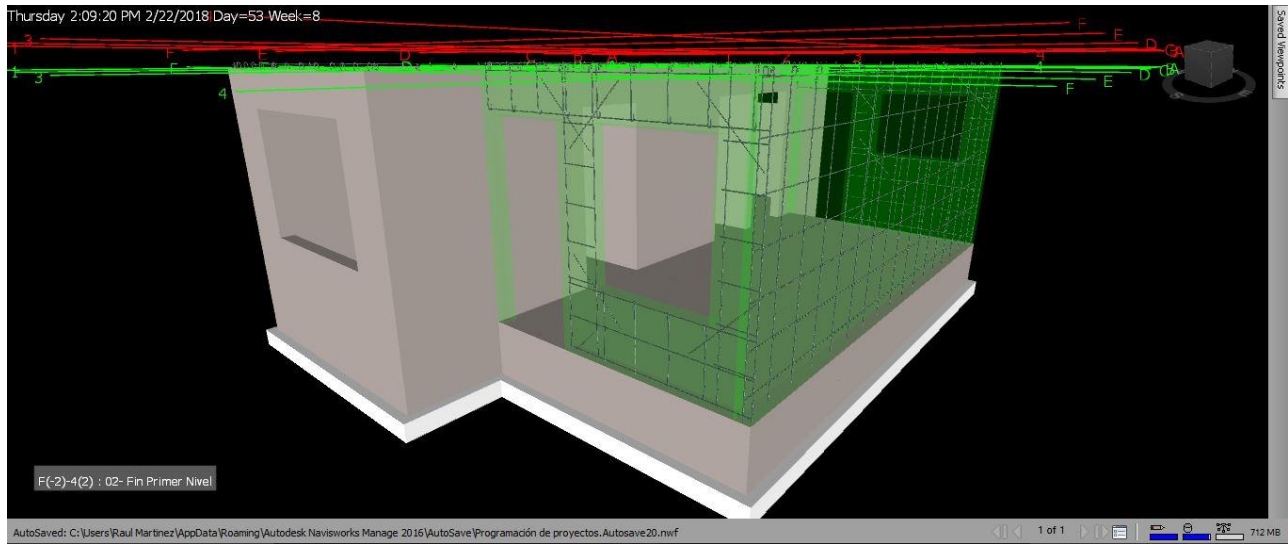


Figura 58 Ejemplo 2 posterior al Ejemplo 1 de visualización de elementos ejecutados (en grises), en ejecución (en grises) y prontos a ejecutarse (verde con 90 % de transparencia) según cronograma de trabajo. Fuente: Elaboración propia (Navisworks, 2016)

Análisis de los resultados

A continuación, se detalla un análisis del diseño de procedimiento de implementación BIM, así como su aplicación a un proyecto de interés social dentro de los alcances que este proyecto permite. Como esta es una propuesta viable y aplicable al campo de la construcción, no se elimina la opción de ser mejorada y esto depende del nivel de profesión y experiencia que el lector presente

El análisis se hará respectivamente como los apartados se han enlistado en la sección de resultados tanto en el diseño como en la aplicación del procedimiento. Se parte de “*Diseño*” donde se indican los pormenores del cumplimiento de los requisitos estructurales del Código Sísmico de Costa Rica 2010 dentro del modelado BIM; luego “*Verificación y análisis (control de calidad del modelo)*” se analiza la importancia de este paso como un punto particular de la filosofía BIM dentro de calidad del proyecto. Se continúa con “*Cuantificación*” como un proceso de aceleración en la velocidad de obtención de información para costos. Luego “*Planificación de proyectos BIM*” y cómo el impacto de un análisis visual dentro de la planificación podría mejorar la programación de proyectos observando un ambiente cercano al que se espera en campo; y por último, “*Construcción*” donde se evalúa la capacidad de manejar información de manera ágil dentro de la ejecución de proyectos. Se rescata el objetivo principal de la metodología BIM bajo los principios por los cuales organizaciones como “*BuildingSmart*” y compañías de software de productos BIM intentan agilizar el trabajo en la construcción mediante un flujo adecuado de información en todo el ciclo de vida tanto de la información como del proyecto.

Si bien es cierto esta metodología no abarca ampliamente el cambio BIM, sí tiene la intención de mostrar al lector cómo la herramienta trabaja detectando qué puntos a favor o en contra pueden influenciar las metodologías tradicionales que se aplican en el sector construcción en Costa Rica.

Diseño

La idea de implementar la metodología BIM a un proyecto de interés social es poder hacer un procedimiento amigable de diseño BIM estructural mediante herramientas BIM estructural gracias al diseño simplificado que brinda el Código Sísmico de Costa Rica 2010. Este diseño permite reducir tiempos de diseño estructural bajo condiciones específicas de vivienda en su distribución arquitectónica. Su análisis, como aceptación para el uso del diseño simplificado, no está dentro del alcance de este proyecto, pero se parte de la premisa que el diseño analizado cumple con los requisitos. Por otra parte, dentro de la metodología se incluye el proceso de aceptación de cumplimiento de los requisitos mencionados y exigidos por el Código Sísmico, figura 8.

El procedimiento de diseño es aplicado a un proyecto a base de concreto reforzado, debido a su facilidad en el modelado de esta forma el modelado se vuelve ágil. Cabe resaltar que se debe incluir, en este caso para todos los procesos, el uso de formaleta para efectos constructivos, no así en estructuras de mampostería. No se hace un análisis entre estos dos sistemas constructivos.

El orden de trabajo del diseño de la vivienda en el modelo BIM estructural está dividido de tal forma que los alcances de cada etapa coincidan, por lo que se determinan, placas, muros cimentación, refuerzo de concreto sobre-losa, sobre-losa, paredes, viga corona y acero de refuerzo, según las indicaciones del Código Sísmico y el orden de modelado de los elementos; por ejemplo, para poder generar muros de cimentación o refuerzo de placas se debe primero haber generado las placas de cimentación.

El uso de Revit Structure para la modelación BIM se debe al nivel de confianza que tienen los usuarios localmente y al respaldo que da la compañía Autodesk para el uso de sus productos con fines educativos; también por la facilidad para entender su uso con cualquier

medio, material audiovisual, didáctico o consultas personales. (Fernandez Rubio, 2017), (Piedra Díaz, 2017), (Alan Carrillo Rodriguez [Alan Carrillo Rodriguez], 2015).

Dentro del diseño de un BIM estructural en Revit Structure se tienen las capacidades de un diseño parametrizado donde simultáneamente se crean los planos estructurales, y el modelo en 3D analítico.

En caso de ser necesario un análisis estructural o para la aplicación de este procedimiento en otro tipo de estructura que no sea diseñado por un método simplificado u otro semejante, el modelo analítico en 3D que brinda Revit Estructural permite visualizar, de manera simultánea, la modelación de la estructura sismo resistente. El flujo de información del BIM estructural al programa de análisis estructural es unidireccional. Esto quiere decir que se puede en ese sentido y no viceversa, por lo que los cambios generados en el programa estructural no pueden ser importados en el BIM estructural. Es necesario buscar otras alternativas en programas de computación con el fin de lograr la interoperabilidad amigable. Si bien es cierto el BIM estructural puede hacer análisis de este tipo, en este trabajo se recomienda hacerlo en SAP2000 debido a la confianza que genera. Se insta al lector, si desea lograr dicha interoperabilidad, realizar un estudio y determinar si las capacidades de análisis estructural con que cuenta Revit son comparables con SAP2000 de modo que ambos sean opciones de análisis para un diseño estructural.

La idea general es que mediante los cambios se estén generando en el Revit, al mismo tiempo se pueda hacer un análisis estructural de lo modelado y en este proceso, indefinidamente de la cantidad de veces sea necesario, los tiempos de este trabajo disminuyan.

La figura 8 muestra como el flujo de información en diseño estructural se puede llevar a cabo en las herramientas BIM. La idea de esta es la simplicidad del procedimiento, rescatando el orden de la información y aprovechando la repetición de los procesos en situaciones en las que se deban hacer rediseños. Por otra parte, se permite realizar dicho proceso en formatos que puedan ser compartidos con los demás miembros (en este caso los diseñadores y otros interesados).

Para el modelado del acero, como la figura 21, es necesaria la experiencia tanto constructiva como en modelación BIM estructural

debido a la forma de trabajo de las familias de elementos; por ejemplo, la unión entre zapatas, muros de cimentación y paredes. Según el diseño simplificado se puede instalar una varilla única con un gancho estándar en la zapata, por lo que en la herramienta BIM estructural hay opciones distintas del modelado del acero; por ejemplo, la misma varilla seccionada en dos puede ser modelada de tal forma que queden ancladas las paredes con los muros de cimentación y estos con las zapatas.

La visualización en 3D de elementos de acero tiene la ventaja de determinar los errores de diseño que no se puedan ver en planos 2D y sirve para posteriores dudas de conformado de acero en campo en tiempo real. Los planos de taller, mediante cortes del modelo de acero, instantáneamente pueden generarse para acatar dudas en el conformado, ya que el mismo plano puede manejar visualización 3D para mayor comprensión.

Verificación y análisis (control de calidad del modelo)

Se determina que existen distintas opciones en control de calidad del modelo, esto dependiendo de la finalidad. Para este caso, debido a que se requiere una interoperabilidad y comunicación efectiva entre los involucrados para todo el ciclo de vida del proyecto se trabaja con las recomendaciones de BuildingSmart, por lo que este proyecto, aunque trabaja en el área de la estructura, está conformado y preparado para que en posteriores trabajos se puedan incluir las etapas restantes al modelo (Arquitectura y sistema electromecánico)

En la figura 10 se muestra una posible opción del flujo de trabajo en control de calidad e inspección del modelo estructural. Este resume procedimientos adaptados para las herramientas de Autodesk y necesidades en la construcción, en caso de usar otra marca, podría variar según la configuración de programas como por ejemplo usando el programa de computación ArchiCAD.

Se han diseñado dos filtros por los cuales el modelo de información tiene que ser evaluado. Se rescata la importancia del consecutivo de los requisitos. Los requisitos CC1 (Figura 9) "Control de calidad 1" permiten hacer evaluaciones generales en las que los diseñadores realizan una

inspección manual y corroboran aspectos globales como coordenadas del modelo y formato de archivo. Los requisitos CC2 (Figuras 42 – 43) “Control de calidad 2” permiten hacer inspecciones directamente en los elementos modelados por lo que su análisis es más exhaustivo y realiza la detección de choques por medio de la herramienta BIM. Este orden de requisitos permite que el encargado de inspección se involucre en el modelo de forma general, de tal forma que se familiarice y, a la hora de pasar a la detección de choques, facilite su criterio en las decisiones por tomar a partir de los resultados obtenidos.

Los requisitos CC1 permiten asegurarse de preparar el modelo para su uso en las etapas del proyecto, de forma colaborativa, y que este modelo sea compatible con los demás (Arquitectura y sistema electromecánico). Por ejemplo, a la hora de conjugar modelos se prepara para no tener problemas. Se verifica coordenadas, verifica nombramiento de los elementos para no tener confusiones con otros, se procura que la posición de elementos presentes tenga una configuración tal que los elementos de una especialidad brinden espacio a los elementos de otra, como es el caso del sistema estructural y el electromecánico.

Por otra parte, el nombramiento y numeración de los elementos tiene cabida dentro del trabajo de documentación, y está muy ligado a la cuantificación de materiales. Estos dependen de la forma de trabajo de los encargados al generar su propio sistema de códigos para identificación de elementos tanto en listas como en planos para diferenciar, por ejemplo, distintas secciones de placa o distintos elementos de acero de refuerzo del mismo calibre) lo cual no está dentro del alcance de este trabajo.

La necesidad de generar archivos de tipo .ifc tiene impacto en la comunicación con todos los interesados en el proyecto. Todas las empresas por una u otra razón, deciden usar a su gusto diferentes tipos de programas de computación que no sean de una misma compañía, caso contrario para este caso. Generar archivos de tipo .ifc permite expandir los alcances del modelo de tal manera que no existan problemas de coordinación y comunicación entre los involucrados.

El cumplimiento de los requisitos CC2 repercute en el desempeño de las siguientes fases: “Cuantificación, Programación de proyectos en BIM y Construcción”. Determinar complicaciones en el diseño geométrico, errores

ocultos o lograr encontrar todos es poco amigable mediante inspecciones manuales. Si bien es cierto la detección de choques no soluciona directamente los errores encontrados, permite generar criterios que en algunos casos el error puede ser obviado (Figuras 37, 42, 43). El dibujo manual puede generar muchos errores para este tipo de análisis; pero es aceptable debido a que no repercute en las fases mencionadas y el diseño no afecta la calidad de la obra. Estos errores son intersecciones casi imperceptibles al criterio del diseñador. (Ejemplo: Una varilla # 3 se interseque 3 mm con otra)

En las figuras 38, 40, 41 se han determinado errores de diseño que sí tienen consecuencias tales como duplicidad de elementos que posteriormente en cuantificación de materiales que podrían llevar a la obtención de resultados incorrectos. Una vez señalados, se realizan los respectivos cambios en el modelo BIM estructural puesto que el flujo de información no es bidireccional para este proceso.

Estos análisis son eficaces o tienen mayor importancia cuando los modelos son complejos. En la Figura 39 se determinan 376 choques, 372 de ellos fueron aprobados mediante una inspección visual y solo 4 resueltos (1.06 % del total). Se observa el nivel de detalle del análisis por la cantidad de errores encontrados y se considera un método simple debido a que se encuentran eficazmente los errores que son importantes de atender.

En las figuras 36 y 39 se puede mantener un control de análisis de choques en donde estos pueden ser consultados directamente o generar un informe para un cliente o una reunión.

Cuantificación

La cuantificación de materiales mediante métodos manuales requiere de tiempo y esfuerzo, contrario al uso de las herramientas BIM. La cuantificación es un factor de gran importancia para el uso de herramientas BIM aplicadas a proyectos de construcción. Si bien es cierto para llegar a esta fase, debe haber una preparación completa de los modelos BIM.

Es necesario conocer el árbol de selección que incluye todos los elementos modelados y por otra parte determinar cuales son las agrupaciones de los materiales para obtener las respectivas cantidades, los procedimientos no son extensos ni

complejos manteniendo habilidades de orden en la información requerida.

En el presente trabajo se logran determinar las cantidades de volumen y longitudes de concreto y sus elementos, considerando dichas propiedades como importantes. Los valores numéricos de las cantidades no son relevantes. (Figura 52)

Según Jaime Guzman Delgado, (2017) por problemas de interoperabilidad en este trabajo no ha sido posible determinar cantidades de acero. Se han realizado numerables configuraciones para su cálculo, pero los resultados no han sido satisfactorios. Algunas de las causas pueden ser, no haya coordinación de unidades o formato de archivo sea incompatible por lo que **se insta al lector investigar temas de compatibilidad e interoperabilidad entre Revit y Navisworks.**

Programación de proyectos en BIM

La programación de proyectos en BIM tiene la intención de complementar la programación de proyectos que en la actualidad se realizan, mediante herramientas como Project Manager más la vinculación de los modelos BIM, con el objetivo de realizar planificaciones de acuerdo con escenarios similares a los que se encuentran en campo.

Una planificación de proyectos con ayuda de visualizaciones 3D y simulaciones de ensamblado de proyecto, permite distribuir las actividades en el espacio y tiempo. Si bien es cierto, son procesos que se incrementan dentro de la programación tradicional, pero la calidad de la programación es considerable. No solo se programan las actividades y cantidades de materiales por realizar, si no que se realiza una planificación de la información parametrizada que puede ser consultada según el tiempo lo esté indicando.

La figura 12 muestra el flujo de trabajo en planificación de proyectos en BIM. Esta etapa depende directamente de la fase "Verificación y análisis (Control de calidad del modelo)". En esta se presenta una opción viable para el diseño adecuado de la programación de proyectos de construcción según la información generada en el modelo BIM estructural corregido, la relación entre

la carta Gantt y la visualización de las actividades del modelo BIM.

La generación de la programación de proyectos mediante una carta Gantt desde el programa de visualización presenta una desventaja con respecto a la configuración de horarios y periodos de trabajo como por ejemplo calendarización de feriados, horas extra, por lo que es necesaria una vinculación de la herramienta Project Manager.

Una opción viable para generar una programación adecuada es:

- División de las actividades desde el programa de visualización en donde directamente se pueden determinar las cantidades de trabajo. Esto permite generar criterios a partir de las cantidades de materiales de la actividad y las visualizaciones en espacio que estas representan. (Figura 53).
- Seguidamente las actividades generadas en el punto anterior se vinculan con la configuración de una programación personalizada al tiempo hábil requerido. (feriados, tiempos extras y demás)
- Por último, se realiza la aceptación de la programación de acuerdo con las visualizaciones y simulaciones 4D (Espacio, elementos 3D, y tiempo, cronograma del ensamblado de la estructura).

Hasta el momento algunas actividades se han definido según el alcance de cada elemento. Por ejemplo, el elemento placa de la figura 15, se ha definido de forma que sea un solo elemento y como tal una sola actividad. En algunos casos, es mejor dividirlos para una mejor adaptación y flujo de trabajo, como, por ejemplo, el colado de elementos verticales donde columnas o paredes presentan una altura máxima de colado. Por esto es recomendable en algunos casos, el colado de la primera parte del elemento en una etapa y postergando la segunda mitad otro momento.

Construcción

El procedimiento de metodologías BIM en construcción tiene la intención de disponer de información de los modelos, cómo ser usada y qué procedimientos se llevan a cabo en situaciones de cambio de diseño de alguna sección del proyecto. Se aprovecha la teoría de la parametrización e interoperabilidad y se respetan los procesos señalados en el presente trabajo. Los esfuerzos

que existen dentro del diseño, planificación y cuantificación de los proyectos se pueden lograr de manera automática. Es decir, en dichas etapas se realizan múltiples procesos repetitivos, pero con resultados distintos; si los flujos de trabajo a lo largo de vida del proyecto se mantienen de forma automática los resultados en inversión de tiempo, costos y esfuerzo humanos serán los mismos para los cuales las herramientas BIM han sido creadas.

Un impacto positivo dentro de las etapas en las que se tiene mayor influencia los costos de un proyecto se da específicamente en planificación y diseño, que, en consecuencia, de forma positiva, afecta las siguientes fases (construcción, operación).

La figura 13 muestra los productos que se obtienen durante los procesos constructivos. Por una parte, información importante que necesitan contratistas y por otra parte, información necesaria durante la etapa constructiva específicamente en campo.

La obtención de planos, tanto para subcontratistas y durante la ejecución del proyecto en obra para inspecciones, por ejemplo, se obtienen del modelo BIM estructural (archivo .rvt o .ifc) en sección de planos estructurales, para este proyecto. La ventaja de la disposición de este tipo de archivos permite generar los planos estructurales al momento de generar los modelos 3D y los cambios que continuamente se generen en campo, generados en los modelos 3D se proyectan en planos mencionados.

Los modelos BIM por contratar pueden funcionar como evidencia para el pago de elementos subcontratados. La relación entre elementos subcontratados y no subcontratados se puede mantener entre los elementos BIM de

contrato, en donde los mismos se presentan sus cantidades.

Las listas de materiales por contratar, directamente se vinculan con los modelos 3D y al mismo tiempo se comprueban en campo. Este puede ser un tipo de inspección de campo en la coordinación entre todos los subcontratos y el ingeniero de proyecto.

El control de obra mediante Modelos de planificación de proyectos en BIM (Figura 53, 54) permite un trabajo amigable entre planificación, costos y órdenes de compra. La vinculación de los elementos a lo largo del cronograma permite el cálculo de cantidades de materiales en cualquier periodo. Los elementos vinculados en el cronograma contienen información necesaria que puede ser utilizada según el cronograma. Es decir, la programación de proyectos en BIM permite vincular en el cronograma la información del proyecto, principalmente de tipo cuantificación como se muestra en la figura 44 y no solo el nombre de la actividad.

En el caso de órdenes de cambio, existe una relación desde diseño, inspección del modelo, planificación y cuantificación. Por lo que, en este caso, la metodología BIM es útil en cuanto a comunicación y relación entre las fases. Se justifica en este caso la necesidad de un encargado a tiempo completo, de ser necesario, en la administración de la información mediante las herramientas BIM.

El encargado de administrar la información mediante las herramientas BIM debe ocuparse de coordinar a todos los interesados e involucrados en el proyecto, así como la información que se maneja en dichas herramientas.

Conclusiones

En la fase de diseño no existe bidireccionalidad del flujo de trabajo, exactamente en las fases de modelación de estructura y análisis de este, sobre un programa confiable. No se garantiza que los cambios realizados en el programa de computación para análisis de estructura sean generados automáticamente en el modelo, pero, por el contrario, los cambios en el modelo si se reflejan a la hora de hacer el análisis. Por tal razón no se encuentra un flujo de trabajo deseado.

Todos los errores encontrados en la fase de control de calidad del modelo no son considerados como significativos y consecuentes en las siguientes fases. Es decir, solo el 1.06 % de los encontrados en estructura de concreto son necesarios atender. (Representativo solo para este caso de estudio).

No se presenta bidireccionalidad del flujo de trabajo en la fase de control de calidad, en donde los errores encontrados en el administrador de proyectos no son proyectados en el programa de modelado, pero, si ocurre, al contrario. Por lo cual el flujo de trabajo no es el más adecuado.

A pesar que tradicionalmente la fase de cuantificación requiere en si un esfuerzo considerable, para este proyecto, el flujo de trabajo creado es el de menor amplitud en comparación con el resto de las fases.

El uso de herramientas BIM, con revisiones visuales permite realizar mejoras en la forma de trabajo de los cronogramas de obra a causa de la interacción de diferentes ramas en un mismo momento. La comprensión de los trabajos planificados vistos en un formato en 3D permite generar revisiones que evalúan una secuencia lógica de los trabajos tanto en tiempo como en espacio gracias a la vinculación de varias áreas.

El procedimiento detallado durante el ensamblado del proyecto y la validación mediante las evaluaciones garantiza que la información sea confiable. De esta manera se muestra una opción en como validar el proceso implementado y como éste puede asegurar que los datos obtenidos en

otro proyecto no tengan que ser verificados manualmente.

Crear e implementar un plan de integración BIM a un proyecto no tiene dificultades a la hora de generar el diseño, pero se torna complejo a la hora de ser entendido para el grupo de trabajo debido al cambio de cultura y organización que este conlleva.

Los programas de computación utilizados en este proyecto se adaptan de forma adecuada, pero en ocasiones existen problemas de interoperabilidad entre los mismos y por otra parte no existe un flujo bidireccional de información lo que en ocasiones puede haber problemas de comunicación y coordinación que puedan afectar los procesos descritos en este trabajo.

La creación de modelos BIM, su control de calidad e información requieren procesos complejos, por lo que los esfuerzos en las primeras etapas de un proyecto en cuanto a la modelación de la información, control de calidad y administración son mayores que los procesos utilizados para obtener directamente la información que se necesita. Por otra parte, el esfuerzo aportado en un inicio como se menciona se ve recompensado con la ágil administración de la información en la construcción.

El procedimiento de implementación de herramientas BIM de este proyecto no está ligado estrictamente al uso de programas de computación señalados en los procesos, pero no se puede implementar otro programa sin hacer un rediseño de este.

Para que los procesos de administración en BIM sean funcionales y de constante uso, se requiere de una estandarización a nivel de empresa desarrolladora en cuanto a los procesos requeridos para la administración de los proyectos. Es necesario aprovechar las herramientas BIM para aprovechar el alto potencial y alta gama de soluciones de diseño a pesar de la complejidad del uso de estas.

Recomendaciones

Comparar resultados obtenidos en cuantificación mediante el proceso determinado en este proyecto como valores determinados manualmente para verificar la eficacia del administrador de proyectos BIM a la hora de obtener resultados.

Aplicar a otros tipos de proyectos tales como obras verticales o infraestructura vertical con el objetivo de ver cuáles son los puntos que divergen con respecto a proyectos de interés social y determinar qué forma este proyecto puede ayudar de forma general a otros proyectos de construcción.

Utilizar todos los documentos de guía de usuario BIM tomando en cuenta sistemas electromecánicos y arquitectura y determinar sus afectaciones a la fase de estructura y obra gris de un proyecto.

En caso de utilizar otro programa de computación, es recomendable realizar una evaluación del proceso y determinar si los flujos de trabajo coinciden o reformar un nuevo plan de implementación BIM.

Antes de aplicar el plan de ejecución BIM debe asegurarse tener un conocimiento base y sólido de las herramientas BIM seleccionadas con el fin de tener un mejor entendimiento de este.

Generar la carta Gantt directamente desde el Project Manager y luego importarlo a Navisworks para vincular las actividades fragmentadas.

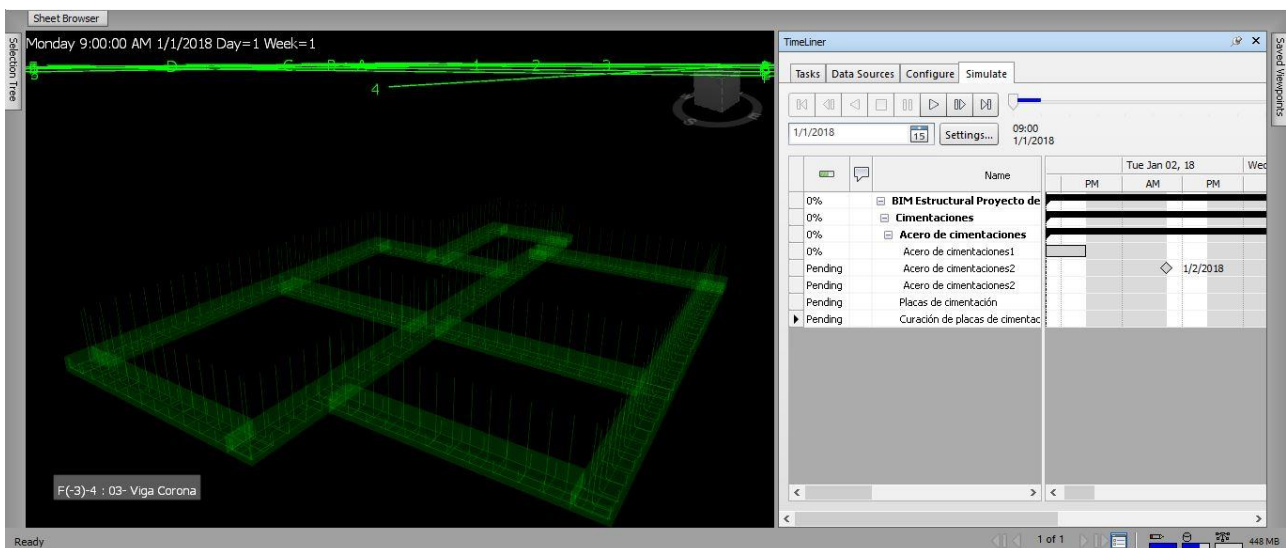
Apéndices

En la presente sección se adjuntan 5 apéndices correspondientes a productos generados por el equipo de proyecto que no son relevantes en el desarrollo de este. En el apéndice 1 se ejemplifica una secuencia de la visualización en vídeo del ensamblado del proyecto en 3D con la vinculación de los elementos ensamblados directamente vinculado a la programación. El apéndice 2 se muestran las plantillas en Excel de la información exportada, creada por el programa BIM a partir del proyecto modelado. El apéndice 3 muestra la plantilla de Navisworks de una visualización completa de la programación del proyecto y a un lado se muestran todas las actividades vinculadas.

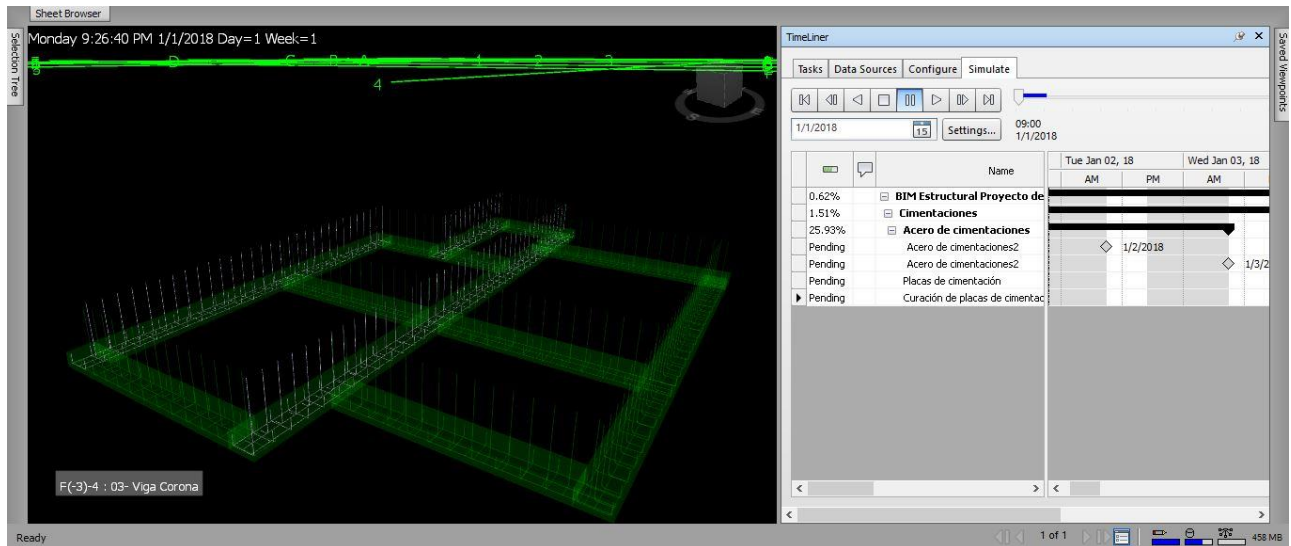
El apéndice 4 muestra el reporte en plantillas de Excel de los choques analizados tanto en concreto como en acero de refuerzo. El apéndice 5 muestra los planos resultantes que Revit genera automáticamente; se muestran planos arquitectónicos, planos estructurales de cimentaciones, contrapisos y muros en sus respectivos ejes.

Estos apéndices no forman parte del desarrollo del proyecto, pero ayudan a complementar el entendimiento del alcance de las herramientas BIM implementadas a un proyecto de interés social.

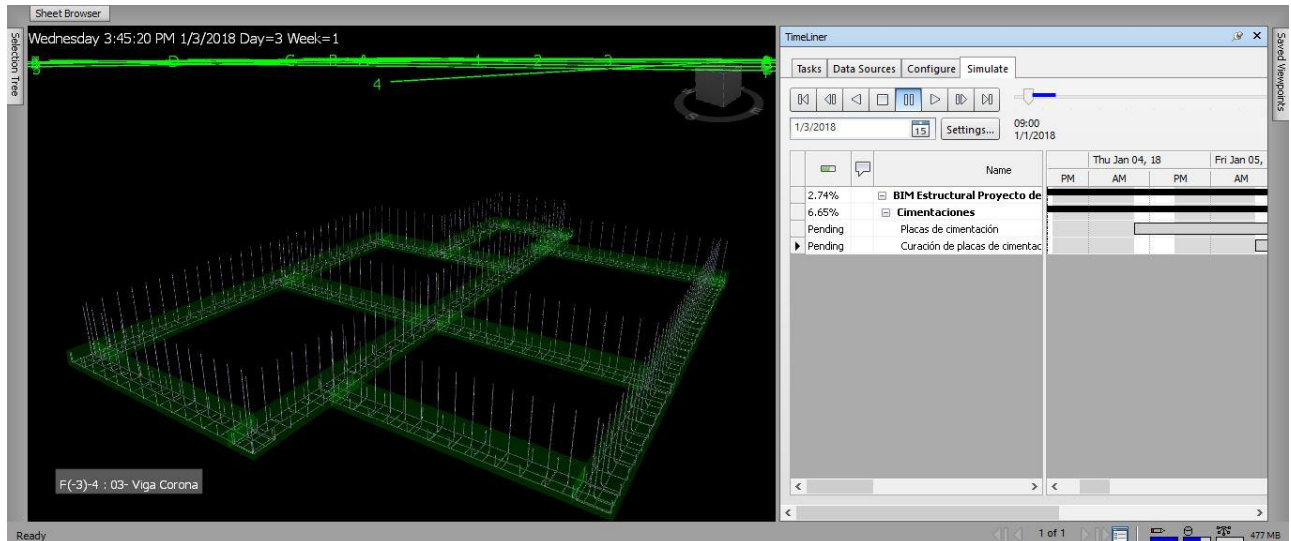
Apéndice 1



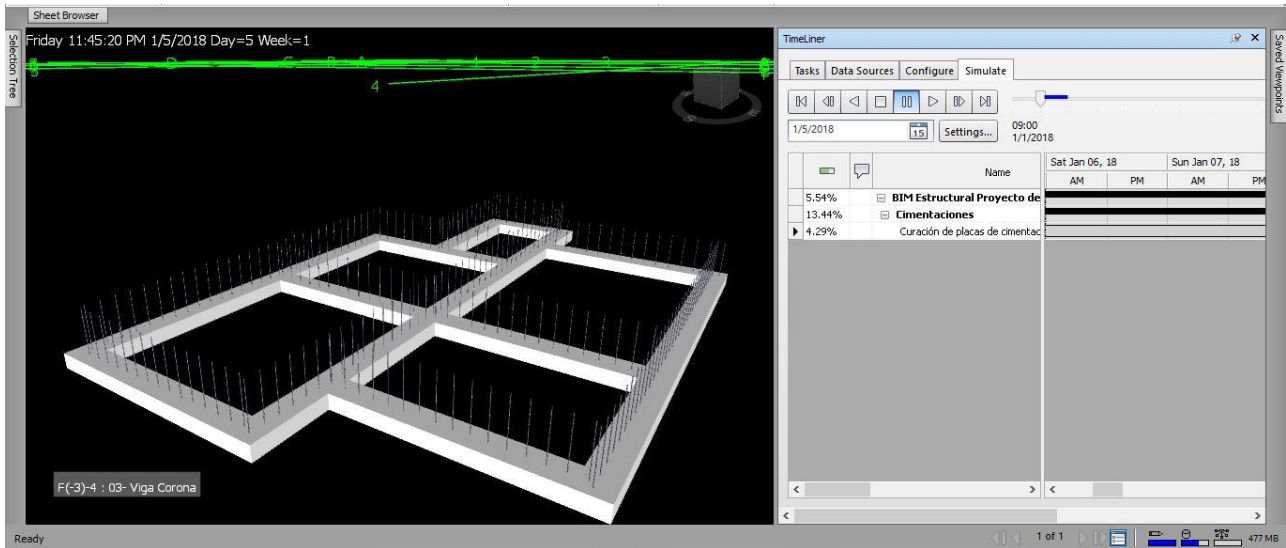
Secuencia de ensamblaje de edificación según el cronograma de trabajo. Ejemplo etapa 1. Fuente: Elaboración propia (Navisworks, 2016)



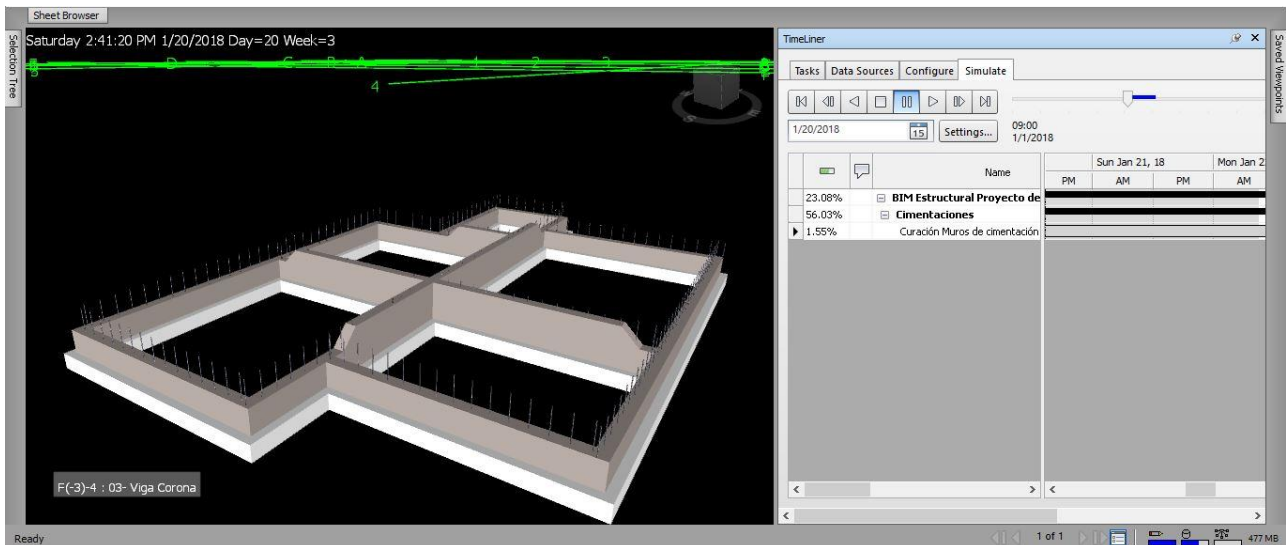
Secuencia de ensamblaje de edificación según el cronograma de trabajo. Ejemplo etapa 2. Fuente: Elaboración propia (Navisworks, 2016)



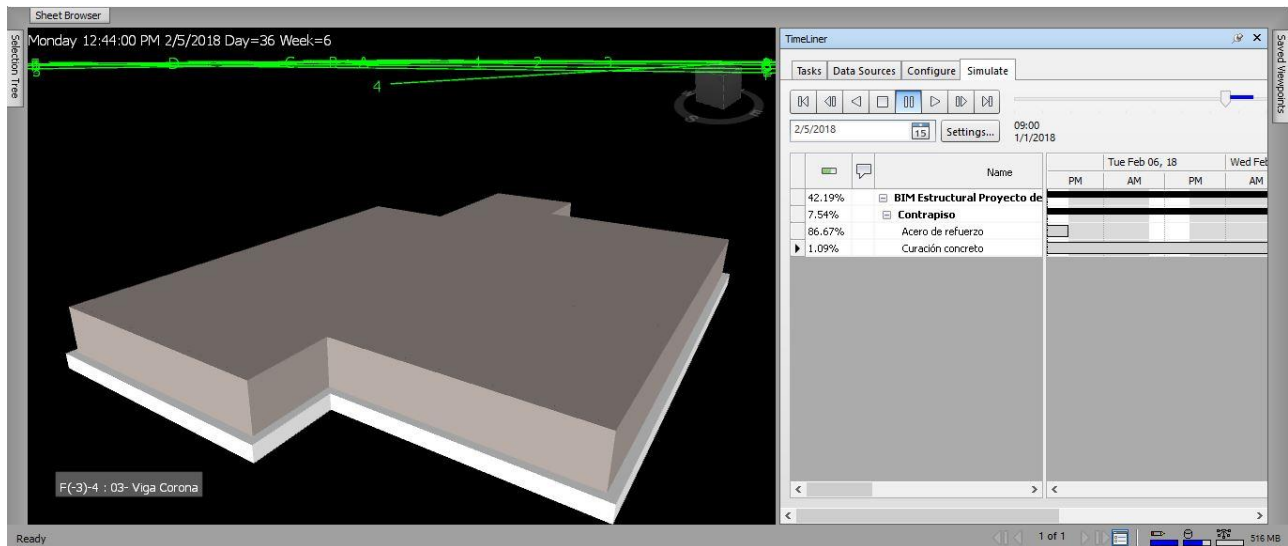
Secuencia de ensamblaje de edificación según el cronograma de trabajo. Ejemplo etapa 3. Fuente: Elaboración propia (Navisworks, 2016)



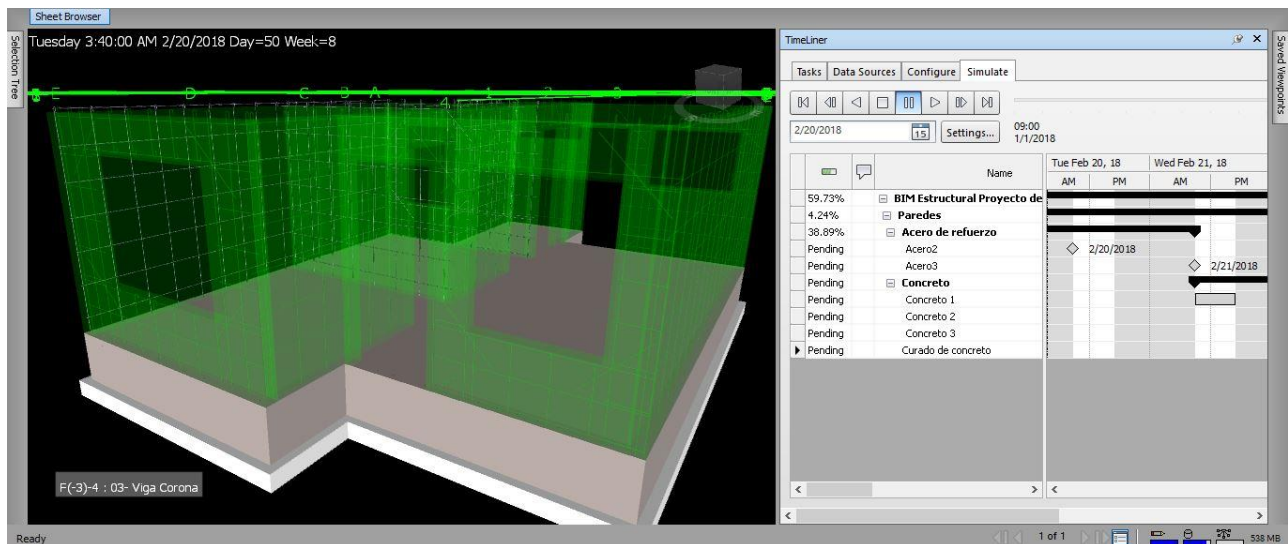
Secuencia de ensamblaje de edificación según el cronograma de trabajo. Ejemplo etapa 4. Fuente: Elaboración propia (Navisworks, 2016)



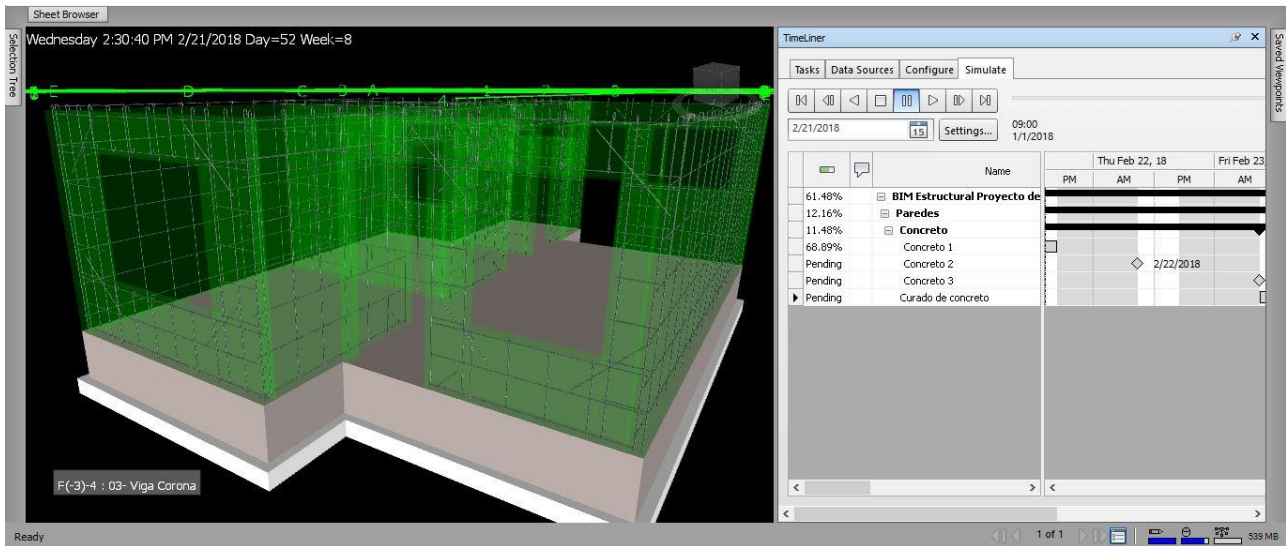
Secuencia de ensamblaje de edificación según el cronograma de trabajo. Ejemplo etapa 5. Fuente: Elaboración propia (Navisworks, 2016)



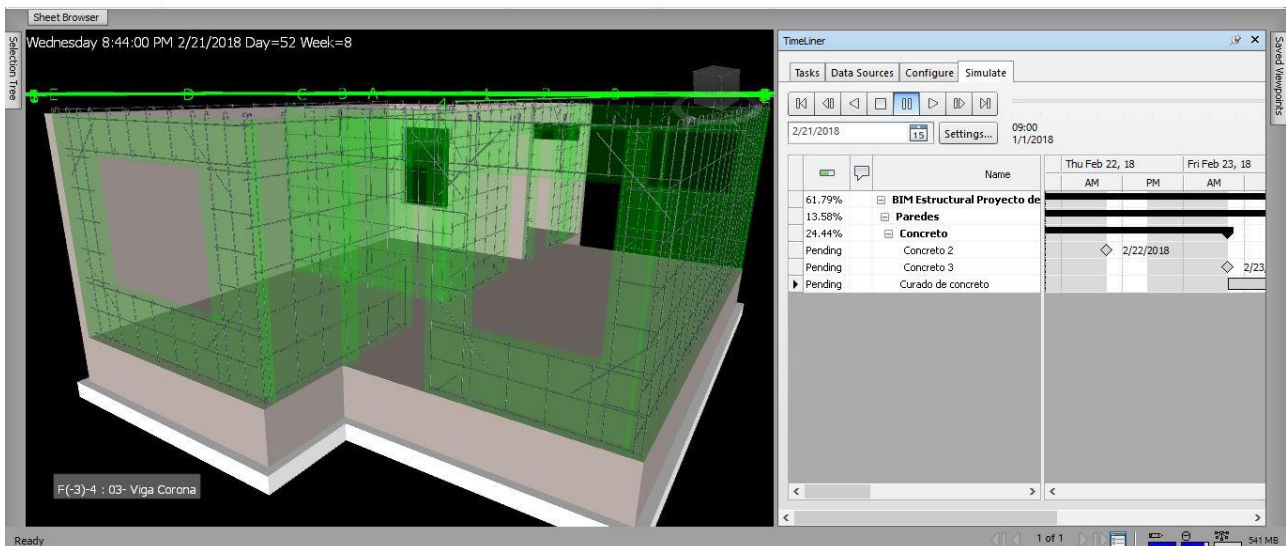
Secuencia de ensamblaje de edificación según el cronograma de trabajo. Ejemplo etapa 6. Fuente: Elaboración propia (Navisworks, 2016)



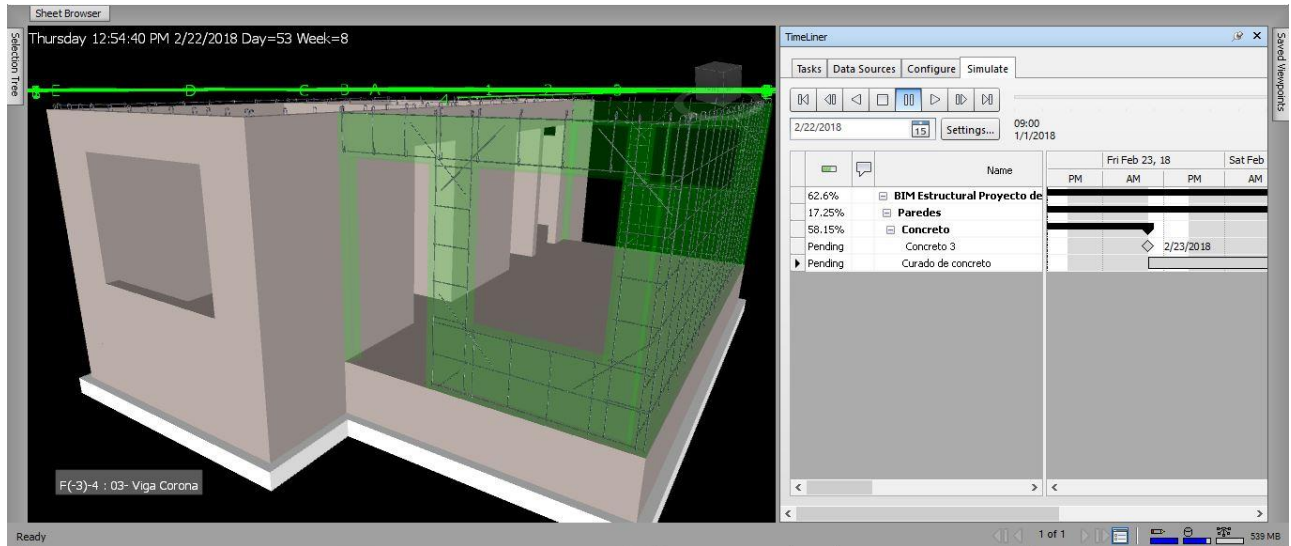
Secuencia de ensamblaje de edificación según el cronograma de trabajo. Ejemplo etapa 7. Fuente: Elaboración propia (Navisworks, 2016)



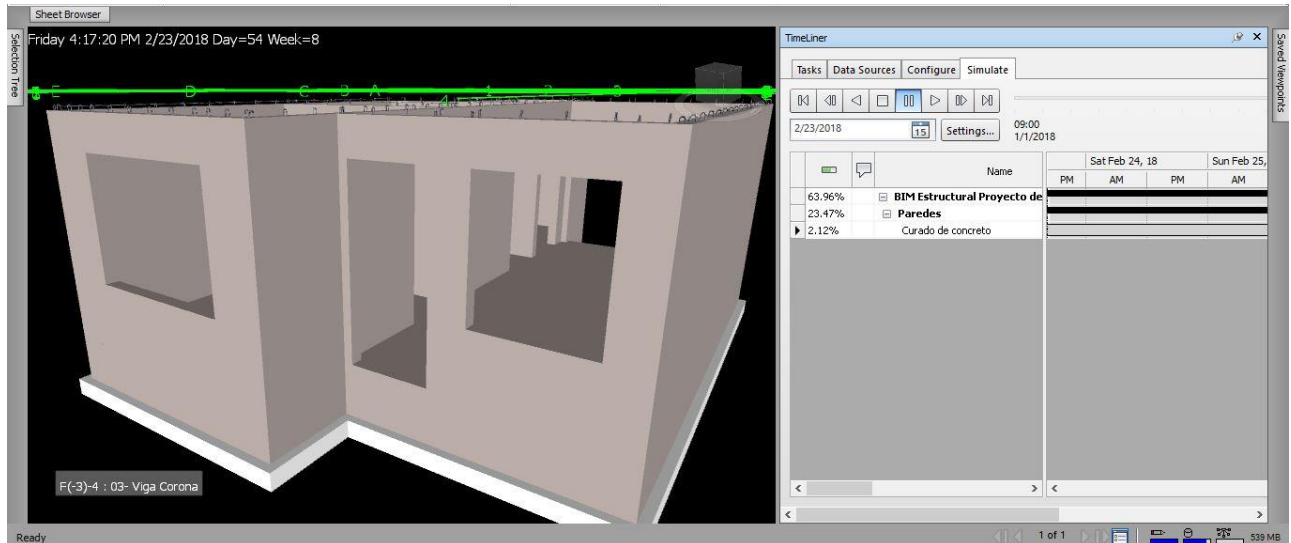
Secuencia de ensamblaje de edificación según el cronograma de trabajo. Ejemplo etapa 8. Fuente: Elaboración propia (Navisworks, 2016)



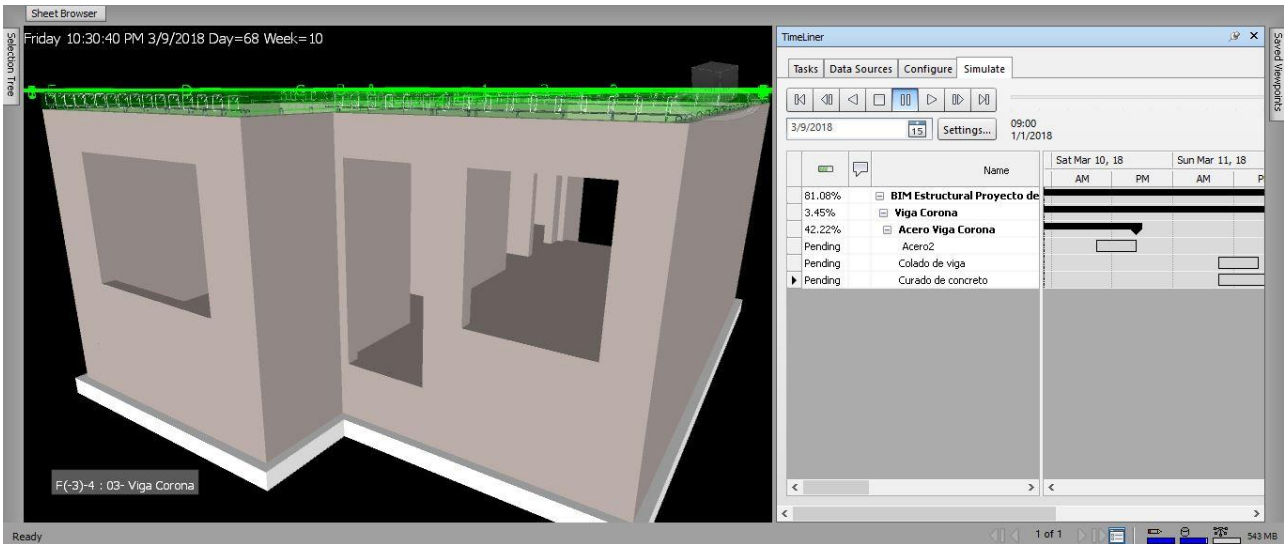
Secuencia de ensamblaje de edificación según el cronograma de trabajo. Ejemplo etapa 9. Fuente: Elaboración propia (Navisworks, 2016)



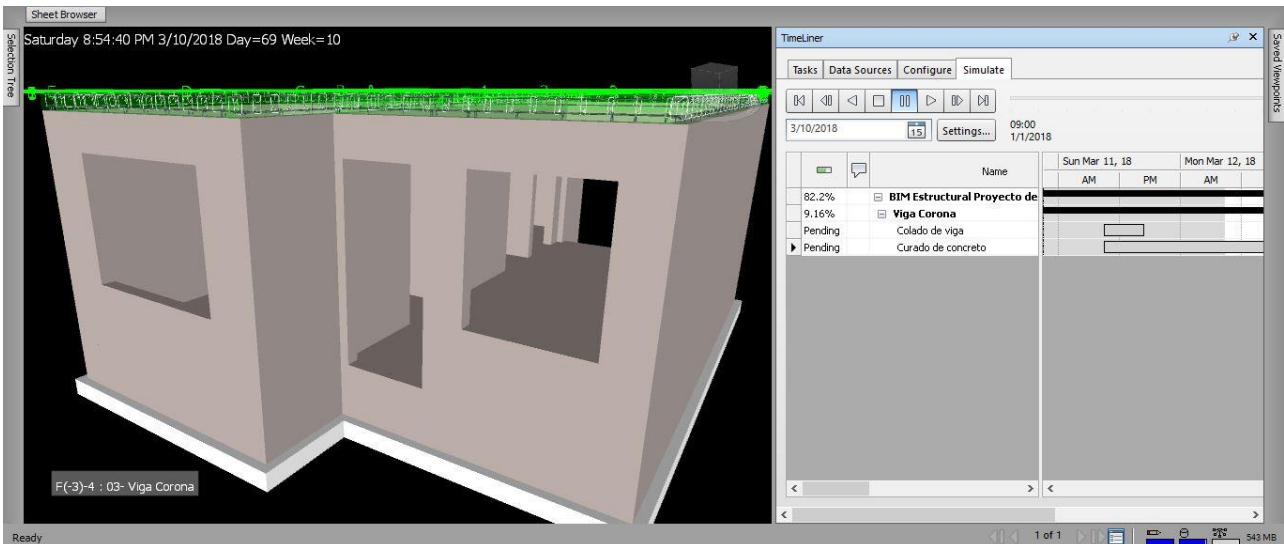
Secuencia de ensamblaje de edificación según el cronograma de trabajo. Ejemplo etapa 10. Fuente: Elaboración propia (Navisworks, 2016)



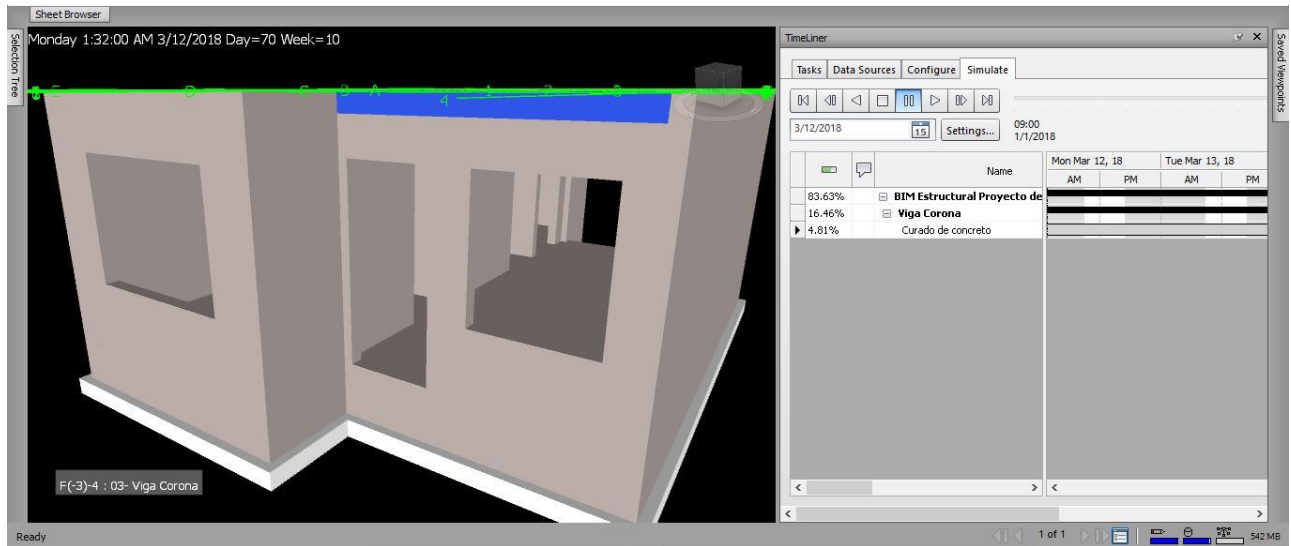
Secuencia de ensamblaje de edificación según el cronograma de trabajo. Ejemplo etapa 11. Fuente: Elaboración propia (Navisworks, 2016)



Secuencia de ensamblaje de edificación según el cronograma de trabajo. Ejemplo etapa 12. Fuente: Elaboración propia (Navisworks, 2016)



Secuencia de ensamblaje de edificación según el cronograma de trabajo. Ejemplo etapa 13. Fuente: Elaboración propia (Navisworks, 2016)



Secuencia de ensamblaje de edificación según el cronograma de trabajo. Ejemplo etapa 14. Fuente: Elaboración propia (Navisworks, 2016)

Apéndice 2

WBS/RBS	Group1	Item	Resource	Object	Description1	Description2	Model.length	Mo	ModeWidth	ModelThickness
9		Proyecto de Interes Social Estructural								
9.1		Proyecto de Interes Social Refuerzo de concreto para sobrelosa								
9.1.1		Proyecto de Inte Refuerzo de concreto para sobrelosa		Slab Edge			29.280 m		m	
9.2		Proyecto de Interes Social Placa Corrida - 350 mm x 200 mm								
9.2.1		Proyecto de Inte Placa Corrida - 350 mm x 200 mm		Wall Foundation			2.290 m		0.350 m	m
9.2.2		Proyecto de Inte Placa Corrida - 350 mm x 200 mm		Wall Foundation (2)			1.620 m		0.350 m	m
9.2.3		Proyecto de Inte Placa Corrida - 350 mm x 200 mm		Wall Foundation (3)			3.000 m		0.350 m	m
9.2.4		Proyecto de Inte Placa Corrida - 350 mm x 200 mm		Wall Foundation (4)			8.440 m		0.350 m	m
9.2.5		Proyecto de Inte Placa Corrida - 350 mm x 200 mm		Wall Foundation (5)			6.240 m		0.350 m	m
9.2.6		Proyecto de Inte Placa Corrida - 350 mm x 200 mm		Wall Foundation (6)			2.850 m		0.350 m	m
9.2.7		Proyecto de Inte Placa Corrida - 350 mm x 200 mm		Wall Foundation (7)			2.750 m		0.350 m	m
9.2.8		Proyecto de Inte Placa Corrida - 350 mm x 200 mm		Wall Foundation (8)			6.150 m		0.350 m	m
9.2.9		Proyecto de Inte Placa Corrida - 350 mm x 200 mm		Wall Foundation (9)			2.750 m		0.350 m	m
9.2.10		Proyecto de Inte Placa Corrida - 350 mm x 200 mm		Wall Foundation (10)			2.750 m		0.350 m	m
9.2.11		Proyecto de Inte Placa Corrida - 350 mm x 200 mm		Wall Foundation (11)			2.850 m		0.350 m	m
9.3		Proyecto de Interes Social Varilla de acero corrugado #3								
9.3.1		Proyecto de Inte Varilla de acero corrugado #3		Rebar Bar			m		m	m
9.3.2		Proyecto de Inte Varilla de acero corrugado #3		Rebar Bar (2)			m		m	m
9.3.3		Proyecto de Inte Varilla de acero corrugado #3		Rebar Bar (3)			m		m	m
9.3.4		Proyecto de Inte Varilla de acero corrugado #3		Rebar Bar (4)			m		m	m
9.3.5		Proyecto de Inte Varilla de acero corrugado #3		Rebar Bar (5)			m		m	m
9.3.6		Proyecto de Inte Varilla de acero corrugado #3		Rebar Bar (6)			m		m	m
9.3.7		Proyecto de Inte Varilla de acero corrugado #3		Rebar Bar (7)			m		m	m
9.3.8		Proyecto de Inte Varilla de acero corrugado #3		Rebar Bar (8)			m		m	m
9.3.9		Proyecto de Inte Varilla de acero corrugado #3		Rebar Bar (9)			m		m	m

Captura de plantilla de todos los datos del modelo obtenidos en Navisworks. Fuente: Elaboración propia (Navisworks, 2016)

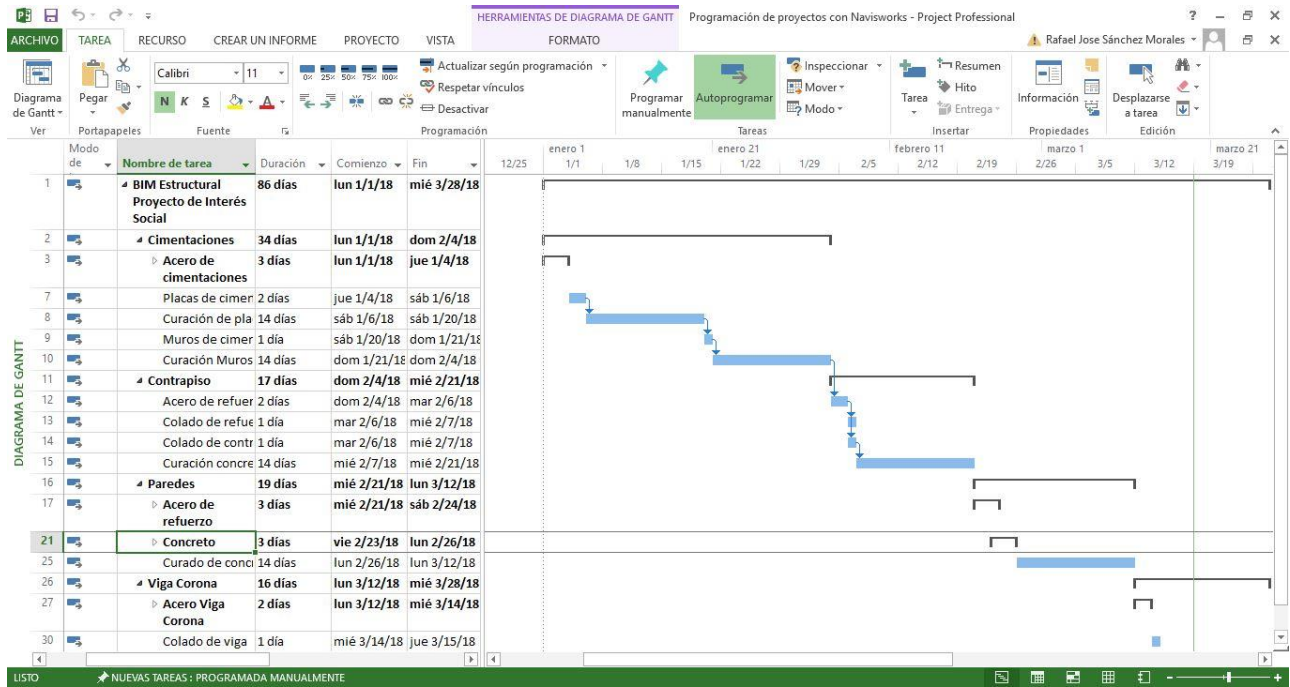
WBS	Comments	Group1	Item	Object	Description1	Description2	Model.length	Mo	ModeWidth	ModelThickness
9.1.1			Proyecto de Interes Soci Refuerzo de concreto pa	Slab Edge			29.280 m		m	
9.2.1			Proyecto de Interes Soci Placa Corrida - 350 mm	Wall Foundation			2.290 m		0.350 m	m
9.2.2			Proyecto de Interes Soci Placa Corrida - 350 mm	Wall Foundation (2)			1.620 m		0.350 m	m
9.2.3			Proyecto de Interes Soci Placa Corrida - 350 mm	Wall Foundation (3)			3.000 m		0.350 m	m
9.2.4			Proyecto de Interes Soci Placa Corrida - 350 mm	Wall Foundation (4)			8.440 m		0.350 m	m
9.2.5			Proyecto de Interes Soci Placa Corrida - 350 mm	Wall Foundation (5)			6.240 m		0.350 m	m
9.2.6			Proyecto de Interes Soci Placa Corrida - 350 mm	Wall Foundation (6)			2.850 m		0.350 m	m
9.2.7			Proyecto de Interes Soci Placa Corrida - 350 mm	Wall Foundation (7)			2.750 m		0.350 m	m
9.2.8			Proyecto de Interes Soci Placa Corrida - 350 mm	Wall Foundation (8)			6.150 m		0.350 m	m
9.2.9			Proyecto de Interes Soci Placa Corrida - 350 mm	Wall Foundation (9)			2.750 m		0.350 m	m
9.2.10			Proyecto de Interes Soci Placa Corrida - 350 mm	Wall Foundation (10)			2.750 m		0.350 m	m
9.2.11			Proyecto de Interes Soci Placa Corrida - 350 mm	Wall Foundation (11)			2.850 m		0.350 m	m
9.3.1			Proyecto de Interes Soci Varilla de acero corruga	Rebar Bar			m		m	m
9.3.2			Proyecto de Interes Soci Varilla de acero corruga	Rebar Bar (2)			m		m	m
9.3.3			Proyecto de Interes Soci Varilla de acero corruga	Rebar Bar (3)			m		m	m
9.3.4			Proyecto de Interes Soci Varilla de acero corruga	Rebar Bar (4)			m		m	m
9.3.5			Proyecto de Interes Soci Varilla de acero corruga	Rebar Bar (5)			m		m	m
9.3.6			Proyecto de Interes Soci Varilla de acero corruga	Rebar Bar (6)			m		m	m
9.3.7			Proyecto de Interes Soci Varilla de acero corruga	Rebar Bar (7)			m		m	m
9.3.8			Proyecto de Interes Soci Varilla de acero corruga	Rebar Bar (8)			m		m	m
9.3.9			Proyecto de Interes Soci Varilla de acero corruga	Rebar Bar (9)			m		m	m
9.3.10			Proyecto de Interes Soci Varilla de acero corruga	Rebar Bar (10)			m		m	m
9.3.11			Proyecto de Interes Soci Varilla de acero corruga	Rebar Bar (11)			m		m	m
9.3.12			Proyecto de Interes Soci Varilla de acero corruga	Rebar Bar (12)			m		m	m
9.3.13			Proyecto de Interes Soci Varilla de acero corruga	Rebar Bar (13)			m		m	m
9.3.14			Proyecto de Interes Soci Varilla de acero corruga	Rebar Bar (14)			m		m	m

Captura de plantilla de artículos sin procesar obtenidos en Navisworks. Fuente: Elaboración propia (Navisworks, 2016)

WBS	Description	Comments	Group1	Item	Length	Ler	Width	Wk	Thickness	Th	Height
9.1			Proyecto de Interes Soci	Refuerzo de concreto pa	29.280 m			0.000 m		0.000 m	0.000 m
9.2			Proyecto de Interes Soci	Placa Corrida - 350 mm :	41.690 m		3.850 m		0.000 m	0.000 m	0.000 m
9.3			Proyecto de Interes Soci	Varilla de acero corruga	0.000 m		0.000 m		0.000 m	0.000 m	0.000 m
9.4			Proyecto de Interes Soci	Varilla de acero lisa #2	0.000 m		0.000 m		0.000 m	0.000 m	0.000 m
9.5			Proyecto de Interes Soci	Muros de cimentación 15	42.290 m		1.650 m		0.000 m	0.000 m	6.600 m
9.6			Proyecto de Interes Soci	Contrapiso concreto 75 n	0.000 m		0.000 m		0.075 m	0.000 m	0.000 m
9.7			Proyecto de Interes Soci	Muros de concreto 150 n	39.290 m		1.500 m		0.000 m	0.000 m	25.000 m
9.8			Proyecto de Interes Soci	Viga Corona 150 mm x 2	42.290 m		0.000 m		0.000 m	0.000 m	0.000 m

Captura de plantilla de grupos sin procesar obtenidos en Navisworks. Fuente: Elaboración propia (Navisworks, 2016)

Apéndice 3



Captura de plantilla carta Gantt de planificación en Navisworks. Fuente: Elaboración propia (Navisworks, 2016)

Apéndice 4

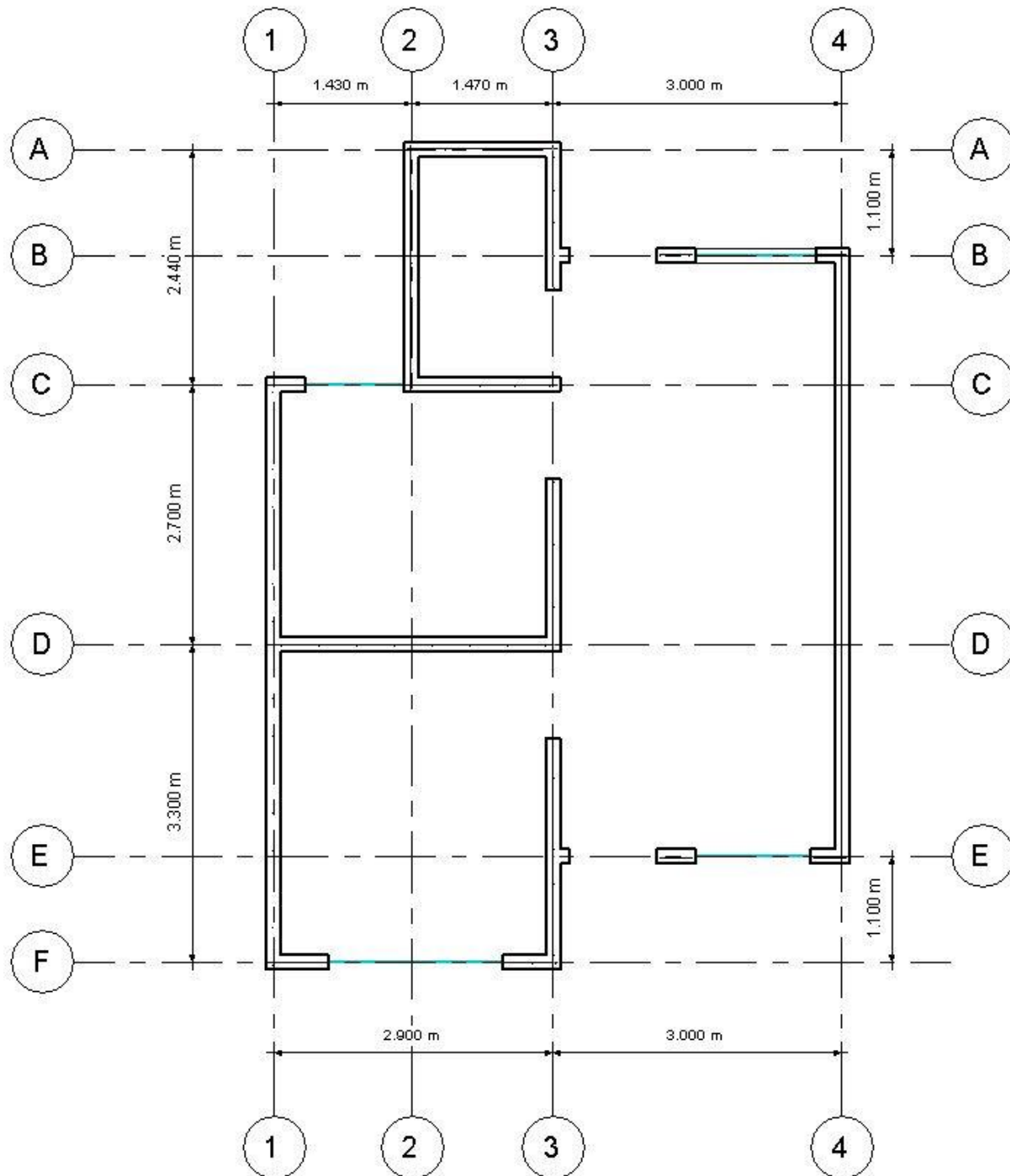
units	filename	filepath	name	internal_name	units2	name2	test_type	status	tolerance	merge	mode	rel_t	rel_t	abs	rules	total	new	active	reviewed	approved
m	Vivienda de C:\Users\I Report	Report	m	Detección hard_cons	old	0.001	1 none	1	1E-06	1E-06	6	0	0	0	0					
m	Vivienda de C:\Users\I Report	Report	m	Detección hard_cons	old	0.001	1 none	1	1E-06	1E-06	6	0	0	0	0					
m	Vivienda de C:\Users\I Report	Report	m	Detección hard_cons	old	0.001	1 none	1	1E-06	1E-06	6	0	0	0	0					
m	Vivienda de C:\Users\I Report	Report	m	Detección hard_cons	old	0.001	1 none	1	1E-06	1E-06	6	0	0	0	0					
m	Vivienda de C:\Users\I Report	Report	m	Detección hard_cons	old	0.001	1 none	1	1E-06	1E-06	6	0	0	0	0					
m	Vivienda de C:\Users\I Report	Report	m	Detección hard_cons	old	0.001	1 none	1	1E-06	1E-06	6	0	0	0	0					
m	Vivienda de C:\Users\I Report	Report	m	Detección hard_cons	old	0.001	1 none	1	1E-06	1E-06	6	0	0	0	0					
m	Vivienda de C:\Users\I Report	Report	m	Detección hard_cons	old	0.001	1 none	1	1E-06	1E-06	6	0	0	0	0					
m	Vivienda de C:\Users\I Report	Report	m	Detección hard_cons	old	0.001	1 none	1	1E-06	1E-06	6	0	0	0	0					
m	Vivienda de C:\Users\I Report	Report	m	Detección hard_cons	old	0.001	1 none	1	1E-06	1E-06	6	0	0	0	0					
m	Vivienda de C:\Users\I Report	Report	m	Detección hard_cons	old	0.001	1 none	1	1E-06	1E-06	6	0	0	0	0					
m	Vivienda de C:\Users\I Report	Report	m	Detección hard_cons	old	0.001	1 none	1	1E-06	1E-06	6	0	0	0	0					
m	Vivienda de C:\Users\I Report	Report	m	Detección hard_cons	old	0.001	1 none	1	1E-06	1E-06	6	0	0	0	0					
m	Vivienda de C:\Users\I Report	Report	m	Detección hard_cons	old	0.001	1 none	1	1E-06	1E-06	6	0	0	0	0					
m	Vivienda de C:\Users\I Report	Report	m	Detección hard_cons	old	0.001	1 none	1	1E-06	1E-06	6	0	0	0	0					
m	Vivienda de C:\Users\I Report	Report	m	Detección hard_cons	old	0.001	1 none	1	1E-06	1E-06	6	0	0	0	0					
m	Vivienda de C:\Users\I Report	Report	m	Detección hard_cons	old	0.001	1 none	1	1E-06	1E-06	6	0	0	0	0					

Captura de plantilla de reporte de todos los datos en Excel de los choques en concreto. Fuente: Elaboración propia (Navisworks, 2016)

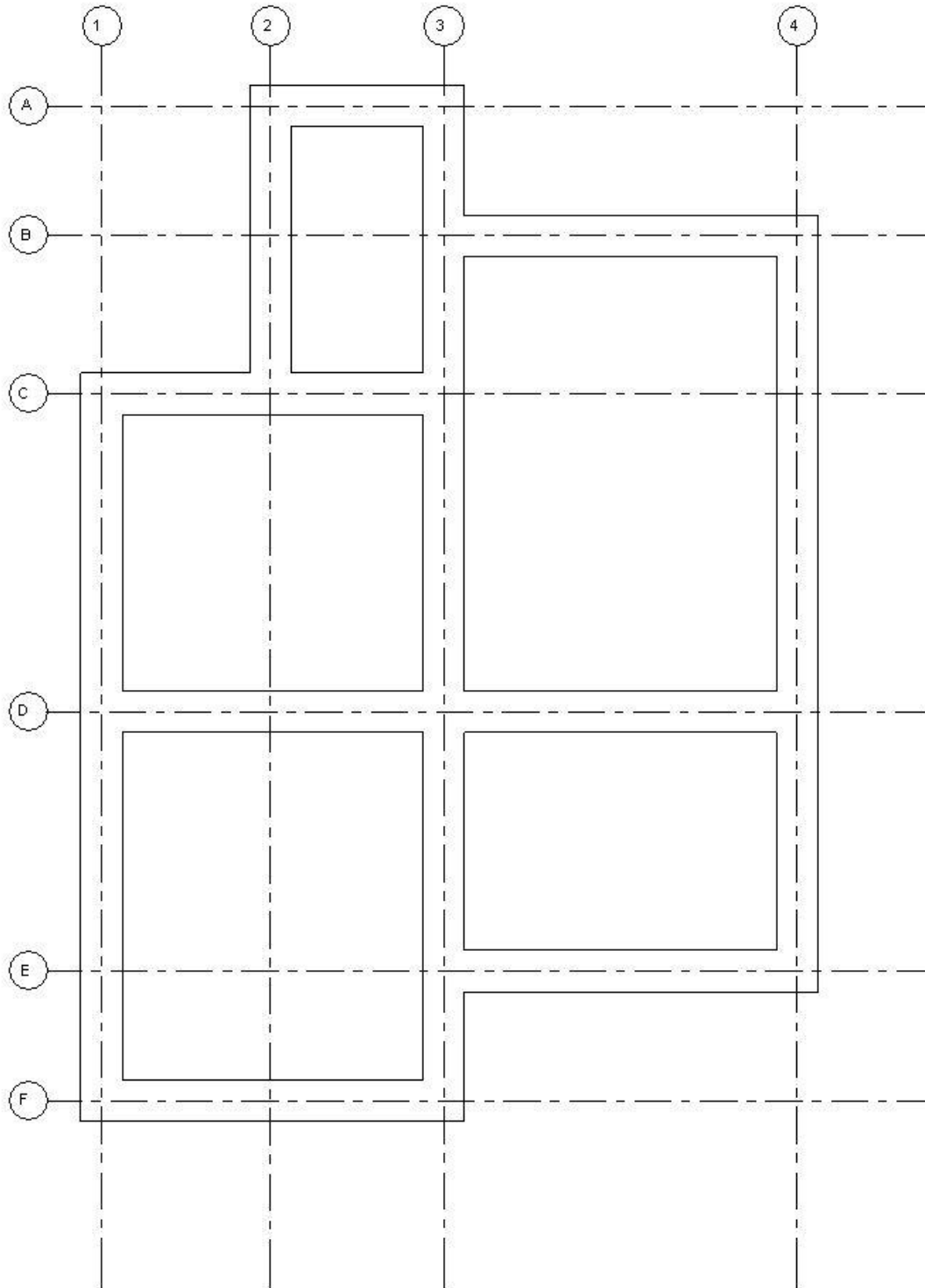
units	filename	filepath	name	internal_name	units2	name3	test_type	status	tolerance	merge	mode	rel_touch	rel_touch_tol	abs_touch_tol	selfinte	prin
m	Vivienda de I C:\Users\Re Report	Report	m	Detección de ch\hard_cons	old	0.001	1 none	1	0.00001	0.00001	1	1	0.00001	0.00001	1	
m	Vivienda de I C:\Users\Re Report	Report	m	Detección de ch\hard_cons	old	0.001	1 none	1	0.00001	0.00001	1	1	0.00001	0.00001	1	
m	Vivienda de I C:\Users\Re Report	Report	m	Detección de ch\hard_cons	old	0.001	1 none	1	0.00001	0.00001	1	1	0.00001	0.00001	1	
m	Vivienda de I C:\Users\Re Report	Report	m	Detección de ch\hard_cons	old	0.001	1 none	1	0.00001	0.00001	1	1	0.00001	0.00001	1	
m	Vivienda de I C:\Users\Re Report	Report	m	Detección de ch\hard_cons	old	0.001	1 none	1	0.00001	0.00001	1	1	0.00001	0.00001	1	
m	Vivienda de I C:\Users\Re Report	Report	m	Detección de ch\hard_cons	old	0.001	1 none	1	0.00001	0.00001	1	1	0.00001	0.00001	1	
m	Vivienda de I C:\Users\Re Report	Report	m	Detección de ch\hard_cons	old	0.001	1 none	1	0.00001	0.00001	1	1	0.00001	0.00001	1	
m	Vivienda de I C:\Users\Re Report	Report	m	Detección de ch\hard_cons	old	0.001	1 none	1	0.00001	0.00001	1	1	0.00001	0.00001	1	
m	Vivienda de I C:\Users\Re Report	Report	m	Detección de ch\hard_cons	old	0.001	1 none	1	0.00001	0.00001	1	1	0.00001	0.00001	1	
m	Vivienda de I C:\Users\Re Report	Report	m	Detección de ch\hard_cons	old	0.001	1 none	1	0.00001	0.00001	1	1	0.00001	0.00001	1	
m	Vivienda de I C:\Users\Re Report	Report	m	Detección de ch\hard_cons	old	0.001	1 none	1	0.00001	0.00001	1	1	0.00001	0.00001	1	
m	Vivienda de I C:\Users\Re Report	Report	m	Detección de ch\hard_cons	old	0.001	1 none	1	0.00001	0.00001	1	1	0.00001	0.00001	1	
m	Vivienda de I C:\Users\Re Report	Report	m	Detección de ch\hard_cons	old	0.001	1 none	1	0.00001	0.00001	1	1	0.00001	0.00001	1	
m	Vivienda de I C:\Users\Re Report	Report	m	Detección de ch\hard_cons	old	0.001	1 none	1	0.00001	0.00001	1	1	0.00001	0.00001	1	
m	Vivienda de I C:\Users\Re Report	Report	m	Detección de ch\hard_cons	old	0.001	1 none	1	0.00001	0.00001	1	1	0.00001	0.00001	1	
m	Vivienda de I C:\Users\Re Report	Report	m	Detección de ch\hard_cons	old	0.001	1 none	1	0.00001	0.00001	1	1	0.00001	0.00001	1	
m	Vivienda de I C:\Users\Re Report	Report	m	Detección de ch\hard_cons	old	0.001	1 none	1	0.00001	0.00001	1	1	0.00001	0.00001	1	
m	Vivienda de I C:\Users\Re Report	Report	m	Detección de ch\hard_cons	old	0.001	1 none	1	0.00001	0.00001	1	1	0.00001	0.00001	1	
m	Vivienda de I C:\Users\Re Report	Report	m	Detección de ch\hard_cons	old	0.001	1 none	1	0.00001	0.00001	1	1	0.00001	0.00001	1	
m	Vivienda de I C:\Users\Re Report	Report	m	Detección de ch\hard_cons	old	0.001	1 none	1	0.00001	0.00001	1	1	0.00001	0.00001	1	
m	Vivienda de I C:\Users\Re Report	Report	m	Detección de ch\hard_cons	old	0.001	1 none	1	0.00001	0.00001	1	1	0.00001	0.00001	1	

Captura de plantilla de reporte de todos los datos en Excel de los choques en concreto. Fuente: Elaboración propia (Navisworks, 2016)

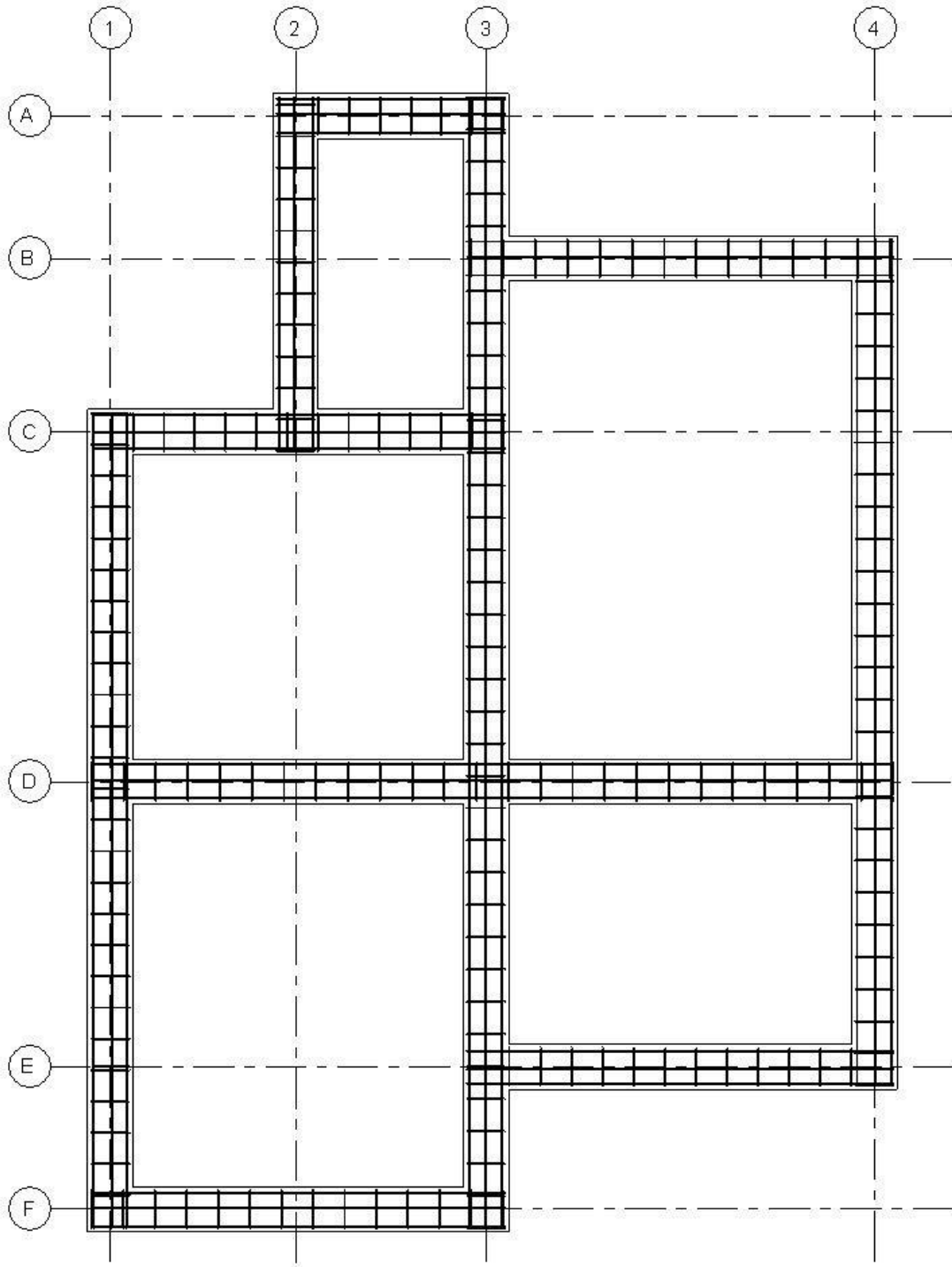
Apéndice 5



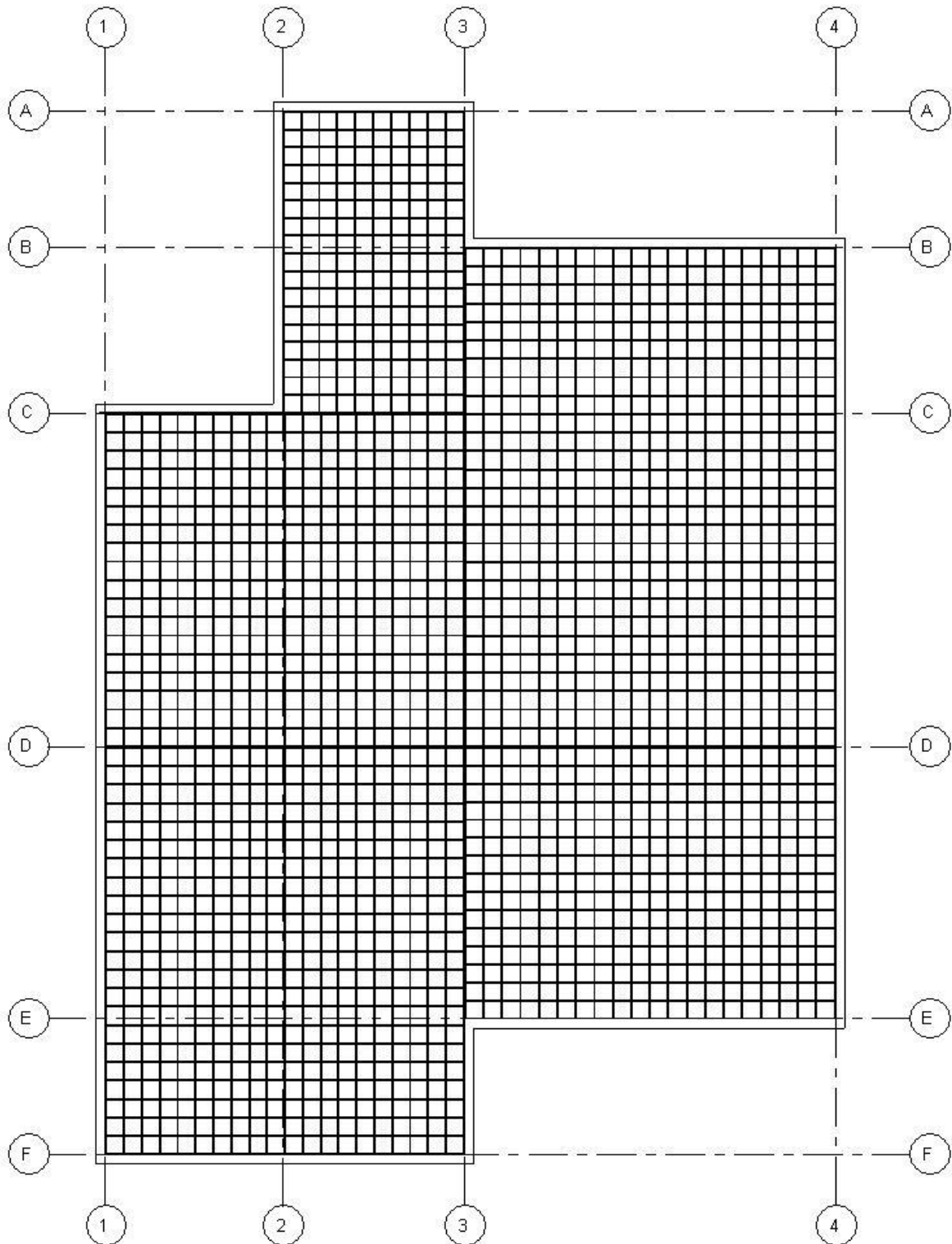
Plano arquitectónico de proyecto modelado en Revit con ejes y dimensiones. Fuente: Elaboración propia (Revit, 2016)



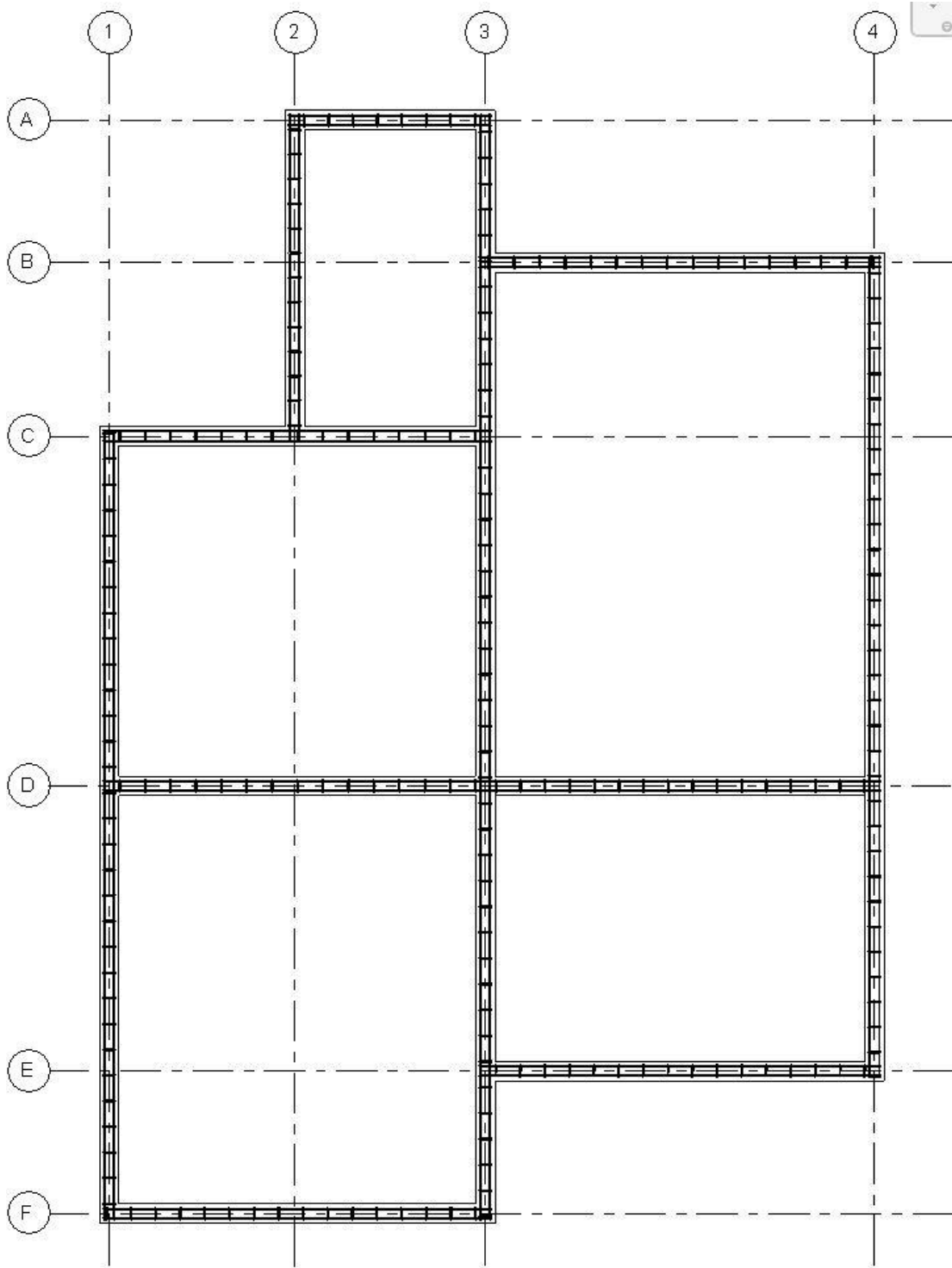
Plano de estructura concreto de cimentaciones modelado en Revit con ejes. Fuente: Elaboración propia (Revit, 2016)



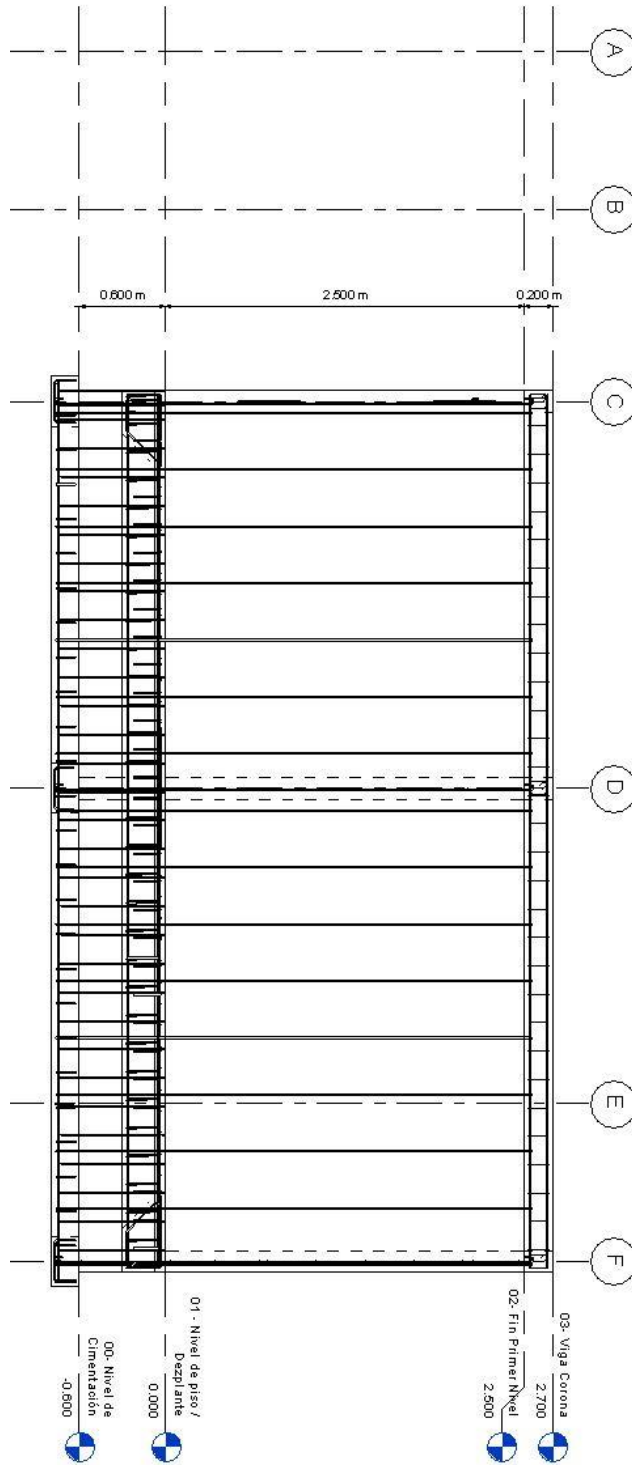
Plano de estructura de refuerzo de cimentaciones modelado en Revit con ejes. Fuente: Elaboración propia (Revit, 2016)



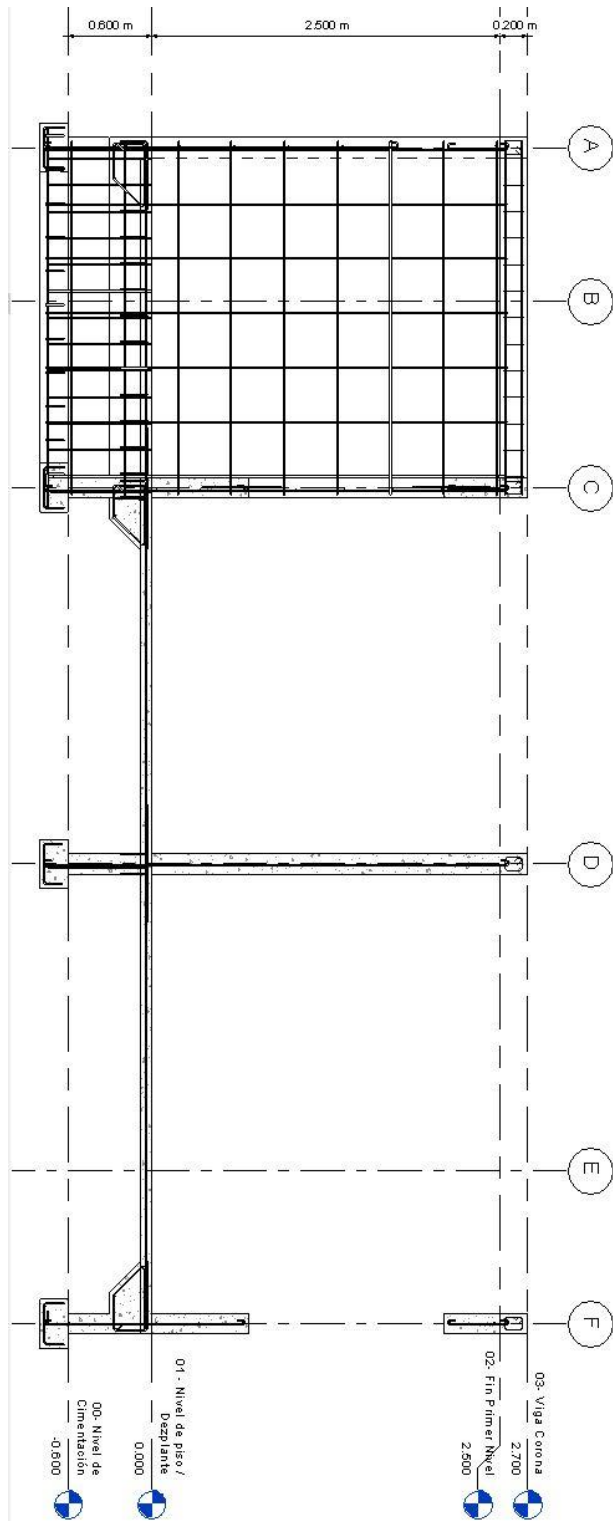
Plano de estructura de refuerzo de contrapiso modelado en Revit con ejes. Fuente: Elaboración propia (Navisworks, 2016)



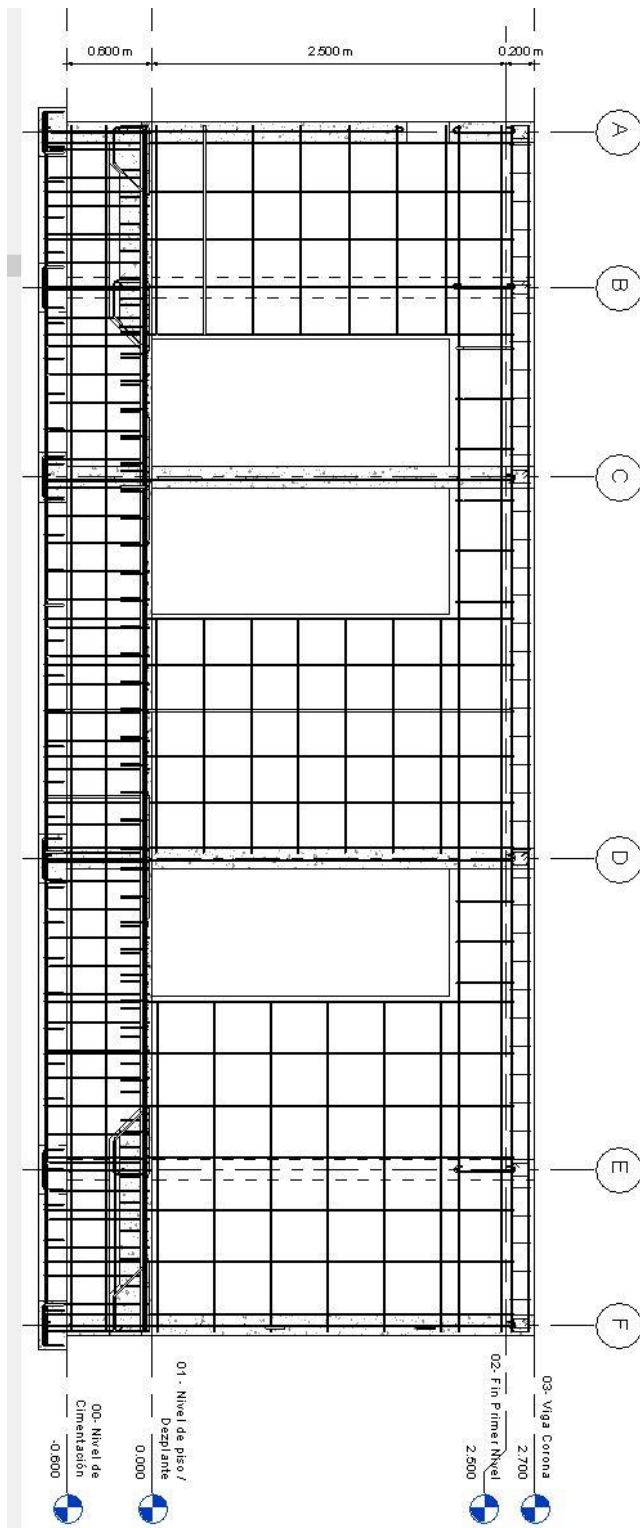
Plano de estructura de refuerzo de viga corona modelado en Revit con ejes. Fuente: Elaboración propia (Navisworks, 2016)



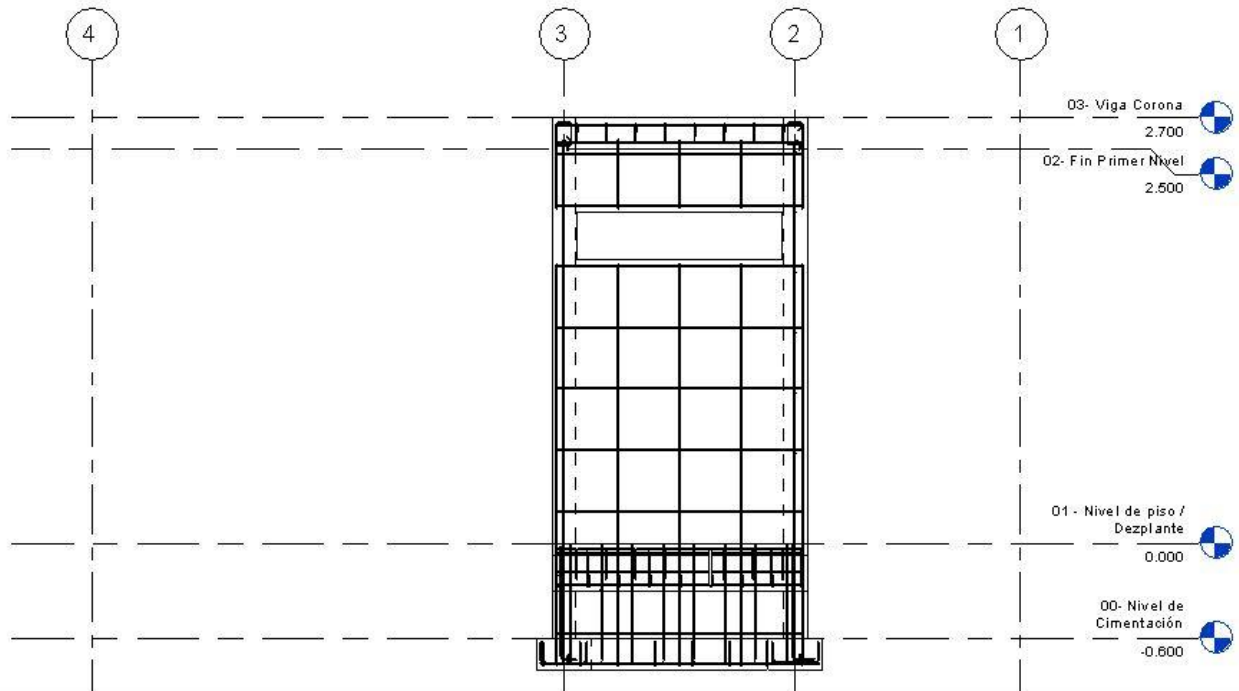
Plano de estructural de muro sección 1 con ejes modelado en Revit. Fuente: Elaboración propia (Revit, 2016)



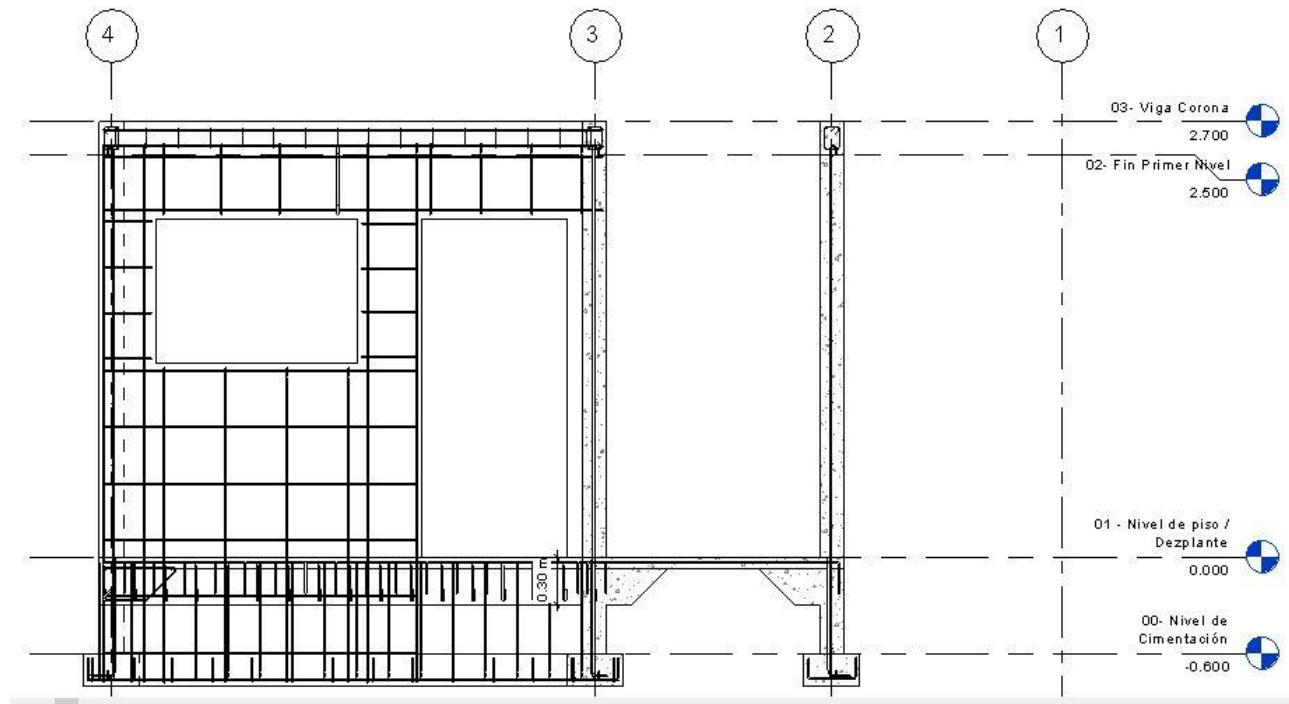
Plano de estructural de muro sección 2 con ejes modelado en Revit. Fuente: Elaboración propia (Revit, 2016)



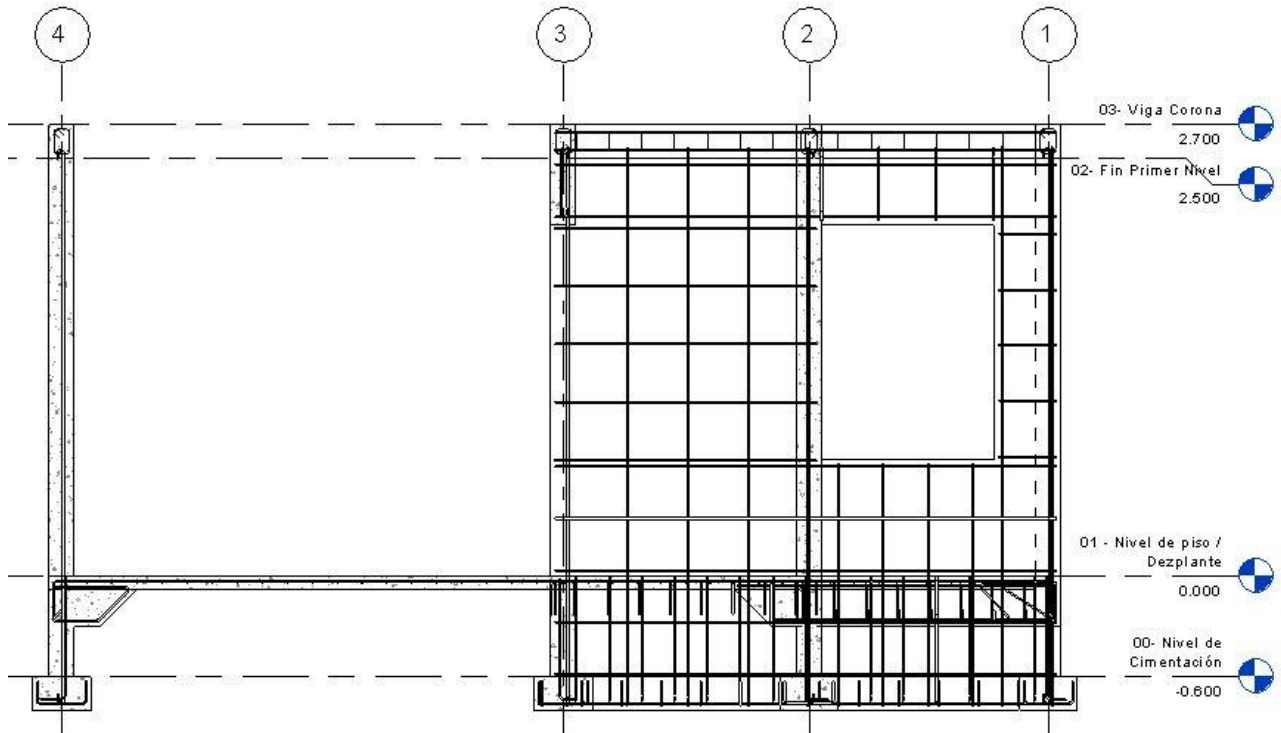
Plano de estructural de muro sección 3 con ejes modelado en Revit. Fuente: Elaboración propia (Revit, 2016)



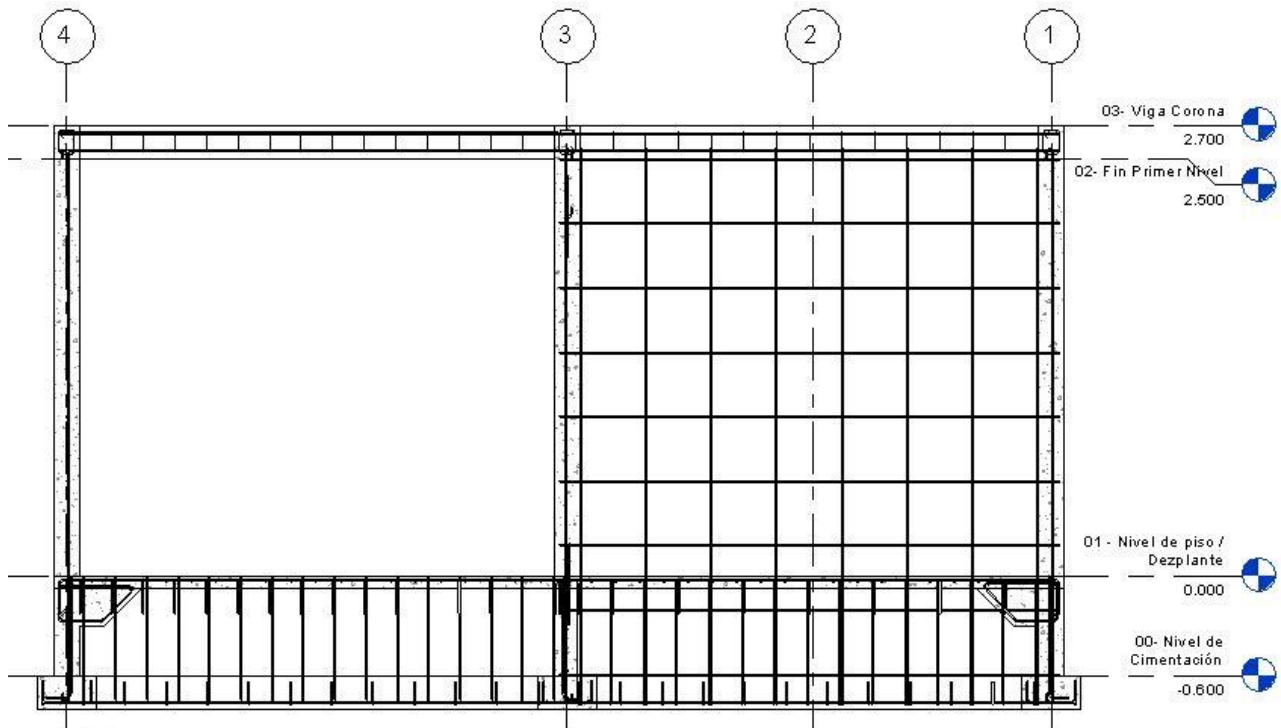
Plano de estructural de muro sección A con ejes modelado en Revit (Fuente: Elaboración Propia (Revit 2016))



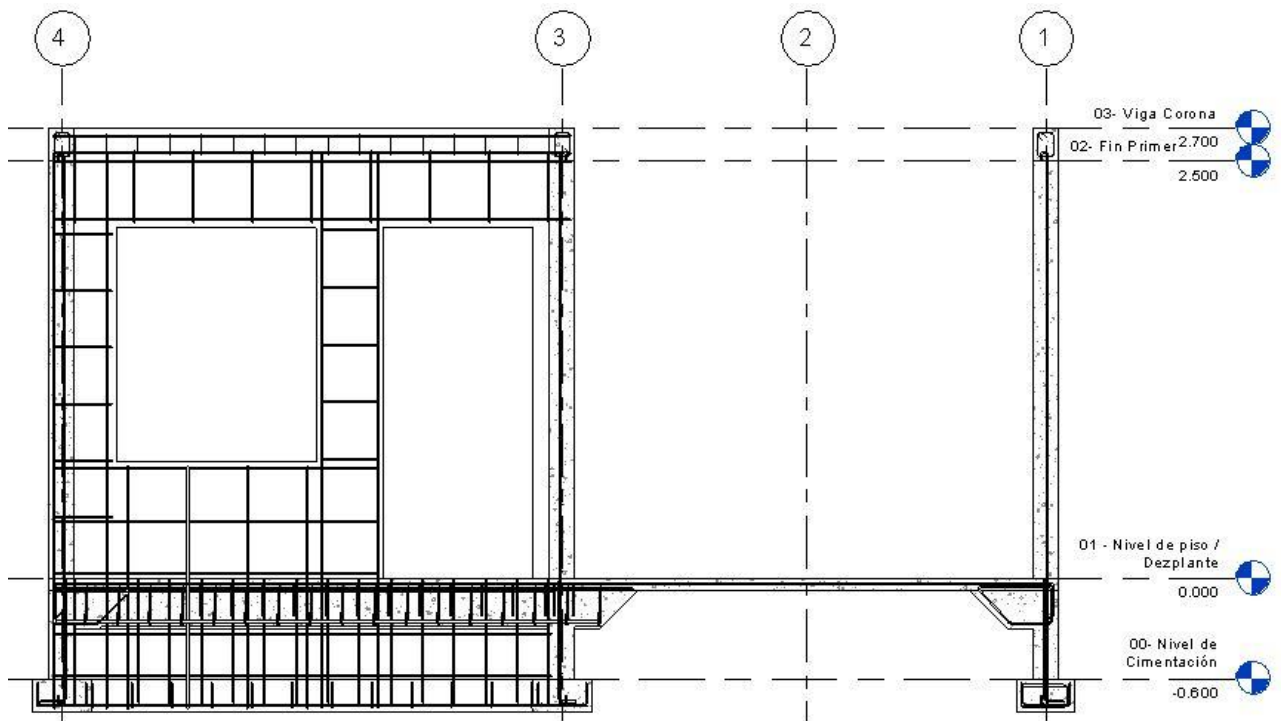
Plano de estructural de muro sección B con ejes modelado en Revit. Fuente: Elaboración propia (Revit, 2016)



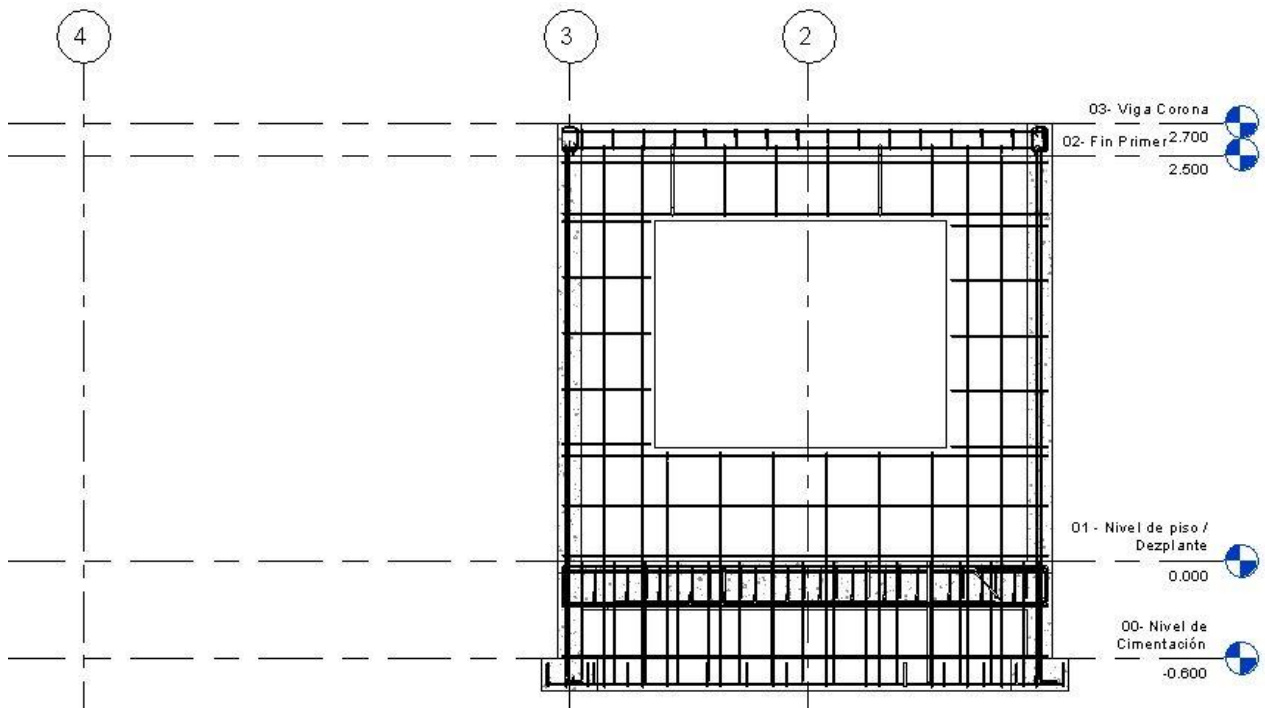
Plano de estructural de muro sección C con ejes modelado en Revit. Fuente: Elaboración propia (Revit, 2016)



Plano de estructural de muro sección D con ejes modelado en Revit. Fuente: Elaboración propia (Revit, 2016)



Plano de estructural de muro sección E con ejes modelado en Revit. Fuente: Elaboración propia (Revit, 2016)



Plano de estructural de muro sección F con ejes modelado en Revit. Fuente: Elaboración propia (Revit, 2016)

Anexos

ANEXO 1. Building Smart Spanish Chapter, Guía de usuarios BIM. Documento 1. Parte General.

ANEXO 2. Building Smart Spanish Chapter, Guía de usuarios BIM. Documento 2. Modelado del estado actual.

ANEXO 3. Building Smart Spanish Chapter, Guía de usuarios BIM. Documento 4. Diseño de instalaciones MEP.

ANEXO 4. Building Smart Spanish Chapter, Guía de usuarios BIM. Documento 9. Uso de modelos para Análisis de Instalaciones.

ANEXO 5. Building Smart Spanish Chapter, Guía de usuarios BIM. Documento 10. Análisis energético.

ANEXO 6. Building Smart Spanish Chapter, Guía de usuarios BIM. Documento 11. Gestión de un proyecto BIM.

Referencias

- A. G., & Goncalves, R. J. (2010). Value proposition on interoperability of BIM and collaborative working environments. *Elseiver*, 522-530.
- Alan Carrillo Rodriguez [Alan Carrillo Rodriguez]. (28 de Diciembre de 2015). *Revit Structure 2016 - Estructura de Concreto - Curso Básico*. Obtenido de <https://www.youtube.com/playlist?list=PLnVNG0K47IxoEwoIcizTLLbv7HUELdVQs>
- Building Smart Spain Chapter. (15 de Enero de 2014). *Guia de Usuarios BIM, Documento 13, Uso de los modelos en la fase de construcción. BuildingSMART Spain Chapter*. Obtenido de BuildingSmart Spain Chapter: <https://www.buildingsmart.es/bim/gu%C3%ADas-ubim/>
- Building Smart Spain Chapter. (8 de marzo de 2017). *Building Smart Spain Chapter*. Obtenido de Building Smart Spain Chapter: <https://www.buildingsmart.es/bim/qu%C3%A9-es/>
- Building Smart Spain Chapter. (19 de abril de 2017). *Building Smart Spain Chapter, Documento 6, Aseguramiento de la Calidad*. Obtenido de Building Smart Spain Chapter: <https://www.buildingsmart.es/>
- Building Smart Spain Chapter. (18 de abril de 2017). *Guia de usuario BIM Documento 6 Aseguramiento de la calidad, Building Smart Spain Chapter*. Obtenido de Building Smart Spain Chapter: <https://www.buildingsmart.es/>
- Building Smart Spanish Chapter;. (18 de abril de 2017). *Guía de Usuarios BIM, Documento 1, parte general*. Obtenido de buildingSMART Spanish Chapter: <https://www.buildingsmart.es/bim/gu%C3%ADas-ubim/>
- BuildingSmart Spain Chapter. (8 de marzo de 2017). *Guia de usuario BIM, Documento 3, Diseño Arquitectónico, BuildingSmart Spain Chapter*. Obtenido de BuildingSmart Spain Chapter: <https://www.buildingsmart.es/bim/qu%C3%A9-es/>
- BuildingSmart SpainChapter. (2 de marzo de 2017). *Guia de usuario BIM Documento 2 Modelado del Estado Actual, BuildingSmart Spain Chapter*. Obtenido de Building Smart Spain Chapter: https://www.buildingsmart.es
- Cheng, J., & M.Phil, Q. (2015). A review of the efforts and roles of the public sector for BIM adoption in

- worldwide. *Journal of the information Technology*, 442-478.
- Chi, H.-L., Wang, X., & Jiao, Y. (2015). BIM- Enabled Structural Design: Impacts and future developments in structural modelling, Analysis and Optimisation . *Architecture Computational Methods Eng* , 135-151.
- Ciribini, A., Mastrolembo, V., & Paneromi, M. (2016). Implementation of an interoperable process to optimise design and construction phases of a residential building: A BIM pilot project. *Automation in Construction*, 62-73.
- Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos. (2010). *Código Sísmico de Costa Rica*. San José, Costa Rica: Editorial Tecnológica Costarricense.
- Cus Badic, N., & Rebolj, D. (2016). Culture Change in Construction Industry: From 2D Toward BIM Based Construction. *Journal of information technology in Construction*, 86-99.
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). *BIM Handbook A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers and Designers*. Hoboken, New Jersey: John Wiley and Sons.
- Fernandez Rubio, C. (1 de julio de 2017). Consultas BIM Manager España. (J. S. Morales, Entrevistador) Georgia Tech School of Architecture. (martes 7 de Marzo de 2017). *Georgia Tech School of Architecture*. Obtenido de Georgia Tech School of Architecture: <https://arch.gatech.edu/about>
- Hoeber, H., & Alsem, D. (2016). Life-cycle information management using open-Standard BIM. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 696-708.
- International Organization for Standardization (ISO). (17 de abril de 2017). (ISO) *International Organization for Standardization*. Obtenido de (ISO) International Organization for Standardization: <https://www.iso.org/home.html>
- Jaime Guzman Delgado [Jaime Guzman Delgado [El BIM Manager Chile]. (13 de Febrero de 2017). *Tutorial Navisworks Manager 2016 en Español Creado por Jaime Guzman Delgado El BIM Manager Chile*. Obtenido de https://www.youtube.com/playlist?list=PLYGjnTeIm6JLle8RTQpb8yFROQ_T8C_J2
- Kim, C., Son, H., & Kim, C. (2013). Automated construction progress measurement using a 4D building information model 3D data. *Automation in construction*, 75-82.
- Lu, M. Q., & Cheng, J. P. (2015). A review of the efforts and roles of the public sector for BIM adoption worldwide. *Journal of Information Tecnology in Construction* , 442.
- Matthews, J., Love, P., Chandler, R., Rumsey, C., & Olatunj, O. (2015). Real time progress management: Re-engineering processes for cloud-based BIM in construction. *Automation in construction*, 38-47.
- Mojica, A. A., & Rivera, D. V. (2012). *Implementación de las metodologías BIM para la planificación y control de proceso constructivo de una edificación en Bogotá*. Bogotá D. C.: Pontificia Universidad Javeriana.
- Motawa, I., & Almarshad, A. (2013). A knowledge-based BIM system for

- building maintenance. *Automation in construction*, 173-182.
- Nepal, M., & Staub-French, S. (2015). Supporting Knowledge-Intensive Construction Management Task in BIM. *Journal of Information technology in Construction*, 13-38.
- Nepal, M., Staub-French, S., Pottinger, R., & Zhang, J. (2013). Ontology-Based Feature Modeling for Construction Information Extraction from a Building Information Modeling. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 555-569.
- Oti, A., Kurul, E., Cheung, F., & Tah, J. (2016). A framework for the utilization of Building Management Data in Building Information Models for building and operation. *Automation in Construction*, 195-210.
- Parlamento europeo y del concejo. (26 de febrero de 2014). Sobre contratación pública y por la que se deroga la Directiva 2004/18/CE. *Diario oficial de la unión europea*, págs. 94-242.
- Piedra Díaz, A. (1 de Setiembre de 2017). Consultas BIM Manager Costa Rica. (J. S. Morales, Entrevistador)
- Pikas, E., Sacks, R., & Hazzan, O. (2013). Building Information Modeling Education for Construction Engineering and Management. II: Procedures and Implementation Case Study. *Journal of Construction, Engineering and Management*, 1-13.
- R. L., M. P., & S. P. (2011). Assessment of conformance and interoperability testing methods used for construction product models. *Elseiver*, 418-428.
- SCRA . (16 de marzo de 2017). *PDEC, Inc.* Obtenido de PDEC, Inc: https://pdesinc.org/downloadable_files/STEPapplicationhandbook63006BF.pdf
- Singh, V., & Holmstrom, J. (2015). Needs and technology adoption: observation from BIM experience. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 128-150.
- Thomson Reuters. (7 de marzo de 2017). *Web of the Knowledge*. Obtenido de Web of the Knowledge: Tomado de la Base de datos del Tecnológico de Costa Rica
- U. I., & J. U. (2010). Two design patterns for facilitating Building Information Model-based synchronous collaboration. *ELSEIVER Automation in Construction*, 544-553.
- Won, J., & Lee, G. (2016). How to tell if a BIM project is successful: A goal-driven approach. *Automation in construction*, 34-43.
- X. X., L. M., & L. D. (2014). A framework for BIM-enabled life-cycle information management of construction project. *International Journal of Advanced Robotics System*, 1-13.
- Silva, V. (2011). *BIM The Summary of a Long History* Citado por (Mojica & Rivera, 2012)

