

**Detección de interferencias
constructivas y cuantificación de
materiales mediante el modelado en 3D.
Caso: edificio de la Oficina de Ingeniería
del TEC**

Abstract

This project is based on the use of computing tools to identify constructive interference and material quantification through 3D models, taking as a reference the building of the Oficina de Ingeniería at the TEC. Initial parameters are defined for design and modelling purposes, to ensure a correct evaluation and cubage of the project; to make this happen the same methodology recommended by the company BIM Construction is followed.

Subsequently, an architectural, structural, water supply, sanitary and air conditioning model for this project are all made possible with the employment of the Revit software from Autodesk, following the blueprints supplied by the same Engineering Department. These models are used to develop the 3D coordination using Navisworks software, which allows to find design inconsistencies according to the blueprints. After this, a solution to the most important inconsistencies is presented as well as the quantification of materials, using tables created in Revit and exported in the .txt file format; these tables are then presented in Excel to ensure a better readability and data tabulation.

Keywords: Examples: BIM, LOD, 3D model, 3D coordination, interference.

Resumen

El proyecto se basa en la utilización de herramientas computacionales para la detección de interferencias constructivas y la cuantificación de materiales mediante un modelo 3D, utilizando como referencia el edificio de la Oficina de Ingeniería del TEC. Se definen los parámetros iniciales de diseño y modelado, esto para que se lleve a cabo una correcta evaluación y cubicación del proyecto; para lograrlo se aplica la misma metodología recomendada por la empresa BIM Construction.

Posteriormente, con el programa Revit de Autodesk se modela la sección arquitectónica, estructural y los sistemas potable, sanitario y de aire acondicionado de dicho proyecto, para lo cual se toman como referencia los planos suministrados por el Departamento de Ingeniería. Dichos modelos son utilizados para realizar la coordinación 3D por medio del software Navisworks, el cual permite encontrar las incongruencias de diseño presentes en los planos. Luego, se solucionan las interferencias más importantes y se cuantifican los materiales, lo cual se lleva a cabo por medio de tablas creadas en Revit, las mismas se exportan en un archivo .txt y se agregan a una hoja de Excel para una mejor lectura y tabulación de todos los datos.

Palabras clave: Ejemplos: BIM, LOD, modelo 3D, coordinación 3D, interferencia.

Detección de interferencias constructivas y cuantificación de materiales mediante el modelado en 3D. Caso: edificio de la Oficina de Ingeniería del TEC

BRAYAN MORA PÉREZ

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

Julio del 2020

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN**

Dedicatoria

Agradezco y dedico este logro a mis padres por el esfuerzo realizado para que yo llegara hasta aquí; a ellos debo muchos de los éxitos de mi vida. A mis compañeros de carrera que me acompañaron en el proceso y me ayudaron a crecer intelectualmente. A todos esos amigos que me dejó la universidad que me ayudaron a desarrollarme como un mejor ser humano.

Gracias a todos.

Índice

Índice de figuras	2
Índice de cuadros	4
Prefacio	5
Resumen ejecutivo	6
Introducción	8
Alcances y limitaciones	9
Marco teórico	11
Metodología	45
Resultados	50
Análisis de los resultados	92
Conclusiones	98
Recomendaciones	99
Referencias bibliográficas	100
Apéndices	102
Anexos	122

Índice de figuras

1.	Desglose de elementos modelados en la categoría de techos, Revit (2019).	7
2.	Acontecimientos de BIM en algunos países.	15
3.	BIM en algunos países latinoamericanos.	16
4.	Ciclo de vida de un proyecto BIM.	18
5.	Programación de actividades con un software BIM.	19
6.	Análisis energético de una edificación.	20
7.	Dimensiones BIM según BIM6D.	21
8.	Render de una casa doble planta con Revit.	22
9.	Ejemplo de realidad virtual.	23
10.	Vista de realidad aumentada con un plano digital	23
11.	Detalle de acero de una fundación.	24
12.	Colisión de viga de acero con columna, programa Navisworks.	25
13.	Representación gráfica de silla según su grado.	31
14.	Niveles de LOD aplicados a una pared y sus sistemas involucrados.	33
15.	Obtención del nivel de riesgo.	42
16.	Edificio en 2D y 3D dentro de la interfaz de Revit.	43
17.	Seguimiento del cronograma de un proyecto por medio de Navisworks.	44
18.	Metodología empleada en el proyecto	46
19.	Parámetros de Identity Data de Autodesk Revit.	57
20.	Parámetros generales de una ventana.	59
21.	Proceso general del modelado.	60
22.	Flujograma de modelado arquitectónico.	61
23.	Flujograma de modelado estructural	62
24.	Flujograma de modelado MEP.	63
25.	Nombramiento del archivo arquitectónico y estructural.	64
26.	Configuración inicial del modelo.	65
27.	Configuración de grillas del proyecto.	65
28.	Configuración de niveles del proyecto.	66
29.	Configuración de paredes del proyecto.	66
30.	Configuración de los pisos del proyecto.	67
31.	Ejemplo de ventanas y puertas en el proyecto.	68
32.	Columnas y pedestales presentes en el proyecto.	68
33.	Columnas, pedestales y vigas contrapiso presentes en el proyecto.	69
34.	Columnas y vigas de acero presentes en el proyecto.	69
35.	Pedestales, vigas y contrapiso presentes en el proyecto.	70
36.	Estructura de acero presente en el proyecto.	70
37.	Refuerzo de acero presente en el proyecto.	71
38.	Techo, precintas y canoas del proyecto.	71
39.	Cielos del proyecto.	72

40.	Tapicheles del proyecto.	72
41.	Aceras, lastre compactado y escaleras exteriores del proyecto.	73
42.	Componentes del muro de contención.	73
43.	Muro de contención completo.	74
44.	Tuberías y sistemas MEP de aguas negras y grises.	75
45.	Sistema de aire acondicionado.	75
46.	Sistema de agua potable y agua caliente.	76
47.	Modelo federado de la Oficina de Ingeniería del TEC, programa Navisworks (2019).	78
48.	Modelo arquitectónico más estructural vs él mismo, programa Navisworks (2019).	79
49.	Clash de pedestales con lastre compactado.	79
50.	Clashes agrupados y clasificados, programa Navisworks (2019).	80
51.	Clash de cercha con tapichel, programa Navisworks (2019).	81
52.	Ejemplo del reporte generado por Navisworks para 1 clash.	81
53.	Clash de ventana con armazón de pared liviana.	82
54.	Corrida del modelo con las correcciones hechas.	83
55.	Colisión del edificio con el muro de contención.	83
56.	Nuevo análisis de interferencias con ambos modelos corregidos.	84
57.	Análisis de interferencias de edificio vs sistemas MEP.	85
58.	Recorrido virtual del edificio por medio de Navisworks, entrada principal.	86
59.	Recorrido virtual del edificio por medio de Navisworks, pasillo de oficinas.	86
60.	Faltante de ventana entre la oficina de la secretaria y la sala de espera.	87
61.	Ventana de oficina de dibujo más ancha de lo debido.	87
62.	Visualización de la ventana incorporada a la oficina de secretaría.	88
63.	Ventana de oficina de dibujo corregida.	88
64.	Composición de una pared de baño del proyecto.	89
65.	Tabla extraída de Revit de varillas usadas en el proyecto.	90
66.	Formato usado para la contabilización de los materiales.	90

Índice de cuadros

1.	Características del uso BIM	34
2.	Historial de revisiones, ejemplo	35
3.	Hitos del proyecto, ejemplo	36
4.	Ficha de usos BIM, ejemplo	37
5.	Usos previstos de los modelos, ejemplo	37
6.	Listado de entregables del proyecto, ejemplo	38
7.	Equipos de trabajo, ejemplo	39
8.	Roles de los miembros de cada equipo, ejemplo	40
9.	Recursos materiales (software), ejemplo	40
10.	Historial de revisiones	50
11.	Hitos del proyecto	51
12.	Usos previstos de los modelos	52
13.	Listado de entregables del proyecto	53
14.	Equipos de trabajo	55
15.	Roles de los miembros de cada equipo	55
16.	Recursos materiales (software)	55
17.	Formato usado para la contabilización de los materiales.	91

Prefacio

Como muchas industrias, el sector de la construcción ha ido evolucionando para mejorar sus procesos, aumentar la eficiencia y disminuir los costos asociados a este trabajo. En ese sentido, en los últimos años la tecnología ha realizado aportes significativos en esta área y se espera que continúen aumentando. Un ejemplo de ello es la metodología BIM, por medio de herramientas computacionales, se pueden mejorar los procesos constructivos los cuales pueden ir desde el diseño de la obra, el mantenimiento e incluso demolición de un edificio.

Esta metodología es muy compleja, no solo consiste en usar uno o dos software de diseño; BIM es toda una filosofía de cómo trabajar los proyectos constructivos de una manera más eficiente y colaborativa, y la consecuencia de su éxito es tal que en algunos países ya es obligatoria su utilización en proyectos públicos, Costa Rica no es la excepción. Actualmente existe un organismo llamado Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica (Mideplan), el cual es el encargado de la coordinación del Plan BIM Costa Rica, mismo que se implementará de forma gradual de cara al 2024 y cuyo objetivo es promover el desarrollo BIM el sector público, privado y académico dentro del país.

El proyecto se basa en el modelado, verificación y corrección de incongruencias y de cuantificar los materiales, por tal motivo no se podría decir que hay una aplicación de BIM en su totalidad, aunque sí de las áreas del conocimiento que forman parte de esta metodología. Desarrollar este proyecto de la mano con la asesoría de una empresa dedicada a trabajos BIM, es un buen inicio para incursionar en la aplicación de la tecnología en el área de la construcción.

Además, al desarrollar este proyecto tomando como ejemplo una edificación propia de la universidad, incluso se podría dar a conocer que la utilización de Revit puede ir más allá que el simple modelado, ya que según Maricela Hernández Quesada, quien pertenece al área de Coordinación de Dibujo de la Oficina de Ingeniería del TEC, este software solo se utiliza para realizar modelos dentro de este departamento, dejando por fuera otras posibles aplicaciones que facilitarían el proceso de licitación y/o hasta el control de obra de proyectos internos de la institución.

Se agradece a la empresa BIM Construction y a todos sus colaboradores por la oportunidad y la asesoría brindadas a lo largo de la ejecución de este proyecto de graduación. Se agradece a la Coordinadora de Dibujo Maricela Hernández Quesada por facilitar la ayuda y recursos necesarios para efectuar el trabajo. Además, se agradece al profesor guía Ing. Milton Sandoval Quirós por su asesoramiento y ayuda.

Resumen ejecutivo

Este proyecto pretende servir al estudiante como introducción a las nuevas tecnologías empleadas en la labor de la ingeniería civil. El estudio se basa en la implementación de la metodología BIM (Building Information Modelling), en un edificio propio de la universidad, específicamente, en la Oficina de Ingeniería del TEC.

En lo que respecta a la Escuela de Ingeniería en Construcción, la elaboración de este proyecto logra identificar algunas nuevas tendencias en el país en relación con la implementación de la tecnología dentro de la ingeniería. El uso de estas herramientas ha demostrado ser de utilidad en la industria de la construcción, por lo que este tipo de trabajos podría servir para darse una idea de las bastas posibilidades de mejora que permiten algunos software y las nuevas metodologías de trabajo colaborativo. Inclusive, como líder de ingeniería y tecnología, la Escuela de Ingeniería en Construcción podría tomar la iniciativa e implementar algunos contenidos BIM dentro de su plan de estudio.

El principal objetivo de este proyecto se basa en aplicar herramientas BIM para la detección de incongruencias constructivas y cuantificación de los materiales, lo anterior para el edificio de la Oficina de Ingeniería del TEC, todo mediante un modelo 3D y siguiendo la metodología empleada por la empresa BIM Construction, lugar donde se lleva a cabo la práctica.

Para lograr lo anterior se desglosa el trabajo en cuatro partes. La primer sección se basa en una investigación de todas las áreas relacionadas al modelado, coordinación y cuantificación de un proyecto. En esta etapa se concluye que el desarrollo de un BEP (Plan de Ejecución BIM), previo cualquier proyecto BIM, es de vital importancia para el desarrollo óptimo de cualquier labor que involucre esta metodología. Además, es recomendable que la persona o personas que realicen este documento posean un amplio conocimientos en las herramientas BIM y en la metodología en general. El BEP creado para este proyecto se basa en la Guía para la elaboración del Plan de Ejecución BIM (Jiménes et al., 2018).

También, en esta sección se desarrolla un flujograma del procedimiento que es recomendable seguir para la elaboración del un modelo 3D, con la salvedad de que este procedimiento no es definitivo, más bien se puede adaptar a las necesidades del modelador y a los gustos que este posea para desarrollar sus proyectos, no obstante, se puede tomar como base para las personas que empiezan a incursionar en esta área.

Las herramientas para llevar a cabo el proyecto son: Revit (2019) para la parte del modelado en dos y tres dimensiones, Navisworks Manage (2019) para el análisis de interferencias, ambos software de Autodesk, y Microsoft Excel para el manejo de los datos de la cuantificación.

Para la sección de modelación del edificio, se desarrolla un modelo con un LOD (Nivel

de desarrollo) 300. Esto quiere decir que los elementos modelados dentro del archivo van a poseer la información mínima para cumplir con los objetivos de coordinación y cuantificación. De este proyecto solamente se modelan las disciplinas arquitectónica y estructural; por motivos de alcance y tiempo, de la parte mecánica se modelan los sistemas potable, sanitario y de aire acondicionado solamente.

Dentro del análisis de interferencias se puede hablar de dos apartados, un análisis por Clashes (choques) y un análisis visual. En el primero lo que se hace es identificar cuáles elementos interfieren con otros, ya sea por un mal diseño o por una deficiencia en el modelado. Para el análisis visual lo que se hace es un recorrido virtual a lo largo de las instalaciones, con el fin de encontrar errores que no son por colisiones de elementos. Para las interferencias encontradas por ambos métodos se proponen soluciones.

Por último, para la sección de cuantificación se extraen los materiales por medio de tablas generadas directamente desde Revit (ver ejemplo en la figura 1), las mismas se importan en un archivo de Excel y se les da el formato adecuado. Cabe mencionar que en el modelo no se pueden colocar todos los elementos que componen el edificio, esto porque se invertiría mucho tiempo y la metodología perdería practicidad. Por tal motivo es que con los datos de los elementos modelados se hacen correlaciones para obtener los que no están en el proyecto.

<Roof Schedule>		
A	B	C
Family	Type	Area (m2)
Basic Roof	Lámina HG#26 esmaltada	739

Figura 1. Desglose de elementos modelados en la categoría de techos, Revit (2019).
Fuente: Autoría propia.

Se determina que tener claro cuál será el alcance BIM antes de empezar este tipo de proyectos, es fundamental para el desarrollo adecuado del mismo. Por tal motivo es que se establece la necesidad de la creación del BEP antes de dar inicio a cualquier proyecto BIM, además, realizar el proceso análisis de interferencias es de mayor utilidad cuando se lleva a cabo en la etapa de pre-construcción.

Introducción

La industria de la construcción ha tenido un crecimiento en la productividad casi nulo en las últimas décadas, caso contrario de otras industrias como el de la manufactura, la cual ha duplicado este mismo parámetro en el mismo lapso. Se estima que el 98 % de proyectos de gran envergadura tienen sobrecostos de más del 30 % y el 77 % de estas obras incurren en un atraso de no menos del 40 % (McKinsey, 2015). Es por esto que buscar nuevas soluciones a los problemas que posee el mundo de la construcción es indispensable para la mejora de este sector, máxime que es una de las industrias más grandes de la economía global, según lo indica el mismo autor.

El campo de la AEC (arquitectura, ingeniería y construcción) tuvo grandes cambios en el momento que empezó a existir el sistema CAD (Computer Aided Design). No obstante, la tecnología ha ido avanzando a pasos agigantados y está inmerso en cada una de las ramas en las que el ser humano está involucrado. Actualmente, cuando se habla de tecnología aplicada a la AEC se piensa en BIM (Building Information Modeling), el cual ha tenido cierto recelo para que su implementación sea aceptada totalmente por el gremio.

Uno de los grandes inconvenientes que posee la industria de la construcción es que los involucrados del proyecto trabajan de una forma aislada o descentralizada, lo que genera un volumen grande de retrabajos, ocasionando que el proceso de diseño y construcción sea ineficiente. Exactamente esto es lo que se pretende erradicar con BIM, que, por medio de modelos en tres dimensiones, cada una de las disciplinas involucradas pueda trabajar colaborativamente, lo anterior en las distintas etapas del ciclo de vida de un proyecto, tales como: planificación, diseño, construcción y operación (Autodesk_Inc, 2020b).

El presente proyecto se basa en la aplicación de la metodología BIM dentro de un proyecto de infraestructura, más específicamente en la Oficina de Ingeniería del Tecnológico de Costa Rica. Dentro de las labores a desempeñar se encuentran: el modelado del edificio en cada una de sus disciplinas (arquitectónico, estructural y mecánico), la verificación y corrección de incongruencias y además, la cuantificación de los materiales del proyecto, eso mediante los software Revit y Navisworks de Autodesk.

Existen múltiples aplicaciones de esta metodología dentro de un proyecto de construcción; las mismas varían de acuerdo a los objetivos BIM que desee el desarrollador o la empresa que quiera aplicar dicha metodología. Todas estas estrategias, procesos y técnicas se establecen dentro del documento BEP (Plan de Ejecución BIM). Para el cumplimiento de los objetivos del proyecto realizado, se determinó en el BEP que la metodología aplicada para el diseño 3D, coordinación de disciplinas y la cuantificación de materiales, se lleva a cabo según los procedimientos y recursos que presta la empresa BIM Construction, lugar donde se realiza la práctica profesional; aunado a los aportes más relevantes encontrados en la literatura.

Dentro de los productos obtenidos en el proyecto está el desarrollo total de un BEP, un flujograma del proceso utilizado para el modelado del edificio, un modelo 2D y 3D de las tres disciplinas ya mencionadas, un modelo federado con cada una de ellas, un listado de las interferencias más relevantes encontradas y su respectiva solución, y finalmente, una lista de los materiales necesarios para construir el proyecto, cada una con sus unidades respectivas según se nombran en presupuestos convencionales. No se cuenta con una superficie topográfica, por lo que la cuantificación de este apartado se ve limitada.

Objetivo general

Aplicar herramientas BIM para la detección de incongruencias constructivas y cuantificación de los materiales del proyecto del edificio de la Oficina de Ingeniería del TEC, mediante un modelo 3D.

Objetivos específicos

- Definir los parámetros iniciales de modelado que permitan la posterior detección de incongruencias y cubicación del proyecto.
- Elaborar un modelo en dos y tres dimensiones de las Oficinas de Ingeniería del TEC utilizando Revit.
- Analizar las interferencias del modelo, mediante el modelado del proyecto con el software Navisworks Manage.
- Cubicar los materiales de los distintos elementos del proyecto, utilizando los software Revit y MS Excel.

Alcances y limitaciones

Dentro de los alcances presentes en este proyecto se encuentra la generación de un modelo federado, en el que todas sus disciplinas (arquitectónica, estructural y los sistemas MEP de agua potable, caliente, negras, grises y aire acondicionado) se encuentren coordinadas entre sí. Para lograrlo se realiza un modelo en 2D y 3D de la Oficina de Ingeniería del TEC. Además, se realiza una contabilización de los materiales involucrados dentro del proyecto.

El modelo en 3D está limitado a un LOD (Level of Development) 300, con excepción de las puertas y ventanas, las cuales van a poseer un LOD 200, esto debido a que de ellos se busca que solo representen el espacio que van a ocupar dentro del modelo. Es importante mencionar que algunos materiales que se puedan sacar por medio de una correlación con otros elementos, no se van a modelar porque deja de ser práctico. Objetos, como la estructura que sostiene los cielos, se pueden calcular por medio de una relación de área de los cielos como tal, y así otros

materiales que se mencionan en la sección de contabilización.

Una de las limitaciones de este proyecto es que no se cuenta con una superficie topográfica, por lo que el cubicaje del movimiento de tierras no se podrá realizar. Aunado a lo anterior, el proyecto ya se encuentra construido, pero no se cuenta con los planos As Built, es por esto que no se puede verificar si las correcciones que se hicieron son las mismas que se realizaron dentro del edificio. También, el muro de contención no posee dimensiones definidas, trabaja en un rango de altura y como no se tiene la topografía no se puede diseñar, por lo que se hace una suposición simplemente para poder modelarse.

Por otro lado, la creación de planos 2D solamente se limita a demostrar que la herramienta BIM también permite generarlos con el mismo detalle que las tecnologías anteriores (CAD). No se considera importante realizar un juego de planos completo ya que esto no aporta significativamente a las funciones ingenieriles como tal.

Además, se debe tomar en cuenta que el alcance del proyecto consiste en proponer soluciones a las interferencias encontradas, no obstante, debe quedar claro que son soluciones viables a nivel constructivo, mas no poseen un diseño ingenieril porque no se saben las consideraciones que se tuvieron para diseñar esos elementos.

Cabe destacar que la finalidad del proyecto no es generar un producto enfocado en ayudar a la empresa BIM Construction ni a la Oficina de Ingeniería del TEC, está más relacionado con el aprendizaje de estas herramientas computacionales del sector de la construcción y de la metodología BIM.

Marco Teórico

¿Qué es BIM?

Building Information Modeling (BIM), que puede traducirse a “Modelado de información de Construcción”, es un tema que se incorpora cada vez más en la industria de la arquitectura, ingeniería y construcción. Dada a su amplia gama de aplicaciones que tiene dentro de este ámbito, es complejo encontrar una definición que abarque todas las áreas del conocimiento del mundo BIM.

Autodesk Inc (2020b) describe esta metodología como un proceso inteligente basado en modelos 3D que brinda a los profesionales de arquitectura, ingeniería y construcción (AEC) la información y las herramientas para planificar, diseñar, construir y administrar edificios e infraestructura de una manera más eficiente.

Por otro lado, Building Smart (2020) aclara que, “Building Information Modeling (BIM) es una metodología de trabajo colaborativo para la creación y gestión de un proyecto de construcción. Su objetivo es centralizar toda la información del proyecto en un modelo de información digital creado por todos sus agentes.”

Ambas definiciones hacen referencia a la utilización de un modelo para que esta metodología se lleve a cabo. Aunque un modelo en tres dimensiones es parte fundamental en esta filosofía de trabajo, la parte más importante de BIM es la gestión de la información del proyecto. El intercambio de información entre cada uno de los equipos de trabajo hace que todo el proyecto se ejecute de una forma más eficiente en cada una de las etapas que lo conforman (diseño, construcción, operación y demolición).

De los conceptos explicados por los autores ya mencionados se puede sintetizar que, BIM es una metodología en la cual se emplea un modelo en 3D para representar una obra de infraestructura; el mismo posee toda la información relevante para el proyecto y está de forma organizada y centralizada para generar un entorno colaborativo entre todos los involucrados. Tiene que quedar claro que BIM no es un software como tal, más bien es la utilización de diferentes herramientas que permiten lograr los objetivos planteados en cada proyecto.

Origen y evolución del BIM

La historia de esta metodología se inicia desde el momento en el que se empieza a utilizar la tecnología computacional como base del diseño geométrico. Actualmente, las herramientas CAD (Computer-Aided Design), están presentes en todas las oficinas y escuelas de arquitectura e ingeniería. Sin embargo, el aprovechamiento tecnológico en estas áreas, en general, ha

sido relativamente bajo. Pueden existir muchas razones, entre ellas la falta de formación o los perjuicios de algunos profesionales hacia estos sistemas (Coloma, 2008).

Aunque la estrategia CAD sustituyó el papel por un sistema digital, el diseño aún sigue dependiendo de modelos independientes, lo cual BIM intenta erradicar. A continuación se hace una síntesis de toda la historia relacionada a este tema y que es expuesta por García (2017) y Blanco (2018).

1957

Se crea el primer software de fabricación asistido por computadora CAM por sus siglas en inglés de Computer-Aided Manufacturing. Este es un puente entre el uso de tecnología computacional en el mundo de la manufactura de productos.

1961

Se da inicio con la investigación del gráfico generado por una computadora, DAC (Diseño Automatizado por Computadora), que se convirtió en el primer programa CAM/CAD.

1963

Es en este año que Ivan Sutherland desarrolla el primer sistema de Diseño Asistido por Computadora (CAD) llamado Sketchpad. Este sería el primer programa capaz de generar líneas en una pantalla.

1974

Charles Eastman, considerado una de las máximas autoridades en el mundo BIM, publica un prototipo llamado Building Description System (BDS). Este sistema posee los contenidos que tiene BIM en la actualidad. El documento tiene por nombre "An outline of the building description system".

1982

La forma en la que se visualiza hoy en día el BIM como tal, se debe principalmente a Gábor Bojar y Leonid Raiz, quienes fueron los fundadores de ArchiCAD y Revit. En 1982, Gábor comienza a desarrollar ArchiCAD.

1984

No es hasta 1984 que se lanza la primer versión comercial de ArchiCAD, este con el nombre de Graphisoft's Radar CH para el sistema operativo Apple Lisa, siendo este el primer software BIM para ordenadores personales. En este mismo año nace AutoCAD de Autodesk.

Luego de haber creado varios programas de CAD para su propia empresa, Georg Nemetschek crea Allplan, considerado el segundo software BIM para ordenadores personales.

1987

Sale al mercado ArchiCAD. Este mismo año Tekla lanza su primer versión del sistema.

1988

Pro/ENGINEER, el cual fue considerado como el primer software de diseño de modelado paramétrico comercializado en la historia de BIM, fue lanzado en 1988.

1993

Se crea la primer versión de ArchiCAD para Windows, convirtiéndose en el primer software CAD-BIM multiplataforma. Para este mismo año sale al mercado el Asesor de Diseño de Edificios en el Laboratorio Nacional Lawrence Berkeley, este realizaba simulaciones y soluciones sugeridas tomando como base un modelo.

1997

ArchiCAD lanza su primer solución de trabajo en equipo teniendo como base el intercambio de archivos.

2000

Revit Technology Corporation crea su primer versión para el año 2000, además, procesaron la nueva metodología de comercialización, ya no de forma física sino por una suscripción mensual por medio de internet.

2001

Navisworks comercializa JetStream, software creado para la revisión de modelos en 3 dimensiones, además de herramienta para la navegación CAD en 3D.

2004

En el 2002 Autodesk compra Revit y en el 2004 lanzan la versión de Revit 6.

2012

Se desarrolla Formit, un software de Autodesk que permite la visualización de un modelo BIM en un dispositivos móvil.

BIM en el mundo

Según el artículo BICP BIM Global Study publicado en el 2016 por McAuley,B., Hore, A. y West,R., la Comisión Europea otorgó financiación para el trabajo del EU BIM Task Group durante el periodo 2016-2017, esto con el fin de alinear el uso de BIM dentro de la red Europea, enfocada a la contratación de obras públicas.

Los mismos autores mencionados hacen un recuento del proceso de implementación BIM en algunos países. Por ejemplo, UK da el mandato de obligatoriedad del uso BIM en proyectos gubernamentales a partir del 2016. Escocia lanza el programa de Implementación BIM Nivel 2 en el 2015; Nivel 2 hace referencia a una colaboración completa de las partes involucradas de

un proyecto. Se estipula en este país que a partir del 2017 es requisito usar BIM Nivel 2 para proyecto con costos sobre los 4,32 millones de euros.

Por otro lado, Italia introduce BIM como mandato en obras públicas que sobrepasen los 5,225 millones de euros, esto a partir de octubre del 2016. España hace este mismo mandato BIM para el 2018 y para el 2019 se incorpora esta metodología en proyectos de infraestructura. En este país se crea el comité llamado Comisión para la Implantación de la Metodología BIM, el cual se encarga de promover el uso de BIM dentro del sector de la construcción de España.

Los países Escandinavos han liderado la implementación de esta metodología por muchos años. En Finlandia se establece BIM como elemento central de cambios en el sector de la construcción desde el 2002. En Dinamarca se encuentra presente desde el 2011, cuando el Parlamento danés decide la obligatoriedad de BIM en proyectos de más de 2,7 millones de euros y para proyectos gubernamentales superiores a 677 000 euros.

Y así muchos otros países como China, Canadá, Japón, Portugal y Estados Unidos, han ido adoptando esta metodología dentro del sector de la construcción como parte de su filosofía de trabajo. También empiezan a surgir entidades con el fin de promover o regular la implementación de BIM, tales como The Institute for BIM in Canada (IBC) y CanBIM de Canadá y el State of Ohio BIM Protocol de Estados Unidos. Incluso, instituciones ya establecidas comienzan a involucrarse o a generar reglamentos y mandatos sobre esta metodología, como lo son The Veterans Affairs Office of Construction and Facilities Management, New York City Department of Design and Construction de EEUU, entre otros.

El artículo "BIM adoption around the world: how good are we?", publicado en el 2018, hace un resumen, por medio de una imagen, de todos los hitos de la implementación BIM en los países ya mencionados, con la inclusión de algunos otros (ver figura 2). Se colorean en verde los países que tienen estándares de Open BIM, así como mandatos específicos; en Rojo los países donde ya existe un mandato de aplicabilidad BIM en ciertos proyectos, principalmente los de origen público; en azul los que van a tener mandatos en un futuro, en gris los que están con un programa de implementación BIM y en amarillo los que planean adoptar esta metodología.

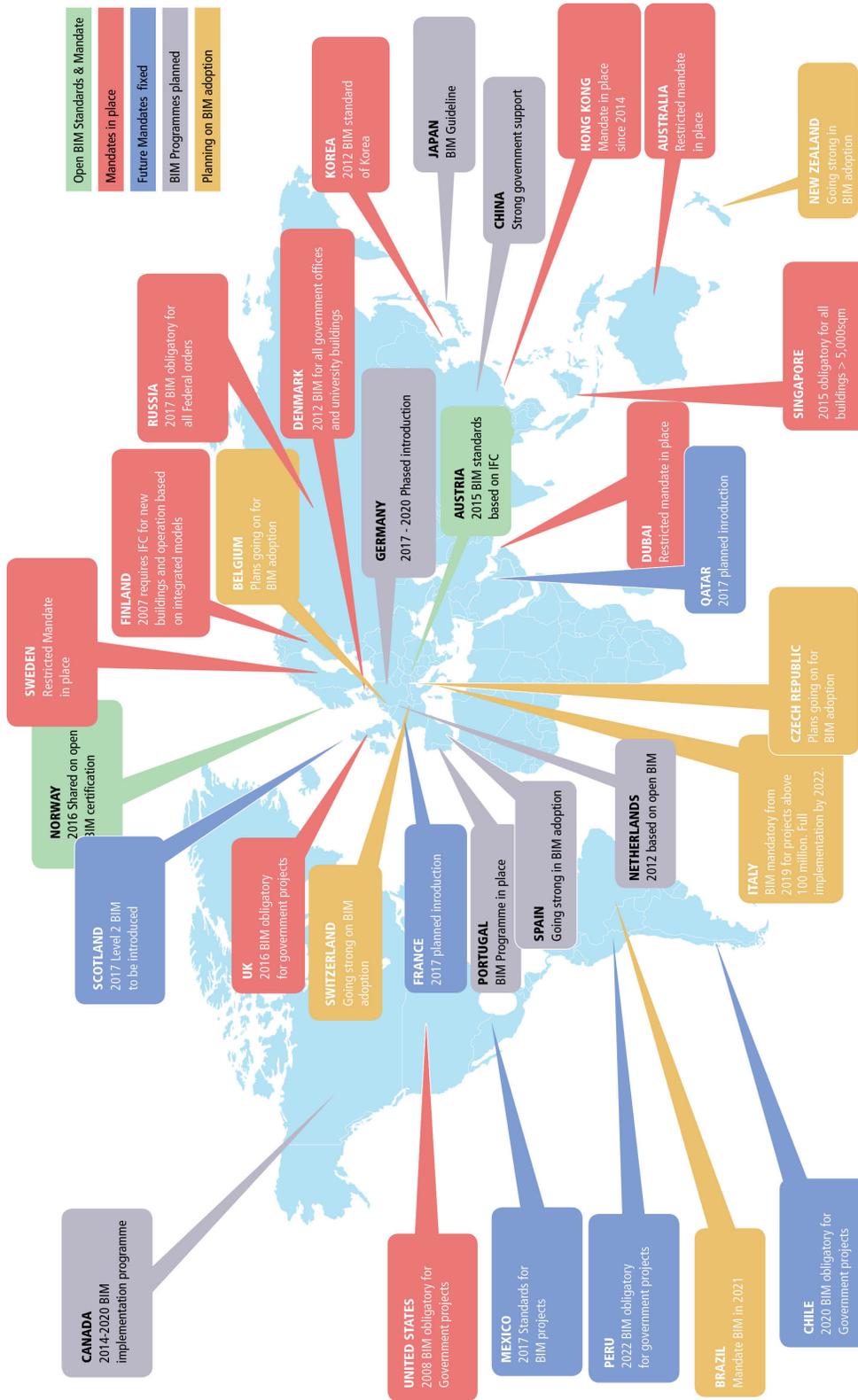


Figura 2. Acontecimientos de BIM en algunos países.
Fuente: Shimonti (2018).

En el contexto de América Latina, Editeca realiza entrevistas a exponentes importantes de cada uno de los países que componen esta región, misma con el fin de documentar y entender qué tanto se ha integrado la metodología BIM en estos países hasta el año 2020; los documentos llevan como nombre “El BIM en Latinoamérica en 2020 – Parte 2”, “El BIM en Latinoamérica en 2020 – Parte 1” y “El BIM en Latinoamérica [Actualizado]”. Dentro de la síntesis de este estudio está que el desarrollo o implementación de BIM ocurre de una forma desigual y a un ritmo diferente en todo el continente. Países como Chile, Cuba, Colombia y Perú ya la han incorporado.

Países como Venezuela, Nicaragua y Ecuador son los que cuentan con menor presencia de esta metodología dentro de sus proyectos de construcción; este último hace un hincapié en que la mayor parte de los protagonistas en asuntos BIM están dados por la empresa privada, en las cuales se fomenta el uso de esta tecnología por la insistencia de la inversión extranjera.

Argentina, al igual que Costa Rica, Chile, Colombia, México y Panamá, poseen una instancia técnica llamada BIM Forum (de cada país), la cual pretende promover la buenas prácticas, investigación y capacitación en materia BIM. Como ya se mencionó, Chile es uno de los países latinos que más ha incorporado BIM dentro de su estrategia de trabajo; es en este país donde se crea la organización Plan BIM con el objetivo de promover el uso de esta metodología tanto en instituciones públicas como privadas. Por otra parte, se menciona que México posee un plan de adopción BIM llamado MIC (Modelado con información para construcción), que es para los proyectos de infraestructura pública. Se busca con esto que para el 2020-2026, BIM sea una metodología obligatoria.

Con relación a la formación de esta metodología, apenas comienza la iniciativa de incorporar este tema como parte del perfil profesional universitario, aseveran que será de una forma paulatina. En la figura 3 se observan algunos de los países latinos que tienen el BIM en pleno auge (azul oscuro) y otros que apenas lo están incorporando (azul claro).



Figura 3. BIM en algunos países latinoamericanos.
Fuente: Nieto (2020a).

En el caso específico de Costa Rica, en el año 2017 La Cámara Costarricense de la Construcción (CCC) constituyó el BIM Forum Costa Rica, grupo que está a cargo en temas relacionados con esta metodología dentro del país. Se empieza a trabajar en la inclusión de esta metodología dentro del país de una manera más formal. En el año 2019 la CCC y BIM Forum CR llevan a cabo el Congreso Nacional BIM 2019, en el cual se abordaron temas como la industrialización de los procesos constructivos y la transformación de los modelos de negocio a través de la digitalización (CCC, 2019).

Aunado a lo anterior, en febrero del presente año el Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica (Mideplan), entidad a la cual se adjudica la coordinación del Plan BIM Costa Rica, presenta la Estrategia Nacional BIM Costa Rica mismo que funciona como base para el Plan BIM.

Dicha estrategia hace mención de la creación del Plan BIM CR como parte de sus objetivos principales y se establece un mandato gradual de cara al 2024 para la integración de esta metodología. Se determina que se tiene como plan promover el desarrollo de capacidades asociadas a la metodología BIM en el sector público, privado y académico.

Además, se establece que el país debe de crear condiciones favorables para una construcción 4.0, esto para garantizar los avances tecnológicos dentro de esta área. Se determina que se debe monitorear el nivel de madurez de esta metodología en cada institución pública. Además, se insta a la creación de un marco normativo de la implementación BIM en el país, y se habla de elaborar una estrategia de comunicación y diseminación de BIM en Costa Rica todo lo anterior se propone realizar entre el periodo del 2020 y 2024 (Mideplan, 2020).

Siete Dimensiones BIM (ciclo de vida de un proyecto BIM)

En un proyecto BIM se puede hacer uso de una o varias aplicaciones que posee esta metodología, sin necesidad de utilizarlas todas en conjunto. Cuando se habla de procesos BIM se pueden categorizar en 7 fases que son llamadas dimensiones, las cuales completan el ciclo de vida de un proyecto, este se puede observar en la figura 4. A continuación se hará una breve descripción de cada dimensión según García (2019) y BIM6D (2015).

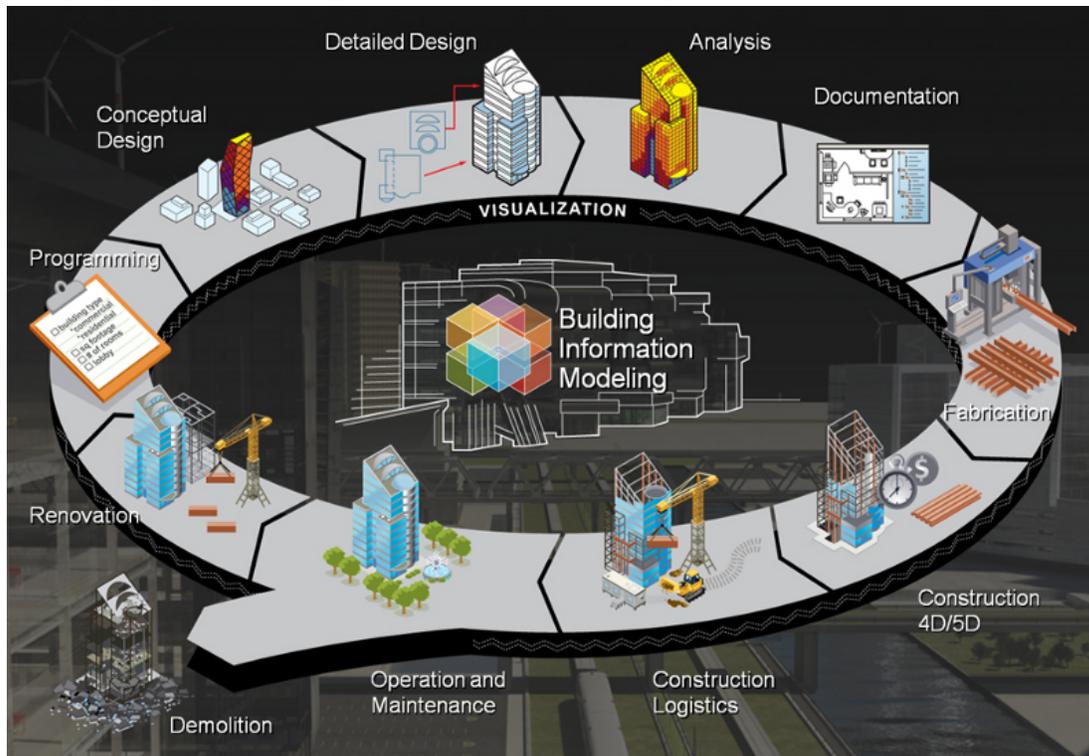


Figura 4. Ciclo de vida de un proyecto BIM.
Fuente: Cherkaoui (2018).

1D-Idea

En esta dimensión se genera la idea del proyecto, es el origen de este y se deben identificar todos los requerimientos necesarios y la información de partida, la cual es esencial para nutrir el proceso de diseño. Aquí se puede hablar de estudios de mercado, estudios previos como el análisis de sitio, hasta preparar en BEP que guiará a los agentes involucrados en el proyecto.

2D-Vector o boceto

Se realizan los trabajos y estudios para desarrollar el proyecto base, el cual permitirá avanzar el proceso de diseño y cálculo. No solo se reduce a planos y esquemas, sino que se define la dirección del proyecto, así se establecen materiales, predimensionamientos y una estimación de costos sobre la obra a definir.

3D-Modelado tridimensional

En la tercera dimensión se presenta el modelado del proyecto que está orientado a los objetos que lo componen. Este modelo representará la información relevante del diseño arquitectónico

y demás disciplinas que se ven involucradas. En esta etapa es de suma importancia incorporar información que puede afectar a las dimensiones posteriores.

4D-Programación

Si se toma como partida un modelo BIM, con elementos constructivos parametrizados, la dimensión 4D permite analizar la planificación temporal de la obra y cada uno de los trabajos que se necesitan para llevarla a cabo. La planificación permite visualizar el proceso constructivo por medio de gráficas o diagramas de Gantt, hasta se pueden generar videos de este proceso.

Un ejemplo de aplicación de esta dimensión, según lo expone Ipsum (2018), es que con un modelo en 4D se puede presentar de una manera más eficiente a cada cuadrilla, qué se tiene planificado por hacer un día, una semana o en un mes en específico. Aunado a lo anterior, mostrar el avance de obra esperado y su avance real, son algunos de los servicios que ofrece esta cuarta dimensión (ver figura 5).

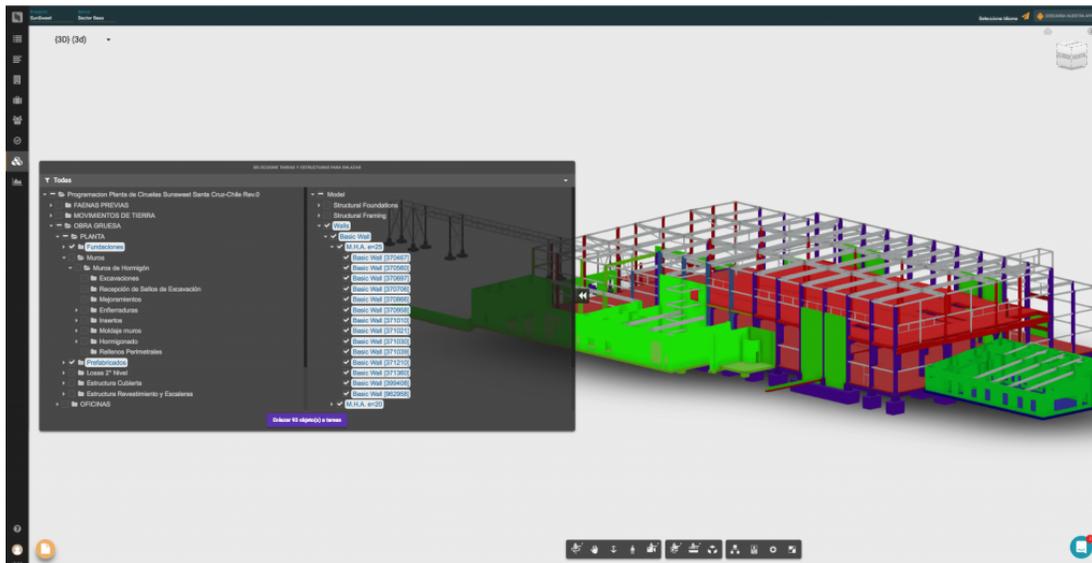


Figura 5. Programación de actividades con un software BIM.

Fuente: Ipsum (2018).

5D-Control de costos

Comprende la estimación de los gastos y el control de costos de un proyecto. Se relaciona con la mejora en la rentabilidad. Se pueden generar tablas de planificación para obtener presupuestos o verificar el cumplimiento de estos.

6D-Sostenibilidad

Con esta dimensión se simula el comportamiento de sistemas energéticos, así como la gestión de los recursos, lo que puede ayudar en la toma de decisiones para optimizar el gasto energético y el impacto al medio ambiente.

Eadic (2017) menciona que, en términos de sustentabilidad, los modelos BIM facilitan los estudios referentes a los impactos que pueda tener la infraestructura en la sociedad o el medio ambiente. Cabe mencionar que se hacen varios supuestos para este tipo de análisis, por lo tanto los resultados reales pueden no ser los más acertados. Algunos de los análisis que se pueden efectuar son: la incidencia de la luz natural, consumo energético, rendimiento térmico y definición de sistemas que provoquen sombras. En la figura 6 se muestra un ejemplo de un análisis energético hecho a un edificio.

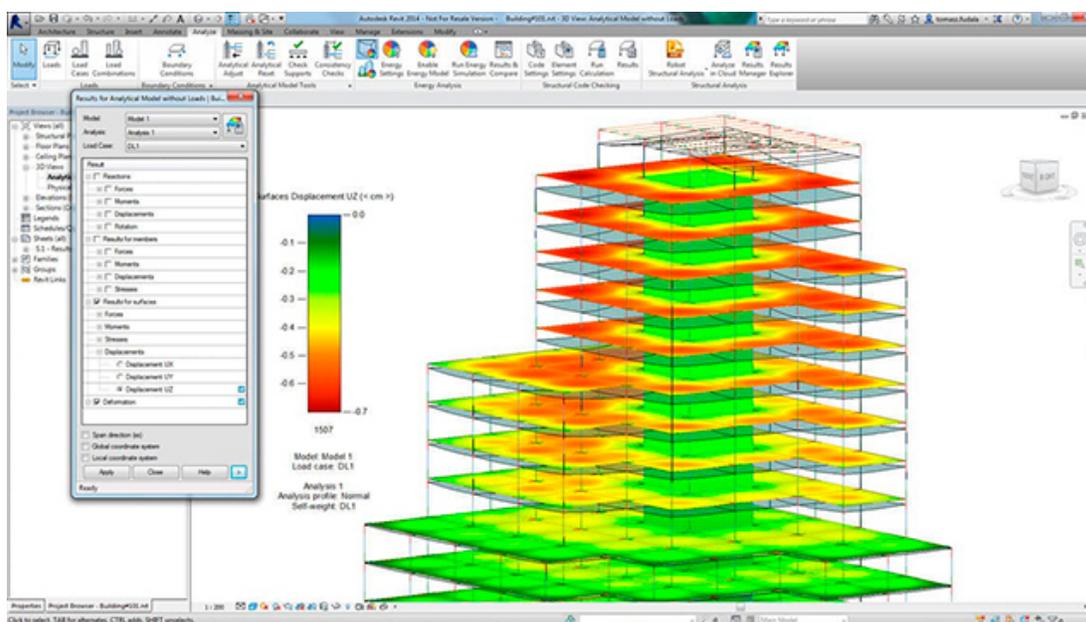


Figura 6. Análisis energético de una edificación.
Fuente: Eadic (2017).

7D-Mantenimiento

Por último, un modelo BIM podría servir para que, una vez terminada la ejecución del proyecto, se genere un “as built” que permite conocer el estado actual de los objetos o elementos a los cuales es necesario darles mantenimiento; dentro de estos se puede hablar de dotar de información en la instalaciones y objetos electromecánicos, con el fin de garantizar un buen funcionamiento y mantenimiento.

BIM6D (2015) resume las primeras seis dimensiones en la figura 7.

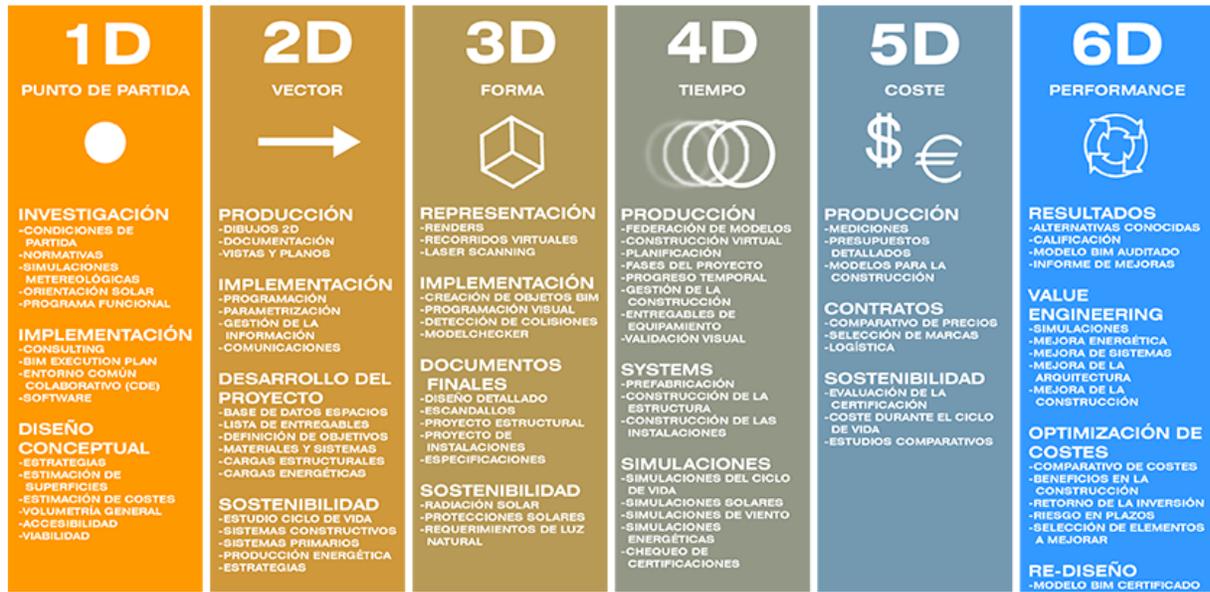


Figura 7. Dimensiones BIM según BIM6D.
Fuente: BIM6D (2015)).

Usos de la metodología BIM

BIM se puede traducir como el Modelado de Información de Construcción; los usos que se le pueden dar a este sistema están relacionados con alguna o varias de las siglas que lo componen. Blanco (2018) describe cada una de las palabras que conforman este acrónimo como:

Building: construcción de forma muy globalizada, en este concepto no solo se habla de edificaciones sino de infraestructura en general.

Information: se habla de gestión de toda la información referente al ciclo de vida de un proyecto, desde que se inicia su conceptualización, hasta su demolición.

Modeling: se puede entender como el proceso de crear un modelo en tres dimensiones, para crear un prototipo, un objeto virtual que represente algo físico de la vida real.

Los usos de la metodología BIM dentro de toda el área de la construcción e infraestructura son múltiples; dichas aplicaciones estarán sujetas a los objetivos planteados para cada proyecto. Se puede decir que las dimensiones BIM ya mencionadas en apartados anteriores, son usos que se le pueden dar a esta metodología, pero algunos otros más específicos que puede ofrecer, según lo menciona Saldias (2010), son los siguientes:

1. Marketing

El marketing es un paso muy importante que toda empresa debe considerar para darse a conocer y para la adquisición de clientes. Ciertamente la forma en la que se presenta un proyecto puede radicar en la adjudicación o venta de un proyecto (Grozdanic, 2016).

Existen varias formas en las que BIM es parte del marketing de una entidad. Aunque mencionar todas las ventajas económicas y de reducción de tiempo que puede aportar esta metodología quizá funcione para vender un producto o servicio, existen otras ventajas más visuales que se pueden mencionar.

En la figura 8, se presenta la renderización de una casa de dos niveles, en la cual se pueden observar los acabados y los colores de los elementos exteriores, esto facilitaría la toma de decisiones del propietario de acuerdo a los acabados o a la distribución misma. En la figura 9 se presenta como se manejan los lentes de realidad virtual (HDM), estos permiten visualizar el recorrido que se esté haciendo dentro de un modelo. Para finalizar, en la figura 10 se muestra el mismo modelo de la figura 8, pero esta vez en realidad aumentada, la cual, por medio de un plano y un dispositivo externo, permite ver el modelo como si este sobresaliera del visualizador (celular).

En muchas ocasiones las personas que desean construir un proyecto no tienen conocimientos técnicos en el área de la construcción, por esta razón presentar un plano con la geometría de la estructura no queda muy claro, en cambio, si se presentan cortes, vistas, modelos en 3 dimensiones y hasta un modelo en realidad virtual, puede hacer que esa persona tenga una mejor idea de lo que está ocurriendo o lo que se construirá.

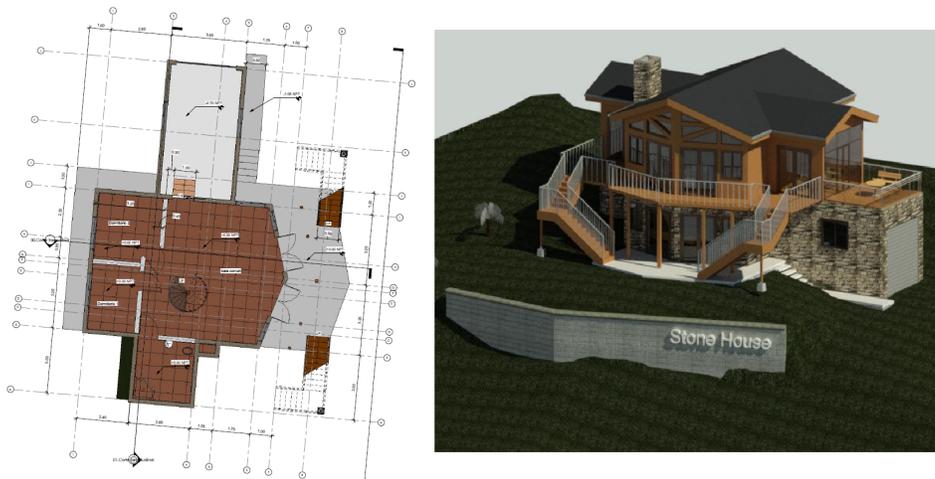


Figura 8. Render de una casa doble planta con Revit.
Fuente: Autoría propia.



Figura 9. Ejemplo de realidad virtual.
Fuente: obtenido de Fourdplan.com.

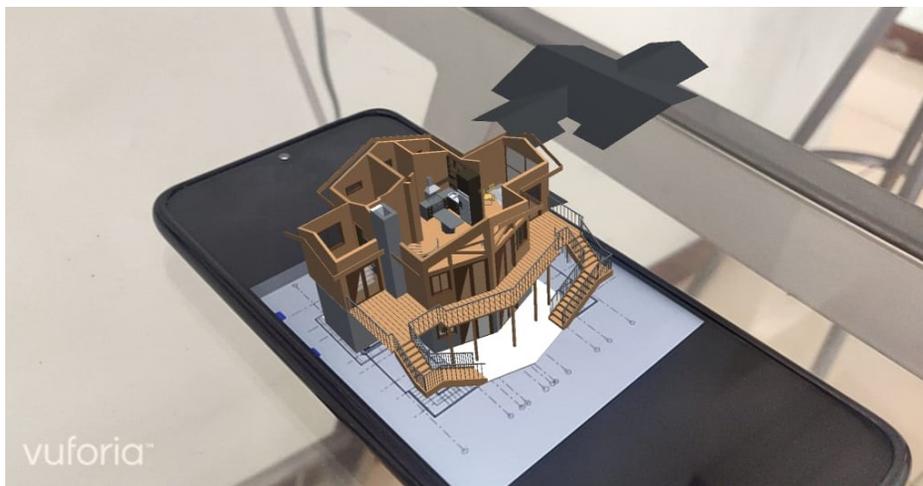


Figura 10. Vista de realidad aumentada con un plano digital
Fuente: Autoría propia.

2. Comunicación

Como se mencionó en el apartado anterior, los modelos facilitan un mayor entendimiento entre los actores no técnicos y los ingenieros u arquitectos. No obstante, no solo se mejora la comunicación con los inversionistas o participantes no calificados en el área, sino que también permite que haya un mejor flujo de trabajo con los colaboradores de obra, Saldias (2010).

Durante cualquier día de trabajo dentro de la obra, es necesario comunicar a los obreros qué es lo que se va a realizar. En muchas ocasiones, algunos elementos son difíciles de visualizar en plano, incluso pueden llegar a atrasarse algunas tareas por intentar interpretar cómo es el elemento; con un modelo en 3 dimensiones se puede facilitar mucho más el flujo de trabajo de la empresa. En la figura 11 se ejemplifica, con un modelo, el acero de una fundación; lo mismo se puede realizar en uniones de elementos más complejos, por ejemplo la unión de esa fundación con una viga de contrapiso, lo cual facilitaría mucho el entendimiento del proceso para elaborar la armazón de acero que poseen ambos elementos.

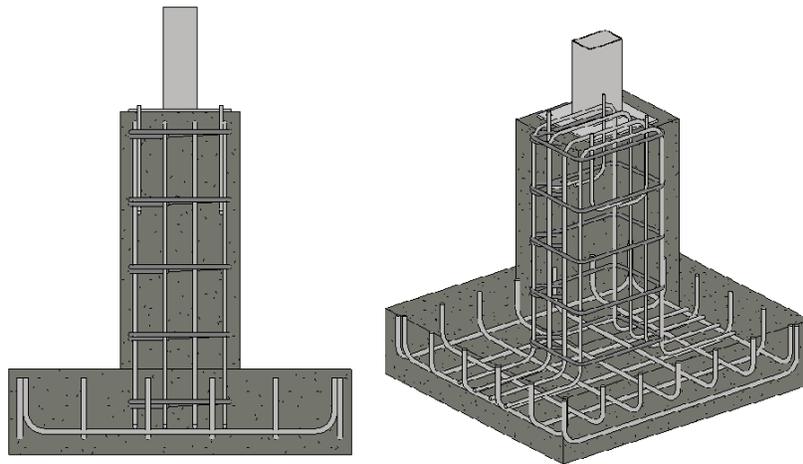


Figura 11. Detalle de acero de una fundación.

Fuente: Autoría propia.

3. Documentación

El sistema BIM permite que la información del proyecto permanezca de una forma centralizada, lo que conlleva a la existencia de una sola versión de los datos y que se eviten incompatibilidades. Con esta metodología es fácil llevar el control de todos los cambios que se están dando en un proyecto, por lo que la generación del modelo as-built se puede llevar a cabo de una forma más eficiente y de modo que todos los involucrados se den cuenta de cualquier modificación. Además, el modelo en sí pasa a ser un entregable para la fase de operación y mantenimiento.

Tener una base de datos de proyectos ya realizados es de suma importancia para el desarrollo de futuros proyectos; comparar sistemas o metodologías de construcción similares, permite darse una mejor idea de lo que necesita una empresa para construir cualquier obra civil con características semejantes, y con ellos, realizar una mejor programación y cuantificación. Los modelos 4D, por ejemplo, permiten documentar todo el proceso de

construcción que se llevó cabo, la información de diseño y de construcción que se usó.

Lo que se describe en los dos párrafos anteriores son algunas de las ventajas que se tiene de la documentación, durante la construcción de un proyecto o para su posterior operación. No obstante, previo a la construcción, algunos programas BIM permiten generar reportes de forma “automatizada”, como por ejemplo Navisworks, como se desarrolla más adelante, es un software que permite, dentro de sus muchas funciones, identificar interferencias en el diseño, todo por medio de modelos 3D. Esto puede ser de mucha ayuda para comunicar y documentar posibles problemas que se puedan presentar durante la ejecución de la obra (Autodesk Inc, 2020a).

4. Chequeo de interferencias y de conformidad

El chequeo de interferencias es uno de la principales usos que se le da a esta metodología, principalmente en proyectos de infraestructura compleja. Una coordinación 3D reduce los RDI (Requerimientos de información), las órdenes de cambio y los conflictos interdisciplinarios, lo que que conlleva a una mayor productividad y una reducción de costos de construcción (Saldias, 2010).

Se pueden dar dos tipos de interferencias, la espacial, que es cuando dos elementos se superponen entre ellos, afectando el diseño de las disciplinas; y la interferencia temporal, que se debería tomar en cuenta para el orden constructivo, como la colocación de tuberías previo a una chorrea de algún elemento. Detectar antes en el modelo, puede evitar atrasos o un mayor costo de la obra final. Este proceso se puede hacer manual (viendo el modelo) o con algún software, como Navisworks (ver figura 12).

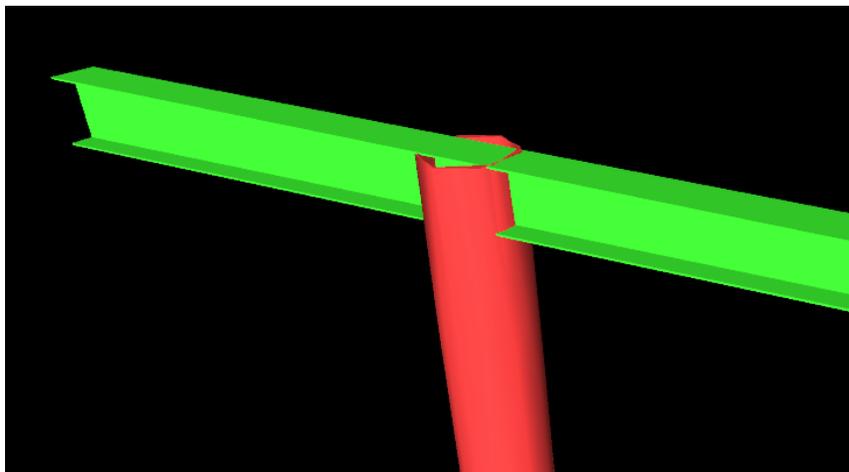


Figura 12. Colisión de viga de acero con columna, programa Navisworks.
Fuente: Autoría propia.

5. **Diseño colaborativo**

Lo que pretende el método de colaboración es poder tener la información a mano y que se disminuyan los tiempos de diseño. Con este sistema se disminuye el tiempo de espera de las consultas realizadas entre especialistas, contratistas y administradores del proyecto; además, se puede ver la interacción entre las disciplinas en tiempo real.

Existen dos enfoques de diseño colaborativo en la metodología BIM. El primero de ellos es el enfoque centralizado, en este todas las especialidades colaboran en un mismo modelo, esto puede generar varios problemas si la coordinación entre los involucrados no está bien definida y si las entidades de cada disciplina no poseen una experiencia similar en el modelado. Luego, el enfoque distribuido, que es aquel en el que las especialidades trabajan en su propio modelo, intercambiando su información e integrándolos luego para verificar conflictos o incongruencias.

Además de estos usos, Jiménez et al. (2018) menciona algunos otros usos que se le puede dar a la metodología BIM. Estos son:

1. **Documentación 2D**

Obtener documentación gráfica a partir de los modelos de información es uno de los usos más frecuentes. Este cuenta con el beneficio de coherencia de la documentación en todo momento ya que los cambios se realizan sobre los modelos, actualizando los planos de forma automática. Para los planos de detalle hay que valorar el esfuerzo-beneficio para determinar si es adecuado invertir tanto tiempo en la elaboración de estos modelos de información específica.

2. **Cuantificación**

Presupuestar es parte importante de la realización de un proyecto y para ello es necesaria una cuantificación. Una cuantificación realizada con este sistema BIM, permite que las cubriciones se actualicen de forma automática, sin necesidad de buscar demasiado dentro de un archivo de presupuesto cada vez que se realice un cambio. Se recomienda que los objetos de cada modelo posean la información necesaria para asegurar las mediciones y la trazabilidad del presupuesto.

3. **Visualización de datos**

Un modelo BIM puede poseer una gran base de datos de elementos interactivos y con este sistema es posible verlos de una forma aislada o grupal; con un modelo bidimensional

estaría limitada por el gran contenido de información; esto ayuda o facilita en la toma de decisiones. Algunos programas permiten visualizar los datos de diferentes maneras, a través de gráficas dinámicas o estáticas, mediante códigos de colores, entre otras que permiten formarse una idea más conceptual de lo que está pasando o podría pasar en el proyecto.

4. Validación normativa

Muchos programas de diseño o análisis que existen en BIM permiten programar o automatizar la verificación de normativa aplicable a un activo.

5. Seguridad y salud

Con un modelo BIM es posible evaluar los riesgos en la construcción de un elemento, planificar los procedimientos para la prevención de cualquier contingencia, así como el equipo técnico y los medios auxiliares para su prevención; todo por medio de un modelo virtual.

6. Replanteo de obra

Tener un modelo con GIS (Sistema de Información Geográfica) permite mejorar la precisión en la ubicación de las coordenadas de un proyecto, además de que asegura la geolocalización de todos los elementos de la obra.

7. Logística y acopios

Se permite gestionar los espacios libres con todas las necesidades del proyecto, tales como personal, maquinaria o acopio de materiales. Con el modelo BIM se logra la coordinación de incidencias en los traslados de maquinaria, hasta identificar visualmente la cantidad de material que se puede almacenar en el espacio.

8. Fabricación digital

Este hace alusión al uso de la información para la construcción de elementos de un activo por medio de tecnologías como la impresión 3D o corte láser.

9. Inventario

Un modelo de BIM permite la gestión de la información de los bienes inmuebles presentes en una habitación o hasta en una infraestructura completa. Lo anterior permite realizar inventarios y optimizar los procesos de carga de los mismos.

Proceso de modelado

Toda elaboración de un modelo tridimensional BIM debe seguir una secuencia lógica que permita tener un flujo de trabajo lo más adecuado posible. El Building Smart Spain (2014) ofrece una serie de 13 documentos que pretenden ser una guía para los usuarios BIM y garantizar la coordinación entre disciplinas. Esta guía es una adaptación del COBIM finlandés (Common BIM Requirements 2012). Para el desarrollo de esta sección se hace uso de las guías 1, 3, 4 y 5, que corresponden a la guía general, arquitectónica, estructural y electromecánica respectivamente.

Requisitos técnicos generales para el BIM

Es necesario que los diseñadores especifiquen el software BIM que se empleará en el proyecto, así como las versiones de estos. Se debe acordar si se va a permitir el cambio de versión o de software a lo largo de la vida del proyecto.

Se recomienda también que se definan las coordenadas del proyecto y que además, estas se ubiquen cerca del área de dibujo; habitualmente las establece el arquitecto en caso de que no se utilicen coordenadas reales. Se debe tener claro el uso que se le dará al modelo para así establecer el nivel de precisión con el que se debe modelar el proyecto, en otras palabras, es necesario establecer el LOD con el cual se va a trabajar.

Además, se menciona como buena práctica el modelar todos los elementos haciendo uso de las herramientas apropiadas, es decir, si se va a modelar un muro entonces debe modelarse con herramientas de muros; si hay un elemento para el cual no se tiene un mecanismo propio para su elaboración, es necesario que se modele con una solución alternativa y que se documente dentro del Plan de Ejecución BIM (BEP).

Modelado arquitectónico

La parte del modelado da inicio con la disciplina arquitectónica, la cual sirve como base para las demás disciplinas. Se comienza con un diseño inicial o proyecto básico, se presenta al cliente y se actualizan todos los requisitos o modificaciones que este requiera.

Se dice que en la etapa inicial del proyecto, el modelo BIM debe contener mínimo los siguientes elementos: estructuras de carga (pilares, losas, muros, etc.), muros categorizados según su tipo principal (cerramientos, paredes livianas, etc.), ventanas y puertas, y además, el

modelo debe ser capaz para generar los planos necesarios para obtener los permisos o licencias.

El modelo arquitectónico debe efectuarse por niveles; los software BIM permiten que se trabaje sin niveles si el modelador quisiera, pero es recomendable que el modelado de la estructura se apegue a una lógica constructiva. Por ejemplo, un muro se puede modelar desde el nivel 1 hasta el nivel 5 si el modelador lo prefiere, pero la lógica constructiva dice que se debe modelar del nivel 1 al 2, del 2 al 3, y así sucesivamente. Esta buena práctica es favorable ya que la mayoría de los software BIM hacen cálculos de espacios o áreas de un mismo nivel, además, para sacar cuantificaciones más específicas y otros tipos de análisis es necesario que se maneje el edificio seccionado de esa manera.

Modelado estructural

En esta etapa se debe elaborar todo lo referente al sistema estructural, lo referente a dimensiones y requisitos deben quedar explícitamente en el modelo. Esta disciplina deberá cumplir con los mismos requisitos que el modelado arquitectónico, al menos en lo que respecta a la estructuración por niveles y al uso de las herramientas adecuadas para la elaboración de cada elemento. Los elementos que comparten varios niveles según su construcción, deben pertenecer al primer nivel en el que aparecen.

Los elementos que comparten características tanto del modelo arquitectónico como del estructural, deben ser modelados en ambas disciplinas, pero con el cuidado de mantener una coordinación adecuada entre ambos sistemas. El modelo estructural, al igual que el de las demás disciplinas, puede ir evolucionando según la etapa en la que se encuentre, es decir, se puede incrementar su precisión. Mientras que en la etapa de pre-diseño es posible utilizarla solo para un cálculo aproximado de costes, para la coordinación con otras disciplinas, luego se puede mejorar en la etapa de diseño donde se incorpora el acero estructural, detallado de nudos de acero o concreto, entre otros más.

Modelado electromecánico

Entiéndase instalaciones electromecánicas (MEP) como todos los elementos que componen a los sistemas mecánicos, eléctricos y de fontanería. El modelado MEP se divide en dos categorías, el diseño esquemático y el diseño detallado.

El diseño esquemático y de desarrollo de diseño no genera un modelo que cubre a toda la edificación, su intención principal es generar opciones de sistemas, diagramas de áreas de servicios y reservas de espacio de las instalaciones. Por otra parte, en el diseño detallado los modelos de sistemas MEP abarcan todo el edificio.

Cuando el modelo se encuentra en la etapa de desarrollo del diseño, se modelan las redes

horizontales de estas instalaciones, esto con el fin de representar geoméricamente la localización del trazado principal. Se recomienda que cuando se esté en la etapa de diseño, se elija una habitación modelo o área en particular como un prototipo del modelo BIM, en la disciplina de instalaciones.

Nivel de desarrollo (LOD)

En ocasiones se interpreta el LOD como “Nivel de detalle” en vez de Nivel de Desarrollo. El Nivel de detalle, hace referencia a la cantidad de detalle incluido en un elemento dentro de un modelo; este puede considerarse como una entrada al elemento. Por otro lado, el Nivel de Desarrollo alude al grado en el que se ha pensado no solo la geometría del elemento, sino también la información adjunta, lo que radica en la confianza que puede tener un miembro del equipo en la información al usar el modelo; este se considera más una salida del elemento. Todo esto lo especifica BIMForum (2019) en el LOD Specification.

LOD como Level of detail

Según Spanish Journal of BIM (2014), el Level of Detail se pueden clasificar por letras (A, B, C,...) o letras seguidas por números (G0, G1, G2,...), esto dependiendo de la región de origen. El AEC (UK) BIM Protocol (Implementing UK BIM Standards for the Architectural, Engineering and Construction industry) clasifica, en su versión 2.0 (2012), según su apariencia gráfica como:

1. **G0 – Schematic**

Es un marcador de posición simbólico que representa a un objeto que podría no estar a escala o no tener valores dimensionales. Por ejemplo, puede ser relevante para los símbolos eléctricos que no necesariamente existen como objeto 3D.

2. **G1 – Concept**

Objeto con mínimo detalle, lo necesario para que sea identificable.

3. **G2 – Defined**

Posee metadatos relevantes e información técnica; está suficientemente modelado como para que sus materiales de tipo y componente sean identificados. Suficiente para la mayoría de proyectos.

4. **G3 – Rendered**

Solo difiere con el G2 en la representación 3D. Se usa cuando los detalles son necesarios debido a la proximidad de la cámara.

Los últimos 3 grados se pueden observar gráficamente en la figura 13.

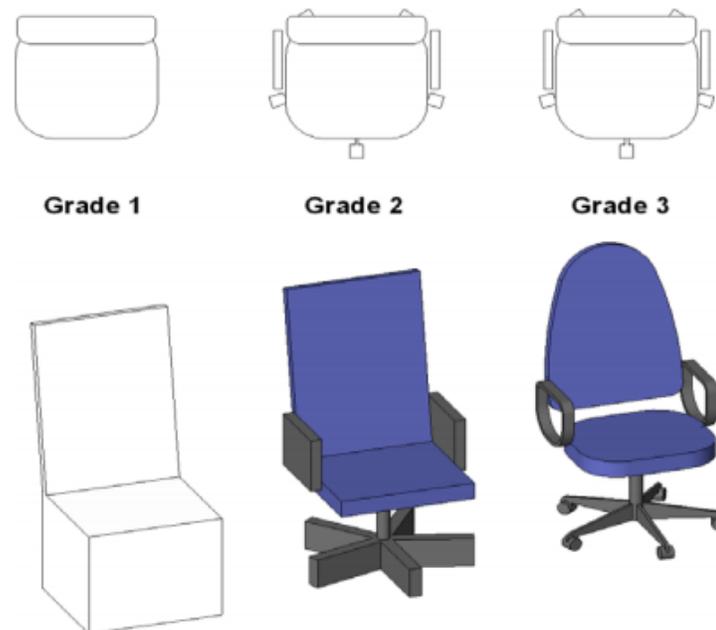


Figura 13. Representación gráfica de silla según su grado.
Fuente: AEC (UK) (2012).

Cabe mencionar que en el documento actualizado de la AEC (UK) “AEC (UK) BIM Technology Protocol”, el cual fue publicado el 2015 como una versión 2.1.1, ya no se habla de los grados anteriores sino que se adopta la nomenclatura del Level of Development, la cual se va a explicar en el siguiente apartado.

LOD como Level of Development

El Level of Development, o nivel de desarrollo se puede decir que define el nivel de madurez de la información que posee un elemento de un modelo. Cuando se habla del LOD no se refiere a la totalidad del proyecto ni se vincula con la fase de desarrollo o de construcción (Spanish Journal BIM, 2014).

1. LOD 100

Es un elemento que puede representarse en el modelo como un símbolo u otra representación genérica, la información que se deriva de este puede estar derivada de otros elementos del modelo y se debe considerar como aproximada. No se considera una representación geométrica, puede ser un símbolo o información que muestran la existencia de este, pero no su forma, tamaño o ubicación precisa (BIM Forum, 2019).

Según el Spanish Journal (2014), los usos que se le puede dar a este nivel son el análisis en base a dimensiones geométricas (si existen), orientación, ubicación espacial y la relación de este con otros objetos; y para la estimación de costos en relación con el área, volumen u número de unidades; para la programación, se le pueden asignar en fases y duraciones.

2. **LOD 200**

Elemento del modelo que se representa de forma gráfica dentro de un modelo, con cantidades aproximadas, tamaño, forma, ubicación y orientación. La información no gráfica también se puede asociar al elemento; la información del LOD 200 debe considerarse aproximada (BIM Forum, 2019).

Según el Spanish Journal (2014), con un LOD 200 el objeto posee una definición geométrica no completa. Su uso como parte del análisis puede tomarse como criterio general dentro del proyecto. Se puede usar para cálculo de costos vinculados a datos geométricos y de cantidades del elemento propio y no de otros. Se puede usar para la programación de tiempos y tomar criterio para marcar prioridades. Además, ya con este elemento puede hacerse coordinación parcial con otros objetos dentro del proyecto.

3. **LOD 300**

El elemento se representa de forma gráfica dentro de un modelo como un objeto, sistema o ensamblaje específico en términos de cantidad, tamaño, forma, ubicación y orientación, todo según se diseñó. Se puede adjuntar información no gráfica del elemento. Las mediciones se puede hacer directas desde el modelo sin tener que recurrir a la información no modelada (BIM Forum, 2019).

Dentro de sus posibles usos está emplearlo para el análisis de su funcionamiento con base en los criterios propios del objeto. Se puede valorar o costear de forma precisa basándose en datos específicos de fabricación y puesta en obra. Puede ser usado para programación y planificación de tiempos. Ya en este punto, los elementos con LOD 300 pueden coordinarse con otros elementos del proyecto en función de sus dimensiones, ubicación y trayectorias (Spanish Journal ,2014).

4. **LOD 350**

BIM Forum (2019) menciona que es igual al LOD 300 con la diferencia de que se modelan las partes necesarias para la coordinación de objetos cercanos; dichas partes incluirán uniones y soportes. Por ejemplo, si un ducto importante, de gran tamaño atraviesa una pared, techo o cielo, se debe hacer el buque para evitar el traslape.

5. LOD 400

Un modelo LOD 400 incluye todo lo que incluye un LOD 350, con la diferencia que a este elemento se modela con tal precisión y detalle como para poder usarse en la fabricación total del objeto (BIM Forum, 2019).

6. LOD 500

Según BIM Forum (2019), este nivel de desarrollo se relaciona más con la verificación de campo y no con un nivel más alto en el modelado geométrico de un elemento. Por otro lado, Spanish Journal (2014) menciona que se verifica la información del LOD 500 con el proceso constructivo ya terminado ("as built") y que se dedica al uso y el mantenimiento de los edificios o construcciones.

El Spanish Journal (2014) menciona la existencia de dos categorías más, el LOD 600 que se relaciona con la parte de los parámetros de reciclado de cada elemento del modelo, y el LOD X00 que es más una previsión a lo que puede existir en el futuro de la construcción y que no están vinculadas a la ejecución o mantenimiento de estos. Se mencionan aspectos como la posibilidad de movimiento propio, de traslado o de destrucción. En la figura 14 se puede observar cada uno de los LODs aplicados a una pared y distintos sistemas involucrados.

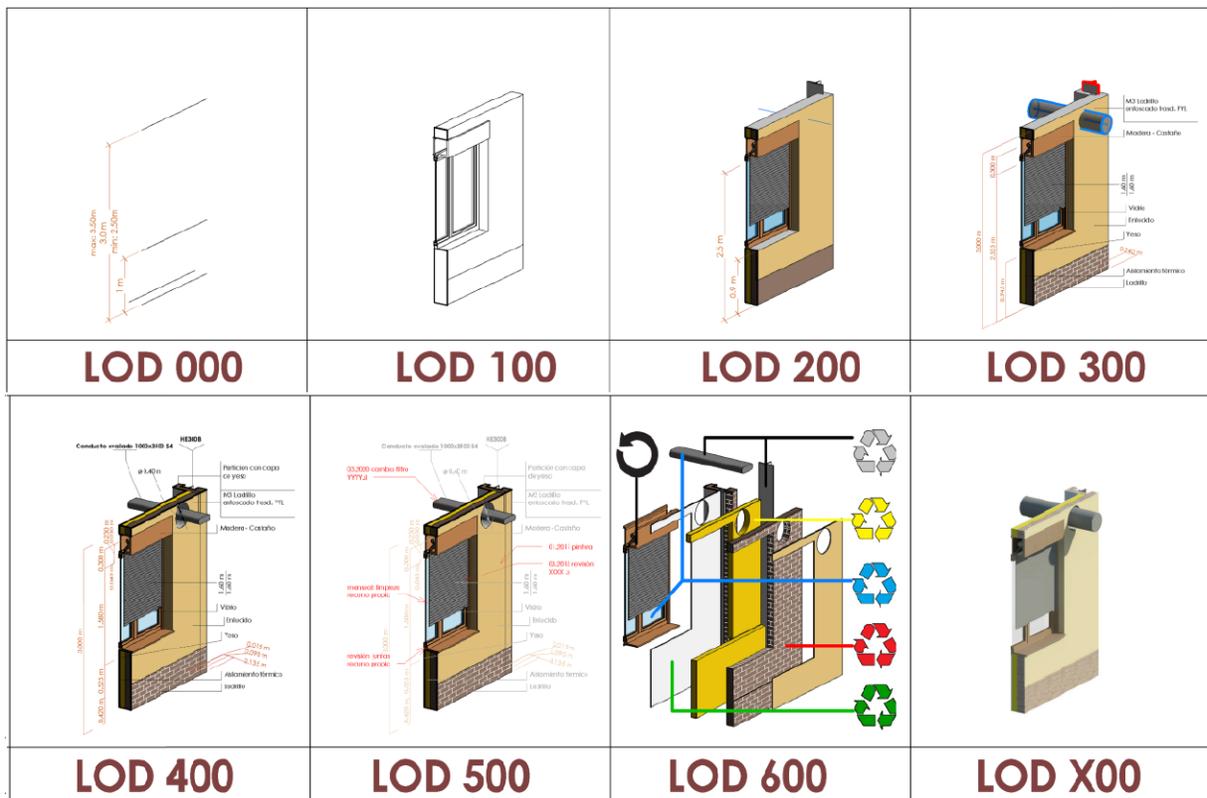


Figura 14. Niveles de LOD aplicados a una pared y sus sistemas involucrados.

Fuente: Spanish Journal (2014).

Plan de ejecución BIM (BEP)

Jiménez et al. (2018) definen el Plan de Ejecución BIM (BEP, por sus siglas en inglés de BIM Execution Plan) como:

”Documento en el que se reflejan las estrategias, procesos, recursos, técnicas, herramientas, sistemas, etc.; que serán aplicados para asegurar el cumplimiento de los requisitos BIM solicitados por el cliente para un proyecto determinado y una fase o fases concretas del ciclo de vida del mismo.”

El Penn State (2013) establece que los diferentes niveles de características para un BEP son los siguientes: Facility Element, Facility Phase y Level o Development. Se puede observar mejor en la siguiente tabla.

Cuadro 1. Características del uso BIM

Característica	Descripción
Elemento de la infraestructura	El sistema de la infraestructura sobre el cual el uso de BIM debe ser implementado
Fase de la infraestructura	El periodo del ciclo de vida de la infraestructura en el cual el uso de BIM debe ser implementado
Disciplina	Especialidad sobre la que el uso de BIM debe ser aplicado
Nivel de detalle (LOD)	Nivel de desarrollo o nivel de implementación que el uso de BIM requiere para su implementación

Fuente: Jiménez et al. (2018) con base al BIM Execution Planning Guide del Penn State (2013).

A continuación se muestra una síntesis de plantilla para elaboración del BEP, la cual es tomada de Jiménez et al. (2018) en su Guía para la elaboración del Plan de Ejecución BIM.

1. Sobre el BEP

Cabe mencionar que el BEP debe adaptarse a cada proyecto en específico; aunque los proyectos sean similares, las necesidades de la metodología BIM dentro de ellos puede variar significativamente.

a) Objetivo

Se recomienda que este apartado sea lo más concreto y claro posible. Este objetivo está relacionado con respecto al BEP, lo que se espera de él dentro de un Proyecto

"X". Sugiere que al menos sirva como un documento en el cual, todos los involucrados con los modelos BIM y/o información respecto a este, puedan consultar lo referente a la metodología dentro de su labor o del proyecto en general.

b) Alcance

Aquí se define, de forma concreta de ser posible, todos los aspectos que se contemplan y los que no dentro de un proyecto, incluidas las faces que se cubren de este.

c) Histórico de revisiones

Es recomendable que el PEB posea un registro de las actualizaciones de este documento. Se facilita la siguiente tabla con los datos recomendados para este control.

Cuadro 2. Historial de revisiones, ejemplo

Versión	Fecha	Responsable	Motivo de modificación
1.0	dd/mm/aaaa	Nombre y Apellidos	1er versión
2.0	dd/mm/aaaa	Nombre y Apellidos	Modificación alcance

Fuente: Autoría propia con base a Jiménez et al. (2018).

d) Procesos de cambio en el BEP

Además del punto anterior, también es recomendable que se defina cuál será el proceso de aprobación, así como por quiénes se va a realizar. Inclusive se debe definir quiénes lo pueden modificar y en qué momento se puede llevar a cabo.

2. Respecto al proyecto

a) Datos de identificación

Aquí se recomienda aclarar todos los datos referentes al proyecto como tal. Se pueden incluir cualquier dato relevante que se considere necesario para la inclusión en los modelos BIM. Ejemplo de estos son: nombre del proyecto, propietario, diseño, N° de catastro, año de construcción y descripción.

b) Hitos del proyecto

Este apartado está hecho para que todos los involucrados en el desarrollo de modelos BIM o derivados de estos (planos, tablas, etc.) y lo que usan los modelos para otras funciones, tengan a la mano una lista de hitos que puedan ver afectado su labor. A continuación se presenta un estilo de tabla recomendada, esta se puede modificar o ampliar de acuerdo a las necesidades específicas.

Cuadro 3. Hitos del proyecto, ejemplo

Nº	Hito	Entregable	Fecha inicio	Fecha entrega
1	Trabajos previos			
1.1		Nube de puntos		
1.2		Topografía		
2	Proyecto básico			
2.1		Planos		
2.2		Presupuesto		
.		.		
.		.		
.		.		
5	Licencia de obra aprobada			

Fuente: Autoría propia con base a Jiménez et al. (2018).

c) Objetivos BIM del cliente

Se espera que aquí se resuma o se concreten los objetivos del cliente referente al uso de la metodología BIM, esto para que todos los agentes involucrados puedan consultarlos en cualquier momento. Se recomienda que los objetivos sean medibles para que, una vez concluido el proyecto, se pueda verificar el cumplimiento de los mismos.

d) Requerimientos del cliente

Aquí se define lo que el cliente requiere para el cumplimiento de los objetivos BIM, o bien un resumen de estos.

e) Documentos de referencia del proyecto

Se recomienda que todos los documentos disponibles del proyecto estén en esta sección, sin perjuicio que el BEP sea actualizado cada cierto tiempo, incluyendo los documentos de referencia. Además, debe de existir un mecanismo que asegure informar a todos los involucrados del desarrollo de entregables BIM.

3. Usos del modelo

Todo BEP debe incluir una descripción de los usos que se le van a dar al modelo BIM, y sumado a esto, asociarlos y alinearlos desde los objetivos del proyecto. Es recomendable realizar una ficha por cada uso de BIM, en la cual se puedan añadir características. Una tabla tipo plantilla podría ser la del cuadro 4

Los usos pueden repetirse o presentar en varias etapas del proyecto, por lo que se puede elaborar una tabla en la fases donde se presente cada uso. Un ejemplo de ello se puede visualizar en el cuadro 5.

Cuadro 4. Ficha de usos BIM, ejemplo

Uso BIM	Descripción y beneficios potenciales Prioridad con respecto a otros usos BIM Dependencias con otros usos BIM Recursos requeridos (software y hardware) Destrezas requeridas Responsable (roles y responsabilidades)
---------	--

Fuente: Autoría propia con base a Jiménez et al. (2018).

a) Usos previstos

Cuadro 5. Usos previstos de los modelos, ejemplo

Uso BIM	Modelo		
	Arquitectónico	Estructural	Electromecánico
Información centralizada	x	x	x
Visualización	x	x	x
Coordinación 3D	x	x	x

Fuente: Autoría propia con base a Jiménez et al. (2018).

A la tabla anterior se le pueden agregar cada uno de los usos BIM mencionados en la sección “Usos de la metodología BIM” o cualquier otro que se quiera incluir además de esos.

b) Usos excluidos

Aquí se detalla si existen usos que no se contemplan en la ejecución de los modelos y que su inclusión en futuras etapas más avanzadas del proyecto pueda ocasionar la necesidad de modelar desde cero. También, para usos en los que la tecnología BIM aún no está lo suficientemente desarrollada.

4. Entregables BIM

Es necesario entregar al menos una tabla con el listado de los entregables y su respectiva información (véase cuadro 6). Además, se debe especificar el nivel de detalle gráfico y no gráfico; esto se puede elegir de acuerdo el LOD, especificando cada parte del proyecto que necesite un LOD distinto.

a) Listado

Cuadro 6. Listado de entregables del proyecto, ejemplo

Nombre de entregable	Fase del proyecto	Fecha de entrega	Responsable	Formato de entrega	Método de entrega
----------------------	-------------------	------------------	-------------	--------------------	-------------------

dd/mm/aaaa

Fuente: Autoría propia con base a Jiménez et al. (2018).

b) Nivel de información no gráfica y vinculada

Aquí se establece el tipo de información que se le va a ingresar a cada elemento, así como las características que este deba poseer, por ejemplo: forma de nombrarlo, unidad, comentarios, descripción, etc.

5. Organización del modelo

Aquí se desglosa todo el modelo, de tal forma que puedan generar o mostrar los estándares y organizar cada etapa.

a) Estructura de datos

En este apartado se determina la forma en la que los modelos se almacenarán dentro de los archivos. Además, se pueden asignar propiedades específicas a los elementos, los cuales permiten identificarlos según criterios ya seleccionados, como función, forma, material, precio, etc.

Se deben definir los ficheros así como su nomenclatura, por ejemplo, un proyecto con nombre 071057-INE-ATB-03-M3-S-001-A tiene las siguientes características:

- 071057: Código de proyecto
- INE: Redactado por INECO (Organizador)
- ATB: Edificio terminal (Zona)
- 03: planta 3 (Nivel)
- M3 Modelo BIM (Tipo de archivo)
- S: estructural (Disciplina)
- 001: Número secuencial (Número)
- A: Aprobado (Estado)

b) Matriz de interferencias

Se podría definir un listado o clasificación de colisiones dentro de los modelos, tanto de una disciplina con ella misma como entre las distintas disciplinas. Hay que tener claro cuáles conflictos son de mayor gravedad para darles la prioridad a la hora de solucionarlos.

c) Origen de coordenadas

Es necesario que quede claro cuál es la posición y coordenadas X Y de los puntos de referencia del modelo, esto para que cada una de las disciplinas pueda trabajar de tal manera que a la hora de hacer un modelo federado, todos las áreas puedan calzar de una forma óptima.

d) Configuración de plantillas

Para cada proyecto se recomienda el uso de plantillas ya personalizadas y configuradas para las distintas necesidades del mismo. Lo anterior para facilitar las tareas del modelado en cada una de las áreas involucradas. Se recomienda generar un archivo al cual todos tengan acceso y que contengan cada plantilla a utilizar.

6. Verificación de entregables BIM

Describe la metodología a emplear para verificar que los entregables BIM cumplan con los apartados relativos a los objetivos BIM predispuestos por el cliente y con los demás parámetros dentro del BEP.

7. Recursos

a) Recurso humano

Aquí se muestra los agentes involucrados dentro del proyecto BIM, el rol que desempeñan y demás características importantes. Para ello se puede seguir el cuadro 7 en el que se pueden conformar los distintos equipos de trabajo y en el cuadro 8 cada una de las funciones que desempeñan.

Cuadro 7. Equipos de trabajo, ejemplo

Equipo de trabajo/Rol	Responsable	Entidad	Teléfono
Equipo de Gestión de Proyecto BIM			
Director de proyecto			
Director de gestión de la información			
Equipo de diseño			
Director técnico BIM			

Fuente: Autoría propia con base a Jiménez et al. (2018).

Cuadro 8. Roles de los miembros de cada equipo, ejemplo

Rol	Responsabilidad
Director de proyecto	Desarrollo de protocolos BIM, definir objetivos y usos BIM del cliente, definir alcance de proyecto, ect.
Director de gestión de la información	Responsable de gestionar y controlar el flujo de información entre disciplinas y demás agentes, verificador de que todo posea la información adecuada, etc,
Director técnico BIM	Aplicar flujos de trabajo, aplicación y validación de protocolos BIM, Software y plataformas, etc.

Fuente: Autoría propia con base a Jiménez et al. (2018).

b) Recursos materiales

Se establece todo lo referente a las necesidades tanto de Hardware como Software. Se puede agregar un cuadro para detallar cada una de las necesidades y sus propiedades necesarias para el buen funcionamiento. En el cuadro 9 se presenta un ejemplo de cómo podría organizarse dichas necesidades; se le pueden agregar tantas columnas como sean necesarias.

Cuadro 9. Recursos materiales (software), ejemplo

Software	Versión	Propósito	Formato
Software A	Versión #	Modelado 2D y 3D	.AAA

Fuente: Autoría propia con base a Jiménez et al. (2018).

8. Gestión de información

En este apartado se aclara todo lo relacionado a la forma en que se va a manejar toda la información referente al proyecto, lo referente a herramientas, técnicas, procesos, etc. Además, también se mencionan las formas en las que se comunicará cada uno de los equipos de trabajo.

a) Estrategias de gestión de datos

Aquí se especifica la gestión que se debe hacer para poder incorporar un archivo digital dentro del proyecto. Se debe especificar cómo se llevará a cabo cada etapa del manejo de datos, por ejemplo, algunas de las fases podrían ser:

- Captación
- Almacenamiento materiales
- Seguridad
- Acceso
- Consulta
- Evaluación
- Elaboración de informes
- Modificación
- Bloqueo
- Eliminación
- Transmisión

b) Estrategias de gestión de documentos

Aquí se especifica cuál es la estrategia para el almacenamiento, control de versiones y acceso a archivos de información tanto digitales como físicos. Preferiblemente se evitará información en físico.

c) Estrategias de comunicación

Aquí debe quedar claro las estrategias que se utilizarán para la colaboración, teniendo en cuenta que lo ideal es la información centralizada en donde todos los involucrados tengan acceso rápido; también en las estrategias de reportes, en las cuales se debe definir cual es el procedimiento a seguir para entrega y formulación de reportes, así como el tipo de informe, su objetivo, el canal de comunicación, idioma, frecuencia responsables y receptores del mismo.

Por último está la estrategia de reuniones, que puede ser para aclaraciones estratégicas, es decir, definición de objetivos, toma de decisiones, establecer prioridades, etc.; o las reuniones de desarrollo técnico, que es más para ver la metodologías de trabajo y dar soporte y coordinación entre los equipos BIM. Siempre es recomendable establecer una agenda con un gran periodo de antelación.

9. Análisis de riesgos y oportunidades

Lo que se pretende en este apartado es identificar los posibles riesgos que le genera al proyecto, la incorporación de la metodología BIM, categorizarlos y buscarles una respuesta. Consta de 3 etapas, identificación, evaluación y planificación.

En la identificación se determinan cuáles son los riesgos, se nombran (código), se describen, se determinan las causas, sus fases y sus consecuencias. Posteriormente se evalúa su impacto; se puede hacer uso de una matriz en la que se estudie la probabilidad de ocurrencia y el impacto en el proyecto (ver figura 15). Por último se planifica el accionar ante la posible ocurrencia de cualquier riesgo, principalmente los más críticos.

NIVEL DEL RIESGO		PROBABILIDAD DE OCURRENCIA		
		Baja	Moderada	Alta
IMPACTO EN EL PROYECTO	Bajo	Bajo	Bajo	Medio
	Moderado	Bajo	Medio	Alto
	Alto	Medio	Alto	Alto

Figura 15. Obtención del nivel de riesgo.
Fuente: Jiménez et al. (2018).

10. Procesos BIM

En esta sección se describe todo lo relacionado con los procesos referentes a BIM. Entiéndase “Proceso” como un conjunto de actividades interrelacionadas, realizadas con el fin de obtener un producto, resultado o servicio ya establecido. Cada proceso debería tener entradas, herramientas y salidas esperadas.

11. Sobre los estándares

Una de las buenas prácticas que puede tenerse en BIM es la generación de estándares para aumentar la efectividad. Estas se pueden ir obteniendo de proyectos pasados y de la prueba y error presente en cada proceso.

- a) Estándares del cliente: cuando el cliente ha participado en varios proyectos BIM puede rescatar el material que le es más útil y crear sus propios requerimientos, protocolos o guías.
- b) Estándares de la industria: a nivel industrial también se pueden generar estándares con la finalidad de que los procesos sean lo más genéricos posible y fáciles de implementar.
- c) Estándares propios de la empresa: son los propios de la empresa responsable de la Gestión BIM del proyecto; pueden tomarse BEP anteriores o documentación de proyectos antiguos.

12. Referente a los anexos

Se recomienda encontrar o definir un sistema para clasificar los anexos. Aquí se puede agregar cualquier documento necesario para el proyecto o su entendimiento.

Software BIM utilizados para los objetivos planteados

En este apartado se muestran los software BIM seleccionados para llevar a cabo el proyecto propuesto. Es importante mencionar que la elección de estas plataformas se determina de

acuerdo a los software utilizados por la empresa donde se realiza la pasantía, además de que todas ellas poseen una versión gratuita o una licencia para estudiantes.

Revit (Autodesk)

Revit es un software que permite generar diseños y documentación de edificios coherentes, coordinados y completos, los cuales se basan en modelos tridimensionales. Por lo tanto, la actualización de planos, secciones y vistas 3D se genera de forma automática. Esta herramienta permite el trabajo conjunto de varias disciplinas en las cuales se incluyen: diseño arquitectónico, MEP, diseño estructural y demás áreas involucradas en un obra de construcción. Aunado a esto, cada uno de los profesionales involucrados puede trabajar de forma conjunta y colaborativa con el resto de colaboradores (Autodesk Inc, 2020b).

También, Revit es un programa interoperable con otros software de la AEC. Un modelo realizado con Revit permite que los diferentes equipos de trabajo puedan trabajar sobre el mismo modelo, no solo la parte de diseño sino también la parte de análisis estructural, análisis energético, presupuestación, entre otros. Además, se le puede incorporar distintas aplicaciones o plugins para aumentar la eficiencia del trabajo que se esté realizando (Autodesk Inc, 2020b). En la figura 16 se puede observar la interfaz de Revit con la representación de un edificio en 2 y 3 dimensiones.

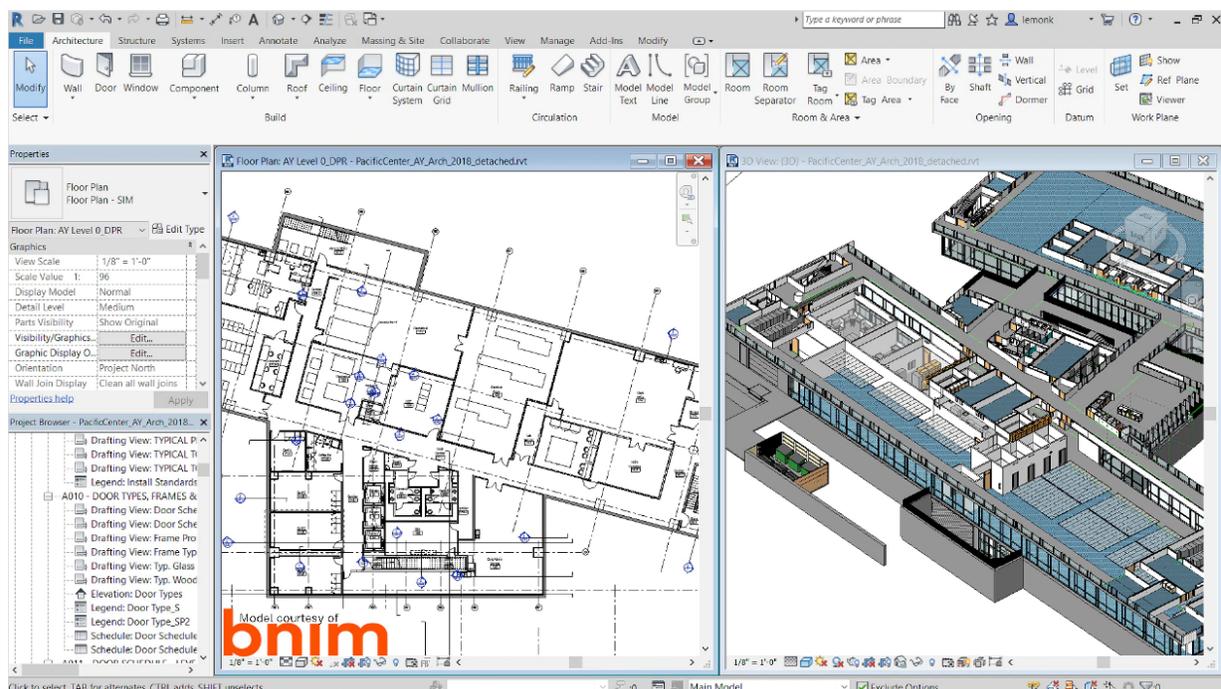


Figura 16. Edificio en 2D y 3D dentro de la interfaz de Revit.
Fuente: Autodesk Inc. (2020b).

Navisworks (Autodesk)

Navisworks es un programa principalmente de visualización para mejorar la coordinación BIM. Este combina la información del diseño y la construcción dentro de un mismo modelo, con lo cual permite identificar los problemas de choques e interferencias previo a la construcción. También permite el uso de las dimensiones BIM 4D y 5D, las cuales corresponden al control del cronograma y de costos. (Autodesk Inc, 2020a).

Además, Navisworks capta automáticamente las cantidades de materiales de un diseño 2D o 3D, de acuerdo con sus líneas, áreas o modelos. Se pueden crear vistas de un proyecto sincronizado que combinen archivos de Revit y de AutoCAD. Incluso se pueden exportar los datos a Excel para sus respectivos análisis. Con este software se pueden realizar recorridos virtuales dentro del proyecto para hacer verificación que no se genera en los choques o interferencias, incluyendo la visualización de defectos o errores de diseño (Autodesk Inc, 2020a). En la figura 17 se puede observar la interfaz de Navisworks con la representación de la continuidad que se le da a un cronograma de la construcción de un proyecto.

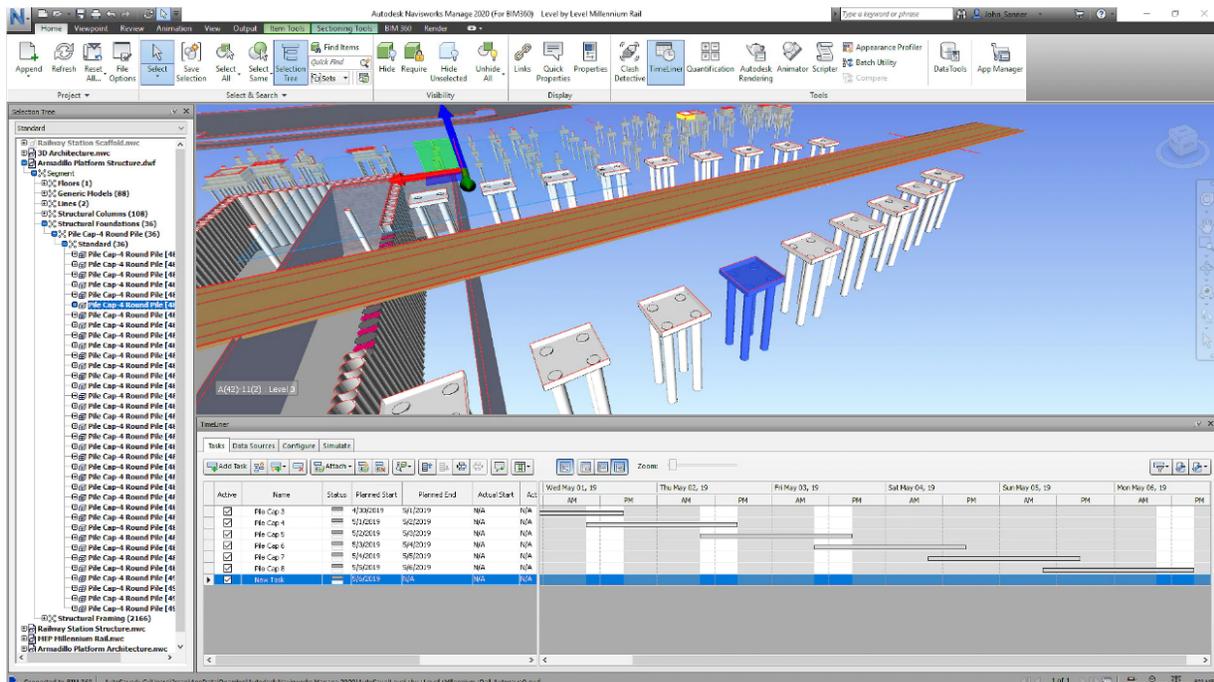


Figura 17. Seguimiento del cronograma de un proyecto por medio de Navisworks.
Fuente: Autodesk Inc. (2020a).

Metodología

En el proyecto propuesto se desarrolla un modelo, en dos y tres dimensiones, de la Oficina de Ingeniería del Tecnológico de Costa Rica, esto con la finalidad de identificar las posibles interferencias que se den en las distintas disciplinas (arquitectónica, estructural y electromecánica), así como la cuantificación de los materiales necesarios para la construcción del edificio. El proyecto se desarrolla siguiendo parte de la metodología empleada por la empresa BIM Construction, lugar donde se realiza la práctica.

Para llevar a cabo el cumplimiento de los objetivos planteados en este trabajo, se propone una metodología que, de forma generalizada, consta de cinco etapas. En la figura 18 se establece el esquema de trabajo que se siguió en cada una de las fases, esto con el fin de que el lector observe de forma gráfica todo lo realizado, y que a su vez, le permita entender más fácilmente cada uno de los procesos y métodos aplicados.

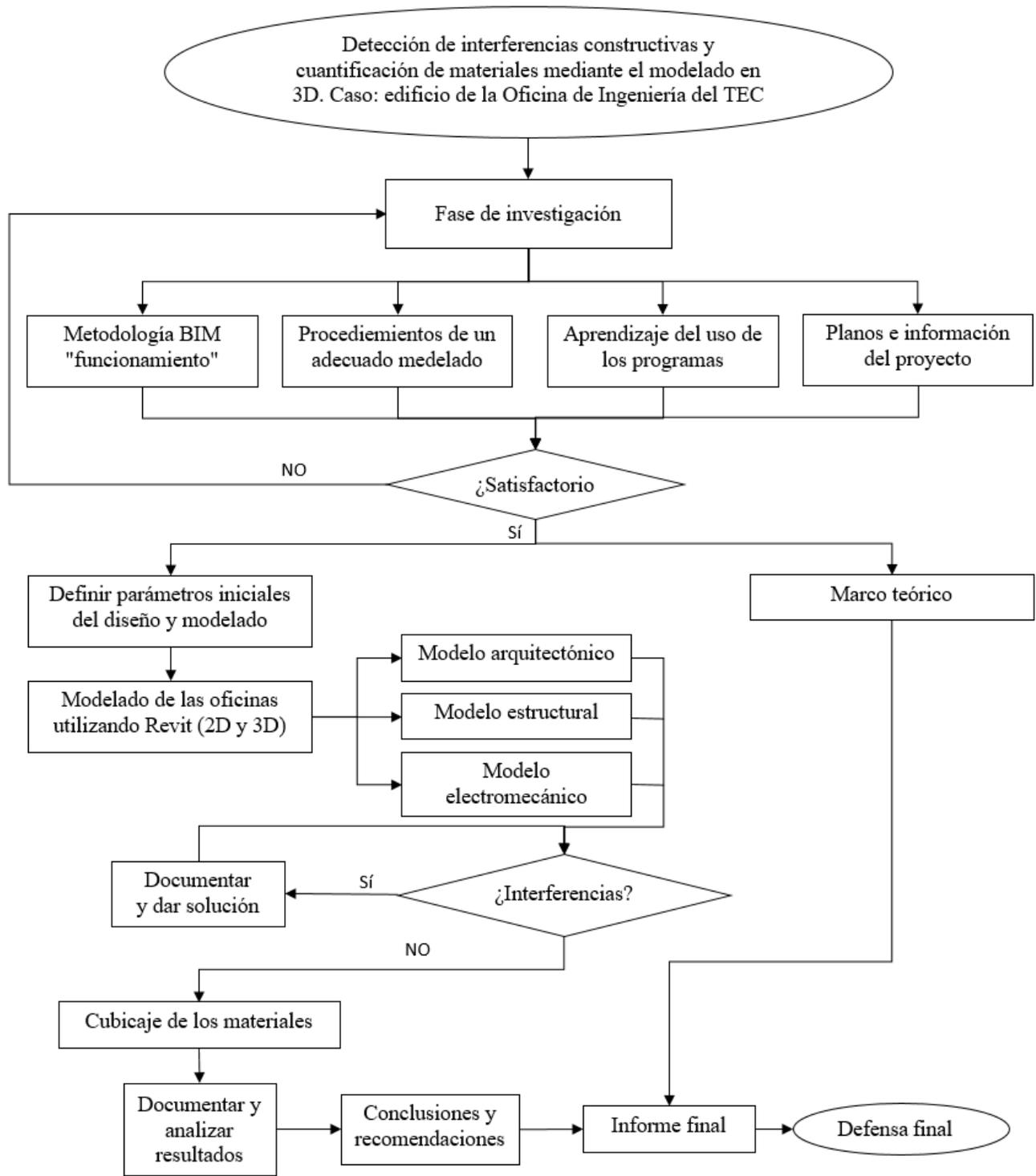


Figura 18. Metodología empleada en el proyecto
Fuente: autoría propia.

Etapa de investigación

En esta primera fase se habla de 4 áreas principales en las cuales está basada la investigación, las cuales permiten obtener los 3 productos planteados para el primer objetivo. Estos son: el Plan de Ejecución BIM (BEP), parámetros y características necesarias en cada objeto del proyecto, y por último, realizar un flujograma del procedimiento más adecuado para el modelado en 3D de una edificación de esta magnitud.

Lo primero que se lleva a cabo es la solicitud y obtención de los planos del proyecto. La encargada del Departamento de Dibujo de la Oficina de Ingeniería los proporciona y suministra la información necesaria para poder elaborar el modelo. Cabe mencionar que a lo largo del modelado surgen algunas dudas con respecto al diseño y especificaciones de los planos, las mismas fueron esclarecidas por colegas de la misma oficina, quienes fueron partícipes de la elaboración y/o construcción del proyecto.

Aunado a lo anterior, se inicia con la parte de investigación de las fuentes relacionadas con la metodología BIM. Lo que se pretende con esta fase es esclarecer el alcance al cuál puede llegar el proyecto, además de las limitaciones del mismo. Se comienza con documentos que explican asuntos vinculados con el mundo BIM y cada una de sus aplicaciones dentro de un proyecto de construcción.

Es importante mencionar que existe mucha información al respecto, pero los lugares donde se aplican cada una de las dimensiones BIM (de la 1D hasta 7D, y más) no son realistas con la aplicación que se le da a esta metodología dentro de América Latina y más específicamente en Costa Rica. Dado lo anterior, se recurre también a investigar la situación actual de este sistema dentro de CR y otros países más cercanos a nuestra realidad, como lo son Chile y México, que también están avanzados en la implementación de esta filosofía.

Se investiga cómo se debe realizar un Plan de Ejecución BIM. Se toman como base la Guía para la Elaboración del Plan de Ejecución BIM escrito por Jiménez et al (2018), el cual está basado en el Penn State (2013). Debe mencionarse que sin tener este documento es difícil llevar a cabo el proyecto de la mejor forma, ya que es aquí donde se establecen sus alcances, la forma de trabajo, las plataformas a utilizar, entre otras cosas más.

Estandarizar los conocimientos de sus colaboradores, consiste en uno de los objetivos de la empresa para este año, por esta razón se propuso, un curso intensivo del programa Revit de Autodesk, uno de los programas más usados por BIM Construction; el mismo es impartido por uno de los socios de la empresa. Es en este momento cuanto se aprovecha para esclarecer las dudas a las preguntas que surgen del proyecto de la Oficinas de Ingeniería, las formas de nombramiento de los elementos y de cuál es el procedimiento más adecuado para modelar un proyecto de esta magnitud.

Etapa modelado

Una vez finalizada la mayor parte de investigación, con el BEP definido y ya con todos los conceptos claros, se da inicio a la fase del modelado en 3D; para ello se siguen los procedimientos recomendados por los colegas y por los videos suministrados.

Procedimiento general:

1. Se configura el programa en general, unidades, idioma, tiempos de guardado, etc.
2. Normalmente y en proyectos de magnitudes grandes, se trabajan cada uno de los modelos por separado, es decir, se tiene un archivo para cada una de las áreas de conocimiento de la construcción, uno arquitectónico (ARQ), el estructural (EST) y también los sistemas electromecánicos por separado (MEP); se trabajan así para que el archivo no se vuelva difícil de maniobrar dentro del programa. Como este proyecto es relativamente pequeño, los colaboradores recomiendan trabajar la parte ARQ y EST en un solo archivo y todo lo MEP en otro, por lo que se procede a iniciar el modelo en estas dos categorías, iniciando con lo arquitectónico y estructural.
3. Se crean la familias de los elementos presentes en el proyecto y se le incluyen todos los parámetros de entrada para el cumplimiento de los objetivos (nombre de familia, de tipo, type mark, dimensiones, etc. Luego de eso se modelan siguiendo las indicaciones de los planos.
4. El muro de contención se modela en un archivo por separado, terminado el edificio se inicia con esta estructura.
5. Cuando estas dos áreas se encuentran terminadas en su totalidad, se inicia la elaboración del modelo mecánico, únicamente los sistemas sanitario, potable y aire acondicionado.

Es importante aclarar que para desarrollar este proyecto fue necesario pasar por el proceso de aprendizaje del software, por lo que el alcance incluye la parte estructural, arquitectónica, y de ser posible, los sistemas mecánicos. Por tal motivo se modelan, coordinan y cuantifican todos elementos de las disciplinas: arquitectura y estructural. Posteriormente, con el tiempo restante, se crean tantos sistemas MEP como fuera posibles.

Detección y análisis de interferencias

Con los modelos ya elaborados, es posible realizar la sección de análisis de interferencias, la cual contempla los choques generados por las diferentes disciplinas y los fallos que se encuentren por el recorrido virtual.

Se genera una matriz de interferencias, que básicamente detecta las interferencias de cada una de las disciplinas por separado, es decir, se analiza el edificio contra el mismo edificio, luego el edificio contra el muro de contención y por último el edificio y muro contra los sistemas

mecánicos.

Para cada uno de los análisis, las colisiones encontradas son agrupadas y analizadas. Hecho esto se genera un informe con el mismo software (Navisworks), el cual se usa como guía para solucionar las incongruencias encontradas.

Etapa de cubicación

Para esta sección se crean tablas de materiales y de elementos presentes en los modelos, se ordenan y se exportan en formato .txt. Luego, estos archivos se importan desde una hoja en Excel y se les da formato. Finalmente, se crea una lista de materiales presentes en el modelo y se obtienen algunos otros por medio de relaciones volumétricas o de área.

Resultados

Parámetros iniciales de modelado

Plan de ejecución BIM (BEP)

El Plan de Ejecución BIM (BEP) pretende aclarar todos los requerimientos y recursos necesarios para generar los productos esperados. Además, se establecen los involucrados dentro del proyecto, así como sus respectivas funciones dentro del mismo. Para la elaboración de este documento se utiliza como base la Guía para la elaboración del Plan de Ejecución BIM, elaborado por Jiménez et al. (2018).

Sobre el BEP

1. Objetivo

Ser una guía para la elaboración y revisión del modelo en estudio, así como la gestión de la información y los productos esperados del proyecto.

2. Alcance

Este BEP contempla la definición de cómo se llevará a cabo la documentación y gestión de toda la información del trabajo. Además de la definición de los límites relacionados al modelado y a la finalidad del proyecto.

3. Histórico de revisiones

Cuadro 10. Historial de revisiones

Versión	Fecha	Responsable	Motivo de modificación
1.0	06/02/2020	Brayan Mora Pérez	1er versión
2.0	13/03/2020	Brayan Mora Pérez	Modificación de la 1er versión

Fuente: Autoría propia.

4. Procesos de cambio en el BEP

Cada vez que se realice un cambio se tiene que notificar a cada uno de los involucrados en la revisión del proyecto. Además, si la modificación incrementa o disminuye el alcance del proyecto, el profesor guía dará el aval de que se pueda realizar. Aunado a lo anterior, se tiene que actualizar la tabla del histórico de revisiones.

Respecto al proyecto

1. Datos de identificación

Proyecto: Nuevo edificio de la Oficina de Ingeniería.

Propietario: Tecnológico de Costa Rica, sede central.

Diseño: Oficina de Ingeniería - TEC

N° de catastro: C-1515005-2011

Año de construcción: 2015

Descripción: se realiza un modelo en 3D del edificio de la Oficina de Ingeniería del TEC, con la finalidad de hacer el metrado de los materiales y la detección y solución de interferencias del diseño.

2. Hitos del proyecto

Cuadro 11. Hitos del proyecto

N°	Hito	Entregable	Fecha inicio	Fecha entrega
1	Estudios preliminares			
1.1		Obtención de planos	17/09/2019	17/09/2019
1.2		Elaboración del BEP	03/02/2020	06/02/2020
2	Elaboración de modelos			
2.1		Modelo arquitectónico en 3D	10/02/2020	30/04/2020
2.2		Modelos estructurales en 3D	17/02/2020	30/04/2020
2.3		Modelos mecánico en 3D	13/05/202	18/05/2020
3	Archivos 2D			
3.1		Planta arquitectónica	30/04/2020	10/05/2020
4	Coordinación 3D			
4.1		Detección de interferencias	05/05/2020	06/05/2020
4.2		Solución a las interferencias	06/05/2020	08/05/2020
5	Cubicaje			
5.1		Metrado de materiales	08/05/2020	09/05/2020
5.2		Síntesis de la cuantificación	09/05/2020	10/05/2020

Fuente: Autoría propia.

3. Objetivos BIM del cliente

En este proyecto no hay un cliente a quién corresponda este apartado, más bien responde a las necesidades que se tienen para el cumplimiento de los objetivos del proyecto. Los objetivos principales son:

- Desarrollar modelos en 3D que permitan identificar interferencias entre las disciplinas por un mal diseño.
- Desarrollar un modelo 3D que permita la obtención de metrados de los materiales.

4. Requerimientos del cliente

Al igual que el punto anterior, este se enfoca en el proyecto como tal y no en un cliente. Se plantean tres requerimientos principales.

- Modelación y coordinación 3D
- Obtención de un modelo 2D del proyecto
- Cuantificación de materiales

5. Documentos de referencia del proyecto

Para el almacenaje de la información se hace uso de la plataforma One Drive de Microsoft, esto solo en lo que respecta al modelador. En el caso de las personas encargadas de revisar el proyecto se maneja por medio de una carpeta compartida en la plataforma Dropbox, es ahí donde se van a subir los entregables y cada una de las correcciones.

Usos del modelo

1. Usos previstos

Cuadro 12. Usos previstos de los modelos

Uso BIM	Modelo		
	Arquitectónico	Estructural	Mecánico
Información centralizada	x	x	x
Visualización	x	x	x
Coordinación 3D	x	x	x
Documentación 2D	x	-	-
Visualización de datos	x	x	x
Recorridos virtuales	x	x	x
Cuantificación de materiales	x	x	x

Fuente: Autoría propia.

2. Usos excluidos

- Simulación de construcción
- Asuntos de seguridad y salud

- Medio ambiente
- Mantenimiento
- Seguimiento de obra
- Fabricación digital

Entregables BIM

1. Listado

Cuadro 13. Listado de entregables del proyecto

Nombre de entregable	Fase del proyecto	Fecha de entrega	Responsable	Formato de entrega	Método de entrega
Entregable 1	Modelación	6/03/2020	Brayan Mora	PDF	Enviado por correo
Entregable 2	Modelación	30/04/2020	Brayan Mora	PDF	Enviado por correo

Fuente: Autoría propia.

2. Nivel de detalle gráfico

Para este proyecto se pretende satisfacer 2 necesidades primordiales, coordinación 3D y cuantificación. Según lo anterior, se establece que no es necesario llegar a un nivel de detalle (LOD) alto, con un LOD 300 es suficiente para poder cumplir con los objetivos. Cabe mencionar que las puertas y ventanas poseen un LOD de 200 ya que de ellas solo es necesario cuantificarlas y quitar el área que ocupan dentro de las paredes, por lo que no se invierte tiempo en aumentar su nivel de detalle. Además, algunos otros elementos se diseñan con un LOD 350; la armadura o refuerzo de acero es un ejemplo de ello, lo cual se lleva a cabo para que la cuantificación de varillas se haga de forma directa y no por medio de una relación.

3. Nivel de información no gráfica y vinculada

Se establece que cada uno de los elementos va a poseer una familia asociada, los nombres asignados a los tipos se nombrarán de igual manera como se muestran en los planos, esto para facilitar el entendimiento entre el modelo y los planos.

Datos mínimos que debe poseer cada elemento:

- a) Familia: de acuerdo a su nombre por default de Revit
- b) Tipo: según nomenclatura de planos con dimensiones en mm para identificarlos.

c) Marca de tipo: este va a depender de cada ejemplar y según su familia o tipo. Por ejemplo:

- Para vigas: *Vig-altura-ancho-espesor*
- Para columnas: *Col-altura-ancho-espesor*
- Para placas corrida: *PICo N°*
- Para láminas: *L-HG N°*
- Para muros: *M N°*
- Para ventanas: *V N°*
- Para puerta con ventana unida: *PV N°*
- Para viga entrepiso: *VP N°*

d) Descripción: en caso de ser necesario, aquí se especifica algún detalle extra.

Organización del modelo

1. Estructura de datos

Para este proyecto se sigue el orden jerárquico de cada uno de los elementos, el cual se desarrolla de la siguiente forma y en orden de prioridad:

- a) Disciplina: arquitectónica, estructural, electromecánica
- b) Familias
- c) Tipo
- d) Ejemplar

2. Configuración de plantillas

Las plantillas utilizadas son las preestablecidas por el programa Revit en cada una de sus disciplinas.

Verificación de entregables BIM

En lo que respecta al modelado se van a realizar entregables cuando el proyecto posea un 60 % de avance en la parte arquitectónica y estructural, esto para someterlo a revisión. El segundo entregable se dará cuando se tenga el 100 % de estas mismas disciplinas.

Recursos

1. Recurso humano

Cuadro 14. Equipos de trabajo

Equipo de trabajo/Rol	Responsable	Entidad	Teléfono
Equipo del TEC			
Tutor TEC	MAE Milton Sandobal Q.	TEC	88225281
Practicante	Brayan Mora P.	TEC	89436983
Equipo de asesoría BIM			
Tutor general	Ing. Randy Ugarte P.	BIM Cosntruction	88895090
Tutor BIM	Arq. Luis Gómez H.	BIM Cosntruction	89934553
Tutor BIM	Luis Carballo R.	BIM Cosntruction	83119853
Tutor BIM	Alonso Vega O.	BIM Cosntruction	87543685
Tutor BIM	Esteban Gutierrez C.	BIM Cosntruction	87089861

Fuente: Autoría propia.

2. Roles y responsabilidades

Cuadro 15. Roles de los miembros de cada equipo

Rol	Responsabilidad
Tutor TEC	Supervisar y guiar al estudiante en todo el proceso del proyecto.
Practicante	Encargado de modelar y trabajar en el cumplimiento de los objetivos del proyecto.
Tutor general	Asesoramiento y guía en lo que respecta a la metodología BIM.
Tutor BIM	Asesoría en procesos BIM del proyecto y revisión de entregables.

Fuente: Autoría propia.

3. Recursos materiales

Cuadro 16. Recursos materiales (software)

Software	Versión	Propósito	Formato
Revit	2019	Modelado 2D y 3D, extracción de información	.rtv, pdf, .txt
Navisworks	2019	Coordinación 3D	.NWC
Excel	Office 365	Recopilación de datos	.xls, pdf
Onedrive	2019	Almacenamiento de la información	Todos
Overleaf	V2	Edición de documentos	pdf

Fuente: Autoría propia.

Gestión de información

En este apartado se aclara todo lo relacionado con la forma en que se manejará la información referente al proyecto. Además, también se mencionan las formas en las que se va a comunicar cada uno de los equipos de trabajo.

1. Estrategias de gestión de datos

La plataforma donde se van a almacenar todos los archivos de trabajo es en OneDrive; únicamente los entregables van a estar fuera de esta plataforma, pero siempre va a existir un respaldo de ellos. Todos los archivos se manejan de forma digital, incluyendo los entregables. Lo que respecta a los entregables del modelo se van a subir a una carpeta compartida de Dropbox para que los tutores de la empresa tengan acceso a ellos y los puedan revisar cada vez que se actualice.

2. Estrategias de comunicación

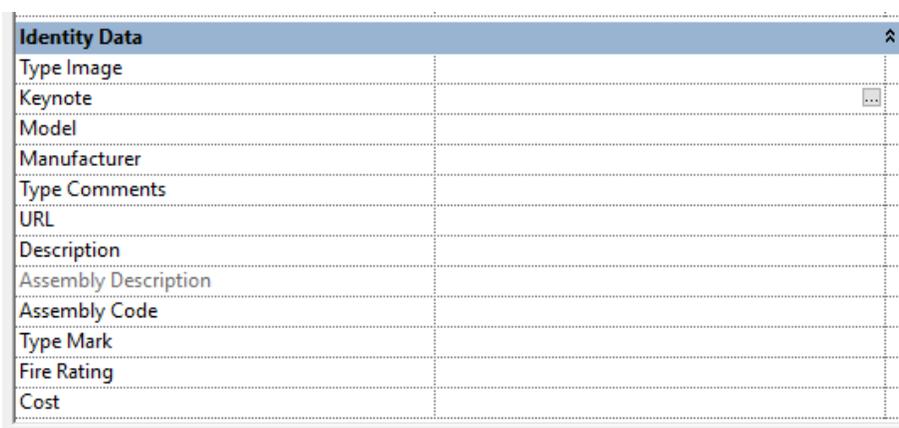
La estrategia de reportes se genera según lo establecido en los acuerdos de los entregables. Las correcciones se harán de forma escrita en el documento .pdf o .doc. Las correcciones de modelado se efectuarán de forma presencial o escrita según lo prefiera el tutor revisor.

Se establece que para las dudas referentes al proyecto se organizan reuniones, formales o informales, en las que sea posible recibir un asesoramiento en la etapa de ejecución pertinente.

Parámetros de entrada de los elementos a modelar

Esta sección estará sujeta a las recomendaciones de los colaboradores de la empresa donde se realiza la práctica. Se menciona que los parámetros de entrada de los elementos del software de modelado van a depender directamente del alcance del proyecto. Por ejemplo, si el alcance llega hasta un 6D (análisis de sostenibilidad o energético), se tiene que insertar a las paredes si pertenecen o a la parte exterior o interior del edificio, agregar las propiedades térmicas de los materiales y así una serie de parámetros que otros programas necesitan para su cómputo.

Otro ejemplo aplicable es cuando el modelo se va a utilizar como un “as-built” del proyecto. En ese caso lo ideal es que se llenen todos o la mayoría de los parámetros de la sección “Datos de Identidad” de las propiedades de tipo de cada elemento (véase figura 19), o por lo menos a los que se necesita realizarles mantenimiento.



Identity Data	
Type Image	
Keynote	...
Model	
Manufacturer	
Type Comments	
URL	
Description	
Assembly Description	
Assembly Code	
Type Mark	
Fire Rating	
Cost	

Figura 19. Parámetros de Identity Data de Autodesk Revit.
Fuente: Autodesk Revit (2019).

A continuación se mencionarán los parámetros de entrada que se van a completar en cada uno de los elementos del proyecto, esto para un cumplimiento adecuado de los objetivos ya establecidos. Dichos datos se pueden representar de forma generalizada para todas las disciplinas a modelar:

- **Nombre de la familia:** un nombre de la familia que haga referencia al elemento a modelar; debe ser claro y conciso. Se puede usar el que trae Revit por defecto.
- **Nombre de tipo:** un nombre por tipo que permita dar características propias del elemento, con el cual se pueda diferenciar de otros componentes de la misma familia.
- **Dimensiones:** si el elemento es paramétrico, estas deben de ser ingresadas; representativas de lo que se va a construir, así la contabilización y coordinación serán más cercanas a la realidad.

- **Material:** a cada elemento que se quiera contabilizar de forma directa se le debe asignar el material, el cual debe de poseer como mínimo un nombre adecuado, una descripción, preferiblemente, y además, una selección de cómo se apreciará en la visualización 3D, en planta y en corte, esto es de utilidad a la hora de hacer los planos 2D.
- **Ángulos:** para discretizar los accesorios de las tuberías, principalmente los que poseen un ángulo de 90 o 45 grados, esto solo para identificarlos.
- **Marca de tipo:** este parámetro es útil no solo para etiquetar los elementos en los planos, sino también para que las tablas de contabilización se puedan ordenar por medio de dicho criterio.

En relación con estos parámetros mínimos, también es posible agregar una descripción que permita darse una idea más detallada del elemento, inclusive puede funcionar para etiquetar en los planos. El nombramiento de las familias y de los tipos de elementos se hará de acuerdo con un “libro de estilo” elaborado por cada empresa, para su propia utilidad, con el cual se defina un código único que le permita generar nombres de forma genérica en todos sus proyectos.

En la figura 20 se presenta la interfaz donde se agregan todos los parámetros mencionados anteriormente, esto para el caso de una ventana rectangular.

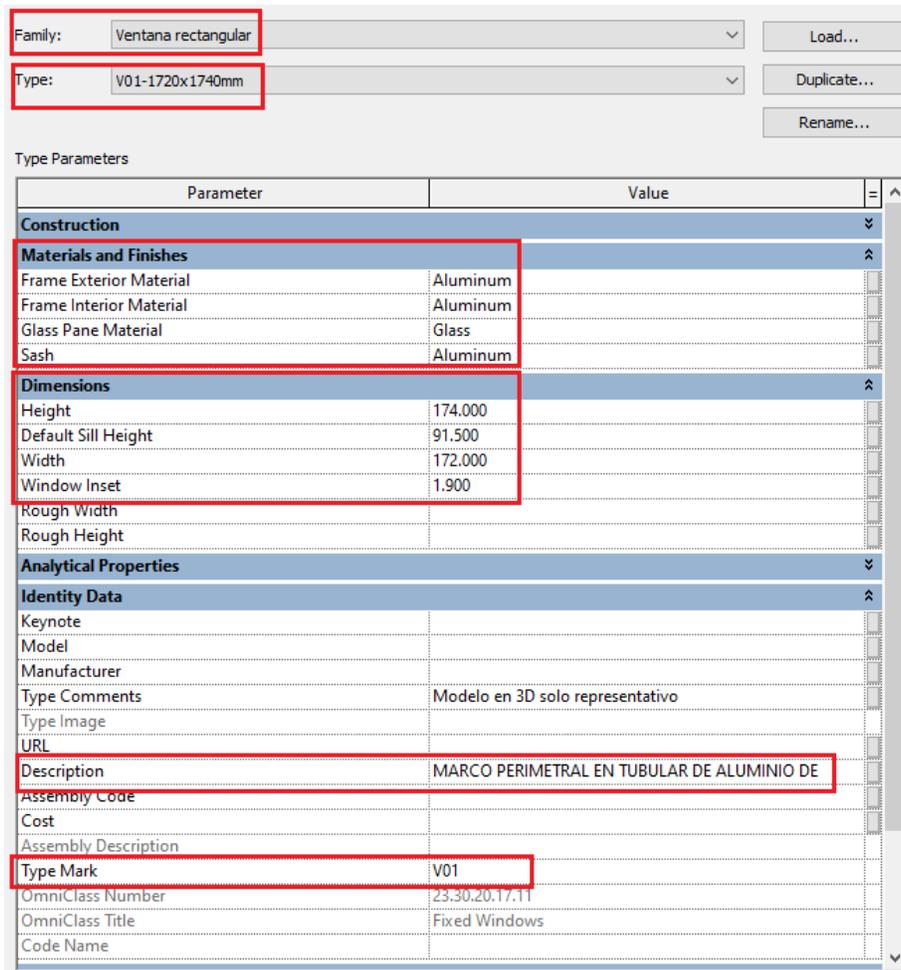


Figura 20. Parámetros generales de una ventana.
Fuente: Autoría propia por medio de Autodesk Revit (2019).

Proceso de modelado

Para que el proceso de modelado sea lo más eficiente posible, es necesario que exista un flujo de trabajo que siga una secuencia lógica. Cumpliendo lo anterior, las distintas disciplinas o sistemas pueden funcionar o llevarse a cabo de una manera en la que todas se puedan culminar sin depender de la continuidad de las otras áreas, de tener que devolverse a definir parámetros o incluso a rediseñar.

Para explicar el proceso que se sigue normalmente en todo el transcurso de modelado tridimensional, se realiza una gráfica en la que se muestra, de forma cronológica, cada una de las disciplinas que involucran a un proyecto de construcción; la misma fue elaborada de acuerdo a las recomendaciones de los colaboradores de la empresa donde se realiza la práctica (ver figura 21).

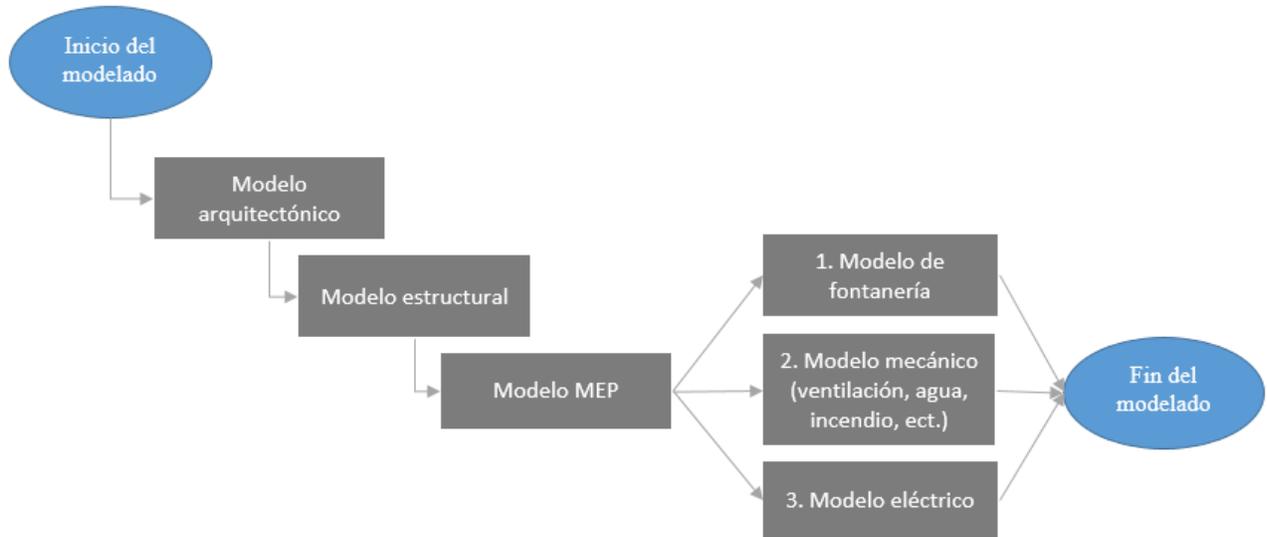


Figura 21. Proceso general del modelado.
Fuente: Autoría propia.

De manera consecutiva se puede mostrar el desglose de cada uno de los procesos de las diferentes disciplinas. En la figura 22 se encuentra el flujograma a seguir para elaborar el modelo arquitectónico, en la figura 23 el modelo estructural y en la figura 24 la del modelo electro-mecánico.

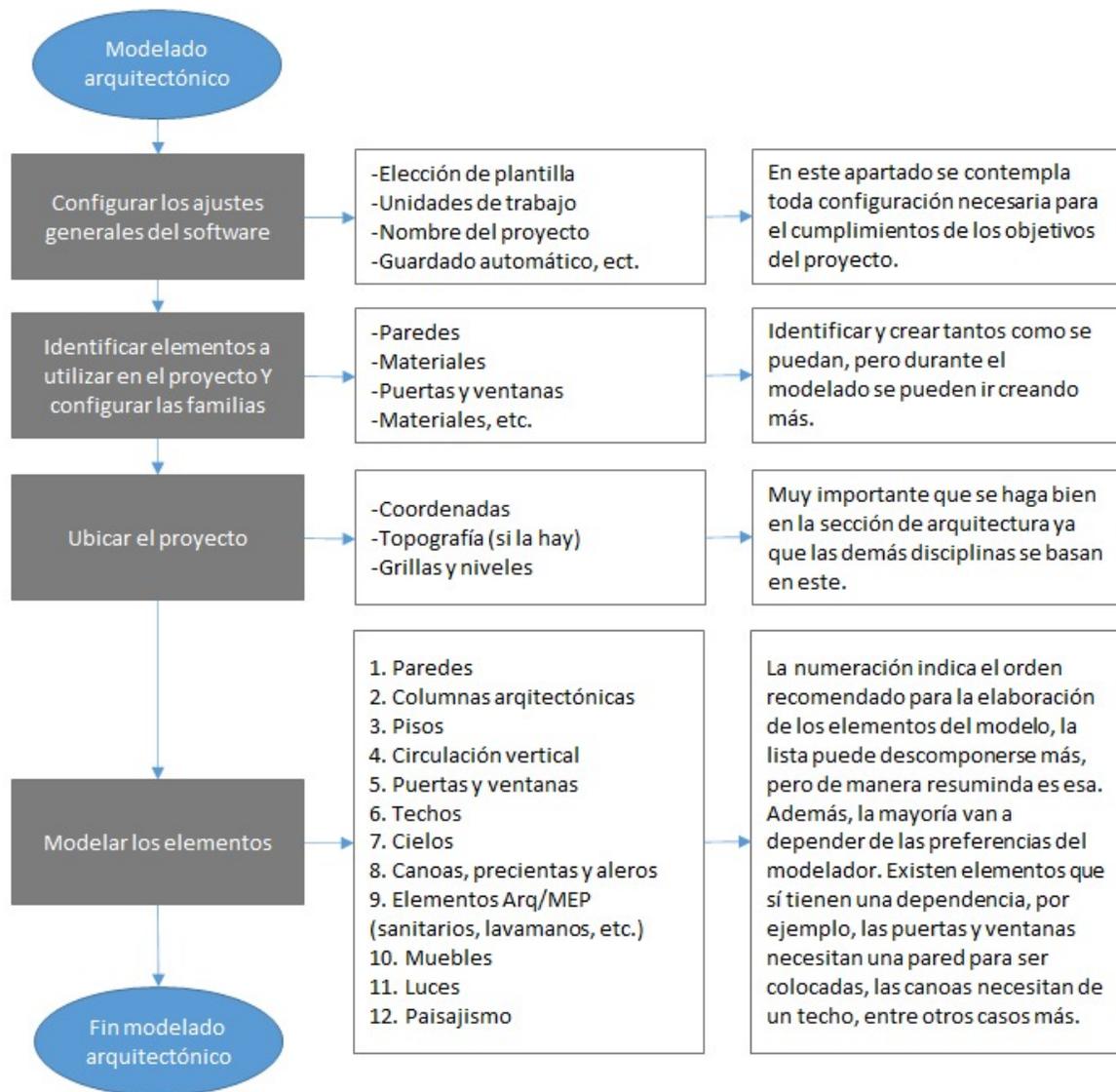


Figura 22. Flujo de modelado arquitectónico.
Fuente: Autoría propia.

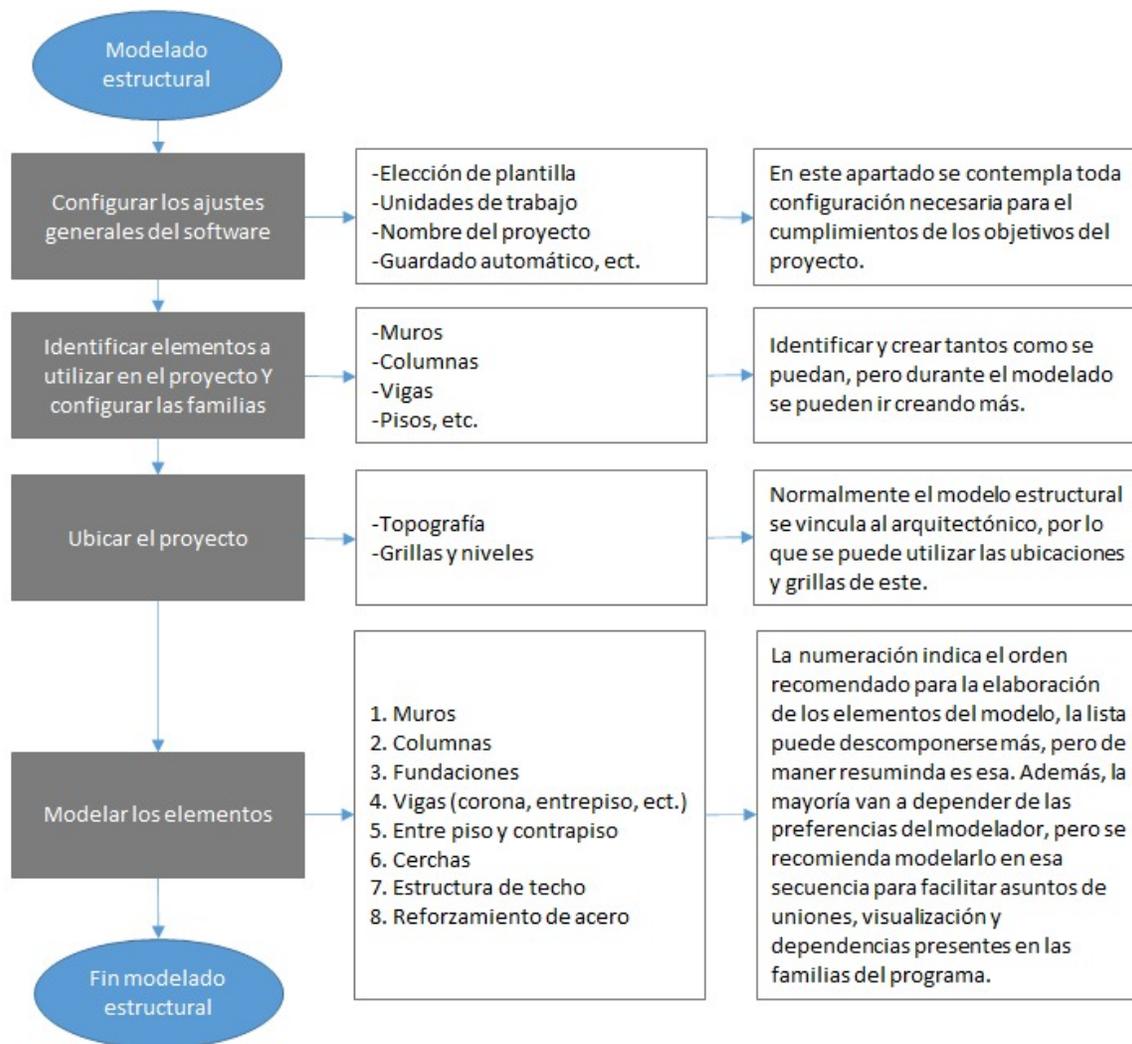


Figura 23. Flujograma de modelado estructural
Fuente: Autoría propia.

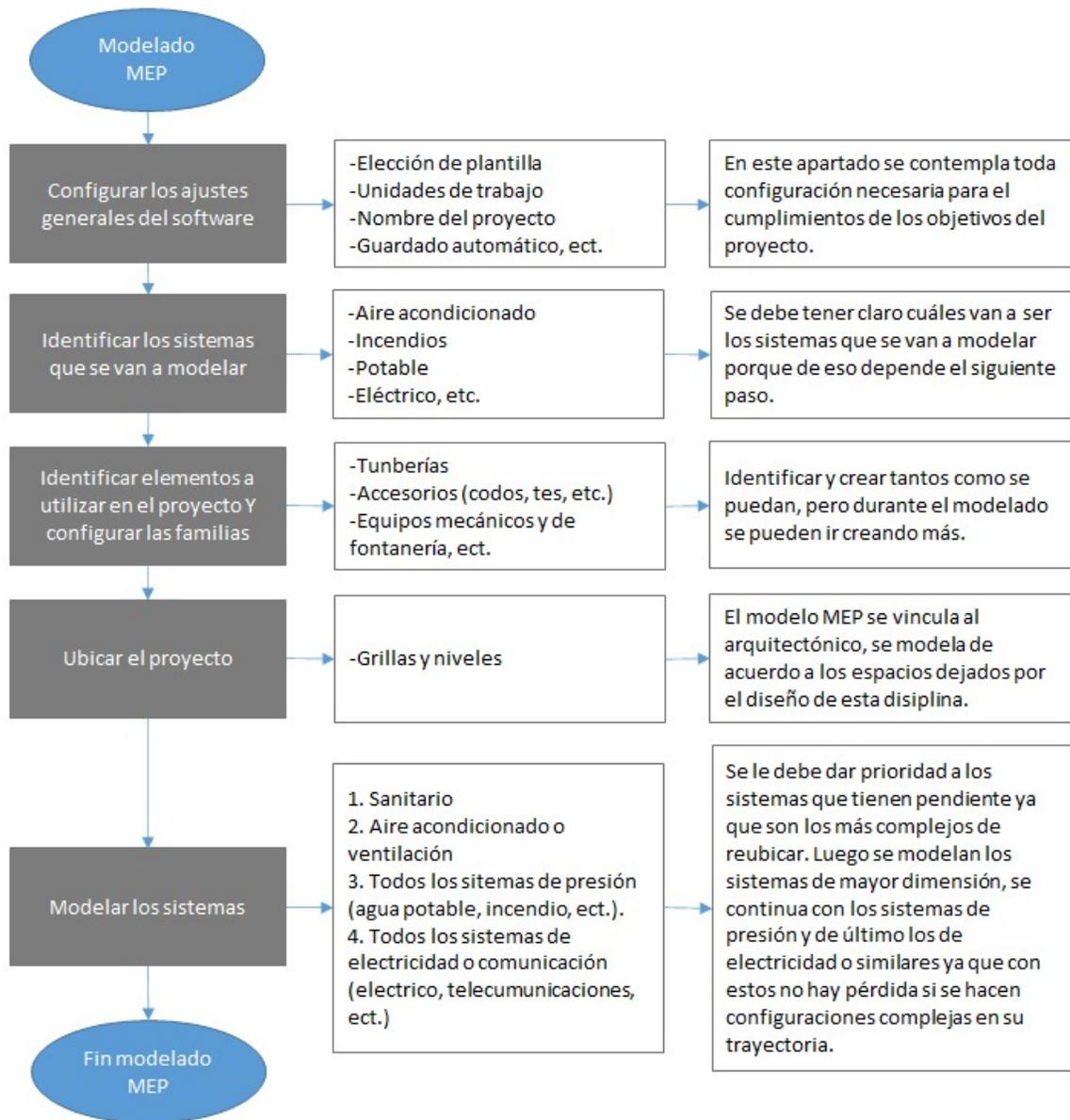


Figura 24. Flujograma de modelado MEP.

Fuente: Autoría propia.

Modelado del proyecto en dos y tres dimensiones

Para este apartado se hace uso de las recomendaciones dadas por la empresa, las cuales se especifican en la sección anterior. Aunque normalmente las disciplinas se manejan en modelos separados, en este caso se van a trabajar el modelo arquitectónico y el estructural en el mismo archivo, esto ya que el proyecto es relativamente pequeño y no hay problema con manejarlo así; no obstante, el muro de contención, que también pertenece al diseño estructural, se modela por aparte para tener un mayor control de los elementos de esta infraestructura; posteriormente se van a coordinar para su respectivo análisis.

Se da inicio con el modelo arquitectónico, se hace con la configuración del programa de Revit donde se edita el nombre del proyecto (figura 25), se ingresa el usuario que va a modelar y se define que el intervalo de tiempo para avisar el guardado del archivo es cada media hora (figura 26). El mismo procedimiento se sigue para el resto de los modelos.

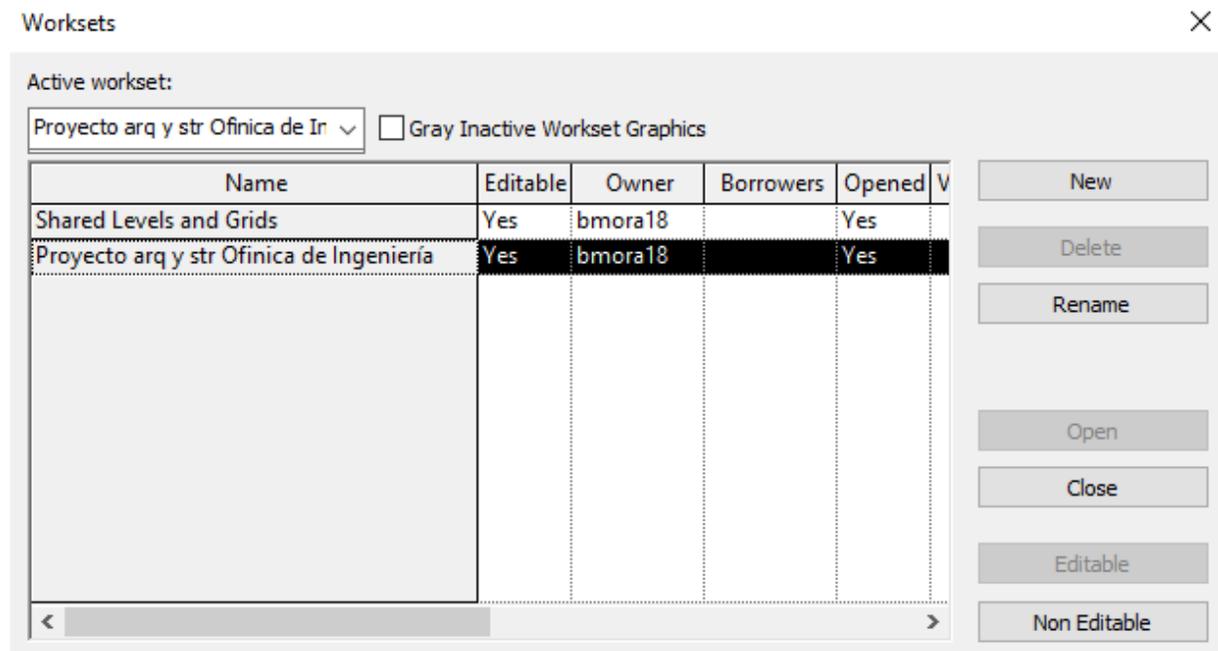


Figura 25. Nombramiento del archivo arquitectónico y estructural.
Fuente: Autoría propia.

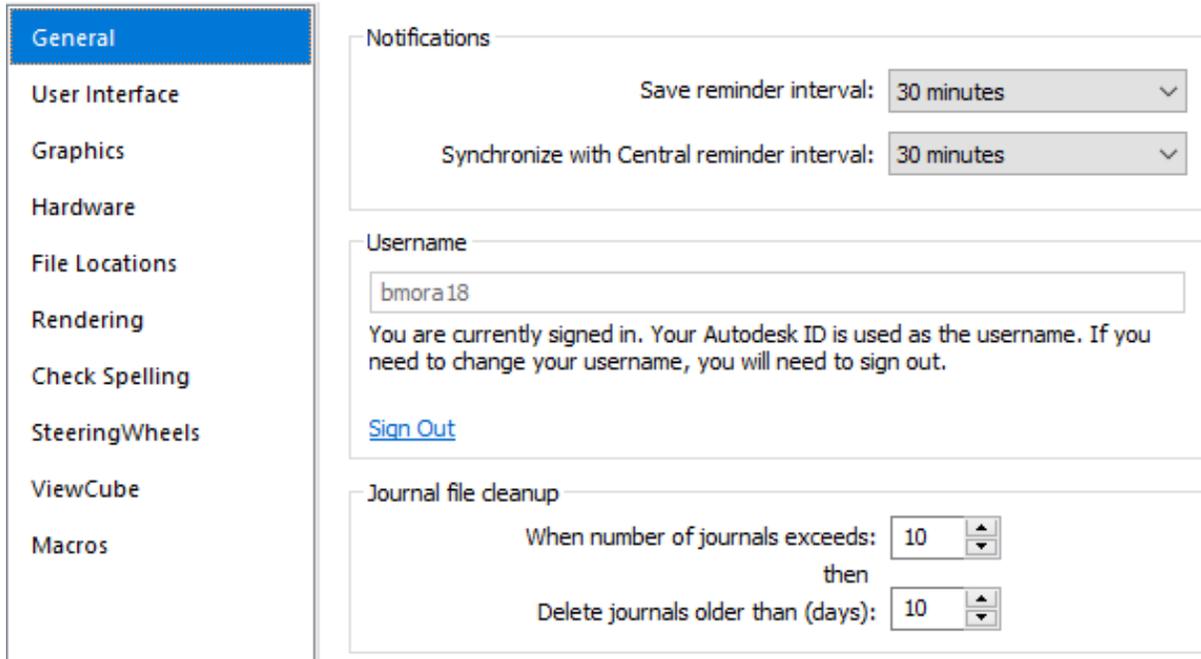


Figura 26. Configuración inicial del modelo.
Fuente: Autoría propia.

Posteriormente, se estudian los planos y se definen las grillas y niveles necesarios para empezar a modelar. Cabe destacar que no hay topografía, por lo que la ubicación del proyecto se hace con respecto a las coordenadas (0,0), lugar donde se coloca la intersección de la grilla A-1, ver figuras 27 y 28. Mientras se analizan los planos se identifican los elementos más relevantes como tipos de muros, puertas, ventanas y materiales principalmente, y se crean sus familias respectivas.

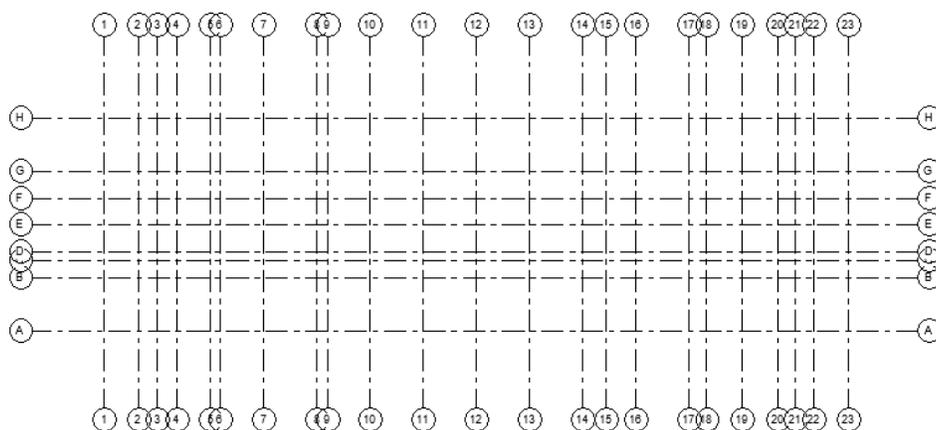


Figura 27. Configuración de grillas del proyecto.
Fuente: Autoría propia.

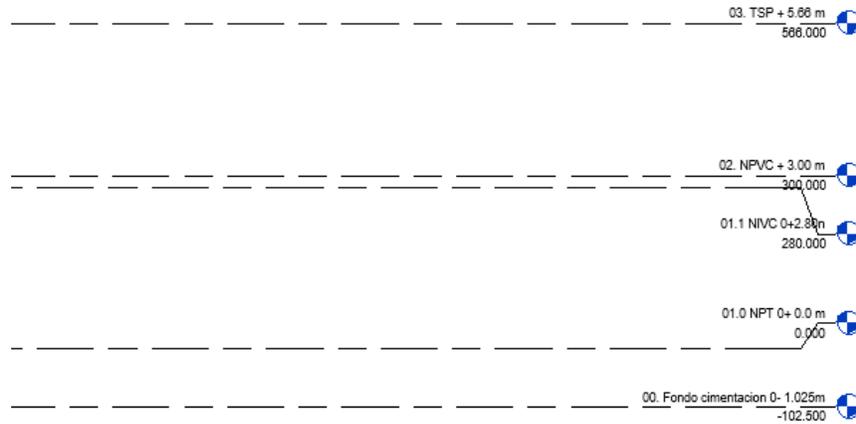


Figura 28. Configuración de niveles del proyecto.
Fuente: Autoría propia.

Con las rejillas ya hechas se modelan los tipos de paredes siguiendo las especificaciones de los planos. En general solo existen dos tipos de muros, uno de Panel 3D Panacor y una pared liviana de Gypsum. En la figura 29 se observan, tanto en planta como en 3D, la configuración de paredes del edificio.

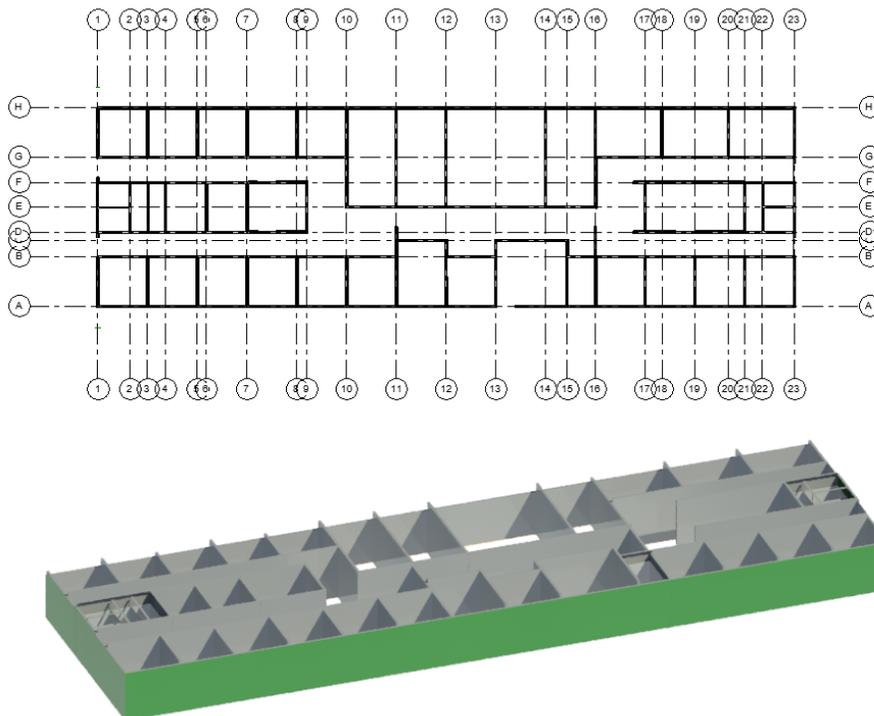


Figura 29. Configuración de paredes del proyecto.
Fuente: Autoría propia.

El proyecto no presenta columnas arquitectónicas ni circulación vertical en la parte interna, por lo que estos apartados se omiten. Posterior a la colocación de las paredes se modela el piso arquitectónico, el cual contempla solo el acabado de porcelanato y se sigue la huella de las paredes para acercarse lo más posible al proceso constructivo real (ver figura 30). La losa como tal se va a modelar en la parte estructural ya que esta lleva el refuerzo de acero.

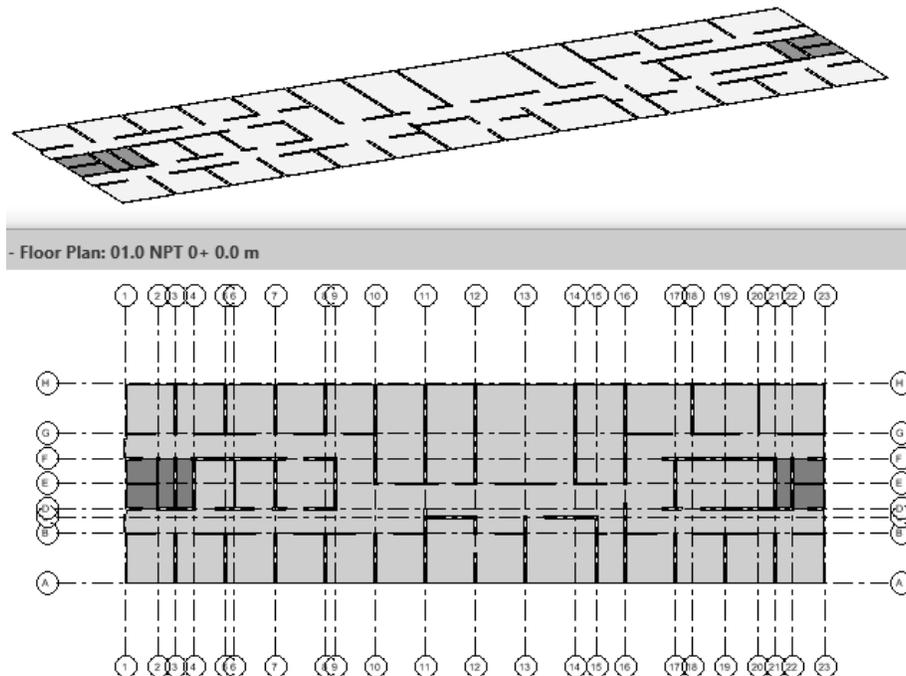


Figura 30. Configuración de los pisos del proyecto.

Fuente: Autoría propia.

Ya con las paredes modeladas se puede proseguir a modelar las puertas y ventanas. Cada una de ellas se crea previo a ser colocada en el proyecto, con la salvedad de que estas son solo una representación espacial, es decir, no tiene un diseño de taller o uno muy elaborado, de ellas lo que se busca es tener la contabilización de los distintos tipos y del espacio que ocupan en las paredes.

En la figura 31 se puede observar una pared que cuenta con las puertas y ventanas correspondientes. Cabe mencionar que a cada ventana y puerta se le coloca una descripción del acabado que debe de tener y una referencia al plano de detalle que se coloca en el "Type Mark" de cada una.

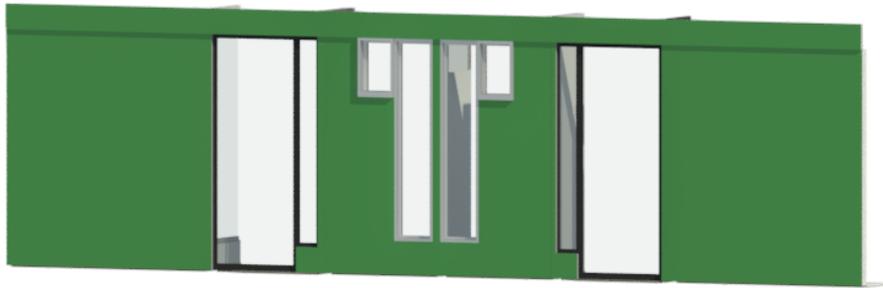


Figura 31. Ejemplo de ventanas y puertas en el proyecto.
Fuente: Autoría propia.

Como el modelo arquitectónico y estructural se llevan a cabo en un mismo archivo, para continuar con el modelado del techo es preferible esperar a que estén las cerchas, por lo que se decide iniciar con la disciplina estructural. Como no existen muros estructurales se inicia con la incorporación de las columnas de acero de todo el proyecto y posteriormente se colocan las fundaciones que en este caso son pedestales (ver figura 32).

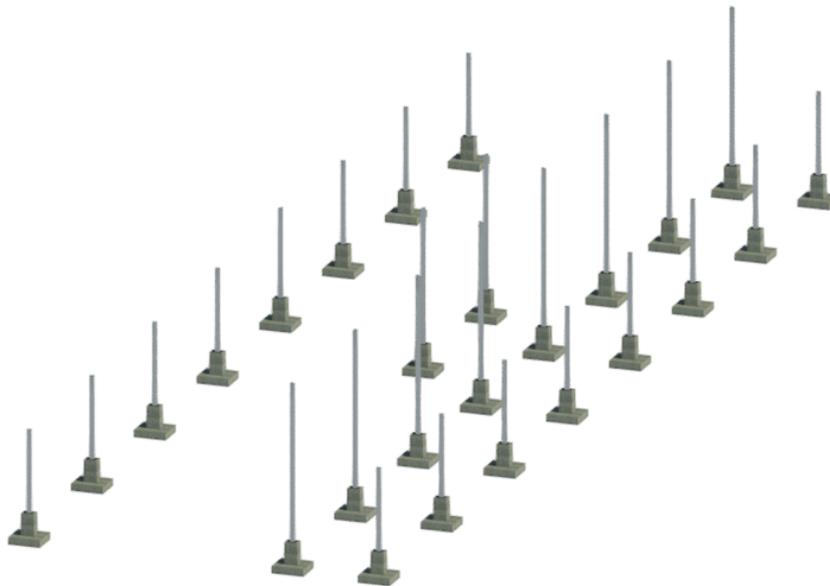


Figura 32. Columnas y pedestales presentes en el proyecto.
Fuente: Autoría propia.

Ahora se colocan las vigas de contrapiso, en este caso solo hay dos tipos, las perimetrales y las internas que se ubican solo donde hay paredes de tipo 3D Panacor. En la figura 33 se puede observar, tanto en planta como tridimensionalmente, cómo quedarían dichas vigas.

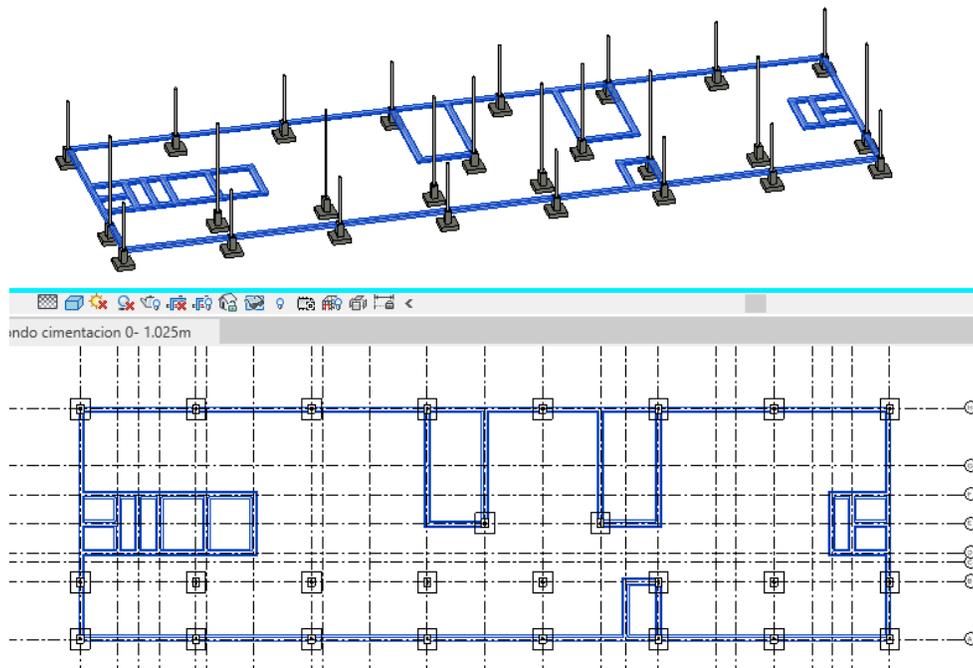


Figura 33. Columnas, pedestales y vigas contrapiso presentes en el proyecto.
Fuente: Autoría propia.

Luego se incorporan las vigas de acero que hay entre las columnas y se suman las cerchas que también cumplen esta misma función (ver figura 34).

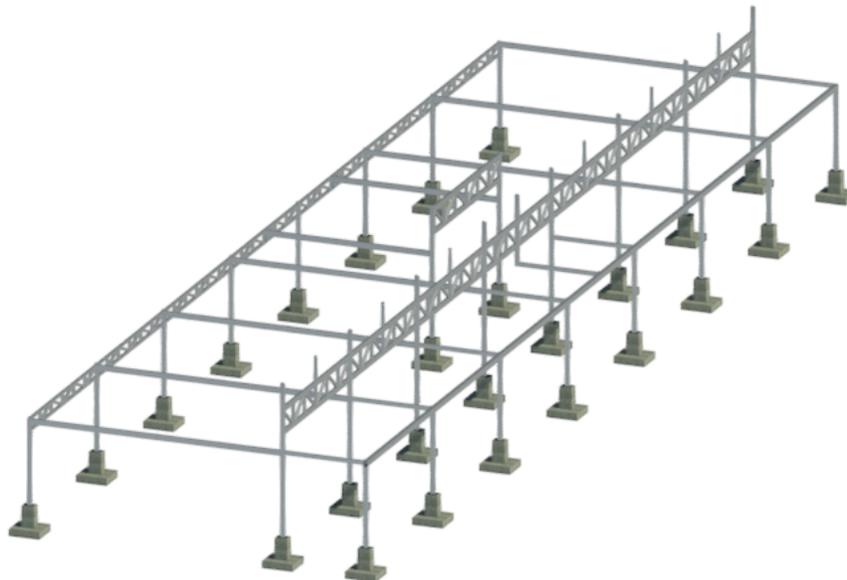


Figura 34. Columnas y vigas de acero presentes en el proyecto.
Fuente: Autoría propia.

Según el orden recomendado en la sección de "Proceso de modelado", se modela el contrapiso del proyecto, el cual se encuentra por debajo del piso arquitectónico. Véase figura 35.

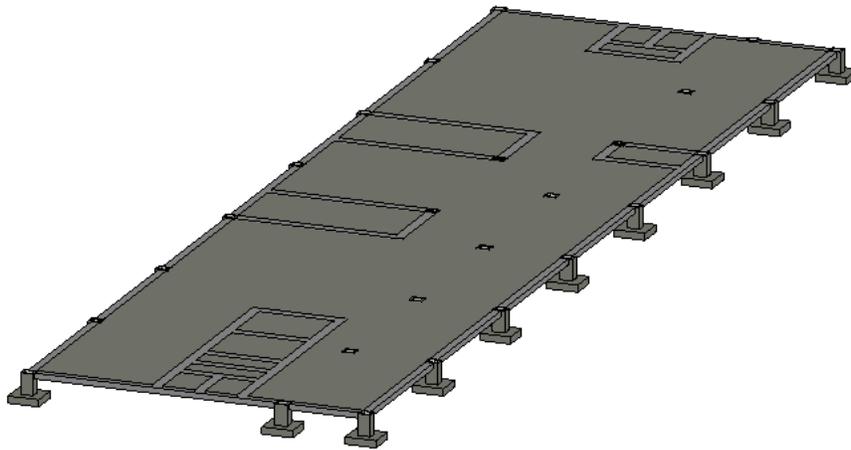


Figura 35. Pedestales, vigas y contrapiso presentes en el proyecto.
Fuente: Autoría propia.

Una vez modeladas las columnas y las vigas se pueden colocar las cerchas y clavadores del techo para cada uno de los ejes. Si se coloca todo en el mismo modelo, excluyendo la fundación y piso, se ve como se representa en la figura 36.

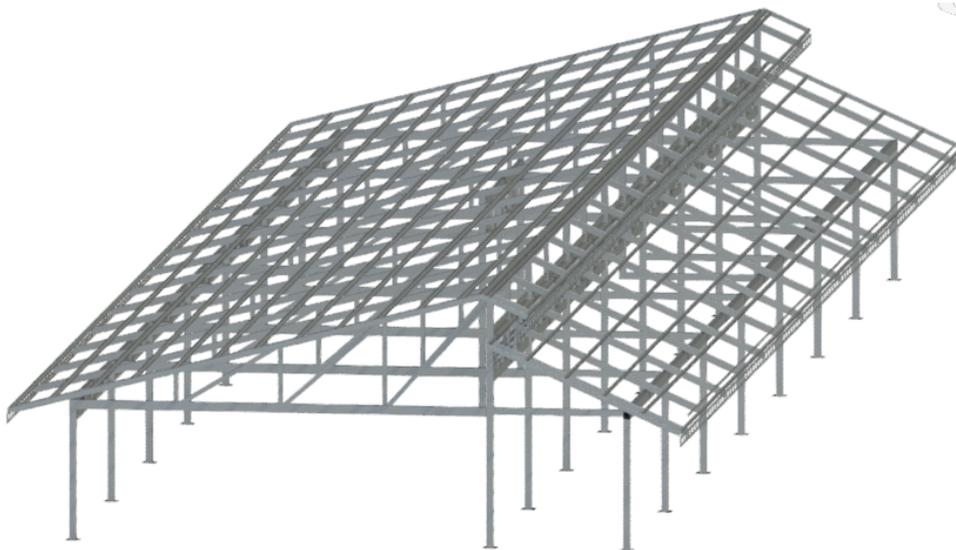


Figura 36. Estructura de acero presente en el proyecto.
Fuente: Autoría propia.

Lo único que queda por hacer del modelo estructural, en lo que respecta al edificio en sí,

es el reforzamiento de acero de las fundaciones, vigas de concreto y del contrapiso. El orden de como se coloca este no interfiere más que en la visualización. La secuencia que se siguió fue: primero el acero de los pedestales (figura 37.a), luego el de las vigas (figura 37.b) y por último el del contrapiso (figura 37.c).



Figura 37. Refuerzo de acero presente en el proyecto.
Fuente: Autoría propia.

Culminada la ubicación de los clavadores se puede colocar el techo y posteriormente las canoas y la precinta. Si se aíslan de todo el modelo se pueden ver como en la figura 38.



Figura 38. Techo, precintas y canoas del proyecto.
Fuente: Autoría propia.

Lo siguiente a modelar son los cielos. En este proyecto existen dos tipos, uno suspendido y el otro con pendiente que sigue la alineación del techo. Se aprovecha para modelar los aleros ya que poseen el mismo acabado. Todo lo anterior se puede observar en la figura 39.

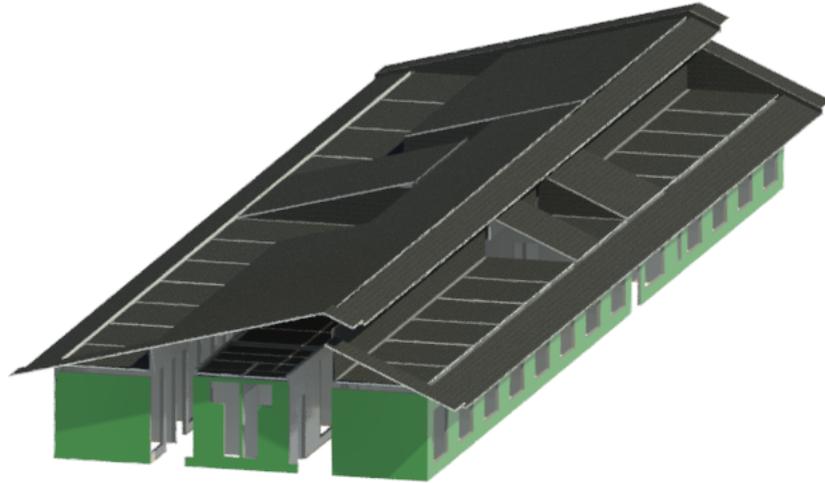


Figura 39. Cielos del proyecto.
Fuente: Autoría propia.

Para terminar con la estructura arquitectónica general del proyecto, se procede a detallar los tapicheles tanto externos como internos. Los mismos se pueden llevar a cabo gracias a los detalles en cortes o vistas de perfil que se dan en los planos. En la figura 40, marcados de color azul, se pueden observar todos los tapicheles del proyecto.

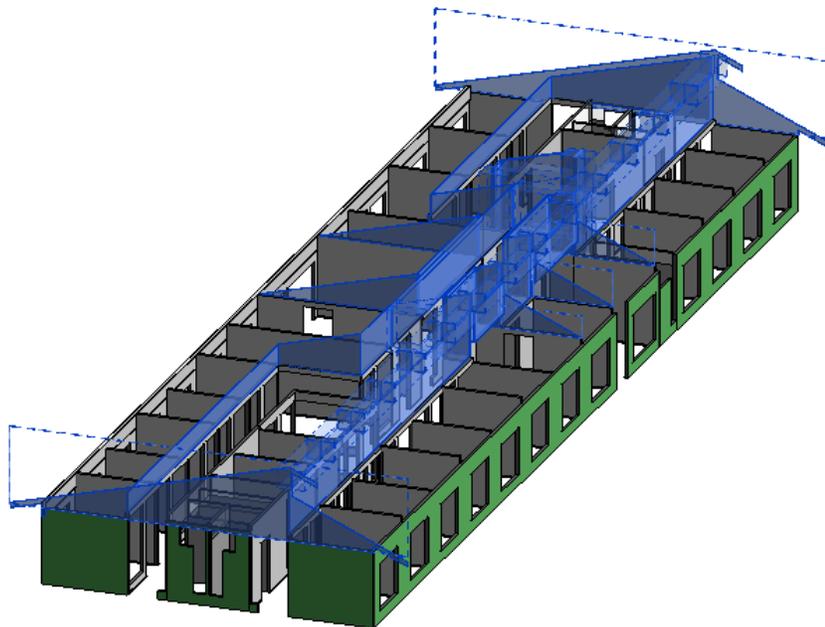


Figura 40. Tapicheles del proyecto.
Fuente: Autoría propia.

Lo que respecta a algunos elementos exteriores se modelan hasta este punto; ejemplo de ellos son las aceras, escaleras exteriores, barandas y además, se incluye el lastre de sustitución que es necesario para poder chorrear la parte de las fundaciones. Todo esto se puede ver en la siguiente figura.



Figura 41. Aceras, lastre compactado y escaleras exteriores del proyecto.
Fuente: Autoría propia.

Lo único que queda por modelar es el muro de contención, el cual se desarrolla en un modelo totalmente aparte pero con la mismas coordenadas que el modelo arquitectónico. Para modelarlo se sigue el siguiente procedimiento: primero las columnas, posteriormente la placa aislada, luego el muro de block, la placa corrida debajo del muro y por último las vigas. Una vez modelados todos los elementos estructurales se le agregan el refuerzo de acero. En la figura 42 se presenta cada una de las partes mencionadas y en la figura 43 se muestra todo en conjunto.

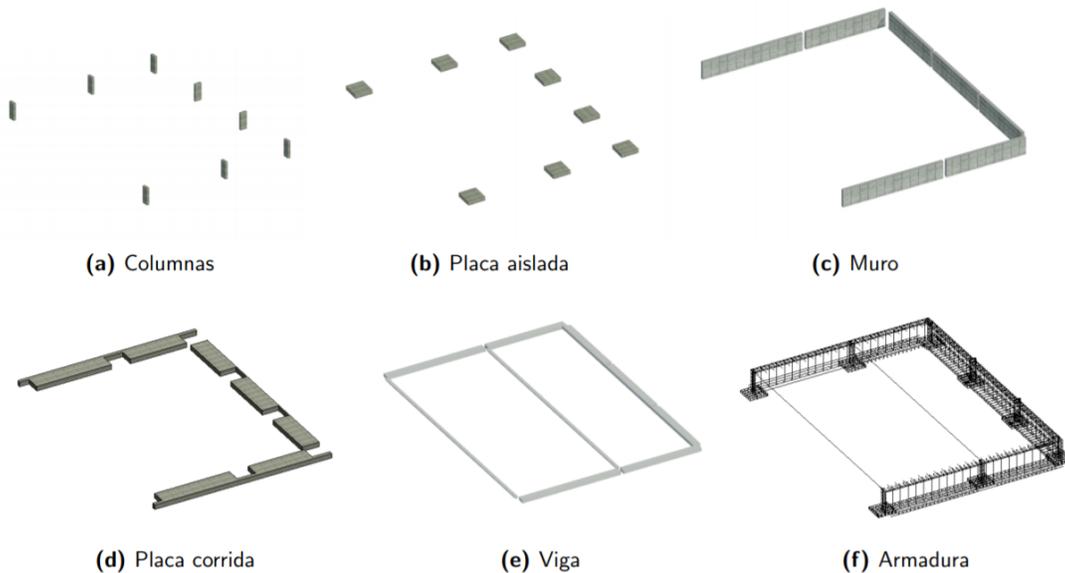


Figura 42. Componentes del muro de contención.
Fuente: Autoría propia.

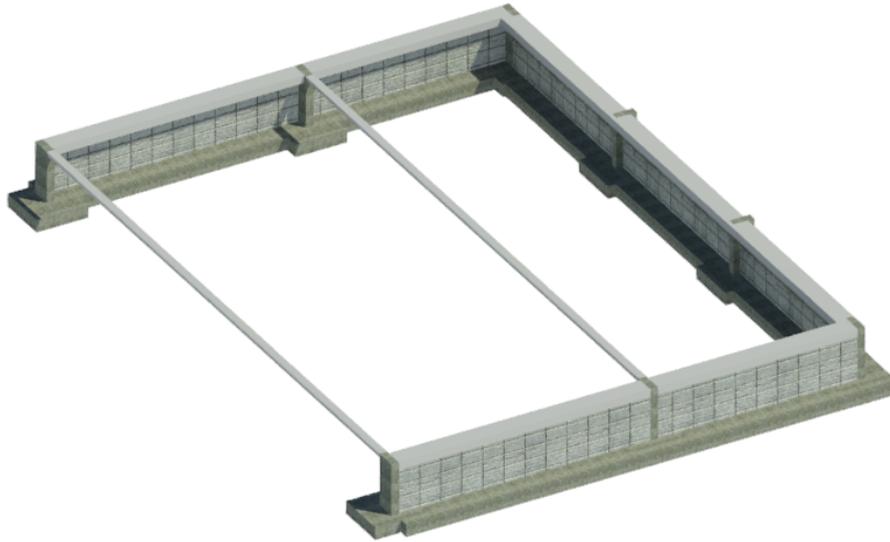


Figura 43. Muro de contención completo.
Fuente: Autoría propia.

Se prosigue a colocar los sistemas mecánicos. Para este caso, por cuestiones de tiempo el proyecto se limita a modelar el sistema de agua potable, caliente, negras, grises y aire acondicionado. Para el diseño de esta sección se sigue el procedimiento recomendado.

Primero, se configura el programa igual que en las dos disciplinas anteriores. Luego se crean las tuberías y componentes que se van a usar. Se importa el modelo arquitectónico en forma de link, esto para que el diseño se lleve a cabo con base en ese modelo. Se importan los equipos de plomería desde ese modelo, así como sus niveles.

Hecho lo anterior, se procede a diseñar las tuberías de aguas negras y grises, de acuerdo con los diámetros y las pendientes indicadas en los planos. Se da inicio con estas tuberías ya que son las que llevan pendiente y son las más difíciles de reubicar. En la figura 44 se muestran las tuberías de dicho sistema, así como el modelo arquitectónico y estructural.

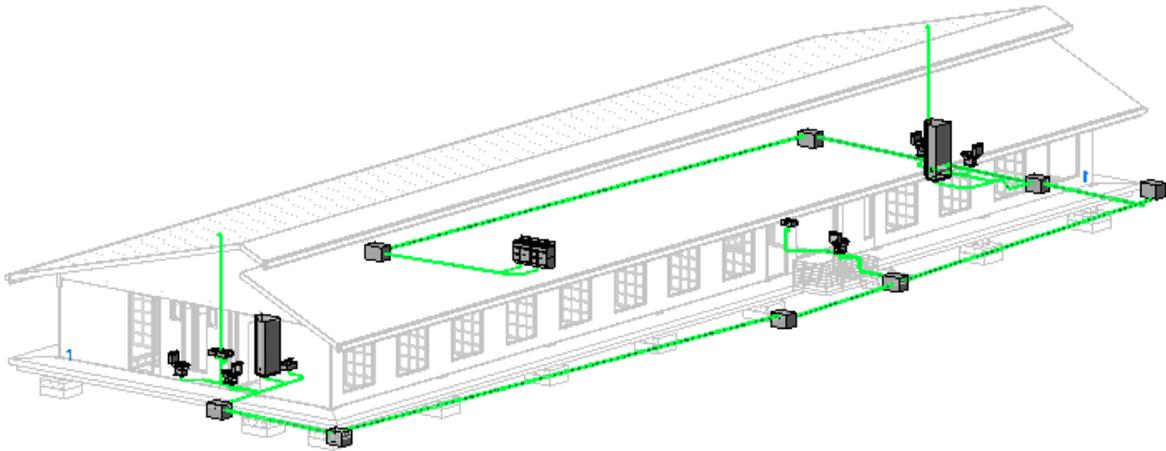


Figura 44. Tuberías y sistemas MEP de aguas negras y grises.
Fuente: Autoría propia.

De acuerdo con el orden previsto, se modela el aire acondicionado. Cabe mencionar que muchos de los materiales que lo componen se van a diseñar por su complejidad, además de que es un tramo muy corto y la tubería se encuentra dentro del ducto. En la figura 45 se muestra el aire acondicionado que da al cuarto de telecomunicaciones.

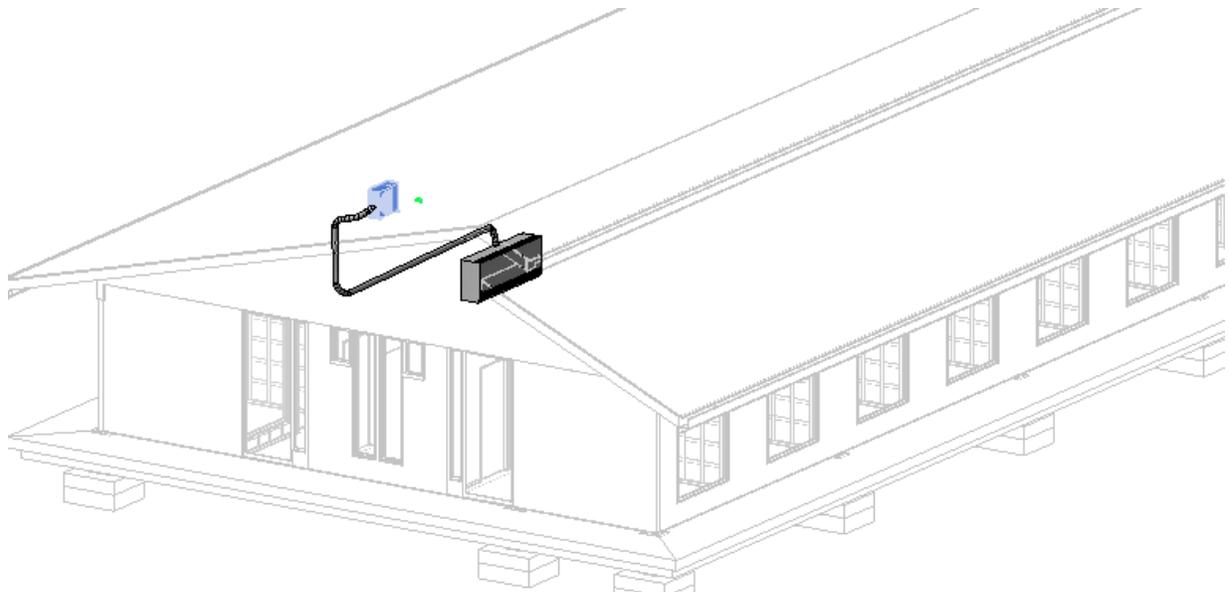


Figura 45. Sistema de aire acondicionado.
Fuente: Autoría propia.

Por último se modela todo sistema correspondiente al agua potable y al agua caliente. Cabe destacar que los ramales muy externos a la ubicación del edificio no se colocan ya que no se

poseen los planos topográficos de toda la zona, ni tampoco se establecen longitudes de las tuberías. En la figura 46 se muestran estos dos sistemas, en color azul está el agua potable y en color rojo la tubería de agua caliente.

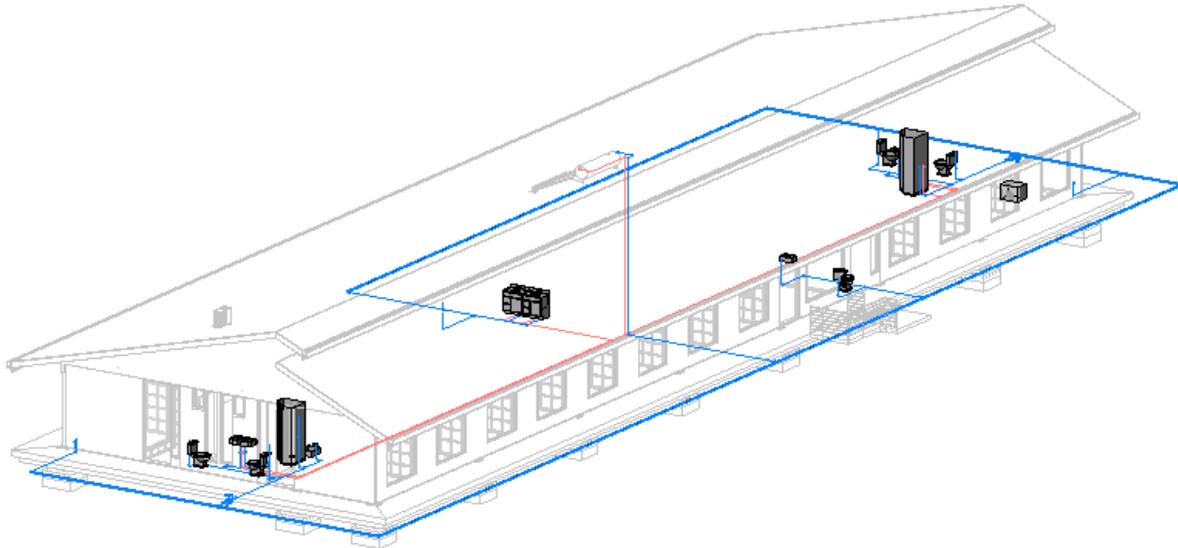


Figura 46. Sistema de agua potable y agua caliente.
Fuente: Autoría propia.

Para culminar con la sección del modelado se adjunta uno de los planos elaborados por medio del mismo software, Revit. En ese caso solo se va a colocar el plano de distribución arquitectónica en un cajetín personalizado (no tiene formato definido por el CFIA).

Estudiante:
Bryan Mora Pavez
Carrera TEC: 2015108737
Bryan.mora@tec.cl
(+56) 984389833

Profesor guía:
MAE Micaela Sandoval Oufros
mica.sandoval@tec.cl
(+56) 98225281

Empresa:
BIM Construction

Tutor empresa:
Ing. Randy Ugarte Palma
randy.ugarte@bim.cl
(+56) 984895090

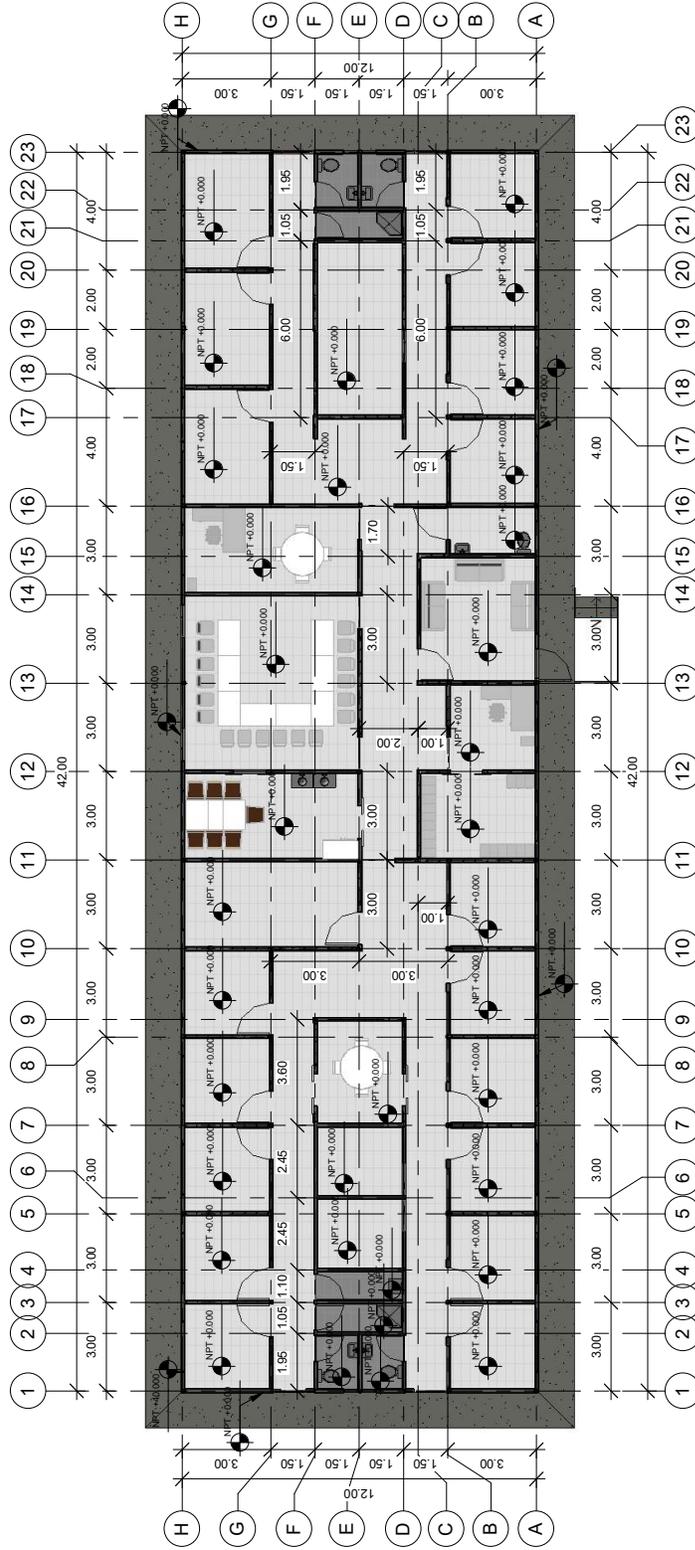
TEC | TransAcción
en Casa Blue



Proyecto:
Oficina de Ingeniería
TEC

Arquitectónica

N° Proyecto: 01
Fecha de emisión de plan: 08/05/2020
Lámina: A-01
Scala: 1 : 150



1 Planta distribución ARQ

1 : 150

Análisis de interferencias del modelo

En esta sección se va explicar cómo se lleva a cabo la coordinación 3D entre las disciplinas involucradas en el proyecto. Para ello se hace uso del programa Autodesk Navisworks Manage (2019), software que se utiliza, en este caso, para identificar y visualizar cada uno de los choques que se dan en el modelo. Para lograrlo se exportan todos los archivos de Revit a un formato .nwc para poder abrirlo desde Navisworks.

Una vez que todos los archivos se encuentran formados, se importan y se crea un modelo federado el cual incluye todas las disciplinas. En la figura 47 se observa cómo se muestran los modelos arquitectónico y estructural en uno solo dentro de la interfaz de Navisworks.

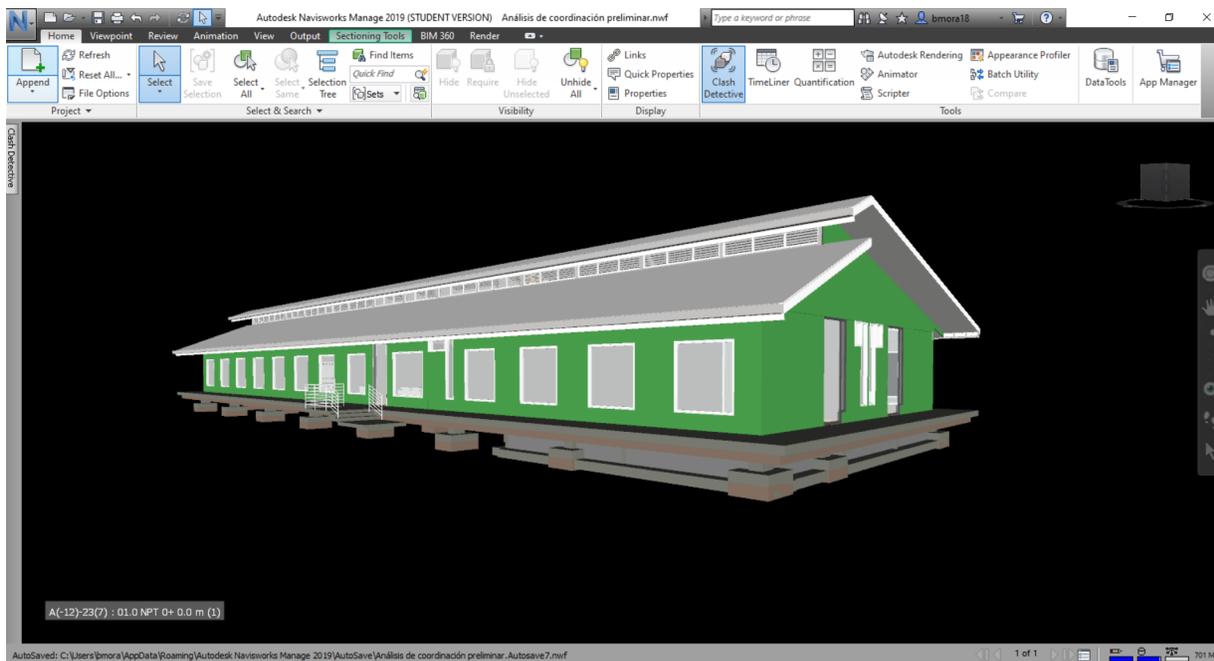


Figura 47. Modelo federado de la Oficina de Ingeniería del TEC, programa Navisworks (2019).
Fuente: Autoría propia.

Para mejorar el flujo de trabajo del análisis de interferencias se propone seccionar los análisis, es decir, en vez de “chocar” todos los elementos de todas las disciplinas al mismo tiempo, se hace una matriz del orden en el que se van hacer las distintas colisiones. En ese caso, lo primero que se coordina es el modelo del edificio que posee elementos arquitectónicos y estructurales del proyecto como tal (se modelaron en un solo archivo de Revit), contra él mismo. Esto no solo permite ver si hay alguna interferencias por defecto en el diseño como tal, sino que también se exponen las interferencias que se dan por un modelado inadecuado o deficiente.

En la figura 48 se muestra el resultado de la primer corrida de las colisiones. El software arroja que existen 398 clashes (choques).

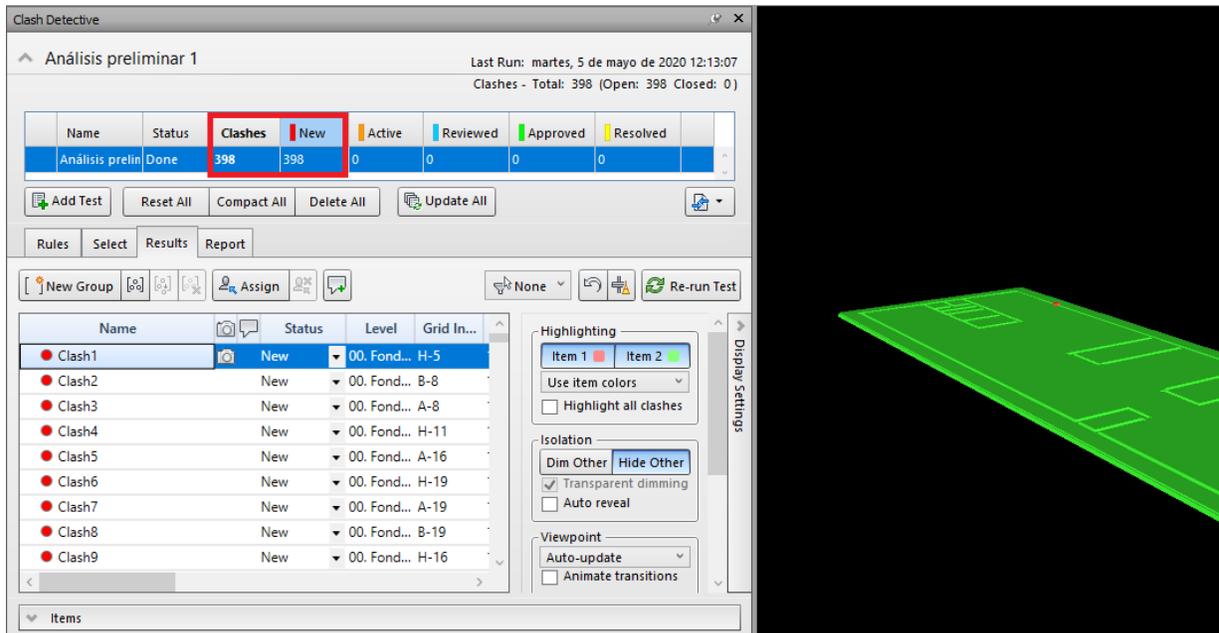


Figura 48. Modelo arquitectónico más estructural vs él mismo, programa Navisworks (2019).
Fuente: Autoría propia.

Para visualizarlo de una manera más eficiente, estos choques se pueden agrupar de acuerdo con el tipo que sea, esto para poder realizar visualización general y que la corrección sea más rápida. Por ejemplo, los pedestales colisionan con el lastre compactado ya que no se dejaron los huecos en este material, se agrupan estas interferencias y se muestran como se ve en la figura 49.

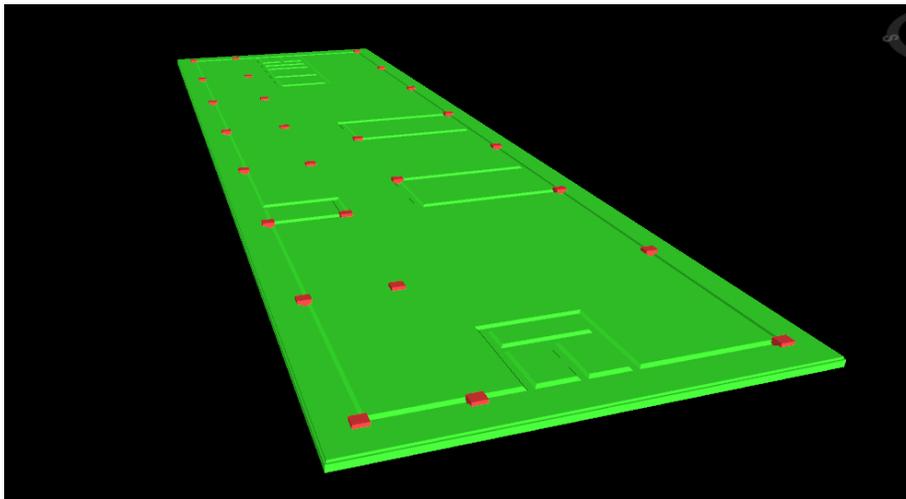


Figura 49. Clash de pedestales con lastre compactado.
Fuente: Autoría propia.

Al igual que el caso anterior se agrupan todas las colisiones de acuerdo a sus parámetros

comunes. Una vez hecho esto los clashes se reducen a un total de 13 (véase figura 50, dato encerrado en un cuadro rojo). Además de esto, los mismos se pueden clasificar de acuerdo con su importancia. Las colisiones que no interfieran en la constructividad o en la contabilización, se colocan como “Aprobados” ya que no vale la pena solucionarlos porque deja de ser práctica la metodología. En la figura 51 se puede observar que un elemento de acero, perteneciente a la cercha, atraviesa un tapichel de gypsum, modificar la sección del tapichel deja de ser factible por el tiempo que llevaría editar esos detalles y el material que se contabiliza de más es muy poco. Tomando esto en cuenta quedan 6 colisiones por corregir y 7 que se pueden pasar por alto.

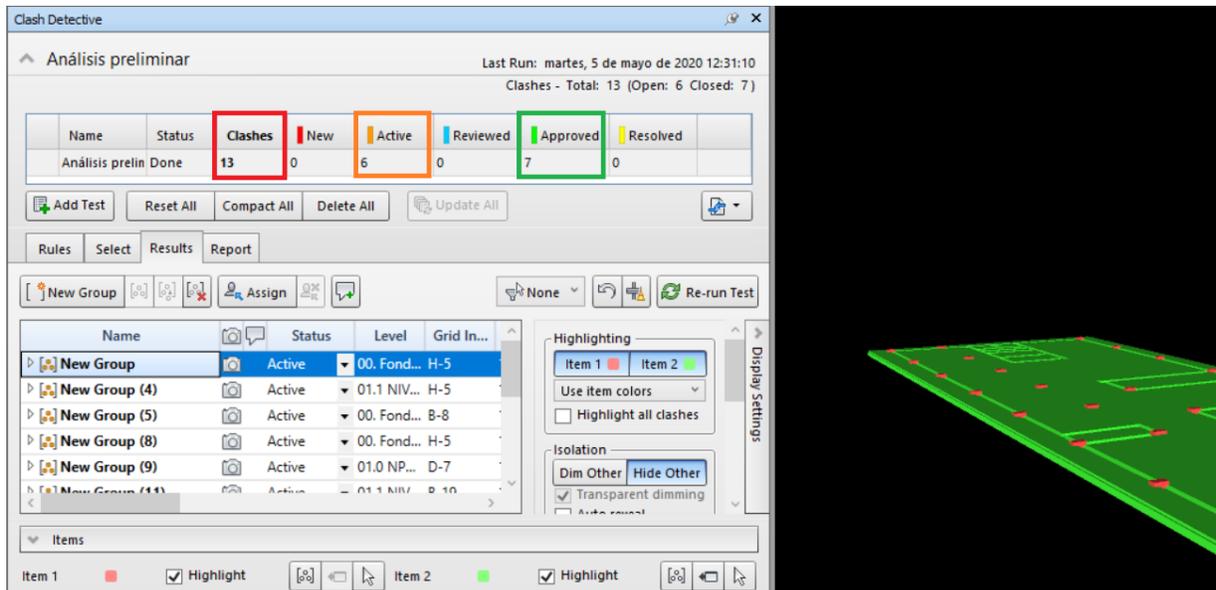


Figura 50. Clashes agrupados y clasificados, programa Navisworks (2019).
Fuente: Autoría propia.

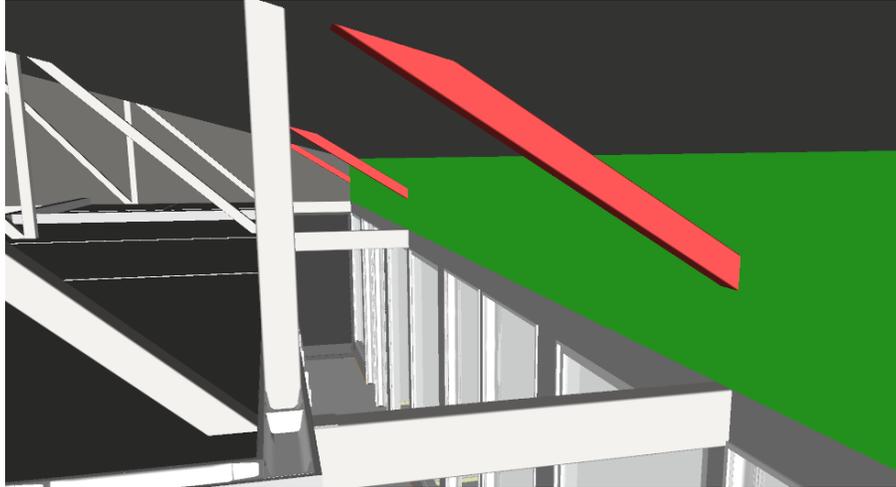


Figura 51. Clash de cercha con tapichel, programa Navisworks (2019).
Fuente: Autoría propia.

Una vez que se agrupan y clasifican todas las colisiones, es posible generar un informe de los resultados obtenidos, esto se hace con el mismo software, Navisworks, y se obtiene como resultado una tabla con los parámetros que se observan en la figura 52. En este se presenta una imagen del clash, su nombre, el estado en el que se encuentra (activo, aprobado, resuelto, ect.), la ubicación del clash en las grillas, una descripción, la fecha de realización, fecha aprobación y quién lo aprobó, luego las coordenadas donde se ubica dicha interferencia y por último, las características de los dos elementos en conflicto. Estos datos se usan para encontrar los objetos en Revit y así poder solucionarlos. En la sección de apéndices se incorpora el reporte completo.

**AUTODESK®
NAVISWORKS®**

Clash Report

Edificio vs Edificio	Tolerance	Clashes	New	Active	Reviewed	Approved	Resolved	Type	Status
	0,040m	13	0	6	0	7	0	Hard	OK

Image	Clash Name	Status	Grid Location	Description	Date Found	Date Approved	Approved By	Clash Point
	New Group	Active	H-5 : 00. Fondo cimentacion 0-1.025m	Hard	2020/5/5 17:42			x:5.825, y:11.771, z:-0.445

Item 1			Item 2		
Item ID	Item Name	Item Type	Item ID	Item Name	Item Type
Element ID: 867459	Concrete, Cast-in-Place gray	Solid	Element ID: 423873	Lastre compactado	Solid

Figura 52. Ejemplo del reporte generado por Navisworks para 1 clash.
Fuente: Autoría propia.

De los 7 clashes a modificar se tiene que solo uno es por problema de diseño e información, los otros 6 son por un modelado incompleto; ambos se van a corregir. El problema que se presenta es que las dimensiones de una ventana, según los planos de detalle, es más grande de lo que debería y se traslapa con la pared liviana. Lo anterior se puede observar en la figura 53.

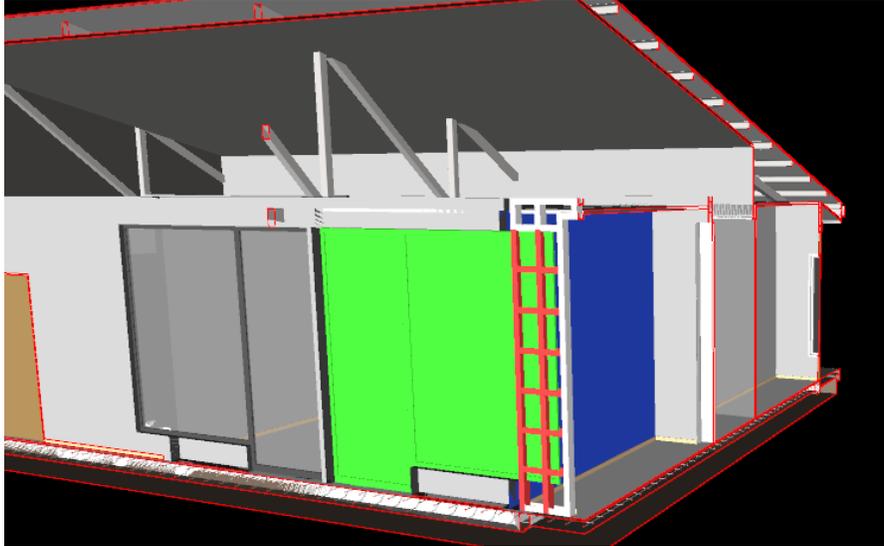


Figura 53. Clash de ventana con armazón de pared liviana.

Fuente: Autoría propia.

La propuesta para darle solución a este problema es disminuir el ancho de la ventana a tal punto que solo cubra el ancho de la oficina y no se pase a la otra. Los demás clashes que son por problema de modelado se solucionan con un "Join" o una disminución la longitud y no se van a documentar ya que no es el propósito de este trabajo, no obstante se realizan y se va a evidenciar la corrección en la corrida del programa. En la figura 54 se observa que con el modelo actualizado ya no se tienen las 6 colisiones activas que están en la imagen 50 (encerradas en cuadro naranja), si no que ahora este dato se encuentra en cero y que en amarillo ahora hay 10 casos resueltos. En el costado derecho se muestra la ventana nueva.

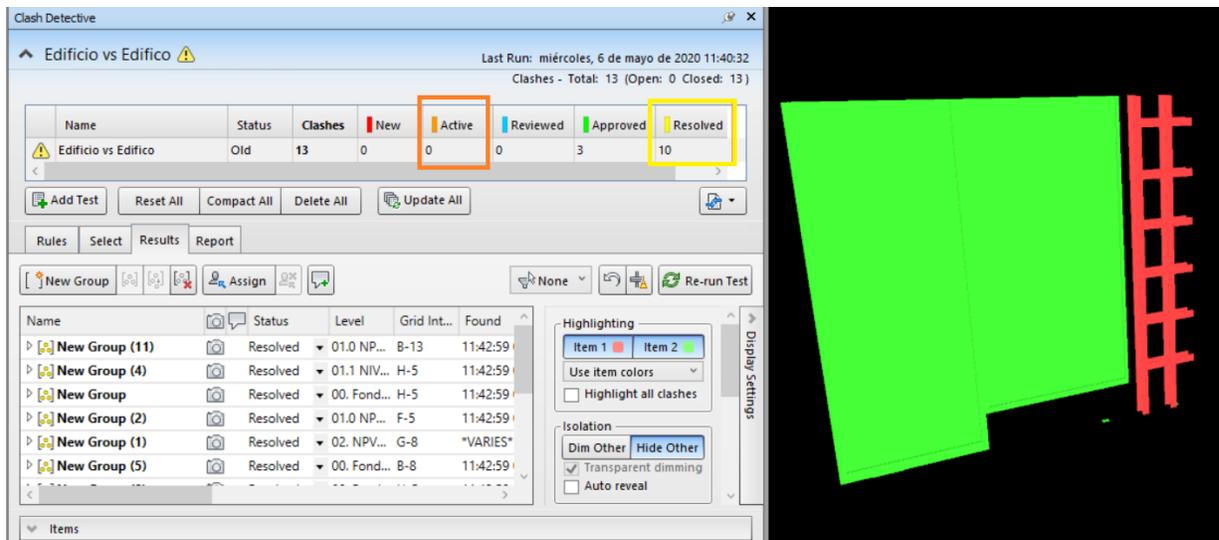


Figura 54. Corrida del modelo con las correcciones hechas.
Fuente: Autoría propia.

Ahora se prosigue a realizar el análisis de colisiones entre el modelo del edificio y el muro de contención. Para ello se realiza el mismo procedimiento anterior. Al inicio el programa arroja que existen 65 colisiones entre los dos modelos, los cuales se pueden agrupar para un total de 8 clashes, 7 de ellos importantes de corregir. La colisión se da entre el sistema de fundación del edificio (figura 55, elementos rojos) y el muro de contención (figura 55, elementos verdes), ya que coinciden en ubicación y es como viene en planos.

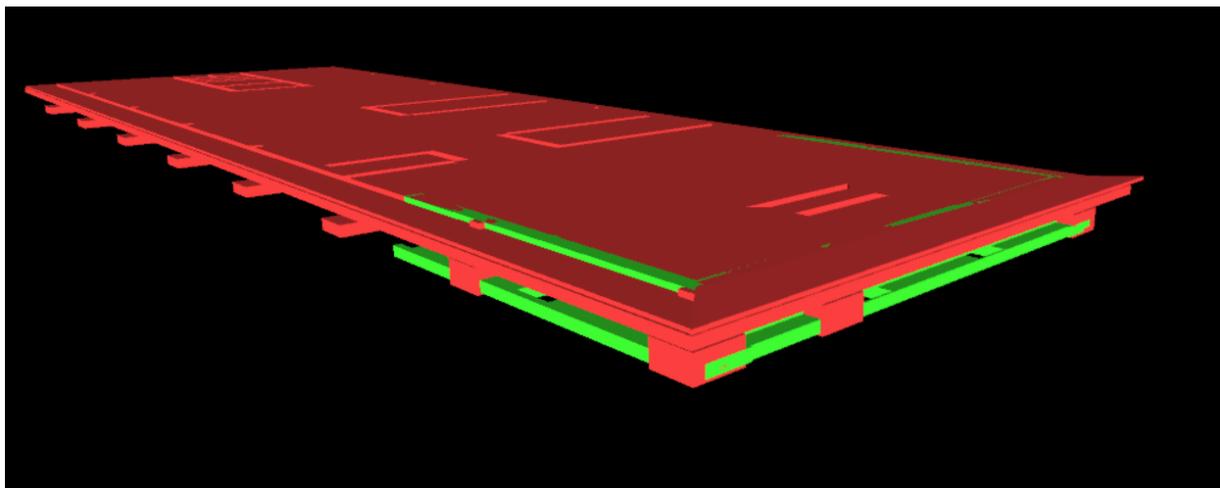


Figura 55. Colisión del edificio con el muro de contención.
Fuente: Autoría propia.

En el apartado de apéndices se adjunta el reporte de este análisis (Edificio vs Muro de contención). Además, en la sección de Anexos se incluyen las dos secciones de los planos donde se

ubican los detalles tanto del muro como de los cimientos y vigas de piso del edificio.

Para darle solución al problema de coordinación del muro de contención, se plantean dos soluciones, la primero de ellas es “sacar” el muro de contención del área de construcción del edificio, es decir, que el muro quede por fuera del perímetro dónde se van a colocar las vigas de piso; la otra solución es incrementar la profundidad de los pilares del edificio hasta que calce con la profundidad del muro de contención, además, eliminar las vigas de piso que están en ese sector y dejar solo la viga corona que está sobre dicho muro, el cual ya posee detalle de unión con el piso del proyecto.

Se lleva a cabo la segunda solución ya que así fue como quedó realmente el edificio según lo indican algunos participantes del proyecto, a los cuales se les preguntó por dicho inconveniente. Modelarlo de esta manera hace que el modelo sea lo más cercano a la realidad de cómo se construyó. Se corrigen ambos modelos y se realiza de nuevo el análisis en el programa y se tiene que los 7 grupos de clashes fueron solucionados, véase dato encerrado en amarillo de la figura 56.

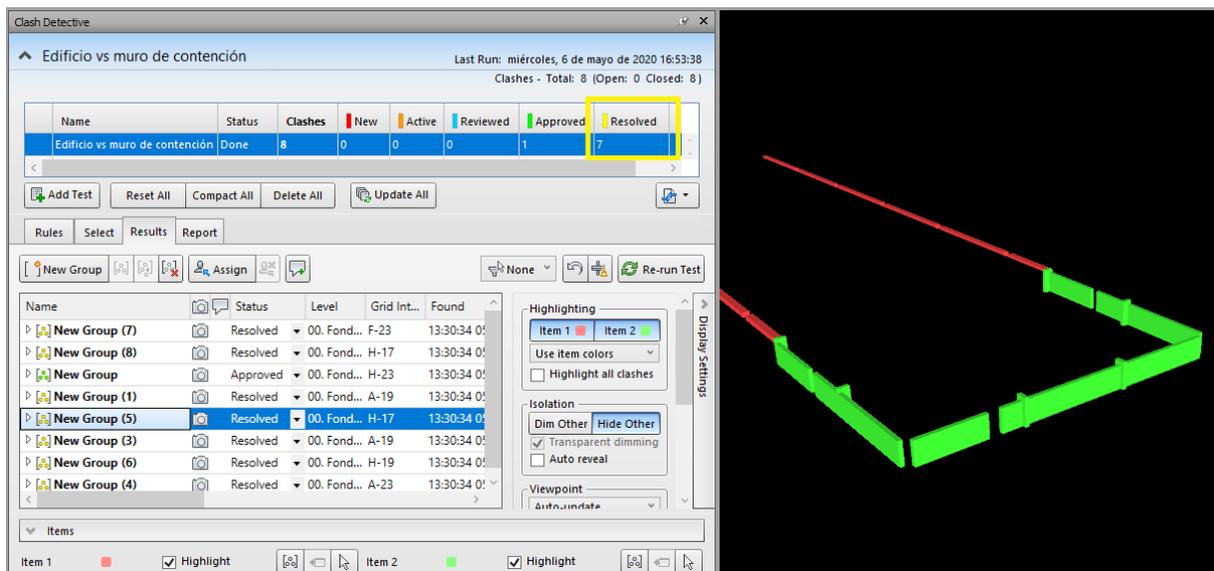


Figura 56. Nuevo análisis de interferencias con ambos modelos corregidos.

Fuente: Autoría propia.

Para finalizar la sección de análisis de choques, se colisionan los elementos de los sistemas arquitectónicos y estructurales contra todos sistemas MEP modelados (aguas residuales, potable, caliente y aire acondicionado). En dicho análisis se obtiene que hay 60 colisiones que agrupados suman 7 conflictos. El informe de Navisworks se adjunta en la sección de apéndices.

Los clashes que aparecen son dados, en su mayoría, porque la tubería colisiona con el piso, la cerámica y el lastre. También hay algunas interferencias con el muro de contención, pero ninguno de ellos que sea de gravedad, todos se solucionan en sitio. En la figura 57 se muestra

dicho análisis, al lado izquierdo se encuentran los datos agrupados y clasificados, y en el lado derecho se encuentra un ejemplo de tuberías interfiriendo con el piso.

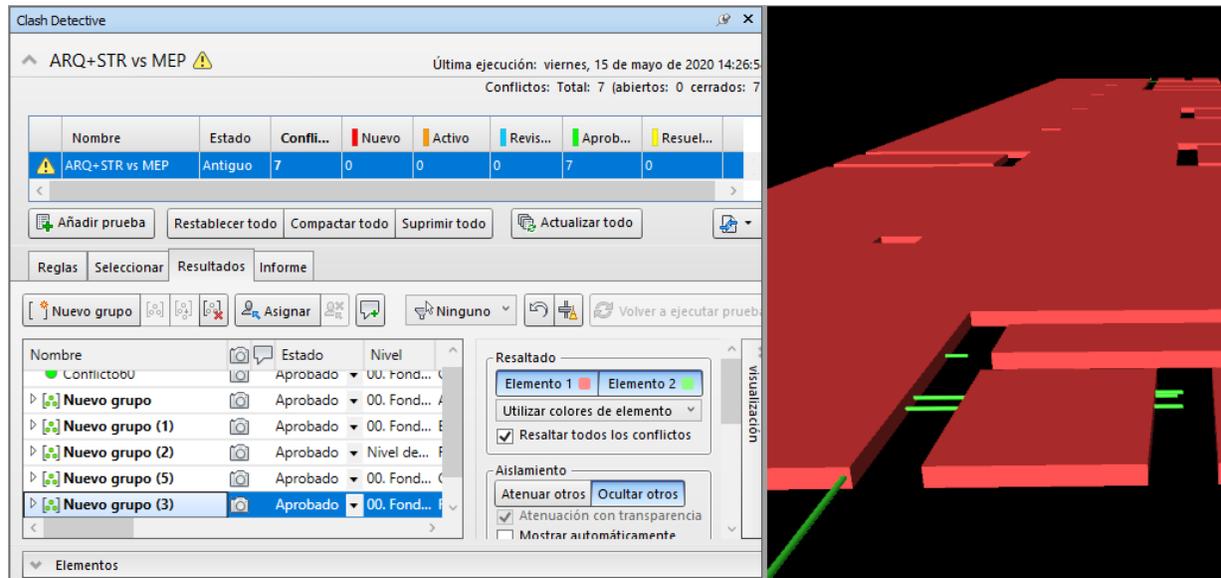


Figura 57. Análisis de interferencias de edificio vs sistemas MEP.

Fuente: Autoría propia.

A la hora de modelar se dan a conocer aspectos de diseño que no se pueden identificar por medio de choques; estas revisiones se pueden hacer con tecnologías de Realidad Virtual o Realidad Aumentada. Con el programa Navisworks es posible realizar un recorrido por todo el proyecto y con el poder identificar, de manera visual, si existen elementos faltantes, errores de diseño o de modelado. En las figuras 58 y 59 se observa cómo el programa realiza dicho recorrido en tercera persona.



Figura 58. Recorrido virtual del edificio por medio de Naviswoks, entrada principal.
Fuente: Autoría propia.



Figura 59. Recorrido virtual del edificio por medio de Naviswoks, pasillo de oficinas.
Fuente: Autoría propia.

Gracias a este recorrido se han detectado dos errores que están sujetos a problemas de diseño y que no son posibles de identificar por medio del análisis de colisiones. El primero de ellos es que no está presente en planos ninguna indicación sobre la importancia de su existencia, entre la oficina de la secretaria y la sala de espera, una ventana que las comunique (ver figura 60).

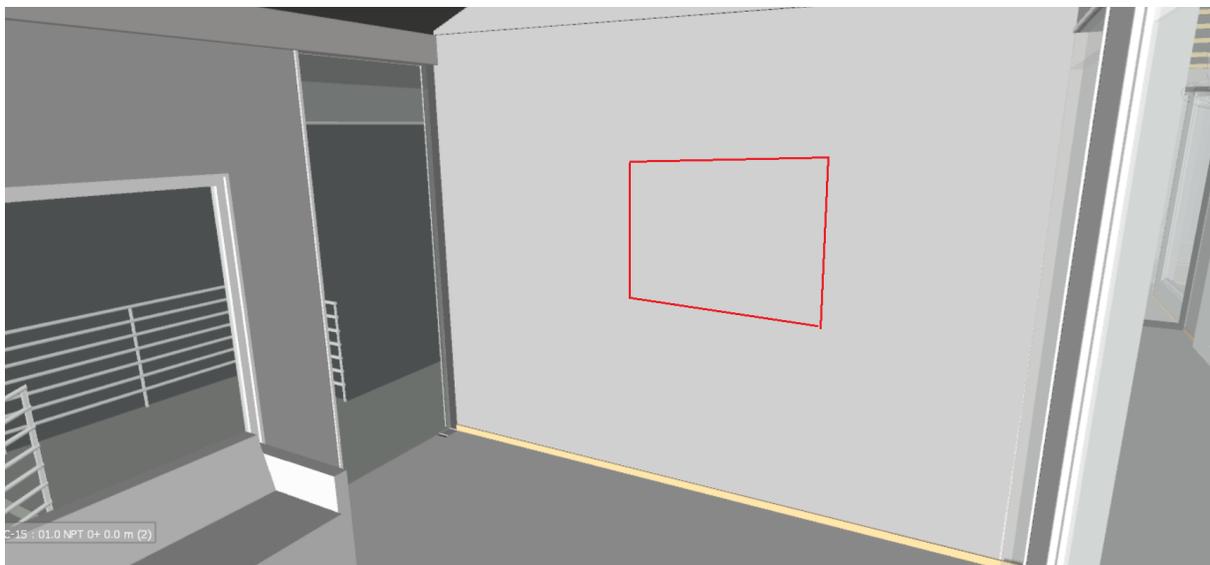


Figura 60. Faltante de ventana entre la oficina de la secretaria y la sala de espera.
Fuente: Autoría propia.

La otra incongruencia de diseño es que la ventana de una de las oficinas de dibujo es demasiado ancha, lo cual hace que se sobrepase al baño que está contiguo a esta. Lo anterior se puede ver en la figura 61.

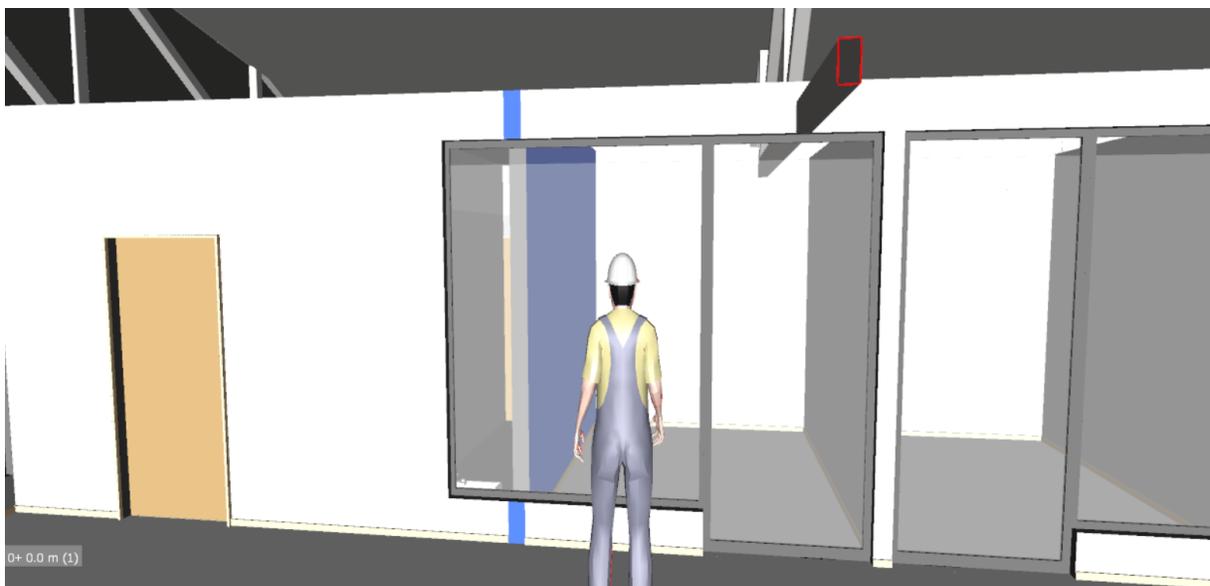


Figura 61. Ventana de oficina de dibujo más ancha de lo debido.
Fuente: Autoría propia.

La solución para estos casos está en proponer una ventana en la secretaría, con el fin de que la persona encargada de ese puesto pueda tener comunicación con las personas que llegan

al edificio. Además, se propone reducir el ancho de la ventana de la figura anterior, al tal punto que solo pueda cubrir el ancho de la oficina como tal. En la imagen de la figura 62 se observa cómo se vería la ventana colocada y en la figura 63, se observa ya solucionado el problema de las dimensiones de la ventana de la oficina.



Figura 62. Visualización de la ventana incorporada a la oficina de secretaría.
Fuente: Autoría propia.



Figura 63. Ventana de oficina de dibujo corregida.
Fuente: Autoría propia.

Cubicación de materiales

En esta sección se adjuntan los resultados de la cuantificación realizada con el modelo de Revit. Es importante destacar que modelar todo los elementos o materiales deja de ser factible ya que esto implicaría muchas horas de trabajo, por ejemplo, las placas llevan tornillos, pero modelar a ese nivel de detalle queda fuera del alcance, para ello se define un LOD adecuado.

Esto no quiere decir que no se puedan cuantificar, al igual que en un presupuesto hecho a mano, se pueden obtener las cuantificaciones por medio de correlaciones con otros elementos. Por ejemplo, la estructura de acero sobre la cual es soportado el cielo se puede cuantificar por medio de la siguiente relación: cuánto se necesita de este material para 1 m² y luego se multiplica por los metros cuadrados que arroja el programa.

También, el software permite realizar capas en los materiales de los distintos elementos, esto para facilitar la contabilización. Lo mismo se utilizó en las paredes del proyecto para representar cada uno de los materiales que la componen, y que por medio de un “Material Takeoff” se puedan contabilizar materiales de forma directa, sin necesidad de hacer relaciones. En la figura 64 se muestra cómo se compone ese tipo de pared de baño; el core es del material Panel 3D Panacor con repello, luego, en la parte inferior está el mortero de pega y la cerámica, a los 2,4 m desde el NPT hay un repello con Imperplaster Grueso, luego una capa de pasta Imperplaster y por último la capa de pintura.

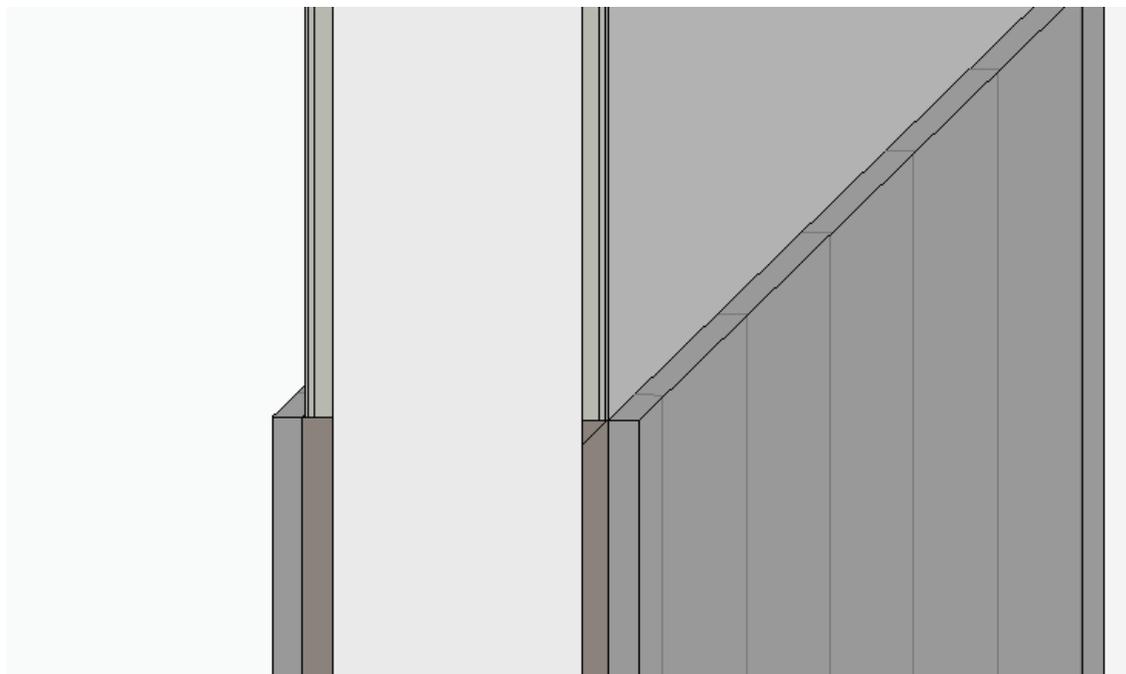


Figura 64. Composición de una pared de baño del proyecto.
Fuente: Autoría propia.

Las cantidades se extraen desde Revit por medio de tablas generadas en el software (ver ejemplo en figura 65) y se exportan en formato .txt; en la sección de apéndice se encuentran todas las tablas generadas para llevar a cabo esta contabilización. Luego de esto se importan desde Excel y se les da formato. El formato utilizado es el que se muestra en la figura 66.

<Rebar Schedule>					
A	B	C	D	E	F
Family	Type	Bar Diameter	Bar Length	Count	Cant. Varillas 6m
Rebar Bar	Nº2	6 mm	9 m	14	1.5
Rebar Bar	Nº3	10 mm	365 m	64	60.8
Rebar Bar	Nº4	13 mm	70 m	26	11.7
Rebar Bar	Nº5	16 mm	62 m	52	10.4
Rebar Bar	Perno 12mm	12 mm	46 m	104	7.6

Figura 65. Tabla extraída de Revit de varillas usadas en el proyecto.
Fuente: Autoría propia.

Item	Actividad	Cantidad	Unidad
A	Arquitectónico		
A1	Subcategoría		
A1-1	Material arquitectónico 1	#	
S	Estructural		
S1	Subcategoría		
S1-1	Material estructural 1	#	
M	Mecánico		
M1	Subcategoría		
M1-1	Material mecánico 1	#	
E	Eléctrico		
E1	Subcategoría		
E1-1	Material eléctrico 1	#	

Figura 66. Formato usado para la contabilización de los materiales.
Fuente: Autoría propia.

Se trabajan los datos obtenidos en Revit y se generan las listas de materiales. En el cuadro 17 se muestra un ejemplo de la contabilización de los materiales necesarios para llevar a cabo parte de la sección estructural del edificio. En la sección de apéndices se encuentra el resto de tablas elaboradas a partir de los datos arrojados por el modelo.

Item	Actividad	Cantidad	Unidad
S	Estructural		
S-1	Pisos		
S-1-1	Lastre compactado 96% Proctor modificado	182	m3
S-1-2	Geotextil calibre 1600	619	m2
S-1-3	Concreto f'c: 210kg/cm2	19	m3
S-2	Fundaciones, contrapiso y vigas contrapiso		
S-2-1	Lastre de sustitución relación 12:1 por volumen	9	m3
S-2-2	Concreto f'c: 210kg/cm2	72	m3
S-2-3	Varilla N° 2, 6m longitud	2	und
S-2-4	Varilla N° 3, 6m longitud	61	und
S-2-5	Varilla N° 4, 6m longitud	12	und
S-2-6	Varilla N° 5, 6m longitud	10	und
S-2-7	Pernos de 12mm	46	und
S-2-8	Malla electrosolda N°2 (6x2,2m)	56	m2
S-3	Estructuras de acero		
S-3-1	Tubo 150x100x3,17mm, 6m de longitud	16	und
S-3-2	Placa de unión 100x200x3,17mm	175	und
S-3-3	Placa de anclaje 400x300x7,62mm	26	und
S-3-4	Clavador RT 1-13, 6m longitud	158	und
S-3-5	Perfil RT 4-11	22	und
S-3-6	Viga acero 100x50x3.17mm, 6m de longitud	14	und
S-3-7	Viga acero 100x100x1.8mm, 6m de longitud	18	und
S-3-8	Viga acero 100x100x2.38mm, 6m de longitud	40	und
S-3-9	Viga acero 150x100x2.38mm, 6m de longitud	17	und
S-3-10	Viga acero 150x100x3.17mm, 6m de longitud	30	und
S-3-11	Viga acero 200x100x2.38mm, 6m de longitud	16	und
S-3-12	Viga acero 200x100x3.17mm, 6m de longitud	12	und
S-3-13	Viga acero 200x150x2.38mm, 6m de longitud	7	und
S-3-14	Viga acero TR 50x25x1.58mm, 6m de longitud	52	und
S-3-15	Viga acero TR 100x50x1.8mm, 6m de longitud	5	und

Cuadro 17. Formato usado para la contabilización de los materiales.
Fuente: Autoría propia.

Análisis de los resultados

A continuación, se realiza el análisis de los resultados obtenidos al hacer uso de algunas aplicaciones de la metodología BIM, dentro de la Oficina de Ingeniería, un edificio del TEC. Como esta propuesta no abarca todos los posibles usos BIM que se le pueden dar a un modelo tridimensional, no se limita la posibilidad de que se pueda mejorar e incrementar el nivel de detalle de información del modelo.

Esta sección se lleva a cabo de la misma manera en la que se enlistaron los resultados, siguiendo así cada uno de los objetivos propuestos para este proyecto. Se inicia con los parámetros iniciales de modelado, que abarca el desarrollo del BEP, los parámetros de entrada de los elementos modelados y la investigación del proceso adecuado para realizar un modelo. Posteriormente, se analiza el modelado en dos y tres dimensiones del edificio. Se continúa con el análisis de interferencias, y por último la sección de contabilización de materiales.

Parámetros iniciales de modelado

La literatura acierta al mencionar que el Plan de Ejecución BIM (BEP) es de suma importancia a la hora de realizar un proyecto BIM. Tener este documento presente en el proyecto hace que el trabajo se pueda llevar a cabo de una manera ordenada y eficiente.

Es por esto que es sumamente importante que este documento se lleve a cabo al iniciar cualquier proyecto, al menos aquel que involucre la metodología BIM como tal. Cabe mencionar que este plan puede sufrir variaciones a lo largo del trabajo, ya que es común que el alcance de los proyectos varíe a lo largo de su ciclo de vida, lo cual no excluye la sección de los alcances BIM que se hayan establecido.

Además, una de las intenciones principales de la metodología BIM es que toda la información se mantenga centralizada y accesible, lo que permite que los involucrados en el proyecto puedan tener todo dato y archivo que ellos necesiten para llevar a cabo sus labores, sin depender de la disponibilidad de los demás. En el BEP se detalla cómo se va a llevar a cabo todo ese proceso de apertura de la información, por lo que no solo es necesario elaborar este documento, sino que también es indispensable que todos los involucrados lo conozcan y estudien.

Entre las funciones más destacadas del BEP están: la definición de los objetivos, no solo de los modelos, sino también de la utilización de la metodología BIM; también, el alcance del proyecto y la manera en la que se va a realizar; además, las plataformas y software utilizados, así como los roles de los involucrados y el proceso de seguimiento de cada uno de ellos.

En el BEP también se determina un parámetro de vital importancia, el Nivel de Desarrollo (LOD). Este concepto influye directamente a lo largo de todas las demás etapas, ya que un

LOD bajo incurre en que la coordinación y cuantificación no presenten datos reales o esperados, y por otro lado, un LOD alto puede ser innecesario para los mismos objetivos, lo que además conlleva un incremento de tiempo en la etapa de modelado; empresarialmente se podría ver como un gasto de recursos totalmente innecesario. Más adelante se analizarán los LOD utilizados en el proyecto.

Como ya se mencionó en la sección de resultados, la metodología empleada para modelar el proyecto se lleva a cabo según las recomendaciones de los colegas con quienes se hace la pasantía. Con respecto a los parámetros de entrada de los elementos modelados, se puede decir que están directamente relacionados con el alcance y los objetivos BIM del proyecto; entre más se avance en la dimensiones BIM, mayor será la información que se necesita incorporar en los elementos, es la séptima dimensión la que más cargada de datos quedará, esto por ser un modelo asbuilt.

Entre los parámetros de entrada más utilizados para los objetivos de este proyecto están: el nombre de la familia, nombre de tipo, las dimensiones, el material; y según el elemento, una descripción detallada para poder entender mejor su composición y función. Tener un orden adecuado en estos elementos es de suma importancia para que a la hora de extraer datos del programa, todo se realice de una manera más ordenada y entendible.

Gracias a este proyecto, se puede identificar la importancia de crear un “libro de estilo” en cada empresa, en el cual se detalle, de forma genérica, cada tipo de elemento presente en los proyectos, lo que permite que el manejo de la información sea entendible para todos los colaboradores y que haya un flujo de trabajo estandarizado.

En lo que respecta al proceso de modelado, se hace hincapié a que pueden existir múltiples maneras de realizar un modelo en Revit, incluso en este proyecto se llevaron a cabo los modelos arquitectónico y estructural casi de la mano, modelando en orden similar al recomendado por los trabajadores de la empresa, pero no seguido al pie de la letra.

La manera en la que esta etapa se lleve a cabo dependerá mucho de la experiencia y costumbres que tenga el modelador, el mismo software lo permite, no obstante, existe una lógica de modelado que sí es recomendable seguir; y es que los modelos estructurales y electromecánicos deberían esperar a que aumente el porcentaje de avance del modelo arquitectónico, ya que de este se enlazan las demás disciplinas para comenzar a diseñar o modelar. Esta secuencia de trabajo no solo permite que la labor sea más fluida, sino que también se pueden disminuir los retrabajos por un cambio en el diseño del arquitecto.

Se enfatiza que, aunque el software permita modelar un proyecto siguiendo distintas secuencias, algunos elementos en Revit son inteligentes, quiere decir que con este programa no solo se dibuja, sino que también se construye virtualmente. Esto hay que tenerlo claro a la hora de modelar ya que, por ejemplo, cuando se quiere colocar una ventana o una puerta, primero debe de existir una pared a la cual pueda anclarse, o también, cuando se va a colocar una canoa o

precinta, primero debe de existir un techo al cual pueda estar asociado; esto puede ser muy importante para entender que el flujo de trabajo recomendado en la sección de resultados no es descabellada y que sería una buena práctica seguirla o adaptarla a las necesidades de cada proyecto.

Modelado 2D y 3D

Tal como lo describe el BEP este proyecto, se modela con un LOD 300 en casi todos los elementos del modelo, lo cual, según los resultados obtenidos a nivel general, fue suficiente para identificar las colisiones presentes en el modelo y para poder realizar una estimación de cantidades de los materiales. Los elementos que poseen un nivel de desarrollo menor (LOD 200), son las puertas y ventanas, esto porque modelar dichos elementos con mayor acabado, implicaría generar prácticamente un plano de taller de las mismas, lo cual es innecesario si ya existen planos con los detalles de estas; de dichos objetos, lo único que es necesario es que posean las dimensiones correctas para que los buques sean realistas; además, estos elementos se mandan a cotizar a empresas dedicadas a esa área, lo único que necesitan es el detalle de cada ventana (plano ya existente) y el número de ejemplares presentes en el proyecto, datos que sí se extraen del modelo.

Para esta sección se toman en cuenta las recomendaciones especificadas en el apartado “Proceso de modelado”, no obstante, se hacen adaptaciones en cuanto al orden para generar una mayor practicidad a la hora de modelar ciertos elementos. Por ejemplo, cuando se quiere modelar el techo, se espera a que todos los elementos estructurales (cerchas) estén colocados. Queda claro que el techo se puede elaborar sin necesidad de esta estructura, pero se hizo así para facilitar la visualización.

Dadas las circunstancias anteriores, queda evidenciada que la dependencia entre las distintas disciplinas, mostrada en la figura 21, sí se cumple, pero no de forma determinante, es decir no es necesario que un modelo de una disciplina predecesora tenga que terminarse completamente para continuar con la siguiente. Por ejemplo, no es necesario que se termine totalmente el modelo arquitectónico para dar inicio con el modelo estructural.

Es importante rescatar que el porcentaje de avance mínimo que debe de tener el modelo de una disciplina, previo a la siguiente, va a variar de acuerdo a los términos estipulados por la coordinación BIM, proceso que debe quedar claro en el BEP si se está trabajando el proyecto con varias empresas, como se hace comúnmente en proyectos de gran envergadura. Lo que se pretende con ese porcentaje de avance es que sea el suficiente para que se desarrolle la otra especialidad; no un porcentaje tan pequeño como para que continúe existiendo una dependencia y que se deba atrasar una modalidad por esperar avances en la otra, ni tan grande como para que el tiempo de espera sea mayor al necesario.

Análisis de interferencias

Como se indica en la sección de resultados, se hace uso de la herramienta Navisworks de Autodesk para realizar el análisis visual y de coordinación 3D del modelo, lo cual permite identificar, de forma rápida, los conflictos generados entre las diferentes disciplinas no solo por un mal diseño, sino también por errores cometidos durante el proceso de modelado y que pueden afectar la contabilización.

Hay que entender que no todas las colisiones son factibles ni necesarias de solucionar. Existen ocasiones en las que resolver ciertos conflictos no es factible, aunque sí posible, dada la cantidad de tiempo que habría que invertir en ello, y que además, si se dejan no van a generar mayor conflicto a nivel de constructividad, y en la cuantificación no va a generar una variación significativa. Un ejemplo de ello fue el que se identificó en la figura 51.

Es aquí en donde no solo entra el criterio como modelador sino también el criterio ingenieril; pensar en cómo afectará la interferencia en los objetivos del proyecto, es importante para saber cuáles interferencias se pueden ignorar y cuáles es necesario responder, inclusive, si el proyecto se maneja utilizando cronogramas, se pueden ordenar estas incongruencias de tal manera que se le de prioridad a las más críticas; esta clasificación debe hacerla alguien con conocimientos técnicos y/o con experiencia en el tema para obtener resultados válidos y pertinentes. Además, en el caso del recorrido virtual, debe tenerse en cuenta que para identificar estos errores, es necesario tener conciencia de la funcionalidad del edificio y de los sistemas presentes en él, en caso contrario será más difícil detectar este tipo incidencias.

En este análisis visual y de interferencias se encuentran 4 colisiones relevantes. Una de ellas se muestra en la figura 54, donde una ventana posee dimensiones más grandes de las que debería, la misma se modeló de acuerdo con los planos de taller dados en el juego de planos del edificio. Si estas ventanas se envían a cotizar o a elaborar en una empresa, probablemente al llegar a colocarlas se puede generar un atraso por tener que corregir los paneles de vidrio y la estructura de aluminio, lo que podría estropear el flujo de trabajo de otras áreas como por ejemplo el departamento de pintura y demás.

El choque más importante que se presenta en dicho análisis es el de las fundaciones del edificio con el muro de contención. Debe tenerse en cuenta que la falta de coordinación puede generar problemas en el proceso constructivo. Básicamente la solución consiste en fusionar los pilares del edificio con dicho muro; si esto no se contempla a la hora de construir puede ser necesario botar alguna parte del muro para incorporar la nueva estructura. Además, la solución presentada tiene que revisarse por el ingeniero estructural ya que en las esquinas se está sustituyendo la columna del muro por el pedestal del edificio, lo cual no está contemplado en el diseño. Estos aspectos se deben revisar previo a la construcción, así se resalta la utilidad de dicho software

Los otros dos inconvenientes encontrados se dan a conocer gracias al análisis visual, el

cual expone el caso de otra ventana, cuyas medidas también son erróneas y pueden generar los mismos problemas de la ventana anterior. Además, se encuentra que hace falta una de las ventanas de la sala de recepción; no percatarse de este error puede hacer que no se deje la prevista en la pared para este elemento y luego se tenga que modificar su sección, situación que provoca doble trabajo el cual se intenta evitar durante el proceso constructivo.

Según los colaboradores de la empresa y la experiencia obtenida en la pasantía, los apartados que generan mayor conflicto a la hora de hacer el diseño son los sistemas MEP, en coordinación con la arquitectura, la parte estructural o entre ellos mismos; este no fue el caso de la Oficina de Ingeniería, no al menos en los sistemas modelados. El motivo principal por el que suceden estas colisiones es por la falta de espacio para esta disciplina; en el caso del edificio del proyecto, el techo se encuentra a una altura de 5 metros en su parte más alta, por lo que el espacio entre los cielos o paredes, que son de 2,9 m, aproximadamente, es suficiente para acomodar todos los sistemas MEP. Sería ideal modelar los sistemas electromecánicos faltantes para corroborar que la coordinación es la correcta.

Otro punto importante es que el software permite generar reportes que ayudan a coordinar el seguimiento de las interferencias encontradas. Este reporte es muy valioso ya que no solo indica la ubicación y los elementos que están en conflicto, sino que además permite identificar su estado e indicar si es necesario o no corregirlo, también se puede agregar una descripción para aclarar cuál es el problema que se identificó, se incluye la fecha de la corrida; y si hay alguna aprobación, la fecha y la persona por quien fue referida. A todo lo anterior se le puede sacar provecho si se desea tener un control más profundo de lo que se está haciendo o de lo que se hizo.

Cabe destacar que el proceso para corregir los conflictos fue identificarlos con Navisworks, ver qué objetos son los involucrados y luego, en Revit, buscarlos y darles solución. Este es un proceso que es válido para este proyecto, donde solo una persona está involucrada en el modelado y coordinación; y además es pequeño, no obstante, pensando en el flujo de trabajo en el que la empresa de modelado no es la misma de la coordinación, este sistema puede no ser tan eficiente. Actualmente existen software que se encargan de la comunicación entre esos dos programas, como lo son: BIM 360 de Autodesk, BIMcollab, entre muchos otros, donde por medio de "Issues" se pueden comunicar los colaboradores de una forma directa, y además, permite identificar de forma asertiva el software de modelado. Esta sería una de las posibles mejoras que se podrían implementar en proyectos similares a este.

Cubicación de materiales

En el caso de la contabilización, se puede afirmar que generar modelos en tres dimensiones puede ser de mucha ayuda para la extracción de datos, como lo son las cantidades. El programa permite la extracción rápida y ordenada de la cuantía de los distintos sistemas que lo componen; sin embargo, hay que tener claro varios puntos.

Primero, realizar un modelo que represente cada uno de los elementos que componen un edificio es complejo, lo que implicaría dedicarle muchas horas a algo que se puede sacar de manera indirecta por medio de relaciones por volumen, peso o área. Hay que tener esto claro para que el proceso de modelado sea rápido y eficiente. Que el modelador tenga conocimientos en el área de presupuestos o de cubicación, sería idóneo para saber qué tan necesario es el acabado de los elementos y cómo se podría obtener una contabilización más completa.

Segundo, el programa Revit permite extraer este tipo de datos de una manera fácil y rápida por medio de archivos .txt, documentos que luego son importados desde una hoja de Excel. Lo anterior trae grandes beneficios para empresas que manejen sus presupuestos con este programa (Excel), no obstante, aunque el procedimiento de incorporación de la información es rápido, no existe una conectividad inmediata entre el modelo y el presupuesto. Existen programas, como Presto, que permiten enlazar el modelo desde Revit por medio de complementos, y a partir de este generar un presupuesto detallado.

Por último, hay que evaluar si realizar un modelo con este nivel de detalle vale la pena simplemente para cuantificar sus materiales. Aunque alguien con experiencia pueda modelar de forma rápida, si la intención es solo cubicar, hay que compararlo con el proceso convencional (a través de planos). Ambos están sujetos a errores humanos, habría que evaluar su beneficio. Ahora, si con este modelo también se van a generar planos, coordinar y mantener un presupuesto actualizado cada vez que se realicen cambios, entonces sí habría un total aprovechamiento de estas herramientas tecnológicas, eso sin agregar todos los otros análisis que son posibles de llevar a cabo con la adición de más información en los elementos.

Conclusiones

- La elaboración de un Plan de Ejecución BIM es de vital importancia antes de comenzar cualquier proyecto BIM, en este deben quedar claros los objetivos del proyecto y de la utilización de esta metodología, y todo lo respectivo al alcance, limitaciones y definición de los roles que tendrá cada entidad o colaborador dentro del proyecto BIM. De este modo el desarrollo de la metodología BIM será la más eficiente.
- La definición de los parámetros de entrada que deben tener los elementos del modelo, dependerán de los objetivos BIM. Un ingreso adecuado de estos parámetros sirve de pilar para el resto de los análisis.
- Aunque es recomendable seguir un procedimiento lógico en la elaboración del modelo, es posible llegar a un mismo producto siguiendo otro orden en el proceso de modelado. Lo anterior depende de la experiencia del modelador y esto afecta en la eficiencia con la que se realice el trabajo. Por lo tanto, en esta investigación se propuso modificar el orden recomendado y se modela la disciplina arquitectónica y estructural de forma conjunta, esto con el fin observar la interacción de ambas disciplinas durante el proceso de modelado.
- Durante la experiencia se pudo confirmar que existe una dependencia entre los modelos de las distintas disciplinas (arquitectónico, estructural y electromecánico), no obstante, no es necesario que los modelos se terminen al 100 % para iniciar con las siguientes áreas.
- En este proyecto se pudo hacer uso del software Revit no solo para llevar a cabo el modelo tridimensional de un proyecto, sino que también se elaboraron planos 2D con el mismo nivel de detalle que uno hecho en CAD, con la gran ventaja de que los planos están enlazados con el modelo, así las modificaciones que se le hagan a este último, se verán reflejados directamente en los planos.
- El programa Navisworks de Autodesk proporcionó, para este proyecto, toda la información necesaria para identificar y corregir incongruencias en el diseño y el modelado de un proyecto.
- La elaboración de este proyecto, determina que es necesario realizar el análisis de coordinación 3D (colisiones) y el análisis de recorrido virtual, en una etapa previa a construir; para que el proceso de resolución de incongruencias se lleve a cabo eficientemente; y así exista un mayor aprovechamiento de las herramientas BIM.
- Con un modelo de Revit fue posible contabilizar, de manera muy precisa, la cantidad de materiales presentes en un elemento, no obstante, tómesese en cuenta, que no todos los materiales pueden obtenerse a través del modelo, se deben realizarse relaciones, ya sea por volumen, área o peso, para poder cuantificar todos los materiales involucrados. Además, en esa medición no se toman en cuenta las cantidades derivadas del factor desperdicio.

Recomendaciones

- Se recomienda que el encargado de llevar a cabo el Plan de Ejecución BIM posea un conocimiento amplio y sólido de las herramientas BIM y de ejecución de proyectos en sitio, así su desarrollo será el más adecuado.
- Utilizar un software especializado en presupuestos que permita el enlace directo con el modelo de Revit, así se facilita una coordinación inmediata entre ambas áreas.
- Comparar los resultados obtenidos de la cuantificación con el presupuesto detallado y realizado por la empresa a quien se le adjudicó la construcción del edificio, para comprobar la aplicabilidad del método.
- Es recomendable que ningún elemento que se quiera cuantificar se realice por medio de la herramienta “Model in place” de Revit, ya que es una función que no permite parametrizar ni contabilizar de forma adecuada los elementos.
- Se recomienda que si el proceso de coordinación 3D se va a realizar con diferentes entidades, puedan utilizarse algunas herramientas digitales que permitan la interacción directa entre Revit y Navisworks, que además facilitan la comunicación entre los involucrados de este proceso.
- Se recomienda modelar las disciplinas MEP faltantes, para que la coordinación y las cuantificación abarquen todos los elementos del edificio.
- Según la experiencia vivida en el proyecto, se recomienda que la Metodología BIM se utilice desde la fase de diseño, esto para que haya un mayor aprovechamiento de las herramientas y un trabajo más eficiente en el ciclo de vida de una obra.

Referencias

- AEC_(UK) (2012). *AEC (UK) BIM Protocol (Implementing UK BIM Standards for the Architectural, Engineering and Construction industry)*. URL: <https://aecuk.files.wordpress.com/2012/09/aecukbimprotocol-v2-0.pdf>.
- (2015). *AEC (UK) BIM Protocol (Implementing UK BIM Standards for the Architectural, Engineering and Construction industry)*. URL: <https://aecuk.files.wordpress.com/2015/06/aecukbimtechnologyprotocol-v2-1-1-201506022.pdf>.
- Autodesk.Inc (2020a). *Para crear informes de conflictos*. URL: <https://knowledge.autodesk.com/es/support/navisworks-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2019/ESP/Navisworks/files/GUID-3D392AAA-EB37-452A-B621-72D6E129C9D0-htm.html>.
- (2020b). *What is BIM?* URL: <https://www.autodesk.com/solutions/bim>.
- BIM, Spanish Journal of (2014). *Nivel de desarrollo LOD. Definiciones, innovaciones y adaptación a España*.
- BIM6D (2015). *Servios BIM*. URL: <http://bim6d.es/servicios/>.
- BIMForum (2019). *Level of Development Specification Part 1 & Commentary*. URL: <https://www.mckinsey.com/industries/capital-projects-and-infrastructure/our-insights/the-construction-productivity-imperative>.
- Blanco, M. (2018). *Metodología BIM en la realización de proyectos de construcción. Estudio de 6 viviendas adosadas en Gilet*. URL: <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/16606/1/2018.05.22%5C%20Proyecto%5C%20de%5C%20grado%5C%20BIM%5C%20-%5C%20MIGUEL%5C%20BLANCO%5C%20DIAZGRANADOS.pdf>.
- Coloma, E. (2008). *Introducción a tecnología BIM*. URL: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/12226/Introducci%5C%C3%5CB3n%5C%20a%5C%201a%5C%20Tecnolog%5C%C3%5C%20BIM.pdf>.
- Eadic (2017). *Análisis energético BIM, un flujo de trabajo mejorado, interactivo y compartido*. URL: <https://www.eadic.com/analisis-energetico-bim-un-flujo-de-trabajo-mejorado-interactivo-y-compartido/>.
- García, M. (2017). *Metodología BIM en la realización de proyectos de construcción. Estudio de 6 viviendas adosadas en Gilet*. URL: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/89577/Garc%5C%C3%5C%20Plaza%5C%2C%5C%20Jos%5C%C3%5CA9%5C%20Mar%5C%C3%5C%20Metodolog%5C%C3%5C%20BIM%5C%20en%5C%201a%5C%20realizaci%5C%C3%5CB3n%5C%20de%5C%20proyectos%5C%20de%5C%20construcci%5C%C3%5CB3n.%5C%20Estudio%5C%20de%5C%206%5C%20viviendas%5C%20adosadas%5C%20en%5C%20Gilet.pdf?sequence=3>.
- (2019). *Dimensiones BIM, el alcance del programa*. URL: <https://editeca.com/dimensiones-bim-alcance-del-programa/>.
- Grozdanic, L. (2016). «How to Grow Your Architecture Firm through Marketing». En: *Archipreneur*. URL: <https://archipreneur.com/how-to-grow-your-architecture-firm->

- through-marketing/?utm_medium=website&utm_source=plataformaarquitectura.cl.
- Inc, Autodesk (2020a). *3D model review software for architecture, engineering, and construction*. URL: <https://www.autodesk.com/products/navisworks/overview>.
- (2020b). *Mejora el resultado de los proyectos con el software BIM multidisciplinario*. URL: <https://www.autodesk.mx/products/revit/overview>.
- IPSUM (2018). *Lean-BIM*. URL: <https://www.ipsumapp.co/consultoria-lean-construction/bim/>.
- Jiménez, G. (2019). *Cámara de la Construcción y BIM Forum realizarán Congreso Nacional BIM 2019*. URL: <https://www.construccion.co.cr/Post/Detalle/28774/camara-de-la-construccion-y-bim-forum-realizaran-congreso-nacional-bim-2019>.
- Jiménez, P. y col. (2018). *Guía para la elaboración del Plan de Ejecución BIM*. URL: <https://www.esbim.es/wp-content/uploads/2018/10/GUIA-ELABORACION-PLAN-DE-EJECUCION-BIM.pdf>.
- McKinsey (2015). *The construction productivity imperative*. URL: <https://www.mckinsey.com/industries/capital-projects-and-infrastructure/our-insights/the-construction-productivity-imperative>.
- Nieto, S. (2020a). *El BIM en Latinoamérica [Actualizado]*. URL: <https://editeca.com/bim-en-latinoamerica/>.
- (2020b). *El BIM en Latinoamérica en 2020 – Parte 1*. URL: <https://editeca.com/bim-latinoamerica-en-2020-parte-1/>.
- (2020c). *El BIM en Latinoamérica en 2020 – Parte 2*. URL: <https://editeca.com/el-bim-en-latinoamerica-en-2020-parte-2/>.
- Penn State (2013). *Project Execution Planning Guide*. Ed. por Computer Integrated Construction Research Program at The Pennsylvania State University. 2.1. American Society of Civil Engineers.
- Planificación Nacional y Política Económica, Ministerio de (2020). *Estrategia Nacional BIM Costa Rica*. URL: <https://documentos.mideplan.go.cr/share/s/MOQwz7ifQI6vwczIxnFldw>.
- Saldías, R. (2010). *Estimación de los beneficios de realizar una coordinación digital de proyectos con tecnologías BIM*. URL: http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/103904/cf-saldias_rs.pdf;sequence=3.
- Shimonti, P. (2018). *BIM adoption around the world: how good are we?* URL: <https://www.geospatialworld.net/article/bim-adoption-around-the-world-how-good-are-we/>.
- Smart, Building (2020). *¿Qué es BIM?* URL: <https://www.buildingsmart.es/bim/qu%5C%C3%5C%A9-es/>.
- Spain, Building Smart (2014). *Guías uBIM*. URL: <https://www.buildingsmart.es/bim/gu%5C%C3%5C%ADas-ubim/>.

Apéndices

1.	Primera parte del reposte de interferencias Edificio vs Edificio, Navisworks (2019).	104
2.	Segunda parte del reposte de interferencias Edificio vs Edificio, Navisworks (2019).	105
3.	Reposte de interferencias Edificio vs Muro de contención, Navisworks (2019).	106
4.	Reposte de interferencias Edificio vs sistema MEP, Navisworks (2019).	107
5.	Desglose de elementos modelados en la categoría de vigas, Revit (2019).	108
6.	Desglose de elementos modelados en la categoría de columnas del muro, Revit (2019).	108
7.	Desglose de elementos modelados en la categoría de techos, Revit (2019).	108
8.	Desglose de varillas utilizadas en el muro de contención, Revit (2019).	109
9.	Desglose de tipos de ventanas modeladas en el proyecto, Revit (2019).	109
10.	Desglose de elementos modelados en la categoría de precintas, Revit (2019).	110
11.	Desglose de tipos de puertas modeladas en el proyecto, Revit (2019).	110
12.	Desglose de elementos modelados en la categoría de conexiones estructurales (placas), Revit (2019).	110
13.	Desglose de elementos modelados en la categoría de pisos, Revit (2019).	111
14.	Desglose de elementos modelados en la categoría de paredes del modelo del edificio, Revit (2019).	111
15.	Desglose de materiales modelados en la categoría de paredes, Revit (2019).	112
16.	Desglose de elementos modelados en la categoría de paredes del modelo del muro, Revit (2019).	112
17.	Desglose de elementos modelados en la categoría de mullions, Revit (2019).	112
18.	Desglose de elementos modelados en la categoría de muebles, Revit (2019).	113
19.	Desglose de elementos modelados en la categoría de fundaciones del edificio, Revit (2019).	113
20.	Desglose de elementos modelados en la categoría de fundaciones del muro, Revit (2019).	113
21.	Desglose de elementos modelados en la categoría de plomería, Revit (2019).	114
22.	Desglose de elementos modelados en la categoría de columnas del edificio, Revit (2019).	114
23.	Desglose de elementos modelados en la categoría de cielos, Revit (2019).	114
24.	Desglose de elementos modelados en la categoría de columnas del muro, Revit (2019).	115
25.	Desglose de elementos modelados en la categoría de canoas, Revit (2019).	115
26.	Desglose de elementos modelados en la categoría de barandas, Revit (2019).	115
27.	Desglose de elementos modelados en la categoría de ductos MEP, Revit (2019).	115
28.	Desglose de elementos modelados en la categoría de accesorios MEP, Revit (2019).	116
29.	Desglose de elementos modelados en la categoría de equipo mecánico, Revit (2019).	116

30.	Desglose de elementos modelados en la categoría de equipos de fontanería, Revit (2019).	116
31.	Desglose de elementos modelados en la categoría de equipos de tubos MEP, Revit (2019).	117
32.	Desglose de elementos modelados en la categoría de equipos de uniones de tuberías, Revit (2019).	117
33.	Desglose de materiales para la disciplina arquitectónica, Excel.	118
34.	Continuación del desglose de materiales para la disciplina arquitectónica, Excel.	119
35.	Desglose de materiales para la disciplina mecánica, Excel.	120
36.	Continuación del desglose de materiales para la disciplina MEP, Excel.	121
37.	Desglose de materiales para el muro de contención, Excel.	121

Tolerance	Clashes	New	Active	Reviewed	Approved	Resolved	Type	Status
0.040m	13	0	6	0	7	0	Hard	OK

Image	Clash Name	Status	Grid Location	Description	Date Found	Date Approved	Approved By	Clash Point	Item 1		Item 2			
									Item ID	Item Name	Item Type	Item Name	Item ID	Item Name
	New Group (1)	Active	H-5 : 00. Fondo cimentación 0- 1.025m	Hard	2020/5/5 17:42			x:5.825, y:11.771, z:-0.045	Element ID: 867459	Concrete, Cast-in-Place gray	Solid	Element ID: 423873	lastre compactado	Solid
	New Group (4)	Active	H-5 : 01.1 NIVC 0+2.80n	Hard	2020/5/5 17:42			x:6.050, y:11.919, z:2.994	Element ID: 587526	Steel, 45-345	Solid	Element ID: 819723	Pintura acrílica a preferir	Solid
	New Group (5)	Active	B-8 : 00. Fondo cimentación 0- 1.025m	Hard	2020/5/5 17:42			x:12.175, y:2.759, z:-0.145	Element ID: 868256	Concrete, Cast-in-Place gray	Solid	Element ID: 375534	Concrete, Cast-in-Place gray	Solid
	New Group (8)	Active	H-5 : 00. Fondo cimentación 0- 1.025m	Hard	2020/5/5 17:42			x:5.825, y:12.085, z:-0.120	Element ID: 867459	Concrete, Cast-in-Place gray	Solid	Element ID: 424066	Concreto f c 210	Solid
	New Group (9)	Active	D-7 : 01.0 NPT 0+ 0.0 m	Hard	2020/5/5 17:42			x:9.123, y:4.528, z:0.350	Element ID: 249551	Aluminum	Solid	Element ID: 672060	Aluminium anodized black	Solid
	New Group (11)	Active	B-19 : 01.1 NIVC 0+2.80n	Hard	2020/5/5 17:42			x:36.050, y:2.984, z:2.937	Element ID: 245463	Aluminum	Solid	Element ID: 495463	Steel, 45-345	Solid
	Clash 353	Approved	A-13 : 00. Fondo cimentación 0- 1.025m	Hard	2020/5/5 17:42	2020/5/5 18:19	bmora	x:24.037, y:-1.728, z:-0.025	Element ID: 970015	Railing	Solid	Element ID: 830077	Concreto f c 210	Solid

Apéndice 1. Primera parte del reposte de interferencias Edificio vs Edificio, Navisworks (2019).
Fuente: Autoría propia.

	New Group (1)	Approved G-8 : 02, NPVC + 3.00 m	Hard	2020/5/5 17:42		bmora	x:12.045, y:8.943, z:3.449	Element ID: 607465 Steel, 45-345	Solid	Element ID: 851775 Pintura acrílica a preferir	Solid	
	New Group (2)	Approved F-5 : 01.0 NPT 0+ 0.0 m	Hard	2020/5/5 17:42			x:5.999, y:7.448, z:2.800	Element ID: 587526 Steel, 45-345	Solid	:	Pintura acrílica a preferir	Solid
	New Group (3)	Approved F-19 : 01.1 MNVC 0+2.80n	Hard	2020/5/5 17:42	2020/5/5 18:24	bmora	x:35.950, y:7.572, z:2.900	Element ID: 608658 Steel, 45-345	Solid	Element ID: 999851 Pintura acrílica a preferir	Solid	
	New Group (7)	Approved H-19 : 01.0 NPT 0+ 0.0 m	Hard	2020/5/5 17:42	2020/5/5 18:26	bmora	x:35.950, y:11.948, z:2.500	Element ID: 494996 Steel, 45-345	Solid	:	Default Wall	Solid
	New Group (12)	Approved B-1 : 02, NPVC + 3.00 m	Hard	2020/5/5 17:42	2020/5/5 18:28	bmora	x:-0.056, y:2.905, z:4.599	Element ID: 807223 Default Wall	Solid	Element ID: 645975 Lámina Ondulada	Solid	
	New Group (13)	Approved D-17 : 02, NPVC + 3.00 m	Hard	2020/5/5 17:42	2020/5/5 18:28	bmora	x:32.950, y:4.545, z:4.916	Element ID: 911590 Aluminum	Solid	Element ID: 820135 Gypsum GOL BOND BRAND XP (12.7mm)	Solid	

Apéndice 2. Segunda parte del reposte de interferencias Edificio vs Edificio, Navisworks (2019).
Fuente: Autoría propia.

Edificio vs muro de contención		Tolerance	Clashes	New	Active	Reviewed	Approved	Resolved	Type	Status
0.040m	8	0	7	0	1	1	0	0	Hard	Off

Image	Clash Name	Status	Grid Location	Description	Date found	Date Approved	Approved By	Clash Point	Item 1		Item 2			
									Item ID	Item Name	Item Type	Item ID	Item Name	Item Type
	New Group (1)	Approved	A-17 : 00. Fondo cimentacion 0-1.025m	Hard	2020/5/5 19:30	2020/5/6 18:20	bmora	x33.075, y0.060, z:-0.445	Element ID: 423873	Lastre compactado	Solid	Element ID: 895297	Concrete, Cast-in-Place gray	Solid
	New Group (1)	Active	A-19 : 00. Fondo cimentacion 0-1.025m	Hard	2020/5/5 19:30			x35.906, y:-0.067, z:-0.775	Element ID: 868540	Concrete, Cast-in-Place gray	Solid	Element ID: 827343	Concrete, Block 15cm	Solid
	New Group (3)	Active	A-19 : 00. Fondo cimentacion 0-1.025m	Hard	2020/5/5 19:30			x36.175, y0.211, z:-0.175	Element ID: 868538	Concrete, Cast-in-Place gray	Solid	Element ID: 860181	M. Concrete-Rectangular Beam	Solid
	New Group (4)	Active	A-23 : 00. Fondo cimentacion 0-1.025m	Hard	2020/5/5 19:30			x42.031, y:-0.067, z:-0.775	Element ID: 868569	Concrete, Cast-in-Place gray	Solid	Element ID: 895353	Concrete, Cast-in-Place gray	Solid
	New Group (5)	Active	H-17 : 00. Fondo cimentacion 0-1.025m	Hard	2020/5/5 19:30			x32.925, y:11.980, z:-0.225	Element ID: 368000	Hormigón-Viga rectangular	Solid	Element ID: 895175	Concrete, Cast-in-Place gray	Solid
	New Group (6)	Active	H-19 : 00. Fondo cimentacion 0-1.025m	Hard	2020/5/5 19:30			x36.500, y:11.558, z:-1.087	Element ID: 448742	Lastre compactado	Solid	Element ID: 827621	Concrete, Cast-in-Place gray	Solid
	New Group (7)	Active	F-23 : 00. Fondo cimentacion 0-1.025m	Hard	2020/5/5 19:30			x42.060, y7.933, z:-0.130	Element ID: 425343	Concrete f c 210	Solid	Element ID: 895394	Concrete, Cast-in-Place gray	Solid
	New Group (8)	Active	H-17 : 00. Fondo cimentacion 0-1.025m	Hard	2020/5/5 19:30			x33.075, y:11.683, z:-0.445	Element ID: 375334	Concrete, Cast-in-Place gray	Solid	Element ID: 895175	Concrete, Cast-in-Place gray	Solid

Apéndice 3. Reposte de interferencias Edificio vs Muro de contención, Navisworks (2019).

Fuente: Autoría propia.

ARQ+STR vs MEP	Tolerancia	Conflicto	Nuevo	Activo	Revisado	Aprobado	Resuelto	Tipo	Estado
	0.040m	7	0	0	0	7	0	Estático	Activo

Imagen	Nombre de conflicto	Estado	Distancia	Ubicación de rejilla	Descripción	Fecha de detección	Fecha de aprobación	Aprobado por	Punto de conflicto	Elemento 1		Elemento 2			
										ID de elemento	Elemento Nombre	Elemento Tipo	ID de elemento	Elemento Nombre	Elemento Tipo
	Conflicto60	Aprobado	-0.059	C-23 : 00. Fondo cimentación 0- 1.025m	Estático	2020/5/15 14:16	2020/5/15 20:27	bmora	x:42.243, y:3.529, z:-0.693	Element ID: 927541	Caja de registro	Solid	Element ID: 935299	PVC	Line
	Nuevo grupo	Aprobado	-0.122	A-16 : 00. Fondo cimentación 0- 1.025m	Estático	2020/5/15 14:16	2020/5/15 14:43	bmora	x:29.308, y:-0.002, z:-0.445	Element ID: 423873	lastre compactado	Solid	Element ID: 938183	PVC	Line
	Nuevo grupo (1)	Aprobado	-0.117	E-2 : 00. Fondo cimentación 0- 1.025m	Estático	2020/5/15 14:16	2020/5/15 14:43	bmora	x:1.361, y:5.970, z:-0.025	Element ID: 370515	M_Pan Joist With Ledges	Solid	Element ID: 933086	PVC	Line
	Nuevo grupo (2)	Aprobado	-0.098	F-12 : Nivel de piso sin acabado	Estático	2020/5/15 14:16	2020/5/15 14:43	bmora	x:20.675, y:7.445, z:-0.000	Element ID: 991387	760 mmx455 mm - Private	Solid	Element ID: 920732	PVC	Line
	Nuevo grupo (5)	Aprobado	-0.093	C-23 : 00. Fondo cimentación 0- 1.025m	Estático	2020/5/15 14:16	2020/5/15 14:43	bmora	x:42.075, y:3.536, z:-0.733	Element ID: 827262	Concrete, Block 15cm	Solid	Element ID: 935299	PVC	Line
	Nuevo grupo (3)	Aprobado	-0.073	F-12 : 00. Fondo cimentación 0- 1.025m	Estático	2020/5/15 14:16	2020/5/15 14:43	bmora	x:20.671, y:7.447, z:-0.025	Element ID: 375534	Concrete, Cast-in-Place gray Solid	Solid	Element ID: 920732	PVC	Line
	Nuevo grupo (4)	Aprobado	-0.053	B-15 : 01.0 NPT 0+ 0.0 m	Estático	2020/5/15 14:16	2020/5/15 14:43	bmora	x:28.238, y:2.560, z:0.000	:	Default Wall	Solid	Element ID: 937205	PVC	Line

Apéndice 4. Reposte de interferencias Edificio vs sistema MEP, Navisworks (2019).

Fuente: Autoría propia.

<Structural Framing Schedule>			
A	B	C	D
Family	Type	Volume (m3)	Length (m)
PFC-Parallel Flange Channel	Clavador RT 1-13	0.7	947
PFC-Parallel Flange Channel	Perfil RT 4-11	0.0	133
RHS-Rectangular Hollow Section	Viga 100x50x3.17mm	0.1	86
SHS-Square Hollow Section	Viga 100x100x1.8mm	0.1	105
SHS-Square Hollow Section	Viga 100x100x2.38mm	0.2	237
RHS-Rectangular Hollow Section	Viga 150x100x2.38mm	0.1	101
RHS-Rectangular Hollow Section	Viga 150x100x3.17mm	0.3	182
RHS-Rectangular Hollow Section	Viga 200x100x2.38mm	0.1	94
RHS-Rectangular Hollow Section	Viga 200x100x3.17mm	0.1	74
RHS-Rectangular Hollow Section	Viga 200x150x2.38mm	0.1	42
M_Pan Joist With Ledges	Viga P01.2	5.3	85
RHS-Rectangular Hollow Section	Viga TR 50x25x1.58mm	0.1	313
RHS-Rectangular Hollow Section	Viga TR 100x50x1.8mm	0.0	32
Hormigón-Viga rectangular	Viga-P02 200x200mm	3.8	78

Apéndice 5. Desglose de elementos modelados en la categoría de vigas, Revit (2019).
Fuente: Autoría propia.

<Structural Framing Schedule>			
A	B	C	D
Family	Type	Volume (m3)	Length (m)
M_Pan Joist With Ledges	150 x 350 Edge Beam 1	0.0	2
Hormigón-Viga rectangular	Tensor en piso	0.3	23
M_Concrete-Rectangular Beam	Viga corona-MR1 350x150m	1.4	30

Apéndice 6. Desglose de elementos modelados en la categoría de columnas del muro, Revit (2019).

Fuente: Autoría propia.

<Roof Schedule>		
A	B	C
Family	Type	Area (m2)
Basic Roof	Lámina HG#26 esmaltada	739

Apéndice 7. Desglose de elementos modelados en la categoría de techos, Revit (2019).
Fuente: Autoría propia.

<Rebar Schedule>					
A	B	C	D	E	F
Family	Type	Bar Diameter	Bar Length	Count	Cant. Varillas 6m
Rebar Bar	Nº3	10 mm	200	39	3338
Rebar Bar	Nº4	13 mm	27	12	445
Rebar Bar	Nº5	16 mm	118	22	1972
Rebar Bar	Nº6	19 mm	27	2	451
Rebar Bar	Perno 12mm	12 mm	5	3	86

Apéndice 8. Desglose de varillas utilizadas en el muro de contención, Revit (2019).
Fuente: Autoría propia.

<Window Schedule>		
A	B	C
Family	Type	Count
Ventana rectangular	V01-1720x1740mm	18
Ventana rectangular	V02-1720x1740mm	2
Ventana rectangular	V04-1530x1740mm	6
Ventana rectangular	V05-1470x2500mm	15
Ventana rectangular	V07-2960x2500mm	1
Ventana rectangular	V08-1390x2500mm	1
Ventana rectangular	V12-2470x2500mm	3
Ventana rectangular	V15-1400x2500mm	2
Ventana rectangular	V16-3040x2500mm	1
Ventana en L inversa	V18-960x2400mm	4
Ventana rectangular	V19-2190x2500mm	1
Ventana rectangular	V21-2840x2500mm	1
Ventana rectangular	V23-2280x1740mm	1
Ventana rectangular	V24-1000x1500mm	1
Ventana en L inversa	V24-1600x2400mm	1

Apéndice 9. Desglose de tipos de ventanas modeladas en el proyecto, Revit (2019).
Fuente: Autoría propia.

<Fascia Schedule>			
A	B	C	D
Family	Type	Área precinta 15cm (m2)	Área precinta 30cm (m2)
Fascia	Precinta 150mm	5	10
Fascia	Precinta 300mm	27	53

Apéndice 10. Desglose de elementos modelados en la categoría de precintas, Revit (2019).
Fuente: Autoría propia.

<Door Schedule>		
A	B	C
Family	Type	Count
M_Single-Flush	P06-1100x2800	21
Sliding_Double_Door	P09-1100x2800	5
M_Single-Flush	P14-890x2140mm	7
M_Single-Flush	P14-1100x2140 mm	1
Puerta con ventana	PV03-2590x2140mm	2
Puerta con ventana	PV10-1450x2800mm	2
Puerta con ventana	PV11-1450x2800mm	2
Puerta con ventana	PV13-1380x2800mm	4
Puerta con ventana	PV17-1380x2800mm	1
Puerta con ventana	PV20-2880x2800mm	1
Puerta con ventana	PV22-2890x2800mm	1
Puerta con ventana	PV22-2890x2800mm CORREGIDA	2

Apéndice 11. Desglose de tipos de puertas modeladas en el proyecto, Revit (2019).
Fuente: Autoría propia.

<Structural Connection Schedule>		
A	B	C
Family	Type	Count
PLACA DE UNIÓN	Placa 100x200x3.17mm	175
PLACA DE ANCLAJE	Placa 400x300x7.62mm	26

Apéndice 12. Desglose de elementos modelados en la categoría de conexiones estructurales (placas), Revit (2019).

Fuente: Autoría propia.

<Floor Schedule>			
A	B	C	D
Family	Type	Volume (m3)	Area (m2)
Floor	Lastre compactado-300mm	182	619
Floor	P1-AP1	11	448
Floor	P1-AP2	19	171
Floor	P1-AP3	0	18
Floor	Sustitución lastres/cemento-300m	9	29

Apéndice 13. Desglose de elementos modelados en la categoría de pisos, Revit (2019).
Fuente: Autoría propia.

<Wall Schedule>			
A	B	C	D
Family	Type	Length (m)	Area (m2)
Basic Wall	M1/AM1 (Panel 3D PANACOR) - 120mm	100	160
Basic Wall	M1/AM1 (Panel 3D PANACOR) - 120mm	46	114
Basic Wall	M1/AM3 (Panel 3D PANACOR) - 120mm	8	14
Basic Wall	M1/AM3 (Panel 3D PANACOR) - 120mm	28	69
Basic Wall	M1/AM3 (Panel 3D PANACOR) - 120mm	13	37
Curtain Wall	M2-Estructura Liviana en Gypsum - 100	151	271
Basic Wall	M2/AM2 (Acabados en gypsum) - 130m	169	287
Basic Wall	M3-Durock tapichel (12.6mm)	29	36
Basic Wall	M3-Gypsum tapichel (12.6mm)	196	226
Basic Wall	M3-Recubrimiento cerchas	42	21
Curtain Wall	Rejilla en monitor	41	28
Curtain Wall	Tapichel ventilado de madera	6	9

Apéndice 14. Desglose de elementos modelados en la categoría de paredes del modelo del edificio, Revit (2019).

Fuente: Autoría propia.

<Wall Material Takeoff>	
A	B
Material: Name	Material: Area
Air (NO CONTABILIZAR)	321 m ²
Durock (12.6mm)	57 m ²
Furring para cielo y tapichel	256 m ²
Gypsum GOL BOND BRAND XP (12.7mm)	792 m ²
Imperplaster Pasta	936 m ²
Imperplaster Repello	658 m ²
Mortero de pega 253 Laticrete 150mm	119 m ²
Panel 3D PANACOR	394 m ²
Pine	55 m ²
Pintura acrilica a preferir	1272 m ²
Pintura acrilica verde	232 m ²
Porcelanato gris antiderrape	118 m ²
Revestimiento para gypsum	569 m ²

Apéndice 15. Desglose de materiales modelados en la categoría de paredes, Revit (2019).
Fuente: Autoría propia.

<Wall Schedule>			
A	B	C	D
Family	Type	Length (m)	Area (m2)
Basic Wall	Muro MR1 - block15cm	30	23

Apéndice 16. Desglose de elementos modelados en la categoría de paredes del modelo del muro, Revit (2019).

Fuente: Autoría propia.

<Mullion Schedule>		
A	B	C
Family	Type	Length (m)
Rectangular Mullion	Furrin 100mm	1792
Rectangular Mullion	Madera de pino 50x50mm	61
Rectangular Mullion	Perfil Z	305
Rectangular Mullion	Tubo 1"x2" calibre 1.4	115

Apéndice 17. Desglose de elementos modelados en la categoría de mullions, Revit (2019).
Fuente: Autoría propia.

<Furniture Schedule>		
A	B	C
Family	Type	Count
Mesa comedor 7	900mm Diameter	2
Mesa peq 10	1200 x 760mm	8
Camogli_Chair_-_armless_2700	Camogli_Chair_-_armless_2700	7
Chair (2)	Chair (2)	8
Couch04	Couch04	3
Desk07	Desk07	2
Seating16	Seating16	18
Seating41	Seating41	2
Mesa comedor 5	Table - Dining (4)	1

Apéndice 18. Desglose de elementos modelados en la categoría de muebles, Revit (2019).
Fuente: Autoría propia.

<Structural Foundation Schedule>			
A	B	C	D
Family	Type	Volume (m3)	Area (m2)
Foundation Slab	Losa de concreto - 120mm	53.83	449
M_Footing-Rectangular	Placa aislada pedestal- 1100x1000x250mm	0.28	29

Apéndice 19. Desglose de elementos modelados en la categoría de fundaciones del edificio, Revit (2019).

Fuente: Autoría propia.

<Structural Foundation Schedule>			
A	B	C	D
Family	Type	Volume (m3)	Area (m2)
M_Footing-Rectangular	Placa aislada aire- 1100x1000x250mm 2	1.38	6
M_Footing-Rectangular	Placa aislada PA- 1000x1000x250mm	1.50	6
Wall Foundation	Placa corrida de MR-2 (700x250)mm	4.60	18

Apéndice 20. Desglose de elementos modelados en la categoría de fundaciones del muro, Revit (2019).

Fuente: Autoría propia.

<Plumbing Fixture Schedule>		
A	B	C
Family	Type	Count
M_Lavatory - Wall Mounted	485 mmx355 mm - Private	5
M_Sink - Work	510 mmx455 mm	1
M_Lavatory - Vanity	760 mmx455 mm - Private	2
M_Shower Stall - Corner	865 mmx815 mm - Public	2
M_Water Closet - Flush Tank	Public - Flushing Greater than 6.1 Lpf	5

Apéndice 21. Desglose de elementos modelados en la categoría de plomería, Revit (2019).
Fuente: Autoría propia.

<Structural Column Schedule>				
A	B	C	D	E
Family	Type	Length (m)	Count	Volume (m3)
M_Concrete-Rectangular-	Columna Pedestal 1.1x1m / 0.45x0.35m (f'c 210)	21	26	3.3
RHS-Rectangular Hollow S	Columna tubo 150x100x3.17mm	98	26	0.2

Apéndice 22. Desglose de elementos modelados en la categoría de columnas del edificio, Revit (2019).

Fuente: Autoría propia.

<Ceiling Schedule>		
A	B	C
Family	Type	Area (m2)
Compound Ceiling	C1/AC1-Fibra mineral (600x600mm)	235
Compound Ceiling	C2/AC2-Densglass	187
Compound Ceiling	C3/AC2- Gypsum (12.7mm de espesor)	266
Compound Ceiling	C4/AC1-Fibra mineral (600x600x15mm)	42

Apéndice 23. Desglose de elementos modelados en la categoría de cielos, Revit (2019).
Fuente: Autoría propia.

<Structural Column Schedule>		
A	B	C
Family	Type	Volume (m3)
M_Concrete-Rectangular-Column	Columna C-1 400x150mm	0.36

Apéndice 24. Desglose de elementos modelados en la categoría de columnas del muro, Revit (2019).

Fuente: Autoría propia.

<Gutter Schedule>		
A	B	C
Family	Type	Length (m)
Gutter	Canoa esmaltada HG#24	134

Apéndice 25. Desglose de elementos modelados en la categoría de canoas, Revit (2019).

Fuente: Autoría propia.

<Railing Schedule>		
A	B	C
Family	Type	Length (m)
Railing	Baranda escalera tubo 900mm	1.1
Railing	Baranda escalera tubo 900mm	4.4

Apéndice 26. Desglose de elementos modelados en la categoría de barandas, Revit (2019).

Fuente: Autoría propia.

<Duct Schedule>	
A	B
Family and Type	Length (m)
Round Duct: Taps / Short Radius	5
Round Duct: Taps / Short Radius	1

Apéndice 27. Desglose de elementos modelados en la categoría de ductos MEP, Revit (2019).

Fuente: Autoría propia.

<Pipe Accessory Schedule>				
A	B	C	D	E
System Type	Type	Family	Size	Count
IS - Agua Caliente	Generic	Valvula de Bola Roscada_PVCpresion_PAVCO	3/4"ø-3/4"ø	6
IS - Agua Potable	Generic	Valvula de Bola Roscada_PVCpresion_PAVCO	1"ø-1"ø	4
IS - Agua Potable	Generic	Valvula de Bola Roscada_PVCpresion_PAVCO	3/4"ø-3/4"ø	11
IS - Agua Potable	Válvula de retención (CHECK) 50mm	M_Check Valve - 10-100 mm - Threaded	1"ø-1"ø	2
IS - Agua Potable	Válvula de compuerta 25mm	M_Diaphragm Valve - Straight - 65-350 mm	1"ø-1"ø	2

Apéndice 28. Desglose de elementos modelados en la categoría de accesorios MEP, Revit (2019).

Fuente: Autoría propia.

<Mechanical Equipment Schedule>		
A	B	C
Type	Family	Count
Caja de registro	Cenicero	8
Evaporadora york 18 000BTU/Hr	M_Heating Unit Ventil	1

Apéndice 29. Desglose de elementos modelados en la categoría de equipo mecánico, Revit (2019).

Fuente: Autoría propia.

<Plumbing Fixture Schedule>		
A	B	C
Type	Family	Count
485 mmx355 mm - Private	M_Lavatory - Wall Mounted	5
510 mmx455 mm	M_Sink - Work	1
760 mmx455 mm - Private	M_Lavatory - Vanity	2
865 mmx815 mm - Public	M_Shower Stall - Corner	2
Public - Flushing Greater than 6.1 Lpf	M_Water Closet - Flush Tank	5
Tap (6)	Tap (6)	2

Apéndice 30. Desglose de elementos modelados en la categoría de equipos de fontanería, Revit (2019).

Fuente: Autoría propia.

<Pipe Schedule>				
A	B	C	D	E
System Type	Type	Size	Material	Length (m)
IS - Agua Caliente	CPVC SDR-17	1"ø	CPVC	39
IS - Agua Caliente	CPVC SDR-17	3/4"ø	CPVC	30
IS - Agua Potable	PVC SDR-17	1"ø	PVC	39
IS - Agua Potable	PVC SDR-17	2"ø	PVC	101
IS - Agua Potable	PVC SDR-17	3/4"ø	PVC	31
IS - Desague Aguas Negras	PVC SDR-26	1 1/2"ø	PVC	23
IS - Desague Aguas Negras	PVC SDR-26	2"ø	PVC	18
IS - Desague Aguas Negras	PVC SDR-26	3"ø	PVC	88

Apéndice 31. Desglose de elementos modelados en la categoría de equipos de tubos MEP, Revit (2019).

Fuente: Autoría propia.

<Pipe Fitting Schedule>				
A	B	C	D	E
System Type	Family	Type	Size	Count
IS - Agua Caliente	Codo Roscado	CPVC Codo	1"ø-1"ø	1
IS - Agua Caliente	Codo Roscado	CPVC Codo	3/4"ø-3/4"ø	21
IS - Agua Caliente	Reductor Roscado	CPVC Reductor	1"ø-3/4"ø	8
IS - Agua Caliente	Tee Roscado	CPVC TEE	1"ø-1"ø-1"ø	6
IS - Agua Caliente	Tee Roscado	CPVC TEE	3/4"ø-3/4"ø-3/4"ø	1
IS - Agua Caliente	Tapon Roscado PVC	Standard	3/4"ø	1
IS - Agua Potable	Reductor Roscado	PVC Clase 10	1"ø-3/4"ø	18
IS - Agua Potable	Reductor Roscado	PVC Clase 10	2"ø-1"ø	5
IS - Agua Potable	Reductor Roscado	PVC Clase 10	2"ø-3/4"ø	2
IS - Agua Potable	Codo Roscado	PVC Clase 10	1"ø-1"ø	7
IS - Agua Potable	Codo Roscado	PVC Clase 10	2"ø-2"ø	4
IS - Agua Potable	Codo Roscado	PVC Clase 10	3/4"ø-3/4"ø	37
IS - Agua Potable	Tee Roscado	PVC SDR 26	1"ø-1"ø-1"ø	12
IS - Agua Potable	Tee Roscado	PVC SDR 26	2"ø-2"ø-2"ø	5
IS - Agua Potable	Tee Roscado	PVC SDR 26	3/4"ø-3/4"ø-3/4"ø	5
IS - Agua Potable	Tapon Roscado PVC	Standard	1"ø	1
IS - Agua Potable	Tapon Roscado PVC	Standard	3/4"ø	6
IS - Desague Aguas Negras	Tee Roscado	PVC SDR 26	1 1/2"ø-1 1/2"ø-1 1/2"ø	4
IS - Desague Aguas Negras	Tee Roscado	PVC SDR 26	2"ø-2"ø-2"ø	8
IS - Desague Aguas Negras	Tee Roscado	PVC SDR 26	3"ø-3"ø-3"ø	1
IS - Desague Aguas Negras	Reductor Roscado	PVC SDR 26	2"ø-1 1/2"ø	11
IS - Desague Aguas Negras	Reductor Roscado	PVC SDR 26	2"ø-2"ø	1
IS - Desague Aguas Negras	Reductor Roscado	PVC SDR 26	3"ø-1 1/2"ø	2
IS - Desague Aguas Negras	Codo Roscado	PVC SDR 26	1 1/2"ø-1 1/2"ø	34
IS - Desague Aguas Negras	Codo Roscado	PVC SDR 26	2"ø-2"ø	7
IS - Desague Aguas Negras	Codo Roscado	PVC SDR 26	3"ø-3"ø	3
IS - Desague Aguas Negras	M_Trap P - PVC - Sc	Standard	1 1/2"ø-1 1/2"ø	7

Apéndice 32. Desglose de elementos modelados en la categoría de equipos de uniones de tuberías, Revit (2019).

Fuente: Autoría propia.

Item	Actividad	Cantidad	Unidad
A	Arquitectónico		
A-1	Cielos		
A-1-1	Láminas de fibra mineral marca ARMSTRONG modelo DUNE (600x600mm)	769	und
A-1-2	Colgantes	922	und
A-1-3	Perfiles de hierro galvanizado marca ARMSTRONG modelo PEAKFORM 888	737	m
A-1-4	Moldura de pared	368	m
A-1-5	Tubo industrial HN de 25x75x3mm de espesor	70	m
A-1-6	Lámina Denglass 4'x10'x1/2" marca GEORGIA-PACIFIC	50	und
A-1-7	Furring channel en hierro galvanizado calibre 20 (10ft)	102	und
A-1-8	Lámina de gypsum (1/2")	89	und
A-1-9	Studs de hierro galvanizado calibre 20 de 100mm de ancho	442	m
A-1-10	Aislante termoacústico de lana de vidrio marca Owens	266	m2
A-1-11	Revestimeinto para gypsum SHEETROCK Lightweight Mixed Plus 3	46	gal
A-1-12	Pintura color a escoger tipo High Estándar Familia E 1300 - Protecto	10	gal
A-2	Rejillas en monitor y rejilla tapichel		
A-2-1	Perfiles en Z de aluminio	305	m
A-2-2	Tubo 1"x2" liso calibre 1,4	115	m
A-2-3	Pino radiado 50x50mm		m
A-3	Puertas		
A-3-1	Puerta tipo 06 (1100x2800mm)	21	und
A-3-2	Puerta tipo 09 (1100x2800mm)	5	und
A-3-3	Puerta tipo 14 (890x2140mm)	7	und
A-3-4	Puerta tipo14 (1100x2140 mm)	1	und
A-3-5	Puerta tipo 03 (2590x2140mm)	2	und
A-3-6	Puerta tipo 10 (1450x2800mm)	2	und
A-3-7	Puerta tipo 11 (1450x2800mm)	2	und
A-3-8	Puerta tipo13 (1380x2800mm)	4	und
A-3-9	Puerta tipo17 (1380x2800mm)	1	und
A-3-10	Puerta tipo20 (2880x2800mm)	1	und
A-3-11	Puerta tipo 22 (2350x2800mm)	3	und
A-4	Techos		
A-4-1	Lámina HG#26 esmaltada color blanco (1,07x3,66cm)	200	und
A-4-2	Tornillo para techo	3199	und
A-4-3	Tensores de techo varilla #6 G40 (6m de longitud)	22	und
A-4-4	Canoa HG #26	134	m
A-4-5	Lámina Denglass 4'x10'x1/2" marca GEORGIA-PACIFIC (precinta)	58	und
A-4-6	Revestimeinto para gypsum SHEETROCK Lightweight Mixed Plus 3 (precinta)	6	gal

Apéndice 33. Desglose de materiales para la disciplina arquitectónica, Excel.
Fuente: Autoría propia.

Item	Actividad	Cantidad	Unidad
A-5	Pisos		
A-5-1	Porcelanato color blanco similar a modelo Siena marca Castel (60x60cm)	448	m2
A-5-2	Porcelanato esmaltado modelo Multiquarts color gris antiderrape (30x60cm)	18	m2
A-5-3	Mortero igual o similar a Lacrite Mortero 253 Multipropósito (bolsa 50lb)	78	und
A-5-4	Fragua color a preferir para gris Modelo 1500 Lacrite (bolsa de 10Lb)	1	und
A-5-5	Fragua color a preferir para blanco Modelo 1500 Lacrite (bolsa de 25Lb)	11	und
A-5-6	Junta de movimiento Coflex CA-P	280	m
A-6	Paredes		
A-6-1	Panel 3D Panacor	195	m
A-6-2	Durock 12,6mm de espesor (1,22x244m)	19	und
A-6-3	Furring para tapichel (10ft)	318	und
A-6-4	Gypsum GOL BOND BRAND XP 12.7mm (1,22x2,44m)	272	und
A-6-5	Imperplaster pasta Impersa (saco 40kg)	133	m2
A-6-6	Imperplaster grueso (saco 40kg)	164	und
A-6-7	Aislante termoacústico de fibra de vidrio modelo Aislhogar 2"	289	m2
A-6-8	Mortero base coat (bolsa 25 kg)	47	und
A-6-9	Pintura acrílica a escoger High Estándar Latex E 1300 Protecto	29	gal
A-6-10	Perfiles U de 1/2' (3,05m)	197	und
A-6-11	Revestimiento para gypsum modelo SHEETROCK Lightweight (Caja 18 kg)	48	m2
A-6-12	Mortero igual o similar a Lacrite Mortero 253 Multipropósito (bolsa 50lb)	20	und
A-6-13	Rodapie de pino (3,05m)	189	und
A-6-14	Porcelanato esmaltado modelo Multiquarts color gris antiderrape (30x60cm)	117	m2
A-6-15	Pintura acrílica verde, exterior High Estándar Latex E 1300 Protecto	7	gal
A-6-16	Studs hierro galvanizado calibre 20 - 100mm (10ft)	588	und
A-6-17	Junta de movimiento Coflex CA-P	70	m
A-6-18	Fragua color a preferir para blanco Modelo 1500 Lacrite (bolsa de 25Lb)	3	und
A-6-19	Madera de pino radiada de 50x50mm (3,96 m)	15	und
A-7	Ventanas		
A-7-1	Ventana tipo V01-1720x1740mm	18	und
A-7-2	Ventana tipo V02-1720x1740mm	2	und
A-7-3	Ventana tipo V04-1530x1740mm	6	und
A-7-4	Ventana tipo V05-1470x2500mm	15	und
A-7-5	Ventana tipo V07-2960x2500mm	1	und
A-7-6	Ventana tipo V08-1390x2500mm	1	und
A-7-7	Ventana tipo V12-2470x2500mm	3	und
A-7-8	Ventana tipo V15-1400x2500mm	2	und
A-7-9	Ventana tipo V16-3040x2500mm	1	und
A-7-10	Ventana tipo V18-960x2400mm	4	und
A-7-11	Ventana tipo V19-2190x2500mm	1	und
A-7-12	Ventana tipo V21-2840x2500mm	1	und
A-7-13	Ventana tipo V23-2280x1740mm	1	und
A-7-14	Ventana tipo V24-1600x2400mm	1	und
A-7-15	Ventana tipo V25-1000x1500mm	1	und

Apéndice 34. Continuación del desglose de materiales para la disciplina arquitectónica, Excel.
Fuente: Autoría propia.

Item	Actividad	Cantidad	Unidad
M	Mecánico		
M-1	Agua potable		
M-1-1	Tubo PVC SDR 17 (1")	39	m
M-1-2	Tubo PVC SDR 17 (2")	101	m
M-1-3	Tubo PVC SDR 17 (3/4")	31	m
M-1-4	Tubo CPVC SDR 17 (1")	39	m
M-1-5	Tubo CPVC SDR 17 (3/4")	30	m
M-1-6	Codo CPVC 1"	1	und
M-1-7	Codo CPVC 3/4"	21	und
M-1-8	Codo PVC SDR 17 (1")	7	und
M-1-9	Codo PVC SDR 17 (2")	4	und
M-1-10	Codo PVC SDR 17 (3/4")	37	und
M-1-11	Reductor CPVC SDR 17 (1"-3/4")	8	und
M-1-12	Reductor PVC SDR 17 (1"-3/4")	18	und
M-1-13	Reductor PVC SDR 17 (2"-1")	5	und
M-1-14	Reductor PVC SDR 17 (2"-3/4")	2	und
M-1-15	Tee CPVC SDR 17 (1")	6	und
M-1-16	Tee CPVC SDR 17 (3/4")	1	und
M-1-17	Tee PVC SDR 17 (1")	12	und
M-1-18	Tee PVC SDR 17 (2")	5	und
M-1-19	Tee PVC SDR 17 (3/4")	5	und
M-1-20	Tapón CPVC (3/4")	1	und
M-1-21	Tapón PVC (1")	1	und
M-1-22	Tapón PVC (3/4")	6	und
M-1-23	Válvula de bola CPVC 3/4"	6	und
M-1-24	Válvula de bola PVC 1"	4	und
M-1-25	Válvula de bola PVC 3/4"	11	und
M-1-26	Válvula de retención (CHECK) 50mm	2	und
M-1-27	Válvula de compuerta 25mm	2	und

Apéndice 35. Desglose de materiales para la disciplina mecánica, Excel.
Fuente: Autoría propia.

Item	Actividad	Cantidad	Unidad
M-2	Aguas negras y grises		
M-2-1	Tubo PVC SDR 26 (1 1/2")	23	m
M-2-2	Tubo PVC SDR 26 (2")	18	m
M-2-3	Tubo PVC SDR 26 (3")	88	m
M-2-4	Tee PVC SDR 26 (1 1/2")	4	und
M-2-5	Tee PVC SDR 26 (2")	8	und
M-2-6	Tee PVC SDR 26 (3")	1	und
M-2-7	Reductor PVC SDR 26 (2" - 1/2")	11	und
M-2-8	Reductor PVC SDR 26 (3"-2")	1	und
M-2-9	Reductor PVC SDR 26 (3"-1/2")	2	und
M-2-10	Codo PVC SDR 17 (1 1/2")	34	und
M-2-11	Codo PVC SDR 17 (2")	7	und
M-2-12	Codo PVC SDR 17 (3")	3	und
M-2-13	Sifón 1 1/2 "	7	und

M-3	Equipo de plomería y mecánico		
M-3-1	Lavatorio de baño	5	und
M-3-2	Pila de piso (miselaneos)	2	und
M-3-3	Duchas	2	und
M-3-4	Servicio sanitarios	5	und
M-3-5	Llave de paso exterior	2	und
M-3-6	Cajas de registro	8	und
M-3-7	Evaporadora york 18 000BTU/Hr	1	und
M-3-8	Ducto rectangular de aire acondicionado	5	m
M-3-9	Ducto flexible	1	m
M-3-10	Tubería de refrigeración	5	m
M-3-11	Unidad condensadora	1	und
M-3-8	Calentador de agua solar	1	und

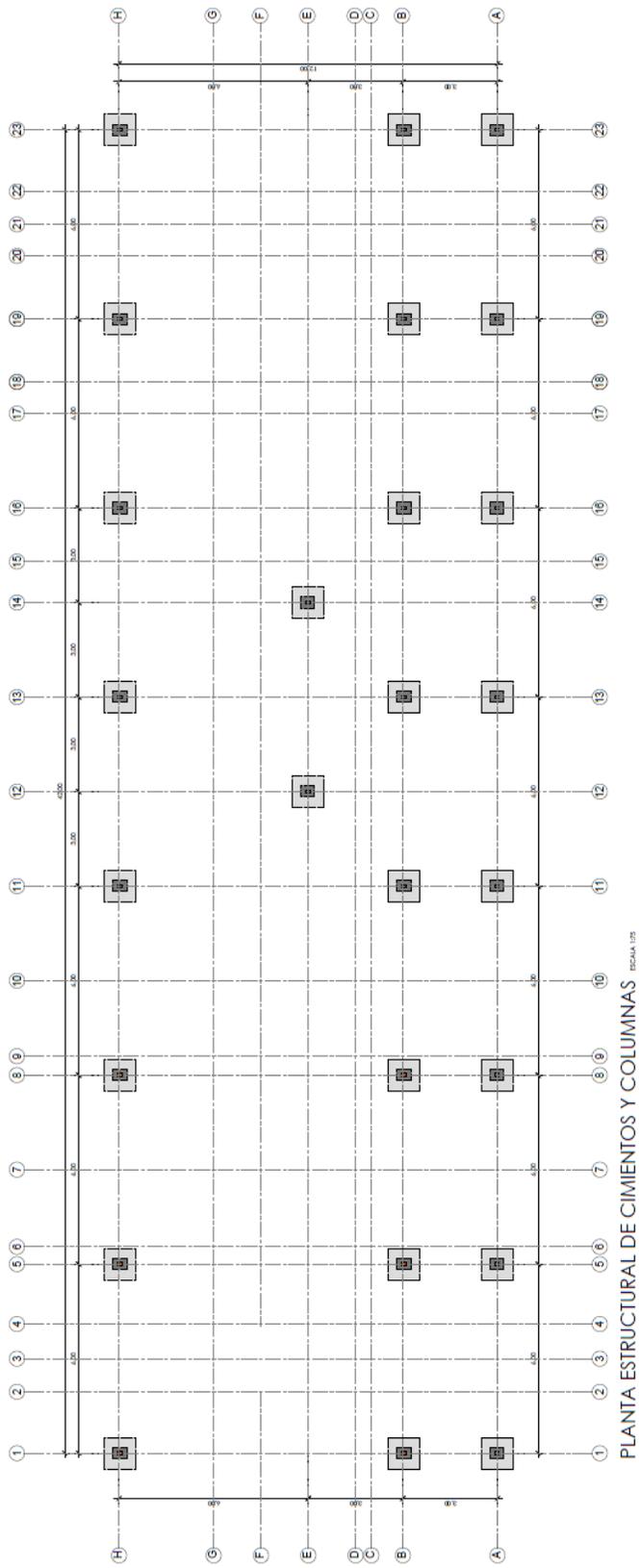
Apéndice 36. Continuación del desglose de materiales para la disciplina MEP, Excel.
Fuente: Autoría propia.

Item	Actividad	Cantidad	Unidad
S-4	Muro de contención		
S-4-1	Varilla N° 3, 6m longitud	33	und
S-4-2	Varilla N° 4, 6m longitud	4	und
S-4-3	Varilla N° 5, 6m longitud	20	und
S-4-4	Varilla N° 6, 6m longitud	5	und
S-4-5	Concreto f'c: 210kg/cm ²	9,5	m ³
S-4-6	Block 15cm ancho	288	und

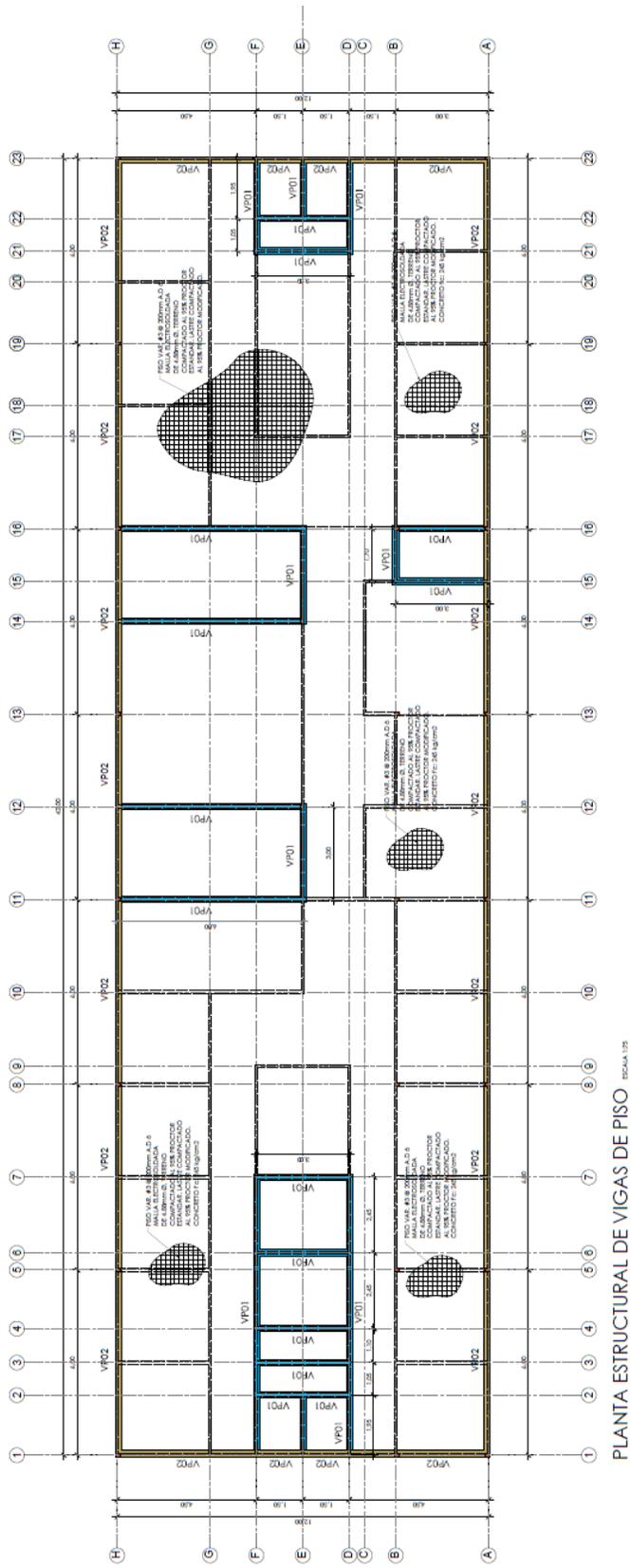
Apéndice 37. Desglose de materiales para el muro de contención, Excel.
Fuente: Autoría propia.

Anexos

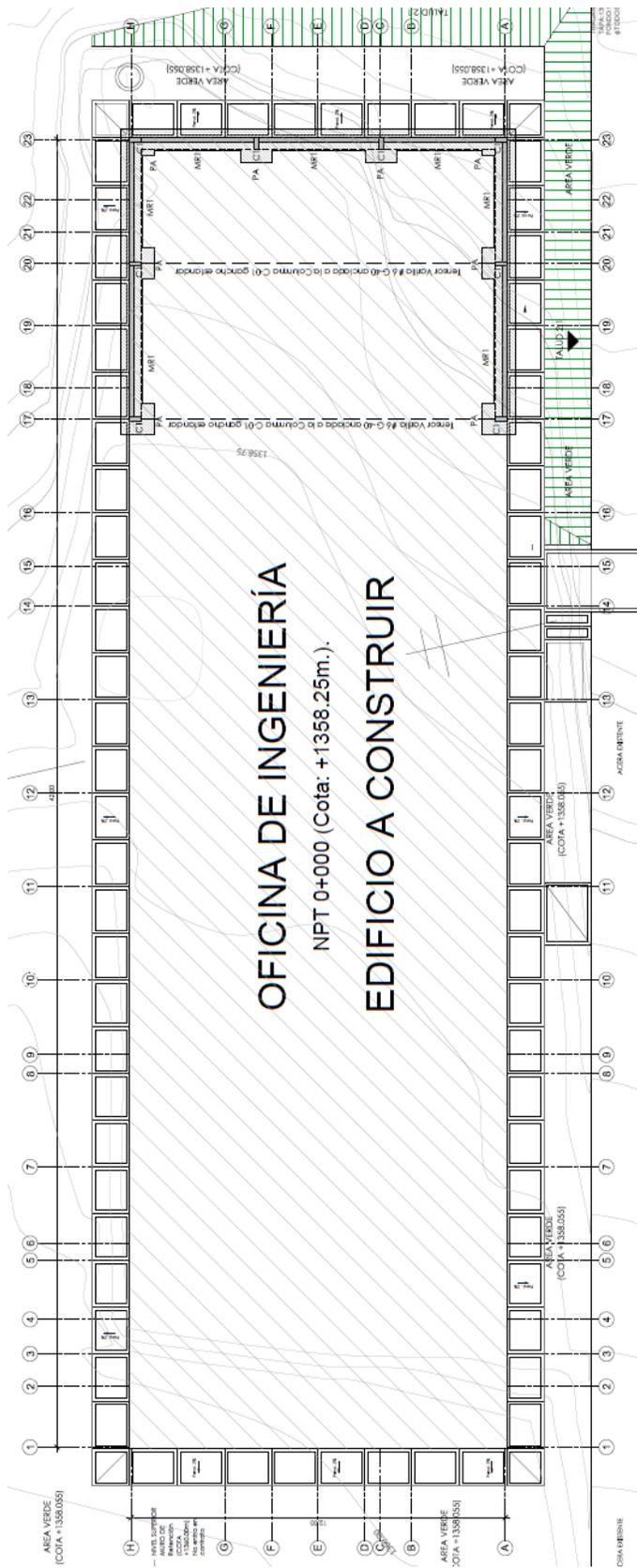
1.	Plano en planta del cimientos y columnas.	123
2.	Plano en planta de vigas de piso.	124
3.	Plano en planta del muro de contención	125



Anexo 1. Plano en planta del cimientos y columnas.
Fuente: Autoría propia.



Anexo 2. Plano en planta de vigas de piso.
Fuente: Autoría propia.



Anexo 3. Plano en planta del muro de contención
Fuente: Autoría propia.