



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Civil

**USO DE LA METODOLOGIA BIM COMO ENFOQUE EN LA PLANIFICACION Y CONTROL DEL  
PROCESO CONSTRUCTIVO DE UNA EDIFICACIÓN EN GUATEMALA**

**Francisco Alexander Brenes Hernández**

Asesorado por el Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno

Guatemala, abril de 2024

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**USO DE LA METODOLOGIA BIM COMO ENFOQUE EN LA PLANIFICACION Y CONTROL DEL  
PROCESO CONSTRUCTIVO DE UNA EDIFICACION EN GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**FRANCISCO ALEXANDER BRENES HERNANDEZ**  
ASESORADO POR EL ING. ALFREDO ENRIQUE BEBER ACEITUNO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, ABRIL DE 2024

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing.	José Francisco Gomez Rivera (a. i.)
VOCAL II	Ing.	Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing.	José Milton De León Bran
VOCAL IV	Ing.	Kevin Vladimir Armando Cruz
VOCAL V	Ing.	Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing.	Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANA	Inga.	Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR(A)	Ing.	Luis Eduardo Portillo
EXAMINADOR(A)	Ing.	José Mauricio Arriola
EXAMINADOR(A)	Ing.	Darío Lucas Mazariegos
SECRETARIO	Ing.	Hugo Humberto Rivera Pérez

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**USO DE LA METOLOGIA BIM COMO ENFOQUE EN LA PLANIFICACION Y CONTROL DEL PROCESO CONSTRUCTIVO DE UNA EDIFICACION EN GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 02 de mayo de 2019.

**Francisco Alexander Brenes Hernandez**

Guatemala, 29 de junio de 2023

Ingeniero  
Juan Carlos Linares  
Coordinador del Departamento de Planeamiento  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
Presente.

Ingeniero Linares:

Por este medio hago de su conocimiento que como Asesor al estudiante universitario de la carrera de Ingeniería Civil **Francisco Alexander Brenes Hernández**, con número de **carné 201403933**, en su trabajo de graduación titulado "GUÍA PARA EL USO DE LA METODOLOGÍA BIM COMO ENFOQUE EN LA PLANIFICACIÓN Y CONTROL DEL PROCESO CONSTRUCTIVO DE UNA EDIFICACIÓN EN GUATEMALA", he realizado la revisión respectiva al trabajo desarrollado y considero que se han cumplido los objetivos del mismo, razón por la cual lo apruebo y solicito su colaboración para que se continúen los trámites que corresponda.

Sin otro particular agradezco la gentileza de su atención y me suscribo de Usted,

Atentamente.



Alfredo Enrique Beber Aceituno  
Ingeniero Civil  
Colegiado 3,079



Guatemala, 3 de noviembre de 2023

Ingeniero  
Armando Fuentes Roca  
Director Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos

Ingeniero Fuentes Roca:

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **USO DE LA METOLOGIA BIM COMO ENFOQUE EN LA PLANIFICACION Y CONTROL DEL PROCESO CONSTRUCTIVO DE UNA EDIFICACION EN GUATEMALA**, desarrollado por el estudiante de ingeniería civil Francisco Alexander Brenes Hernández, quien contó con la asesoría del ingeniero civil, Alfredo Beber Aceituno.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la ingeniería nacional y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo, doy mi aprobación al mismo, solicitando darle el tramite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Ing. Civil, Guillermo Francisco Melini Salguero  
Jefe del Departamento de Planeamiento





LNG.DIRECTOR.045.EIC.2024

Guatemala, abril de 2024

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador de Área y la aprobación del área de lingüística del trabajo de graduación titulado: **USO DE LA METODOLOGÍA BIM COMO ENFOQUE EN LA PLANIFICACIÓN Y CONTROL DEL PROCESO CONSTRUCTIVO DE UNA EDIFICACIÓN EN GUATEMALA**, presentado por: **Francisco Alexander Brenes Hernández**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Ing. Armando Fuentes Roca  
Director  
Escuela de Ingeniería Civil



Decanato  
Facultad de Ingeniería  
24189101- 24189102  
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

LNG.DECANATO.OI.104.2024

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **USO DE LA METODOLOGÍA BIM COMO ENFOQUE EN LA PLANIFICACIÓN Y CONTROL DEL PROCESO CONSTRUCTIVO DE UNA EDIFICACIÓN EN GUATEMALA**, presentado por: **Francisco Alexander Brenes Hernández**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

  
Ing. José Francisco Gómez Rivera  
Decano a.i.



Guatemala, abril de 2024

JFGR/gaac

## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Gracias Padre Celestial, por tu amor, bondad y misericordia, por ayudarme a lograr a culminar este tan anhelado sueño.
- Mi esposa** Lourdes Ovalle por el acompañamiento, apoyo en mi vida estudiantil profesional y matrimonial.
- Mis padres** Manuel Brenes y Claudia Hernández. gracias por su ejemplo, esfuerzo y apoyo incondicional en mi vida. Su amor será siempre mi inspiración.
- Mis hermanos** Geraldine, Alejandra, Manuel Brenes y Weyner Masis. Por ser una importante influencia en mi carrera.
- Mis abuelos** Manuel Hernández y Rebeca Higueros. Por el esfuerzo de educarme para ser un hombre de bien.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

**La Universidad de San  
Carlos de Guatemala**

Por darme el privilegio de estudiar en el lugar que ahora amo y amaré por siempre.

**La Facultad de Ingeniería**

Por enseñarme a luchar por mis sueños, ser perseverante y generar en mí sentido de pertenencia hacia esta casa de estudios.

**Ing. Alfredo Enrique  
Beber Aceituno**

Por su sincera ayuda y colaboración en este proceso, gané un gran referente profesional, pero sobre todo lo considero mi amigo; gracias Ingeniero.

## INDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SIMBOLOS .....	IX
GLOSARIO .....	XI
RESUMEN .....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN .....	XIX
1.    CONCEPTOS GENERALES (BIM) .....	1
1.1.    Building Information Modeling .....	1
1.1.1.    ¿Qué es el BIM?.....	2
1.1.2.    BIM en el mundo.....	4
1.1.3.    Reseña histórica .....	7
1.1.4.    El camino hasta el BIM .....	9
1.1.5.    Ciclo de vida del proyecto.....	9
1.1.6.    ¿Qué cambios supone el BIM respecto al CAD?....	11
1.1.7.    Estrategias de implementación BIM .....	18
1.1.8.    Metodología y herramientas BIM .....	19
1.1.9.    Niveles del BIM.....	20
1.1.10.    Modelado paramétrico .....	22
1.1.11.    LOD (Level of detail) o Nivel de desarrollo .....	23
1.2.    Desarrollo histórico .....	24
1.3.    Casos de estudio .....	29
1.3.1.    Casos de estudio a nivel internacional .....	29
1.3.2.    BIM en la industria de la construcción en América Latina.....	31

1.4.	Ventajas de BIM para el sector de la construcción .....	34
2.	METODOLOGÍA BIM PARA LA PLANIFICACIÓN DE EDIFICACIONES ....	37
2.1.	Implantación BIM en organizaciones.....	37
2.2.	Organización inicial .....	40
2.3.	Fase de diseño.....	41
2.4.	Gestión de permisos municipales .....	49
2.5.	Solicitud de licencia de construcción.....	49
2.6.	Evaluación de impacto ambiental.....	51
2.7.	Fase de construcción .....	52
2.7.1.	Control de costos .....	52
2.7.2.	Control planificación .....	56
2.7.3.	Gestión de la construcción .....	58
2.7.4.	Fase de explotación de los activos ejecutados .....	63
2.7.5.	Estrategia de mantenimiento.....	66
2.8.	Gestión de mantenimiento .....	68
3.	MODELADO DIGITAL 3D (BIM) .....	71
3.1.	Diseño, oferta y construcción (Design / Bid / Built DBB por sus siglas en inglés).....	71
3.2.	Modelos de negocio actuales en la industria de arquitectos, ingenieros y constructores. (Architects / Engineers / Construct AEC por sus siglas en inglés) .....	73
3.3.	El proceso del modelado.....	74
3.4.	Herramientas del modelado .....	74
3.5.	Modelado arquitectónico .....	75
3.6.	Modelado estructural.....	76
3.7.	Modelado de instalaciones generales .....	77

3.8.	BIM en el uso de estimación de cantidades en el sector de la construcción.....	78
4.	CASO PRÁCTICO: VIVIENDA UNIFAMILIAR .....	81
4.1.	Creación de un modelo BIM: Software Revit® .....	81
4.2.	Modelado paramétrico de elementos básicos a partir de un modelo BIM .....	93
4.2.1.	Zapatas.....	94
4.2.2.	Vigas hidrofugas .....	96
4.2.3.	Losa de cimentación superior .....	97
4.2.4.	Paredes de mampostería .....	98
4.2.5.	Ventanas y puertas internas .....	99
4.2.6.	Techos.....	101
4.2.7.	Pisos.....	102
4.2.8.	Vigas estructurales .....	103
4.2.9.	Columnas.....	104
4.2.10.	Escaleras.....	105
4.3.	Creación de documentación gráfica .....	106
4.3.1.	Vistas en planta de cada nivel, cortes y fachadas	108
5.	RESULTADOS OBTENIDOS .....	117
5.1.	Cuantificación de elementos a partir de un modelo BIM. ....	117
5.1.1.	Cuantificación de cerramientos (paredes de mampostería).....	117
5.2.	Visualización del proyecto .....	124
5.3.	Programación de obra .....	136
5.4.	Simulación constructiva de la edificación .....	137
5.4.1.	Simulación del proceso constructivo basado en programación de obra real integrando el	

	modelo de Revit® con el Software Autodesk	
	Navisworks® .....	138
5.5.	Aportaciones del BIM en la planificación y control de procesos constructivos de una edificación .....	141
5.6.	Limitaciones .....	142
5.7.	Implementación del BIM en el Project Management .....	144
CONCLUSIONES.....		145
RECOMENDACIONES .....		147
REFERENCIAS .....		149
APÉNDICES.....		151

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Método de trabajo de la comisión Bim en España.....	5
<b>Figura 2.</b>	Ciclo de vida de una edificación .....	10
<b>Figura 3.</b>	Ciclo de vida de un proyecto .....	11
<b>Figura 4.</b>	Niveles de esfuerzo vs fase de proyecto .....	14
<b>Figura 5.</b>	Nivel de recursos vs fases del proyecto .....	15
<b>Figura 6.</b>	Recursos requeridos en cambio de CAD a BIM .....	16
<b>Figura 7.</b>	Búsqueda de los termino CAD (superior) y BIM (inferior).....	18
<b>Figura 8.</b>	Niveles de desarrollo).....	24
<b>Figura 9.</b>	Modelo Bim del estadio olímpico de Londres .....	31
<b>Figura 10.</b>	Bim en Latinoamérica .....	32
<b>Figura 11.</b>	Diagrama de dirección de proyectos .....	46
<b>Figura 12.</b>	Diagrama control económico proyectos BIM .....	55
<b>Figura 13.</b>	Flujograma para planificación de proyectos .....	57
<b>Figura 14.</b>	Diagrama de control de la construcción de proyectos .....	61
<b>Figura 15.</b>	Diagrama de gestión de órdenes de cambios .....	62
<b>Figura 16.</b>	Reparto de la inversión en un proyecto .....	63
<b>Figura 17.</b>	Vinculación de modelos en la gestión del activo .....	65
<b>Figura 18.</b>	Diagrama de estrategia de mantenimiento de proyectos.....	67
<b>Figura 19.</b>	Diagrama de gestión de mantenimiento proyectos BIM .....	69
<b>Figura 20.</b>	Sección del modelo .....	82
<b>Figura 21.</b>	Modelado de estructuras .....	86
<b>Figura 22.</b>	Propiedades de muro básico empleado en el modelo.....	87
<b>Figura 23.</b>	Vista 1 modelo con intersección con caja de sección.....	88

<b>Figura 24.</b>	Vista 2 modelo con intersecciones con caja de sección.....	89
<b>Figura 25.</b>	Estableciendo las fases del proyecto .....	90
<b>Figura 26.</b>	Filtros empleados en las visualizaciones del modelo .....	93
<b>Figura 27.</b>	Vista general de cimentación .....	94
<b>Figura 28.</b>	Vista de una zapata creada del modelo .....	95
<b>Figura 29.</b>	Vista de vigas de cimentación en concreto .....	96
<b>Figura 30.</b>	Vista de la losa de cimentación.....	97
<b>Figura 31.</b>	Muros de mampostería .....	99
<b>Figura 32.</b>	Ventanería utilizada en el proyecto .....	100
<b>Figura 33.</b>	Puertas utilizadas en el proyecto .....	101
<b>Figura 34.</b>	Cubierta superior utilizada en el proyecto .....	102
<b>Figura 35.</b>	Pisos arquitectónicos utilizados en el proyecto .....	103
<b>Figura 36.</b>	Vista de vigas estructurales del proyecto .....	104
<b>Figura 37.</b>	Vista de columnas estructurales del proyecto .....	105
<b>Figura 38.</b>	Vista de gradas del modelo.....	106
<b>Figura 39.</b>	Planta amueblada primer nivel.....	109
<b>Figura 40.</b>	Planta amueblada segundo nivel .....	110
<b>Figura 41.</b>	Corte A001 .....	111
<b>Figura 42.</b>	Corte A002 .....	112
<b>Figura 43.</b>	Fachada este .....	112
<b>Figura 44.</b>	Fachada norte .....	113
<b>Figura 45.</b>	Fachada sur .....	114
<b>Figura 46.</b>	Fachada oeste .....	115
<b>Figura 47.</b>	Acabados de piso en proyecto .....	120
<b>Figura 48.</b>	Vista frontal de proyecto BIM .....	125
<b>Figura 49.</b>	Vista frontal interior .....	126
<b>Figura 50.</b>	Vista posterior de proyectos BIM .....	127
<b>Figura 51.</b>	Vista de garaje .....	128
<b>Figura 52.</b>	Vista de sala principal .....	129

<b>Figura 53.</b>	Vista de sala principal y gradas .....	130
<b>Figura 54.</b>	Vista de cocina .....	131
<b>Figura 55.</b>	Vista de comedor.....	132
<b>Figura 56.</b>	Vista de dormitorio de servicio.....	133
<b>Figura 57.</b>	Vista transversal interna del proyecto.....	134
<b>Figura 58.</b>	Vista 2 transversal interna del proyecto.....	135
<b>Figura 59.</b>	Vista longitudinal interna del proyecto .....	136
<b>Figura 60.</b>	Vista del proyecto en herramienta Navisworks® .....	139
<b>Figura 61.</b>	Proyecto en herramienta Navisworks® .....	140

## TABLAS

<b>Tabla 1.</b>	Carpeta de planos para importar .....	83
<b>Tabla 2.</b>	Plantillas para ser importadas a las vistas de planta .....	85
<b>Tabla 3.</b>	Resumen de planificación de muros.....	118
<b>Tabla 4.</b>	Resumen de cantidad de muros.....	119
<b>Tabla 5.</b>	Resumen de planificación de pisos arquitectónicos .....	121
<b>Tabla 6.</b>	Cantidad de pisos arquitectónicos + costos .....	122
<b>Tabla 7.</b>	Planificación de ventanas.....	123
<b>Tabla 8.</b>	Planificación de puertas.....	124



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
\$	Dólar
Q	Quetzal



## GLOSARIO

<b>2D</b>	El adjetivo <i>Bidimensional</i> se utiliza para calificar a aquello que tiene dos dimensiones (2D). Un cuerpo que se proyecta a lo largo y a lo ancho, por ejemplo, cuenta con dos dimensiones.
<b>3D</b>	Tres dimensiones son el largo, el ancho y la profundidad de una imagen.
<b>4D</b>	Cuatro dimensiones, significa que, además de las cualidades del espacio, que son largo, ancho y profundidad (3D, como comúnmente se le conoce); también cuenta con la cualidad de la cuarta dimensión, que es tiempo.
<b><i>As Built</i></b>	Documentación final de cómo han quedado las obras, y es la documentación que se entrega al cliente una vez que la ejecución del proyecto ha terminado.
<b>Autodesk®</b>	Compañía dedicada al <i>Software</i> de diseño en 2D y 3D para las industrias de manufacturas.
<b>BIM</b>	<i>Building Information Modeling.</i>
<b><i>BIM Project</i></b>	<i>Proyecto con metodología Bim.</i>

<b><i>Building</i></b>	Edificio, construcción.
<b><i>BuildingSMART®</i></b>	Es una organización internacional que tiene como objetivo mejorar el intercambio de información entre las aplicaciones de <i>Software</i> utilizadas en la industria de la construcción.
<b>CAD</b>	Acrónimo de <i>computer-aided Design</i> .
<b>CBC</b>	Sistema que genera reportes de cantidades de obra.
<b>COBie®</b>	Formato que contiene todas las propiedades de los objetos utilizados en el modelo.
<b><i>Execution Plan</i></b>	Plan de ejecución BIM.
<b>IFC®</b>	Formato de datos que permite el intercambio de modelos informáticos sin que exista pérdida o distorsión de información.
<b><i>Information</i></b>	Información.
<b><i>Modeling</i></b>	Modelado.
<b>Modelo</b>	Elemento creado a partir de herramientas con metodología BIM.
<b>Nemetschek®</b>	Empresa alemana desarrolladora de <i>Softwares</i> para arquitectos e ingenieros.

**Software**

Conjunto de programas que ejecutan tareas en computadoras.

**The National  
BIM Standard**

Alianza internacional para la interoperabilidad.



## RESUMEN

La implementación de la metodología Bim para la gestión de proyectos de construcción tiene como objetivo el identificar los beneficios que genera este tipo de metodología en comparación a la metodología tradicional BIM (*Building Information Modeling*) es una herramienta que ayuda a gestionar proyectos de construcción de diferentes características, realizando la coordinación de la construcción y el control de todos los procesos del ciclo de vida del proyecto, en este trabajo de graduación se identificaron muchas ventajas de esta metodología que se está implementando poco a poco en Guatemala, partiendo del hecho que mejora el control de costos y calidad de cada proyecto y que permite una mejor visualización de este para la presentación a los clientes.



# OBJETIVOS

## General

Desarrollar la aplicación de Modelado de Información de Edificaciones (BIM) como metodología en la fase de planeamiento de una edificación en Guatemala.

## Específicos

1. Elaborar un modelo de la información de la edificación (modelo 3D).
2. Integrar el modelo generado con la programación de obra utilizando la herramienta *Autodesk Navisworks®*.
3. Elaborar un cronograma de actividades detallado con base al modelo de la información de la edificación.



## INTRODUCCIÓN

Los proyectos de construcción en el medio guatemalteco comúnmente se encuentran sujetos a algunos errores, como incongruencias en el diseño, una programación de obra poco realista en términos de tiempo, rendimientos y unas malas prácticas en los métodos constructivos. Esto acarrea problemas generando sobrecostos, correcciones de errores sobre la marcha, menor calidad de construcción y retrasos en los cronogramas, factores que conjuntamente hacen de la construcción una industria poco competitiva en el país.

Los métodos tradicionales de construcción basados en planos 2D, programaciones de obra poco detalladas que se complementan en algunos casos con presupuestos desfasados de la realidad, se tornan en herramientas inadecuadas para la planeación y ejecución de proyectos teniendo en cuenta que desde hace más de dos décadas están disponibles las metodologías de trabajo BIM (*Building Information Modeling*).



# 1. CONCEPTOS GENERALES (BIM)

## 1.1. Building Information Modeling

BIM (*Building Information Modeling*) es una metodología de trabajo aplicada en el sector de la construcción que se basa en el uso de *Softwares* que integran toda la información de un proyecto de construcción en un mismo modelo, permitiendo visualizar y coordinar de forma efectiva todo el ciclo de vida de los proyectos, enfocado en un trabajo colaborativo entre las disciplinas que participan en los proyectos, con el objetivo principal de controlar y reducir los costos de ejecución de los proyectos.

A partir del mediados de los años 80 y principios de los 90 es en este intervalo de tiempo que nace y se desarrolla la metodología Bim mediante el desarrollo de algunas empresas de *Software* conocidas como Autodesk® (Estados Unidos), Bentley® (Estados Unidos), Graphisoft® (húngaro), Nemetschek® (Alemania) y otros, que llevan a cabo sus productos, cada uno con características específicas, pero todos orientados esencialmente a la representación gráfica del proyecto.

Algunos de los programas más importantes en el que se desarrolla la metodología BIM en el mundo son Autodesk Revit®, All Plan®, ArchiCAD®, Tekla Structures® Google SketchUp®.

### 1.1.1. ¿Qué es el BIM?

El término BIM de las siglas *Building, Information, Modeling* se relaciona con el uso de la metodología BIM de la siguiente manera Agustí (2016):

- *Building*: comunica sobre el objetivo en que se basa la metodología, abarcando los proyectos de ampliación, remodelación, obras de ingeniería, obras de arquitectura, entre otros
- *Information*: es toda la información útil que se genera durante el ciclo de vida de un proyecto, por ejemplo: conjunto de planos constructivos, vistas en tres dimensiones, fichas técnicas, cálculos estructurales, cálculos energéticos, cuantificaciones, presupuestos, planificación de obra, documentos de mantenimiento, entre otros.
- *Modeling*: este concepto abarca gran parte de la ventaja que nos brinda la metodología BIM, ya que permite trabajar un único modelo que puede ser visualizado por los diferentes interesados que intervienen en los proyectos. Este rasgo distintivo de la metodología se obtiene al exportar los modelos en formatos compatibles con el uso de otras herramientas, destacando principalmente los archivos en formato IFC® (Industry Foundation Classes) este formato de

datos que permite el intercambio de modelos informáticos sin que exista pérdida de información. (p.8)

La metodología BIM permite agrupar el diseño arquitectónico de un edificio con el resto de las ingenierías que completan el proyecto, tales como las estructuras, instalaciones hidrosanitarias e hidráulicas, instalaciones eléctricas, presupuestos, esto genera un trabajo colaborativo entre todos los interesados que participan en el proyecto. Con esto se obtiene que los diferentes profesionales involucrados en el proyecto puedan trabajar sobre un mismo sistema de información, teniendo así toda la información en un solo lugar y actualizada en tiempo real.

Los programas de modelado de información de construcción BIM permiten al usuario crear elementos con dimensiones y características específicas, además permite que un cambio realizado en los elementos del modelo signifique un cambio en todos los mismos elementos instantáneamente, sin la intervención del usuario para cambiar manualmente cada uno de estos.

Los principales objetivos de la metodología BIM son los siguientes:

- Visualización del diseño, permitiendo entender rápidamente el proyecto
- El trabajo colaborativo en un mismo modelo de información, esto permite que los profesionales a cargo puedan trabajar sobre un mismo entorno y modelo de información.
- Como herramienta de negocio, dar el apoyo a la gran variedad de decisiones a considerar en un proyecto, estableciendo criterios para la

toma de decisiones de los inversionistas, comparando la funcionalidad, costos, entre otros

### **1.1.2. BIM en el mundo**

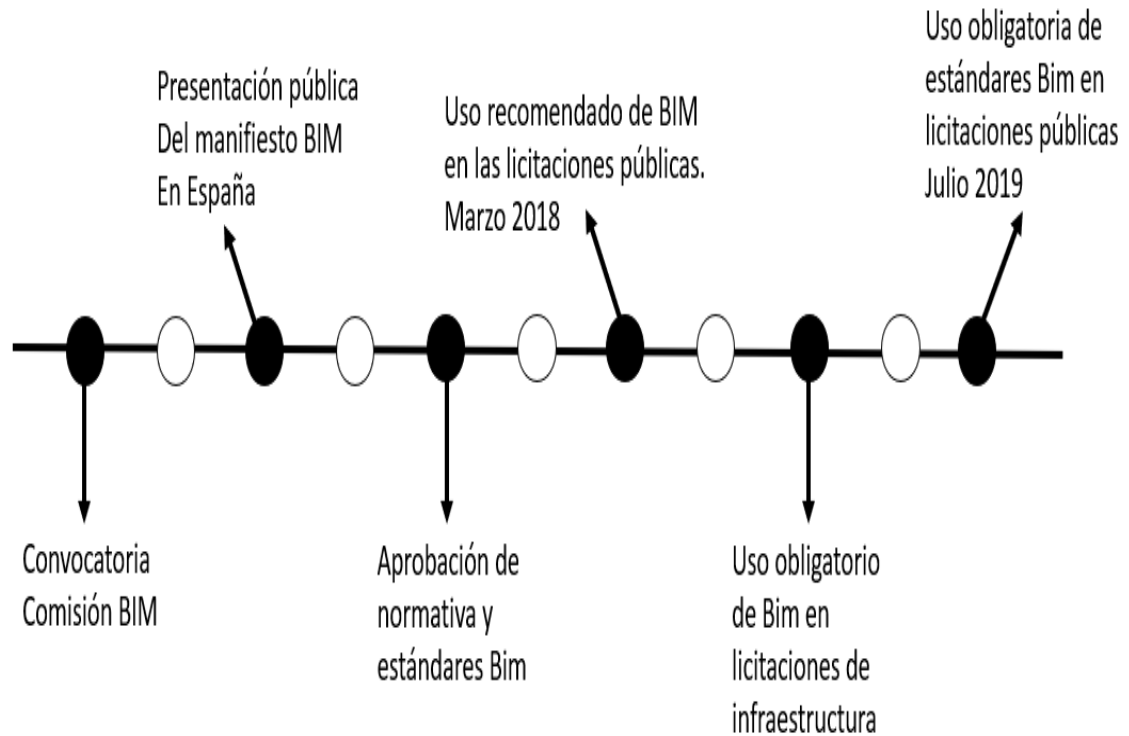
La implementación de la metodología BIM, involucra la adecuación del entorno de trabajo, para lograr la adaptación tanto del profesional a cargo como de su equipo. Para la implementación en equipos de trabajo vinculados a la construcción, es importante que las autoridades locales promuevan su utilización, en los proyectos de obra pública y privada.

En la actualidad la implementación de la metodología BIM se encuentra en situaciones similares dependiendo del país, por ejemplo, en España, la implementación de la metodología BIM inició en diversas firmas de arquitectura e ingeniería, donde los clientes pedían que el proyecto se realizase con metodología BIM o incluso fueron las firmas de arquitectura quienes decidieron implementar las herramientas BIM para obtener ventajas competitivas respecto al resto de equipos del país.

En 2014 la delegación española de *BuildingSMART*® presentó la guía de protocolos BIM en español. *BuildingSMART*® es una asociación sin ánimo de lucro cuyo objetivo es fomentar uso de estándares BIM para alcanzar nuevos niveles en la reducción de costos y tiempos de ejecución de los proyectos. En 2015 se creó una comisión para la implementación de la metodología BIM en España, esta institución estableció las bases del plan de trabajo como se muestra en la figura 1 y el uso obligatorio de la metodología BIM en las licitaciones públicas, para el año 2018 y 2019.

## Figura 1.

### *Método de trabajo de la comisión Bim en España*



*Nota.* El grafico muestra la guía para la implementación Bim en licitación públicas en España. Obtenido del estudio SEED dedicado al diseño arquitectónico (2023). *La carrera de España hacia el mundo BIM* (<https://www.studioseed.net/blog/la-carrera-de-espana-hacia-el-mundo-bim/>), consultado el 20 octubre de 2023. De dominio público.

En cuanto a, Agustín (2016) en Europa, son muchos los países que se encuentran en fases más avanzadas de la implementación de la metodología y están mostrando el camino a seguir, por ejemplo el gobierno de Alemania decidió llevar a cabo en el año 2010 un estudio sobre la situación del BIM en el país y cuáles eran los principales beneficios que aportaba al sector de la construcción, posterior a esto, el gobierno decidió que a partir del año 2017 todos los proyectos superiores a 100 millones de euros se realizarían bajo la metodología BIM.

Otro de los países que ha apostado por la implementación de la metodología BIM, por ejemplo, Finlandia, en 2007 ya era un requisito el uso de la metodología BIM en los proyectos de licitación pública. En 2012 la empresa local *The Senate Properties*, que administra una parte importante de los activos inmobiliarios de la República de Finlandia redactaron las *Common BIM Requirement* (COBIM), que posteriormente han servido como punto de partida para muchas otras guías, por ejemplo, la UBIM españolas.

Otro de los países que vio que el BIM podía mejorar el funcionamiento de la construcción y que apostaron por una rápida implementación es Reino Unido. El gobierno inglés creyó desde un principio que la implementación de herramientas BIM en los proyectos de obra pública podía ayudar a controlar los costos de construcción y así llevar a cabo un gasto más eficiente (Agustí,2016).

La primera intención de introducir el uso del BIM en Estados Unidos fue a través de la iniciativa de la General Service Administration empresa americana que proporciona lugares de trabajo a través de la construcción, gestión y preservación de edificios del gobierno y a través del arrendamiento, que conjuntamente con *The Public Building Service Office of Chief Architect*, la cual es la oficina de diseño y construcción responsable de la dirección de políticas en las áreas de arquitectura, ingeniería, desarrollo urbano, y gestión de proyectos promovieron el uso obligatorio de la metodología desde 2017 como requerimiento mínimo para el desarrollo de proyectos.

Hoy en día, China no obliga la utilización de herramientas o estándares BIM a sus empresas desarrolladoras de proyectos y constructoras. Sin embargo, el gobierno contempla la metodología Bim como una oportunidad para reducir los costos de construcción y mejorar la eficiencia energética en la industria. El gobierno chino ha publicado sus primeras guías, que reciben el nombre de

*National BIM Guidelines Series*, al mismo tiempo en empresas de todo el país se va implementando gradualmente la metodología Bim.

### **1.1.3. Reseña histórica**

Durante la mayor parte de la historia de la construcción, el diseño de los proyectos se realizaba con un simple lápiz y papel. Este procedimiento no dejaba de ser exacto y fiable, pero representaba gran cantidad de horas invertidas y contaba con la desventaja que cualquier modificación podía suponer el graficar nuevamente todos los documentos.

Ivan Sutherland programador informático y pionero de internet, desarrolló el sistema Sketchpad, el cual era un programa único desarrollado para la computadora TX-2, una computadora única en sí misma. Podía crear dibujos altamente exactos y se introdujeron innovaciones importantes tales como estructuras de memoria para almacenar objetos y la capacidad de enfocar adentro y hacia fuera. Más adelante, se fueron desarrollando otros *Softwares* basados en las bases del Sketchpad, destacando los realizados por ITEK, empresa norteamericana especializada en el diseño de satélites espías computarizados.

Diez años más tarde, en el año de 1965, se comercializa el primer sistema de diseño asistido por computadora CAD a un precio elevado, que rondaba los 500,000 dólares americanos. Cuatro años después, las empresas del mundo aeroespacial y del automóvil comienzan a utilizar sistemas de diseño asistido por computadora CAD (Agustí,2016).

Pero la expansión del sistema de diseño asistido por computadora CAD no tuvo entrada en el mercado hasta que Autodesk® una compañía dedicada al

diseño de herramientas en dos y tres dimensiones para las industrias de manufacturas, infraestructuras, medios y entretenimiento consiguiera desarrollar un programa diseño asistido por computadora CAD para ordenadores a un costo inferior de 1,000 dólares americanos. A pesar de la mayor accesibilidad del sistema por parte de profesionales, su expansión continuó dirigiéndose en el mundo de la ingeniería aeroespacial y automovilística.

Pero en 1984 la empresa norteamericana fundada por Keith Bentley y Barry Bentley introdujeron al mercado una versión productiva de un programa llamado PseudoStation que permitía a los usuarios utilizaran herramientas graficas de bajo costo para los proyectos, sin embargo, el acceso a estos sistemas solo era posible por medio de ordenadores especiales y de alto rendimiento. Una vez comprobado y demostrado que los ordenadores de la época presentaban ya rendimientos suficientes para este tipo de herramientas, en 1986, lanzaron la versión 1 del MicroStation, que permitía abrir, visualizar e imprimir archivos de proyectos directamente en el PC.

Con los programas CAD todos los planos se comenzaron a realizar utilizando esta plataforma, ahorrando tiempo y ganando en eficiencia y calidad en los sistemas de representación. A este avance se unió la representación en 3D impulsada por los arquitectos y su afán de mejorar la calidad del detalle y de presentación, tan importante para la atracción de clientes. Después de este impulso o mejora utilizando modelos 3D, llegó el desafío de representar el estado final del diseño de forma dinámica, naciendo lo que se conoce actualmente como metodología Bim (*Building Information Modelling*).

#### **1.1.4. El camino hasta el BIM**

El origen del BIM no tiene un punto de partida único, sino que resultó de la unión de varias vías, fue la empresa *Graphisoft*, empresa que desarrolla herramientas de modelado de información de construcción, quien desarrolló un programa en 1982 para dibujar utilizando dos y tres dimensiones. En 2002 Autodesk® comenzó a utilizar el concepto BIM tras la compra de la empresa *Revit Technology Corporation®*, mientras que otros defienden que fue el profesor Charles M. Eastman, del *Georgia Tech Institute of Technology*, el primero en difundir este concepto (Agustí,2016, p.8).

Actualmente, en los menos de 20 años en los cuales se ha desarrollado poco a poco esta metodología hasta el día de hoy, en la cual deja ya de ser parte del futuro y se arraiga en el presente, esta metodología es ofrecida por diferentes proveedores tecnológicos. Principalmente, las empresas más conocidas son las siguientes: *Nemetschek®* y *Autodesk®*.

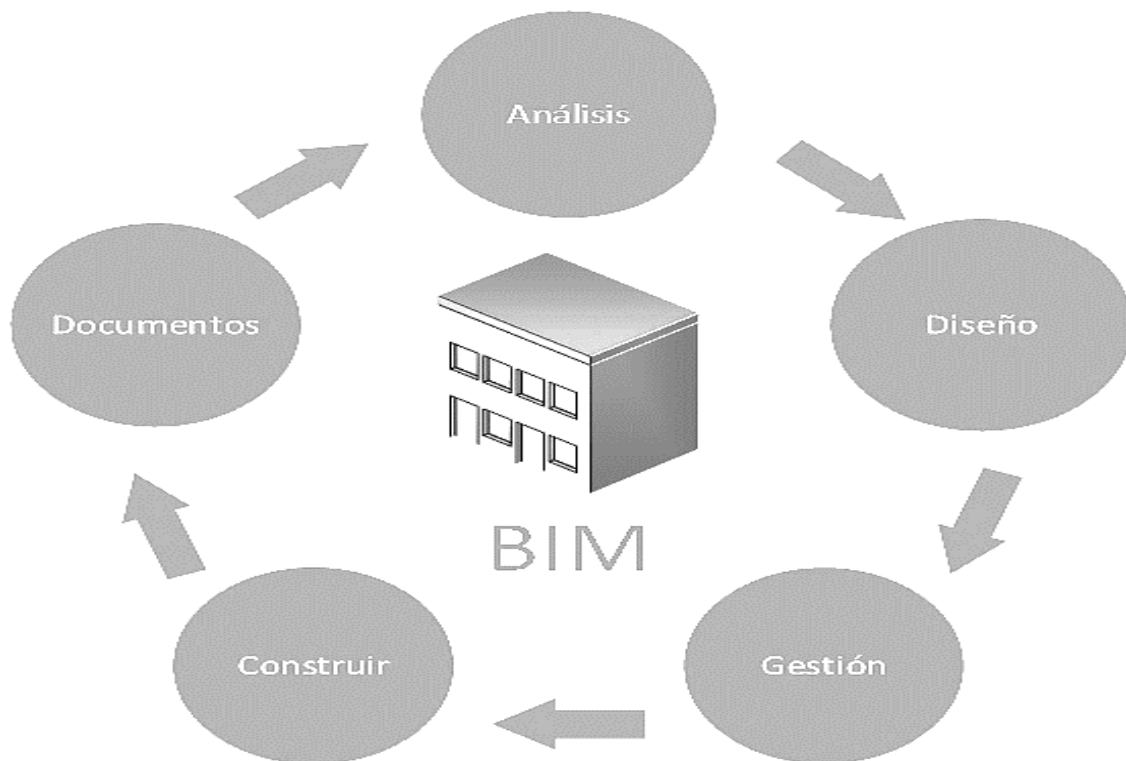
#### **1.1.5. Ciclo de vida del proyecto**

El ciclo de vida de un proyecto de construcción BIM está constituido por las fases que atraviesa una edificación desde su concepto de diseño hasta el fin de su vida útil, en la siguiente figura, se resume las fases del ciclo de vida de un proyecto de construcción. Según la compañía Autodesk® señala en el video titulado BIM for the *Building* Lifecycle que durante el ciclo de vida de un edificio

los costos de construcción y diseño representan aproximadamente entre el 5 % y el 10 % de los costos totales, el resto son costos de operación y mantenimiento.

**Figura 2.**

*Ciclo de vida de una edificación*



*Nota.* Flujograma que muestra el ciclo de vida de una edificación. Elaboración propia, realizado con Visio®.

En la figura 3, se muestra como una implementación de la metodología Bim cubre todas las etapas del ciclo de vida de la edificación controlando los múltiples subprocesos que ocurren en cada una y las administra con un enfoque en la planificación de proyectos, operación y la documentación del proyecto.

**Figura 3.**

*Ciclo de vida de un proyecto*



*Nota.* El grafico muestra las fases del ciclo de vida de un proyecto. Elaboración propia, realizado con Visio®.

### **1.1.6. ¿Qué cambios supone el BIM respecto al CAD?**

La metodología tradicional de diseño de proyectos con herramientas CAD sigue un flujo de trabajo totalmente lineal; pero durante el desarrollo del proyecto pueden actuar gran cantidad de variables que pueden modificar el diseño y, en consecuencia, requieren de la actualización de su documentación ya iniciada. El orden natural del proceso se inicia con la recopilación de información por parte del equipo redactor, quien lleva a cabo reuniones con el cliente o en el caso que

delegue su representación, con el Project Manager, u otros agentes técnicos implicados en la redacción del proyecto, tales como administraciones y suministradores de servicios.

Una vez recabada la información necesaria, se inicia con la redacción del anteproyecto, documento que explica la concepción y características esenciales del proyecto, con lo cual representará la o las propuestas en planos, principalmente alzados y vistas en planta, dando un volumen al elemento creado. Es una etapa de la fase de diseño en la que actúa principalmente el profesional de la construcción y que tiene como finalidad escoger una de las posibles opciones contempladas.

Al escoger la opción deseada, se inicia la fase de elaboración del proyecto básico, el profesional de la construcción avanza en la redacción hasta el punto de necesitar la colaboración con otros agentes: calculistas de estructuras, requerimientos más específicos de la propiedad, definición de instalaciones, ubicaciones acometidas de servicios públicos, normativa aplicable al proyecto. Los agentes externos reciben la documentación elaborada hasta la fecha por el profesional de la construcción, para que incorporándola a sus modelos y herramientas de trabajo lleven a cabo sus estudios y propuesta de diseño.

Cuando el proyecto se presenta ya para tramites de obtención de licencia, circula gran cantidad de información y documentación que no requiere que todos los agentes del proyecto tengan conocimiento al mismo tiempo. Por ejemplo, durante el diseño de los edificios verticales, donde se prevé instalar una maquinaria específica, los proyectistas envían al equipo calculista la documentación necesaria para el dimensionamiento de la estructura de hormigón armado prevista.

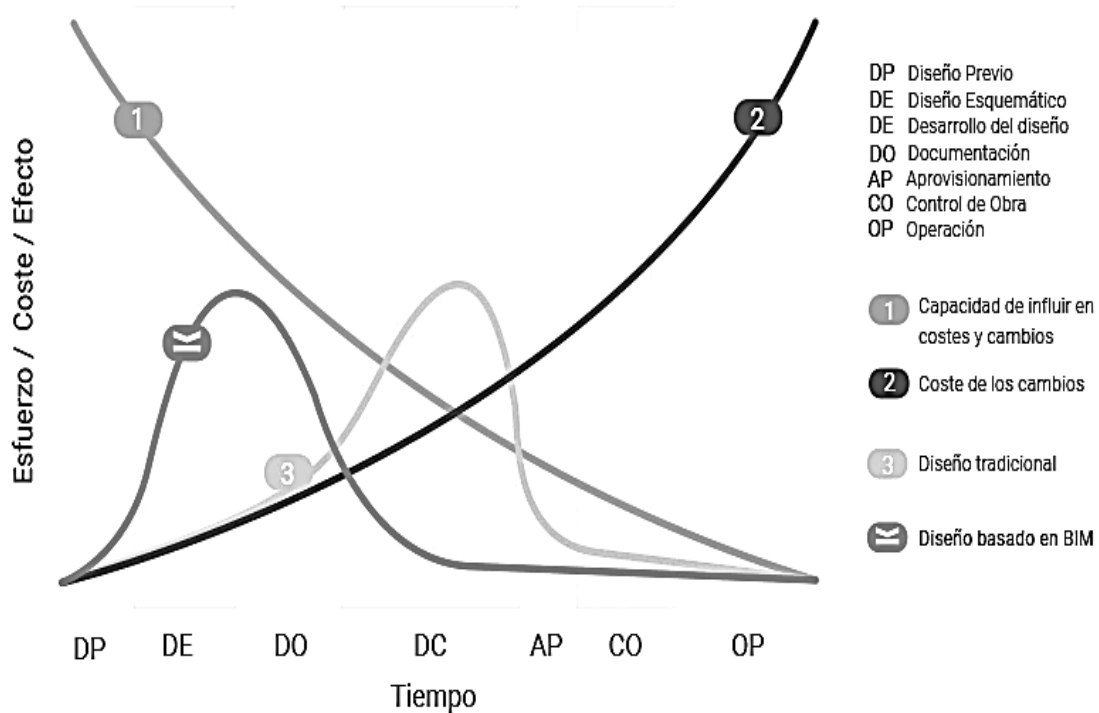
Posteriormente, se hace llegar la documentación necesaria para el estudio y previsión de instalaciones, los equipos trabajan de forma paralela realizando reuniones de coordinación del diseño con el equipo redactor del proyecto, como en todo proyecto de edificación surgen imprevisto y modificaciones que implican cambios en el proyecto, esto provoca interrupciones en el flujo de trabajo planificado, donde parte del trabajo que se había realizado por una de las partes es necesaria que se modifique.

Cuando el proyecto llega a la fase de ejecución es necesario tener un seguimiento de la construcción ya que es habitual y común que durante la ejecución de un proyecto se realicen cambios en la planificación prevista, ya sea una mejora al proyecto o por requerimientos constructivos o de mejora de calidad, el responsable de actualizar la documentación y transmitirla de nuevo al equipo desarrollador es el equipo residente que asuma la dirección de obra. Es entonces cuando puede darse casos en los que a partir de una modificación los agentes partícipes ahora de la construcción del proyecto cuenten con versiones distintas de la información y documentación.

Cada modificación supone un enorme trabajo por parte de la mayoría de las partes, se deberá actualizar la documentación gráfica, así como también el presupuesto y otros documentos. Finalmente, se acaban dedicando grandes esfuerzos exigiendo llevar a cabo un seguimiento muy controlado de la documentación y de las decisiones tomadas durante la fase de ejecución a la empresa constructora, en la figura 4 se muestra el nivel de esfuerzos que se necesita para cada una de las fases de un proyecto empleando la metodología tradicional que se ha descrito anteriormente en comparación con los esfuerzos que requiere la metodología BIM.

**Figura 4.**

*Niveles de esfuerzo vs fase de proyecto*

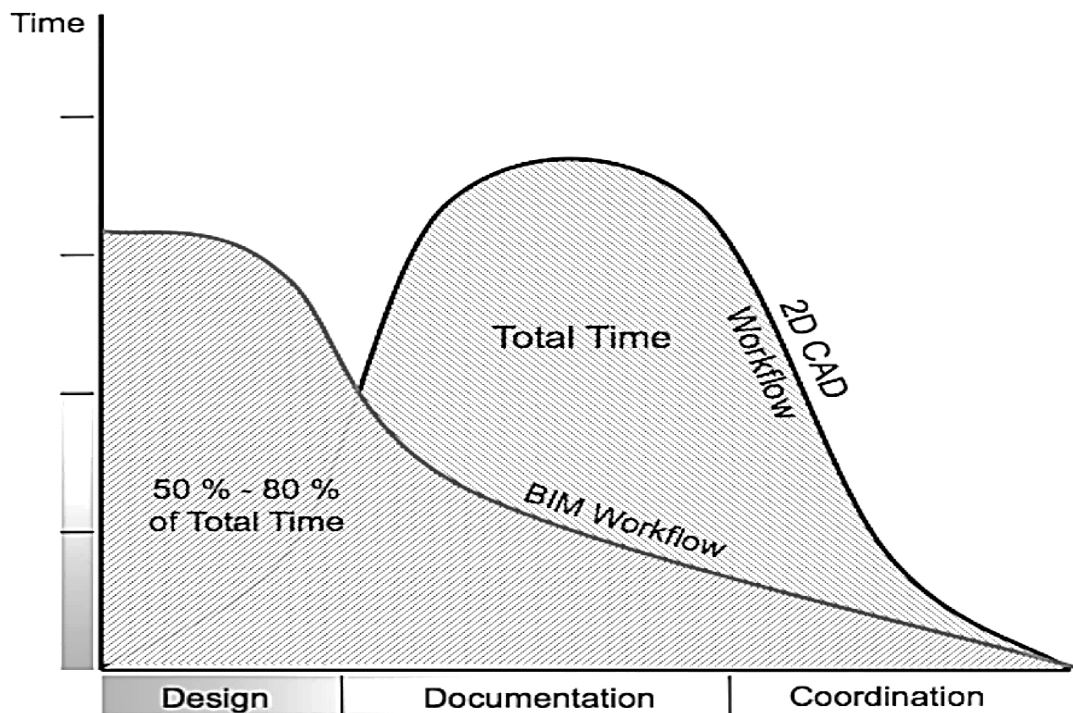


*Nota.* Esquema del nivel de esfuerzo al aplicar metodología BIM en las fases del proyecto. Obtenido de ibim, implantación BIM (2023) *Implantación BIM* (<https://ibim.es/en/bim-implantation/>) Consulta el 20 octubre de 2023. De dominio público.

La gran oferta de herramientas que existe actualmente en el mercado permite llevar a cabo una nueva metodología en el proceso de planificación, control y ejecución de proyectos, este fenómeno ha dado lugar a una nueva manera de enfocar los proyectos y los flujos de trabajo a esta nueva metodología se le conoce como metodología BIM.

**Figura 5.**

*Nivel de recursos vs fases del proyecto*



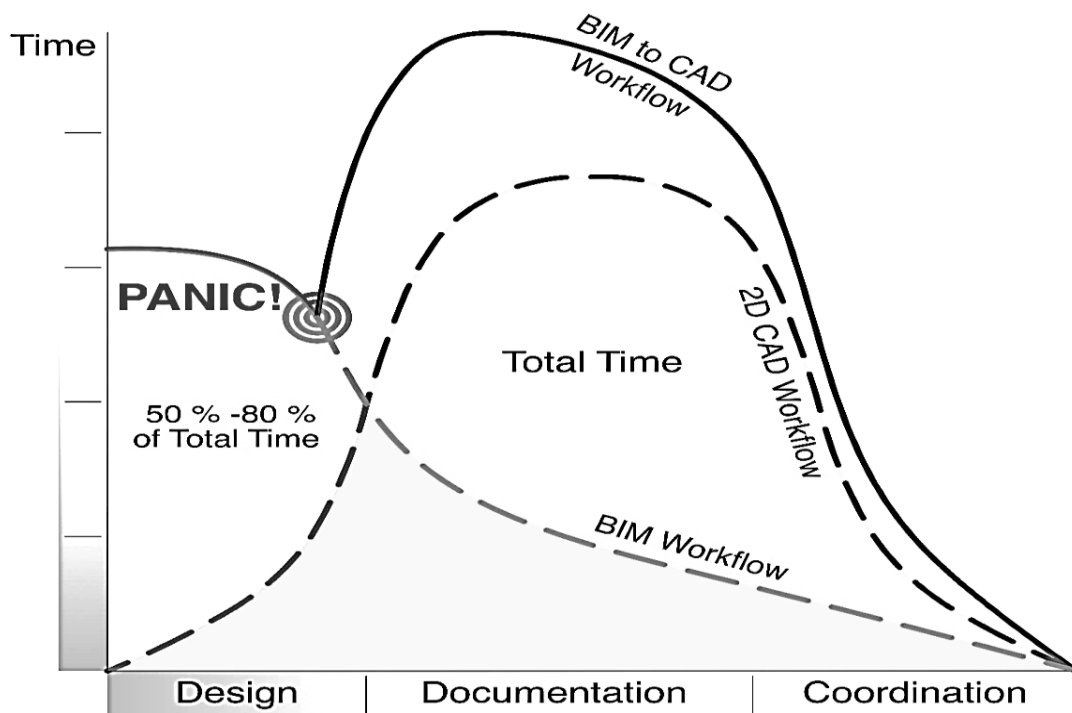
*Nota.* Esquema del nivel de esfuerzos al utilizar metodología CAD vs BIM. Obtenido de AECO, (2023). *Pasar de CAD a BIM | ¿Hay diferencia?* (<https://www.rfaeco.com/diferencia-entre-bim-y-cad/>) Consulta el 20 octubre de 2023. De dominio público.

Tal y como muestra la Figura 5, los proyectos BIM tienen como inconveniente principal la gran cantidad de tiempo necesario para desarrollar el diseño. Sin embargo, a partir de la experiencia se ha visto que el tiempo dedicado al diseño y gestión de la construcción disminuye a medida que avanzan los proyectos cada proyecto trabajado en CAD requiere en línea general pocos recursos durante su elaboración, pero el tiempo dedicado para la elaboración de la documentación final del proyecto ejecutivo se incrementa considerablemente,

en la figura 6 se muestra el incremento de recurso requeridos que se necesita para el cambio de metodología BIM a CAD.

**Figura 6.**

*Recursos requeridos en cambio de CAD a BIM*



*Nota.* Esquema del proceso de cambiar de metodología CAD a BIM. Obtenido de Shoegnome architects, (2023). *¿Por qué debería cambiar de CAD a BIM?* (<http://www.shoegnome.com/2015/12/09/bim-still-bankrupting-firm/>) Consulta el 20 octubre de 2023. De dominio público.

Pero no todo son mejoras y ventajas para la metodología BIM, ya que por el momento aún se encuentra en fase de implementación tanto en una visión general del sector como en los equipos de trabajo de las empresas de construcción. Uno de los retos más importantes a los que se enfrenta la

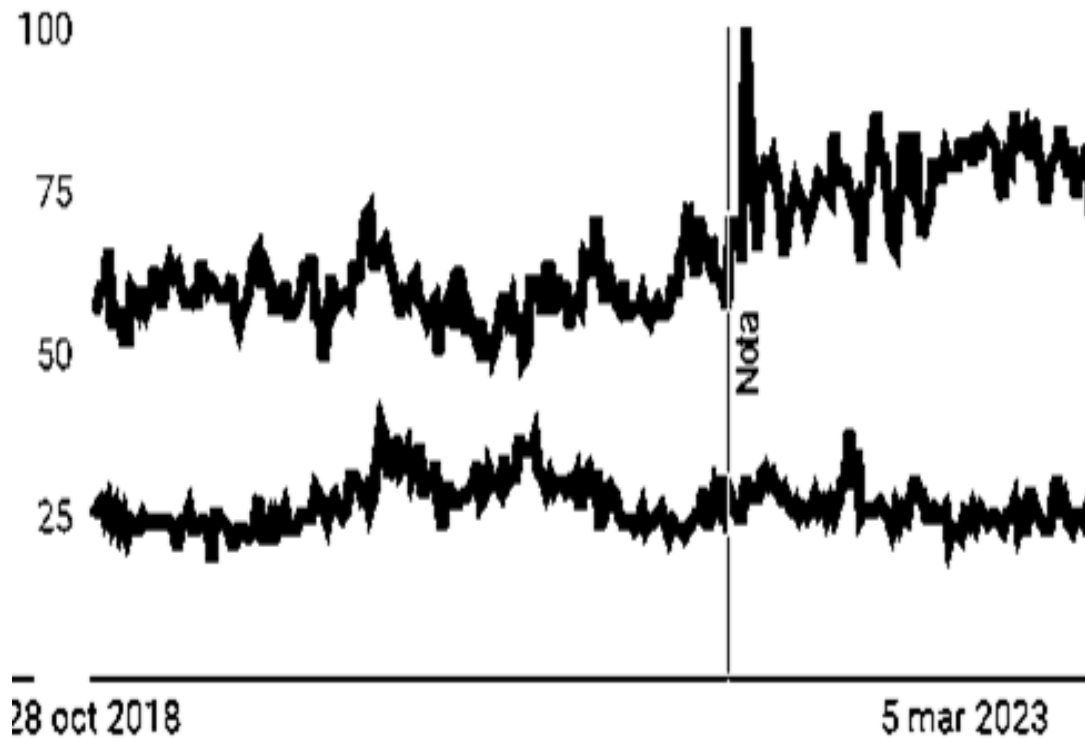
implementación de la metodología es la falta de experiencia y la mayor dedicación que deben realizar al proyecto los agentes que emplean BIM. Y es en ese mismo instante de tiempo cuando los encargados de los proyectos se plantean la posibilidad de retroceder y girar hacia el uso de herramientas CAD. Esta decisión significaría que una mayor dedicación al proyecto que si se hubiese empleado sistemas CAD desde el inicio.

La falta de experiencia en BIM hace que las estimaciones de recursos, principalmente tiempo, difieran mucho de la realidad, es lógico que se piense que la metodología Bim tiene la batalla ganada frente a la metodología tradicional, resulta interesante observar la evolución del volumen de búsquedas del término CAD y Bim, mediante el uso de la herramienta Google Trends, la figura 7 muestra la tendencia del número de búsquedas de ambos términos desde 2018 hasta pasado el año 2023. Tal y como se puede observar, el CAD (curva superior) sigue siendo la herramienta del presente, centro de interés y uso de gran cantidad de usuarios, mostrando eso sí un descenso contenido de su popularidad.

La curva inferior siendo la búsqueda del término BIM ha ido creciendo poco a poco, mostrando una evolución más constante y sostenida que el CAD.

**Figura 7.**

*Búsqueda de los termino CAD (superior) y BIM (inferior)*



*Nota.* Grafica que muestra la diferencia de búsquedas de los términos en Google Trends. Obtenido de Google trends (2023). *Comparativa de los términos CAD y BIM en Google Trends* (<https://trends.google.com/trends/explore?date=all&q=CAD,BIM&hl=es-419> ) Consulta el 20 enero de 2023.De dominio público.

### **1.1.7. Estrategias de implementación BIM**

La implementación de una nueva forma de planificar y ejecutar proyectos constructivos tal y como es la metodología BIM, modifica al sector de la construcción y es de gran importancia establecer cómo se va a implementar esta nueva metodología en cada una de las pequeñas y grandes empresas del sector, también las implicaciones que tiene sobre la docencia en universidades públicas

y privadas. Cuando se habla de la difusión BIM tanto en una organización o como dentro de todo un mercado, se emplean dos términos que definen estrategias de implantación BIM.

Por un lado, encontramos las estrategias de implantación, las cuales están definidas a partir de una presión ejercida por la autoridad con el fin de crear una presión que ordena la adopción de una solución que es *percibida* como favorable. Pueden desarrollarse políticas que ayuden y fomenten el uso de ciertas tecnologías, como ayudas en la compra de programas o la aprobación de normativas que obliguen el uso de ciertos sistemas. En una escala más pequeña, como sería el ejemplo de una oficina de ingeniería, la implantación descendente se llevaría a cabo cuando por el ejemplo el equipo directivo y responsable ordena la adopción de soluciones específicas, que en ciertas ocasiones pueden resultar restringidas.

De esta manera, las soluciones se van difundiendo a través de la cadena de mando y se van adoptando según vayan acompañadas de incentivos y planes de formación. En contraposición, la difusión ascendente la cual hace referencia a la adopción de tecnologías, procesos y políticas desde la raíz, sin existir un mando. Suelen tener lugar en aquellas situaciones donde son las pequeñas organizaciones las que adoptan unas herramientas o soluciones innovadoras. Cuando éstas se convierten en una práctica común, es decir, en una metodología de trabajo, tienden a difundirse hacia las organizaciones más grandes.

### **1.1.8. Metodología y herramientas BIM**

El primer concepto necesario para definir la implementación progresiva de la metodología BIM, son los denominados niveles del BIM. Fue un concepto aceptado por el Reino Unido, el cual pretende definir los diferentes estados

evolutivos que existen y que tienen que producirse para trabajar finalmente de forma integral y colaborativa con los sistemas BIM. En la construcción se debe entender que el cambio brusco puede perjudicar el funcionamiento y los resultados en los proyectos, aun siendo percibido que la metodología es una mejora para los procesos por esto es necesario un cambio gradual, en el cual se asimile poco a poco las nuevas formas de trabajar, así como también familiarizarse de las nuevas tecnologías ofrecidas.

Por ello se establecieron una serie de hitos de implementación fácilmente identificables, que forman los niveles de desarrollo del BIM.

#### **1.1.9. Niveles del BIM**

Existen cuatro niveles distintos dentro de la metodología Bim los cuales se describen a continuación:

- Nivel 0: define el estado de trabajo en el cual no existe ningún tipo de colaboración, en el cual cada uno de los agentes que participan de un proyecto elabora su propia documentación y el traspaso de información es reducido y limitado. Corresponde a la metodología de trabajo tradicional, la empleada durante aproximadamente 15-20 años. La forma de dibujar y representar es totalmente en dos dimensiones y el método de comunicación y presentación se basa en el papel o la impresión de planos. La tecnología está basada en los sistemas CAD.
- Nivel 1: se encuentra una mezcla del trabajo en dos y tres dimensiones con los sistemas CAD. La finalidad del dibujo en tres dimensiones es poder mostrar de una forma más visible y entendible los proyectos. La documentación en 2D, básicamente planos y detalles, conforma la

documentación del proyecto desde un punto de vista más técnico y funcional para, en una primera instancia, obtener la licencia y ejecutar lo establecido. Dicha forma de trabajar es actualmente la más común en las firmas de arquitectura e ingeniería, en la cual sigue sin haber una colaboración clara y continua entre las diferentes disciplinas y entes participativos.

- Nivel 2: se define como un marco de trabajo que considera el uso de un modelo con herramientas CAD y herramientas BIM. Toda la información y documentación de diseño es compartida mediante un tipo de archivo común o distinto, pero que permite a cualquier agente el uso de esta. Existen diferentes tipos de archivos que permiten el intercambio de datos, destacando los archivos de formato IFC® (*Industry Foundation Classes*) formato de datos que permite el intercambio de modelos sin que exista pérdida de información y los COBie®, es un formato que contiene las propiedades de los objetos utilizados en el modelo.
- Nivel 3: también conocido como Open BIM viene caracterizado por la colaboración entre los diferentes participantes, desarrollando un modelo único que es compartido mediante un servidor accesible por cualquier agente desde cualquier lugar, este nivel corresponde al destino de esta metodología, aún lejos de ser alcanzada por todos los agentes involucrados en la construcción. Pero para poder garantizar un marco que respalde a dicha forma de trabajo, es necesario definir ciertos aspectos legales y lo más importante, una asimilación de los cambios por parte del sector. Con el alcance de este nivel será ya posible trabajar todo el ciclo de vida de un edificio, alcanzando finalmente la metodología BIM.

Dentro de los niveles que desarrolla la metodología BIM, cabe señalar que la opción del modelado paramétrico implementado en cualquier nivel de la metodología, juega un papel importante en el desarrollo de la misma, ya que con la inclusión de este tipo de modelado el usuario establece la cantidad de información que será incrustada en los modelos que forman el proyecto asegurando que la información se instaure en los elementos correspondientes, a continuación se define la aplicación del modelado paramétrico en la metodología BIM.

#### **1.1.10. Modelado paramétrico**

Las claves del BIM no se encuentran únicamente en la forma de representación y creación de documentación gráfica, sino que la información es un punto importante de la metodología. A la hora de dibujar se pretende que cada elemento contenga la información necesaria, por ejemplo: dimensiones, propiedades físicas, precios, mediciones, proveedores.

Con la metodología BIM se trabaja bajo un modelo en 3 dimensiones lleno de información útil para todos los agentes involucrados durante todo el ciclo de vida del edificio, desde los inversionistas, oficinas de arquitectura, ingenierías, constructoras, desarrolladores de proyectos e incluso para los usuarios finales. Los programas de representación BIM contienen bibliotecas genéricas de sistemas y elementos constructivos listos para ser utilizados e iniciar a proyectar con cada uno de los comandos de trabajo que ofrecen los programas, aunque muchos de éstos por defecto sean sistemas vacíos de características técnicas, es decir, genéricos.

Cuando una empresa empieza a trabajar en BIM tiene que organizarse y decidir cómo va a estructurar su biblioteca de objetos paramétricos o familias, de

manera que vaya creciendo a medida que se vayan realizando proyectos. Una vez se obtenga una biblioteca lo suficiente amplia y detallada, se ganará en eficiencia de trabajo al no perder tiempo en generar y desarrollar familias de nuevo para cada proyecto.

#### **1.1.11. LOD (Level of detail) o Nivel de desarrollo**

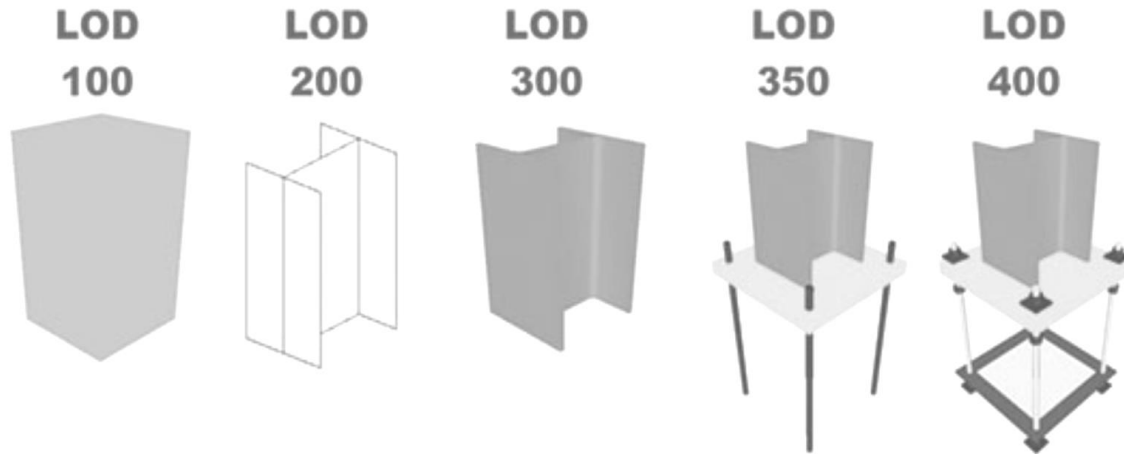
El nivel de desarrollo de un proyecto llevado bajo la metodología BIM puede ser infinito, siempre se podrá definir la marca, modelo y otras características posiblemente irrelevantes de cada uno de los elementos. Es necesario definir qué nivel de detalle se va a desarrollar el proyecto en cada una de sus diferentes fases, desde el diseño hasta la creación del juego de planos *As Built*, que se refiere al juego final de planos de cómo queda la obra después de su construcción.

Los niveles de desarrollo permiten medir la cantidad y la calidad de la información entregada. Los niveles de desarrollo se describen a continuación:

- Nivel de desarrollo 100 (LOD 100): corresponde a un diseño conceptual del proyecto, aportando una visión general donde quede reflejado el volumen, la orientación y área construida.
- Nivel de desarrollo 200 (LOD 200): este nivel incorpora magnitudes aproximadas, se empiezan a definir los elementos que conforman el modelo, sin llegar a la definición exacta de los mismos y por tanto de sus dimensiones.

## Figura 8.

### Niveles de desarrollo



*Nota.* Esquema que muestra los diferentes niveles de desarrollo de dibujo en la metodología BIM. Obtenido de Structure (2023). Especificación del nivel de Desarrollo. (<https://www.structuremag.org/?p=558>) Consulta el 20 octubre de 2023. De dominio público.

- Nivel de desarrollo 400 (LOD 400): este nivel hace viable la ejecución del proyecto ya que contiene toda la información necesaria para ello.
- Nivel de desarrollo (LOD 500): supone el último nivel de desarrollo del modelo que refleja la obra realmente construida. Además, se le acompaña de toda aquella información y características de los elementos para poder llevar a cabo el mantenimiento y gestión de este.

### 1.2. Desarrollo histórico

La historia de CAD comenzó en 1957 cuando el Dr. Patrick J. Hanratty desarrolla el primer *Software* comercial CAM (Computer-Aided Machining), convierte los modelos de diseño asistido por ordenador CAD en información que

puede ser utilizada por máquinas en las oficinas. Posteriormente en 1963 aparece el primer sistema CAD con interfaz gráfica para el usuario bajo el nombre de Sketchpad creado por Iván E. Sutherland en los laboratorios Lincoln del MIT. Este sistema permitió a un ingeniero generar diseños usando una interfaz gráfica manipulando dibujos proyectados en una pantalla usando un dispositivo en forma de lapicero y un teclado (Mojica, Valencia, 2012).

En 1968 hubo desarrollos importantes como el sistema *Coplaner* y *Uuban5* de Negroponte, eran sistemas basadas en la aplicación de vectores para el dibujo de elementos. Las investigaciones proliferaban en el momento en que lideraban el Departamento de Ingeniería Civil del MIT con el grupo Architecture Machine Group de la Universidad Estatal de Pensilvania, el Instituto de Planeación Física de la Universidad Carnegie-Mellon enfocado en desarrollos para edificaciones y planeación espacial. Con la considerable disminución de los costos de ordenadores a lo largo de la década de 1970 los sectores industriales: oficinas de arquitectura, empresas de ingeniería y construcción comenzaron a implementar estas tecnologías de diseño 2D (Mojica, Valencia, 2012).

El impacto de estas tecnologías en temprano desarrollo generó interés de diversas industrias entre ellas la automovilística es por ello que en 1964 IBM saca a la luz pública el Sistema DAC-1 utilizado por General Motors en el diseño de autos y Itek Laboratories presenta algunos años después un sistema para el diseño de lentes.

Paralelamente en Europa la industria de la construcción comenzaba a conocer la utilización práctica de los sistemas de computación para obtención de cantidades de obra y generación de documentos de obra. Se crearon las bases de los sistemas CAD que posibilitaban la integración entre el dibujo 2D y la generación de documentos técnicos, esto ocurrió gracias al arquitecto danés

Bjorn Bindslev que en 1959 comenzó una investigación acerca del uso de computadoras para comunicación en procesos de construcción y documentación de contratos. Su investigación lo condujo al desarrollo del sistema CBC (Co-ordinated *Building* Communication) generando los primeros reportes de cantidades de obra por computadora en 1963 (Journal, 1964).

En 1973 ya era posible modelar figuras 3D complejas en computadoras y en 1979 Mike y Tom Lazear desarrollaron el primer *Software* CAD (diseño asistido por computador por sus siglas en inglés) para ordenadores. Gracias a estos avances y a la reducción de los costos de ordenadores que hubo en los años 80, impulsados principalmente por la casa Autodesk®, que se fundó en 1982 con el propósito de generar programas CAD que costaran menos de mil dólares americanos, fue en este momento que apareció el término de *Building Information Modeling*.

En 1986 apareció el primer documento que presentaba explícitamente el concepto de *Building Information Modeling* BIM, se considera que estas metodologías comenzaron a desarrollarse a partir de un concepto introducido por el Profesor Chuck Eastman en 1975 del Departamento de Arquitectura del Georgia Institute of Technology, quien se considera el padre del BIM. Eastman evidenció que en los procesos de diseño y construcción se desperdiciaba mucho tiempo actualizando planos cuando se requería hacer una modificación a los existentes explicando que los cambios realizados en un plano deberían hacerse solo una vez y los demás planos derivados del mismos se actualizarán automáticamente.

Para finales de la década de 1990 ya existía el término conceptual y argumentativo amplio para BIM, sin embargo, el esquema de trabajo en planificación y construcción de proyectos continuaba liderado metodología

tradicional a través de sistemas CAD de la compañía Autodesk® . Los intentos de popularizar el término como acrónimo de *Building Information Modeling* fueron encabezados por el profesor Laiserin a partir del año 2002 aproximadamente. Se pretendía que vendedores de programas como usuarios unificaran nomenclaturas para que BIM pudiera conocerse como un grupo de metodologías y conceptos, con bases fundamentadas en resultados apoyados sobre aplicaciones prácticas (Mojica, Valencia, 2012).

Así como han incrementado las empresas creadoras de sistemas y los estudios avanzan en lo referente al desarrollo de metodologías que implementan herramientas BIM para lograr procesos de construcción cada vez más sólidos, también ha sido necesaria la aparición de entidades reguladoras encargadas de certificar profesionales y de generar definiciones prácticas que permitan calificar aplicaciones de BIM. Es el caso de la certificación IFC® (por la alianza internacional para la interoperabilidad), The National BIM Standard en Estados Unidos. Se busca a través de estas entidades que la aplicación de BIM sea correcta y provechosa para las diferentes industrias y procesos en los que se pueda aplicar.

En el año 2000 K. Boo y M. Fisher lograron un modelo 4D para un edificio de oficinas a partir de un modelo 3D asociado a una programación de diagramas de Gantt que empleaba el método de la ruta crítica. En 2003 aplicaron modelos para automatizar sistemas de gestión de materiales de construcción: cantidades de obra, licitaciones y revisiones de materiales, pero no fue sino hasta el 2007 que se logró ligar las cantidades de obra a la programación al incorporarlas a las simulaciones (Mojica, Valencia, 2012).

Así se establecieron las bases para el modelado paramétrico que conjuga las propiedades geométricas de la modelación 3D con diversas características

que se pueden asignar a esas formas tridimensionales y que son de gran utilidad en la planificación, diseño y ejecución de proyectos de construcción.

Un modelo 3D contiene las propiedades geométricas tridimensionales del proyecto. Un modelo 4D incluye la programación de obra, es decir el tiempo. La dimensión 5D reúne el espacio físico, el tiempo y el costo; y los modelos 6D contienen el ciclo de vida del proyecto, la gestión en etapa de operación y los análisis de impacto al medio ambiente (eficiencia energética, ventilación, eficiencia térmica).

Estas herramientas asociadas a metodologías de trabajo BIM configuran un proceso que permite generar, almacenar, administrar, intercambiar y distribuir información de una edificación de manera reutilizable, lo que origina ahorros sustanciales de tiempo en los procesos de diseño y construcción que se traducen en disminución de costos y mayor competitividad del sector de la construcción en Latinoamérica.

En mayo de 2002, la compañía americana Autodesk ® hizo oficial el lanzamiento de la herramienta Autodesk Revit®, esto propicio que profesionales involucrados en diversas industrias implementen esta herramienta para la ejecución de proyectos BIM, el crecimiento técnico ha sido mucho más acelerado que la incorporación práctica en las industrias a nivel mundial.

La lentitud de la implementación del BIM en la industria de la construcción radica en que no existe un parámetro claro sobre la asignación de responsabilidades, ni en la remuneración correcta del trabajo, además para implementar la metodología BIM se requiere disponer tanto los conocimientos de la profesión como la habilidad del manejo de los sistemas esto hace que sea muy

complicado, estos factores dificultan la implementación en las oficinas de arquitectura e ingeniería.

La mayor limitante que ha tenido la metodología BIM para su crecimiento e implementación acertada en la arquitectura y la construcción ha sido en su mayor parte de tipo económico. Las firmas de arquitectos no adoptan tecnologías BIM en edades tempranas de su desarrollo debido a que los costos son muy altos y no pueden amortizar la inversión en periodos de tiempo razonables a diferencia de otras industrias como la aeroespacial y la automovilística cuyos proyectos de investigación cuentan con mayores recursos y financiamiento.

### **1.3. Casos de estudio**

Los profesionales que trabajan con metodología BIM indican que la metodología mejora el proceso de planificación y ejecución de los proyectos, muchas firmas arquitectónicas introducen esta metodología de trabajo esperando mejorar sus procesos, cada vez es más común que el mismo cliente solicite esta metodología para sus proyectos.

#### **1.3.1. Casos de estudio a nivel internacional**

La amplia gama de posibilidades que ofrece BIM ha tenido un gran recibimiento en países desarrollados, en Estados Unidos los proyectos que han empleado BIM, han obtenido buenos resultados y empresas tanto públicas como privadas reconocen que estas nuevas metodologías paulatinamente se van volviendo esenciales para el diseño, construcción y operación de proyectos de construcción como es el caso de la Guardia Costera de los Estados Unidos, cuyo plan de administración y construcción de edificaciones en zonas costeras está basado en metodologías BIM. Su plan de construcción de centros de comando

consistió en la creación de una plataforma basada en BIM donde los diseñadores partían de plantillas y prototipos que modificaban para obtener los diseños finales.

Para la realización de los juegos olímpicos de 2008 la ciudad de Beijing construyó dos escenarios deportivos con arquitectura muy innovadora cuya complejidad requirió de BIM para todas las etapas del ciclo de vida de las edificaciones. El Centro Acuático de Beijing está conformado por una estructura metálica nada convencional que simula burbujas de agua. Es un sistema estructural atípico tanto por los elementos que la conforman (22.000 elementos tipo viga unidos por 12.000 nodos esféricos) como por su funcionalidad estructural ya que la misma estructura es a su vez parte de la fachada y soporta los demás elementos.

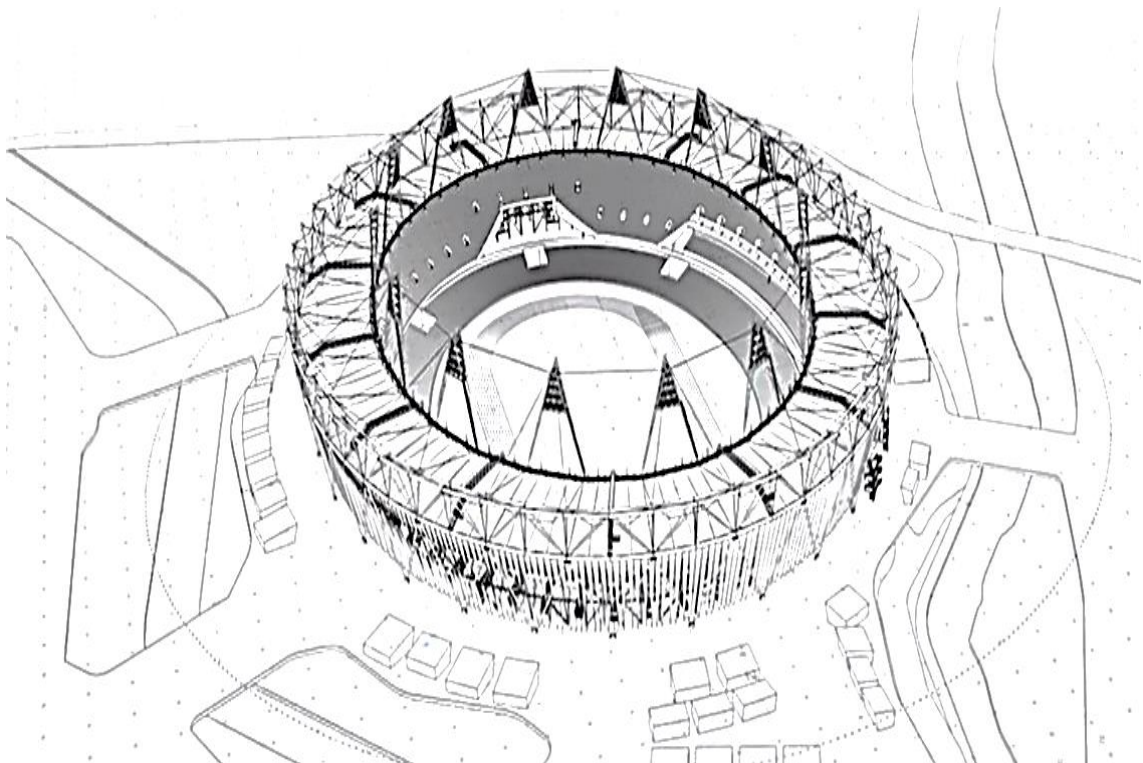
La implementación de BIM en este proyecto radica en lo referente a optimización estructural y el intercambio de información entre *Software* e interoperabilidad. Se requirió generar más de 15,000 dibujos de detalle en los que BIM redujo significativamente la probabilidad de error humano y disminuyó el tiempo de actualización de cada elemento. Adicionalmente se realizaron análisis de eficiencia energética y simulaciones de comportamiento de materiales contra incendio usando herramientas avanzadas de computación (Eastman et al., 2008).

Asimismo, BIM ha jugado papel fundamental en la realización de obras de infraestructura requeridas para los juegos Olímpicos de Londres 2012. El estadio Olímpico fue terminado en marzo de 2011, a tiempo y por debajo del presupuesto estimado. Es un estadio para 80.000 personas con 10.000 toneladas de acero y alrededor de 700 salas y espacios, el modelo paramétrico del estadio fue construido por dos expertos de la Compañía Fulcro en 8 semanas integrando

modelos e ideas del equipo de diseño. Las visualizaciones generadas en BIM permitieron esclarecer las complejas rutas de servicios.

### **Figura 9.**

*Modelo Bim del estadio olímpico de Londres*



*Nota.* Vista aérea del modelo Bim utilizado para la presentación del proyecto. Obtenido de arch daily, (2023) *La reconfiguración del Estadio Olímpico de Londres* (<https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/774615/video-la-reconfiguracion-del-estadio-olimpico-de-londres>) Consulta octubre de 2023. De dominio público.

### **1.3.2. BIM en la industria de la construcción en América Latina**

En países como Chile, Colombia o Perú es ya una realidad y con mucha aceptación en grandes proyectos públicos y un alto índice de contratación de

profesionales en metodología BIM. Sin embargo, esta implementación no crece al mismo ritmo en todo el continente, de hecho, en la mayoría de los países de Latinoamérica la implementación de la metodología BIM se ha desarrollado de manera lenta.

### Figura 10.

#### *Bim en Latinoamérica*



*Nota.* Esquema que demuestra los países donde se desarrolla metodología bim en Latinoamérica. Obtenido de editeca, (2023) *BIM en Latinoamérica* (<https://editeca.com/bim-en-latinoamerica/>) consulta octubre de 2023. De dominio público.

- BIM en Argentina: la metodología BIM en países como Argentina presenta una implementación a un ritmo muy lento, el conocimiento y manejo no se ha implementado a la misma velocidad que países como Brasil y Chile. Sin

embargo, en los siguientes años alcanzara un mayor auge en el sector de la construcción ya que en septiembre de 2019 se lanzó oficialmente el SIBIM (Sistema de Implementación BIM), desarrollado por el Auditorio de la Sindicatura de la Nación cuyo objetivo es exponer el avance de la adopción de esta metodología en las obras públicas nacionales.

- BIM en Chile: en todo el sector chileno la implementación de la metodología BIM ha sido un éxito y parte de ellos es la manera de trabajo que organizaciones como PLAN BIM, impulsadas por el programa estratégico Construye 2025 que tiene como objetivo promover el uso del BIM tanto en instituciones públicas como en el sector privado.
- BIM en Colombia: la implementación de la metodología BIM en este país cuenta con el apoyo de asociaciones como ASOBIM (Asociación Colombiana BIM) que custodian la integración de la nueva metodología en empresas de diversos ámbitos como por ejemplo: Lotus Ingeniería, Sociedad Colombiana de Arquitectos, MicroCAD. Los principales valedores, como por ejemplo, la compañía Amarilo, líder en implementación BIM y la empresa PYCBIM (Proyectos y Construcciones BIM) son de las primeras empresas en implementar la metodología, que a través de la formación y búsqueda de procesos e implementación han dado el paso hacia el BIM en sus diferentes proyectos.
- BIM en Costa Rica: es un país que está promoviendo la utilización de procesos BIM en las nuevas construcciones, actualmente es un tema para tratar en obras públicas, sin embargo, muchas empresas del sector privado intentan incorporar en sus procesos de trabajo la metodología.

#### **1.4. Ventajas de BIM para el sector de la construcción**

El modelado de la información de construcción BIM, permite gestionar proyectos en tres dimensiones, sus ventajas radican en la reducción de la pérdida de tiempo, recursos y la facilidad de comprensión con la visualización en tres dimensiones, también incluye generación automática de la documentación y seguimiento del ciclo de vida de un proyecto.

- El trabajo multidisciplinar BIM permite el trabajo colaborativo a través de una sola plataforma en la que los diferentes agentes implicados en el proceso pueden trabajar en la misma herramienta, integrando y compartiendo información en tiempo real.
- Comprobación de interferencias al iniciar con el proceso constructivo del proyecto es posible comprobar si existe algún problema de integración entre los diferentes elementos de una forma rápida.
- Mejor visualización de elementos complejos.
- Disminución considerable de los errores en los planos de obra que se traduce en ahorro de tiempo (evitar rehacer trabajo), ahorro de dinero y se asegura la calidad.
- Posibilidad de evaluar alternativas y modificaciones usando los modelos creados (en un ambiente donde todos los participantes del proyecto intercambien información.) Se asocia este beneficio a la necesidad de que los proyectos aseguren su construcción, la metodología BIM permite evaluar eficientemente las alternativas para determinar su viabilidad para ser construidas.

- Diseñar, planear, ejecutar y operar un proyecto de construcción en un ambiente que favorece el intercambio de información entre los profesionales involucrados en cada una de las etapas. Así con un mismo modelo se puede llevar a cabo análisis estructural, análisis de eficiencia energética, análisis de ventilación, todos estos aspectos mencionados se llevan a cabo con el uso de la herramienta Autodesk Revit ® en sus diferentes Designaciones: Autodesk Revit® Estructuras para el análisis estructural y Autodesk Revit® mecánico para el análisis de eficiencia energética, análisis de ventilación.



## **2. METOLOGÍA BIM PARA LA PLANIFICACIÓN DE EDIFICACIONES**

### **2.1. Implantación BIM en organizaciones**

La implementación de metodología BIM en una empresa o en cualquier otro tipo de organización debe ser planteada con seriedad ya que supone un cambio en la metodología de trabajo que inicialmente será costosa económicamente y poco productiva. Los profesionales de una misma empresa deben caminar hacia el mismo objetivo, es decir, bajo el plan estratégico de la empresa, en el cual se definen los recursos y los puntos de control necesarios para alcanzar la correcta implementación.

La decisión de la implementación BIM en organizaciones debe estar respaldada por el convencimiento de que la nueva metodología supondrá a largo plazo beneficios considerables, obteniendo trabajos de mayor y mejor calidad, para implantar BIM de una forma efectiva y coherente en cualquier empresa, es imprescindible contar con el asesoramiento de un experto en metodología BIM, llamados BIM Manager o consultores BIM.

Cada empresa está especializada en trabajos específicos, los cuáles pueden desarrollarse con sistemas BIM, pero deben ser identificadas previamente cuáles de las herramientas y métodos de trabajo son los más adecuados para dicha empresa.

A continuación, se definen una serie de pasos adecuados para la implementación del BIM en una empresa:

- Análisis de la Organización: realizar un análisis detallado de las tareas y trabajos que realiza la empresa para entender cuáles son los proyectos más habituales solicitados por los clientes y qué relación mantienen con los posibles colaboradores externos. Todo ello debe ser analizado dentro del flujo convencional de trabajo, coherente con el desarrollo de la información.
- Retorno de la inversión: toda empresa valora económicamente qué repercusiones implica la realización de una inversión, para finalmente poder estimar una rentabilidad y valorar la conveniencia o no de una inversión. Se debe realizar una evaluación de costos, tanto de costos fijos (programas y sistemas) como variables (consultorías, cursos de formación). Por otro lado, también se debe estimar cuáles serán los beneficios que obtendrá la empresa, desde mejoras de productividad, incremento del valor de los trabajos ofrecidos y otros.
- Diagnóstico y propuesta de implantación BIM: una vez estudiada la organización y sus trabajos más habituales, se define el perfil de actividad de la empresa y se inicia con la búsqueda de sistemas adecuados para el desarrollo de las tareas. Es necesario plantear como la empresa va a asumir estos cambios, mediante la incorporación de profesionales ya conocedores de la metodología BIM. La empresa debe ser consciente que la implementación es una transformación gradual, en la cual existe un intercambio de información entre los agentes expertos BIM acompañados de una evolución de los equipos tecnológicos.
- Perfiles BIM del equipo y Cultura Colaborativa: una de las etapas más importantes de la implementación es el reparto de competencias, es decir, los trabajadores deberán asumir nuevas responsabilidades y cargos que

a lo mejor anteriormente no existían, como también dominar ciertas herramientas de representación y explotación de datos. Cada perfil deseado debe ser acompañado de una formación y asesoramiento específico.

Estas nuevas aptitudes contribuyen a generar mayores expectativas de mejoras económicas a los trabajadores, por ejemplo, los usuarios BIM desarrollarán una nueva metodología de trabajo y esto les significara poseer un perfil de trabajo más completo siendo más eficientes, productivos y competitivos, dominando sistemas o herramientas BIM, estos aspectos fortalecerán a los usuarios y obtendrán mayores ventajas competitivas frente a los usuarios de la metodología tradicional.

- Libro de Estilo y Estándares de la Organización: en esta etapa la empresa deberá destinar recursos y tiempo de su equipo de trabajo para la creación de bibliotecas con estándares y estilos definidos para la utilización en cada uno de los proyectos, esto resulta muy importante ya que permite que el flujo de trabajo con la metodología BIM se convierta en estándar y mejore la eficiencia de cada proyecto.
- Control y Soporte de la Gestión del BIM: la implementación de la metodología requiere supervisión constante de las actualizaciones de los sistemas y herramientas BIM, para evitar así la obsolescencia de los métodos de trabajo

El éxito de la implementación de la metodología para la planificación de edificaciones se basa en una serie de fases que se describirán a continuación y que la implementación de estas permitirá a las empresas la apertura a nuevos

proyectos ya que podrán participar en concursos y licitaciones que tengan como requerimiento el uso del BIM.

## **2.2. Organización inicial**

El inicio de un proyecto bajo metodología BIM requiere una definición detallada de la organización y distribución tanto de tareas como de responsabilidades, la contratación de un equipo de gestión de proyectos para la gestión total de un proyecto o de alguna de las fases de éste implica una previa definición de los trabajos a realizar por el equipo.

El primer paso será la elaboración del esquema general de gestión de proyecto, el cual detallará los procedimientos y registros del proyecto, al mismo tiempo, en esta etapa se describirá como se llevará a cabo la gestión de cada una de las fases del proyecto, desde la misma concepción hasta la elaboración del *As Built*, (documentación final de cómo han quedado los proyectos, siendo esta la documentación que se entregará al cliente una vez que la ejecución del proyecto ha terminado).

En la etapa de creación del esquema general de gestión, se elabora uno de los documentos con más importancia del proyecto: *BIM Project Execution Plan* (Plan de ejecución BIM). Este documento que establece un punto de partida para la redacción del proyecto, en el mismo quedará identificado aquello que ya haya sido previamente definido, dejando pendiente aquello que no lo esté para que sea desarrollado por el equipo de planificación del proyecto.

Los primeros documentos por incorporar al *BIM Project Execution Plan* será la asignación de los usos del BIM a los objetivos globales que la empresa pretende alcanzar, se elaborará una matriz de objetivos, donde quedará

identificado plenamente los usos del BIM a utilizarse. Es de gran utilidad recolectar la información contenida en los objetivos globales y usos del BIM en una matriz únicamente de usos del BIM. Paralelamente, se recomienda redactar la descripción de los usos del BIM, evitando en todo momento que se dupliquen las actividades.

Una vez definidos los objetivos globales y los usos BIM en el BIM Project *Execution Plan* (Plan de ejecución BIM), se lleva a cabo la asignación del equipo humano encargado de la gestión como también de las comunicaciones previstas entre los diferentes agentes implicados. Se deberá identificar y enumerar los diversos roles necesarios según el alcance y escala del proyecto. Es muy probable que en esta etapa no sea posible identificar todos los puesto que necesite la gestión del proyecto.

### **2.3. Fase de diseño**

En la fase de diseño del proyecto la figura del gerente del proyecto surge como la respuesta a la necesidad de transmitir una idea o proyecto al equipo técnico con las capacidades necesarias y que no se pierda información, manteniendo la idea que la organización o empresa transmitió al gerente del proyecto. En este punto es necesario definir qué estrategia de proyecto se va a llevar a cabo para el cumplimiento de los objetivos puestos por el cliente.

A continuación, se explica lo que es la dirección del proyecto, desde la contratación del gerente del proyecto, hasta la finalización de los proyectos.

La primera etapa en la dirección de proyecto se debe iniciar con una serie de reuniones explicando el proyecto, tareas y responsabilidades que tomará el gerente del proyecto, conjuntamente se pactará una estrategia para el proyecto,

definiendo los procedimientos y registros que sean más acorde a las características del proyecto, su alcance y trabajos pedidos a llevar a cabo. Todo lo anterior descrito deberá quedar perfectamente recogido y detallado en el contrato.

Una de las primeras tareas que el gerente del proyecto es el responsable de realizar es la redacción de un informe inicial, a continuación, se hace referencia a la estructura para la elaboración del informe:

- Configuración física y datos del Proyecto: en este informe se hará una breve introducción del proyecto tratado, incluyendo localización, tipo de obra, superficie del terreno, superficie construida prevista, estimación de costos y otra información que estuviese disponible.
- Esquema general de gestión del proyecto: se definirán los trabajos previstos a realizar por el gerente del proyecto y el alcance de estos.
- Organización del equipo humano y comunicación: se presentará el equipo propuesto para la realización de tareas y seguimiento del proyecto, identificando en cada caso los roles de estos: director de Proyecto, Coordinador de Clientes, responsable de Proyecto, Especialista en estructuras, Coordinador BIM.
- Objetivos del proyecto: quedarán definidos tanto los objetivos globales del proyecto como también los plazos de tiempo previstos y costos estimativos de la inversión.
- Listado de procedimientos y registros de aplicación al proyecto: en este punto se detallarán cuáles serán los documentos empleados e incluso su

formato para garantizar la comunicación tanto con el cliente como con el resto de los agentes del proyecto.

Posterior al primer informe realizado por el gerente del proyecto, se procederá a la contratación de los equipos técnicos. Lo cual se iniciará con la descripción detallada de las funciones a desarrollar por cada equipo técnico, dejando constancia de los requerimientos en un pliego de bases para la contratación de equipos técnicos.

A continuación, se presentará una propuesta de concursantes al cliente, presentando también al mismo tiempo información suficiente para analizar su perfil y experiencia. Se pedirán ofertas a los equipos presentados y aprobados por el cliente, que serán posteriormente estudiadas y valoradas. El director de proyecto, como responsable del equipo de gestión del proyecto, propondrá al equipo técnico que crea óptimo para la dirección de las obras.

Durante la vida del proyecto, comprendiendo las fases de diseño y construcción se pondrán en práctica reuniones de seguimiento, con el fin de seguir el desarrollo del proyecto. Para la buena ejecución de estas se atenderá los siguientes puntos:

- Se ajustará cantidad de las reuniones al ritmo de trabajo necesario.
- Para facilitar la preparación de la reunión, se debe hacer llegar con anterioridad el orden los datos como fecha y hora a los participantes.
- Elaborar actas de seguimiento por reunión celebrada, haciendo referencia a todos aquellos aspectos BIM tratados en las reuniones de coordinación BIM.

Será necesaria una actualización de los documentos empleados para el seguimiento de los proyectos, estos pueden ser hojas de control económico y actas de seguimiento. Además de las reuniones de seguimiento, las tareas de coordinación general de proyecto precisarán de una continuidad, llevada a cabo mediante reuniones periódicas con diversos miembros del equipo de proyecto.

Mediante las reuniones de coordinación general con el cliente se persigue informarle del desarrollo de los proyectos técnicos y de la ejecución de estos. A este seguimiento es necesario emitir un informe mensual, detallando los avances físicos y el control de costos, esta información se debe encontrar emitida en las actas de seguimiento de diseño y control. Al finalizar el proyecto se emitirá un informe para el cliente que resumirá la coordinación durante todo el proyecto e informará del cumplimiento de los objetivos mismos. Dentro del informe final de proyecto se contemplará los siguientes aspectos:

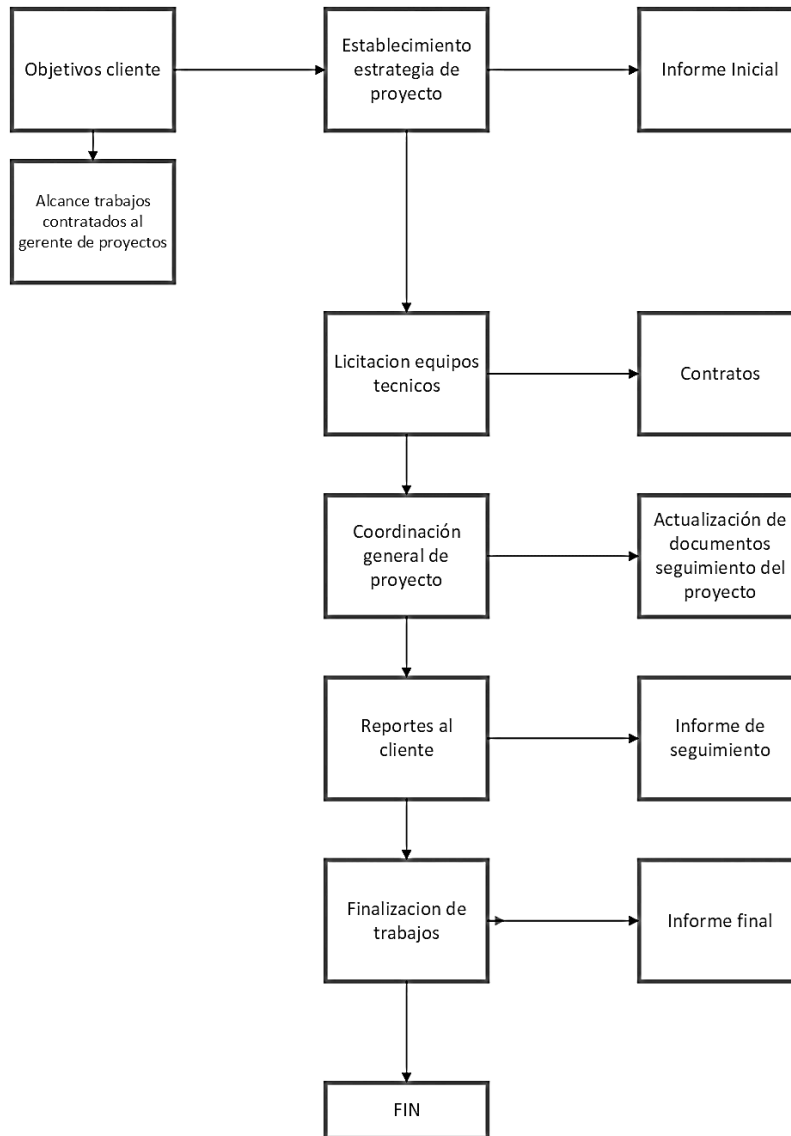
- Costo total de la obra
- Control de certificaciones de seguridad, control de obra, control de costos entre otros
- Análisis de cumplimiento de objetivos y flujo de costos
- Gestiones y trabajos pendientes
- Reportaje fotográfico
- Listado de documentación final de obra

Es importante desarrollar un documento de lecciones aprendidas, de los trabajos realizados en el proyecto, que consiste en recabar aquellos puntos característicos surgidos durante el proyecto y que son de interés para el conocimiento del equipo técnico de la empresa. Se extraerán aquellas cuestiones técnicas o de gestión que se estimen relevantes para la gestión de futuros proyectos.

Se conservarán también todas aquellas soluciones técnicas particulares que hayan podido tener lugar, así como también algunas de las soluciones llevadas a cabo para la gestión de riesgos y otros. El diagrama de la figura 13 se puede utilizar como referencia para desarrollar los procedimientos en la dirección de proyectos.

**Figura 11.**

*Diagrama de dirección de proyectos*



*Nota.* Flujograma que muestra el diagrama de dirección de proyectos Elaboración propia, realizado con Visio®.

A continuación, se detallan las actividades y procedimientos que tiene lugar en la fase de diseño de un proyecto llevado a cabo bajo metodología BIM.

Las bases de proyecto son los objetivos solicitados por el cliente, ya sea a nivel de acabados, distribución de espacios, certificaciones sostenibles. Por lo tanto, se debe recopilar toda la información ya existente referente al proyecto, como el informe inicial, informes de viabilidad, documentos técnicos (estudios geotécnicos, hidrológicos, levantamientos topográficos), se recogerá el plan de ejecución BIM redactado en fases anteriores del proyecto.

Al recopilar toda esta información y documentación, el cliente y el gerente del proyecto se reunirán para revisar y validarla y así iniciar el proceso de contratación del equipo de diseño. La contratación del equipo de diseño puede llevarse a cabo mediante la elección directa por parte del cliente o a través de una licitación. En las bases de la licitación se detallará toda la información relativa al proyecto y qué alcance tiene la metodología BIM.

Con la adjudicación del proyecto y la elección del equipo técnico, se firmarán los planos y contratos relacionados previamente desarrollados por el departamento de diseño y planificación, los cuales harán referencia a las condiciones específicas para la implementación del proyecto bajo el sistema BIM. Se determinará la configuración de los documentos compartidos entre los líderes del proyecto, debiendo seleccionarse un sistema de gestión documental que servirá para intercambiar modelos, dibujos y tablas creados en el entorno BIM.

Durante la fase de diseño, el director del proyecto debe asegurar la coordinación de los distintos equipos técnicos implicados, así como la coordinación general con el cliente. Durante la reunión con el cliente se recogerán las especificaciones que es necesario introducir en el proyecto y se utilizarán para comunicar el avance de la redacción del proyecto y los diferentes puntos que requieren su aportación o aprobación. El director del proyecto documentará la reunión mediante actas de la reunión de coordinación general con el cliente.

Según lo acordado, el director del proyecto será responsable de la preparación periódica de los informes mensuales del proyecto, que contendrán el avance del modelo de información relevante para el avance del proyecto. También incluirán los puntos relativamente importantes contenidos en el acta de la reunión de coordinación técnica y en el acta de la reunión de coordinación BIM.

Paralelamente se realizará una reunión de seguimiento del diseño para comunicar los requisitos y especificaciones requeridas por el cliente al equipo redactor. Al mismo tiempo, el equipo redactor presentará el avance del proyecto y consultará aquellos puntos que requieran la aprobación del cliente. El modelo de información creado será revisado junto con los posibles informes de eventos en el modelo.

Las reuniones y comunicaciones se documentarán mediante actas de reuniones de coordinación técnica. Por otro lado, si es necesario, mantendremos reuniones periódicas con el líder del equipo BIM. En este caso se revisará con más detalle el modelo propuesto y se discutirán cuestiones que hayan podido surgir en la reunión de coordinación técnica o en las actas de reuniones de coordinación BIM anteriores. También se redactará acta de la reunión de coordinación BIM.

Otro de los trabajos que pueden ser encargados al gerente del proyecto y a su equipo es la realización de una auditoría técnica del proyecto. En este caso se examinará el modelo con detalle, comprobando la definición de elementos, el proceso constructivo propuesto, el presupuesto, las mediciones, los aspectos relacionados con las instalaciones previstas y los documentos técnicos. Una vez obtenidas las conclusiones y detectados puntos a corregir si lo fuese, el gerente del proyecto se pondrá en contacto con el equipo redactor y con los posibles

colaboradores externos para tratar cada uno de los puntos anotados y emitir el informe de revisión de proyecto.

Una vez dado por finalizada la revisión y auditoría técnica del proyecto, se presentará la solución final prevista al cliente para que dé como buena la documentación presentada y preparada para ser licitada.

#### **2.4. Gestión de permisos municipales**

En esta etapa del proyecto es crucial que el gerente de proyecto junto con su equipo de trabajo asigne un equipo de trabajo responsable para realizar esta fase, ya sea dentro de la misma organización o con la opción de contratar una empresa externa especializada en la ejecución de trámites municipales. Al seleccionar el equipo responsable de esta fase, el gerente del proyecto comunicará las decisiones, tiempos y costes de la fase a través de reuniones con el cliente, así como el avance de los requisitos necesarios para completar la fase.

#### **2.5. Solicitud de licencia de construcción**

Las licencias son las autorizaciones municipales para la realización de un proyecto, entendiendo como tal todo procedimiento de demoliciones, cimentaciones, edificación y construcción de intervención física en el inmueble que altere las características funcionales, ambientales, estructurales de un inmueble. El procedimiento para la gestión de las licencias de construcción se encuentra en la DCT (dependencia de dirección de control territorial), el cual cuenta con asesoría técnica instantánea, es decir, los interesados reciben información técnica de acuerdo con los requisitos apoyándolos en los reglamentos establecidos en el plan de ordenamiento territorial. A continuación, se muestran los pasos a seguir para la gestión de la licencia de construcción:

- Solicitud de información: la gestión inicia en la recepción, cuando el interesado se presenta a la Ventanilla Única de Dirección de Control Territorial y solicita información general para la gestión.
- Entrega de documento informativo: la Dirección de Control Territorial a través de Ventanilla Única entregará al interesado un sobre con los formularios y requisitos necesarios para la gestión de obtención de la licencia de construcción, dependiendo del tipo de proyecto a ejecutar.
- Formularios: se deberá entregar un formulario, para el trámite de obtención de licencia de Construcción, el cual aplica para:
  - Información técnica: alineaciones, retiros para área de jardín, anchos de banquetas, índices de permeabilidad y construcción, densidades, reglamentos que aplican y requerimientos generales.
- De Ventanilla Única se traslada al profesional de revisión de expedientes (arquitecto o ingeniero civil) encargado de revisión de zona específica, el cual después de verificar que cumpla con todos los requisitos solicitados de una respuesta por escrito, se informarán alineaciones, anchos de banquetas, así como requerimientos generales, índices de ocupación, construcción y permeabilidad, normas limitativas, requerimiento o dotación de estacionamientos, normas y reglamentos de diseño y cualquier otro requisito que se considere necesario, dependiendo del tipo de proyecto y de la ubicación del mismo.
- Dos copias de planos de localización y ubicación, firmados por el propietario y profesional indicando lo siguiente:

- Orientación norte
- Medidas del terreno
- Calles y avenidas
- Distancia a la esquina más próxima
- Fotocopia del boleto de ornato del propietario y profesional
- Fotocopia del DPI o Cédula de Vecindad
- Memoria descriptiva del proyecto

## **2.6. Evaluación de impacto ambiental**

La evaluación de impacto ambiental es una herramienta técnica que indica la capacidad que tienen los objetivos del proyecto de alinearse con los criterios ambientales, es decir, ofrece la oportunidad de tomar decisiones que permitan hacer un uso óptimo de los recursos naturales en todo el ciclo del proyecto. Toda actividad que se ejecute durante el proyecto puede propiciar o crear efectos en algún recurso natural, por lo tanto, debe ser oportunamente evaluada y se debe tomar en cuenta todas las obligaciones y lineamientos legales que tienen por objetivo el velar por que los proyectos impacten lo menos posible al medio que los rodea.

Los proyectos son sometidos a situaciones que requieren de una evaluación de impacto ambiental, por existir acontecimientos que pueden incitar una limitante significativa en el ambiente, la cual pudiese ser detectable desde

un inicio y lo cual pueda ocasionar que interrumpa, modifique o evite que el proyecto se lleve a cabo como lo programado. El tomar en cuenta todas las consideraciones necesarias al efectuar la evaluación, ayudará a identificar la mejor manera para mitigar cualquier interrupción que evite la ejecución del proyecto.

Es en este momento que el gerente del proyecto realizar las tareas correspondientes junto con el cliente para la elección del equipo que realizara dicha evaluación, cabe resaltar, que estas gestiones se encuentran en la fase de diseño del proyecto, ya que es necesario tener a todos los implicados en el proyecto, en constante comunicación, para enriquecer el modelo BIM que se ejecutará y nos dará las pautas de los procesos a seguir durante la fase de construcción

## **2.7. Fase de construcción**

Desde la fase de gestión del diseño del proyecto hasta la ejecución de las obras y entrega de estas, el gerente del proyecto junto a su equipo técnico son los responsables del buen diseño y ejecución de las obras mediante las tareas de control de costos, control de planificación y control de riesgos.

### **2.7.1. Control de costos**

El gerente del proyecto hará un uso constante de las hojas de control de costos, donde quedan reflejadas las estimaciones económicas de costos en los que pueda incurrir el proyecto respondiendo a los objetivos del cliente y a la documentación disponible. Es importante que la hoja no solo recoja aquellos gastos directamente aplicables a las obras de ejecución, sino también debe dejar constancia de los gastos previstos para la obtención de la licencia, estudios e

informes no contratados al equipo de diseño, trabajos a realizar por proveedores. El formato y estructura de la hoja de control de costos se establecerá bajo el acuerdo del cliente siempre que lo desee, así como también la estructura de precios y las fuentes de información. En el Apéndice 2 se incorpora un modelo de Hoja de control de costos.

A medida que avance la fase de diseño, ya sea en la redacción y representación de los modelos del proyecto y se vaya incrementando el grado de detalle del proyecto, se irán actualizando las estimaciones de los costos contenidos en la Hoja de control de costos. También se tendrá en cuenta los costos de las contrataciones, de carácter técnico u otro, en las que se vaya incurriendo o que esté previsto contratar en un momento futuro. La cantidad de actualizaciones está en función del avance del proyecto y según las peticiones del cliente.

Es posible que durante la ejecución de las obras el cliente, el equipo técnico o la misma empresa contratista estudien y aprueben cambios en el proyecto. Cualquiera de los agentes anteriores podrá formular solicitudes de cambio, de las cuales se llevará a cabo una evaluación técnica y contractual del cambio. Una vez estudiada la viabilidad técnica del cambio se decidirá si se procede o no a aceptar la modificación, en el caso de que fuese aprobada, se valorará su impacto económico y los costos incurridos por la posible modificación de plazos.

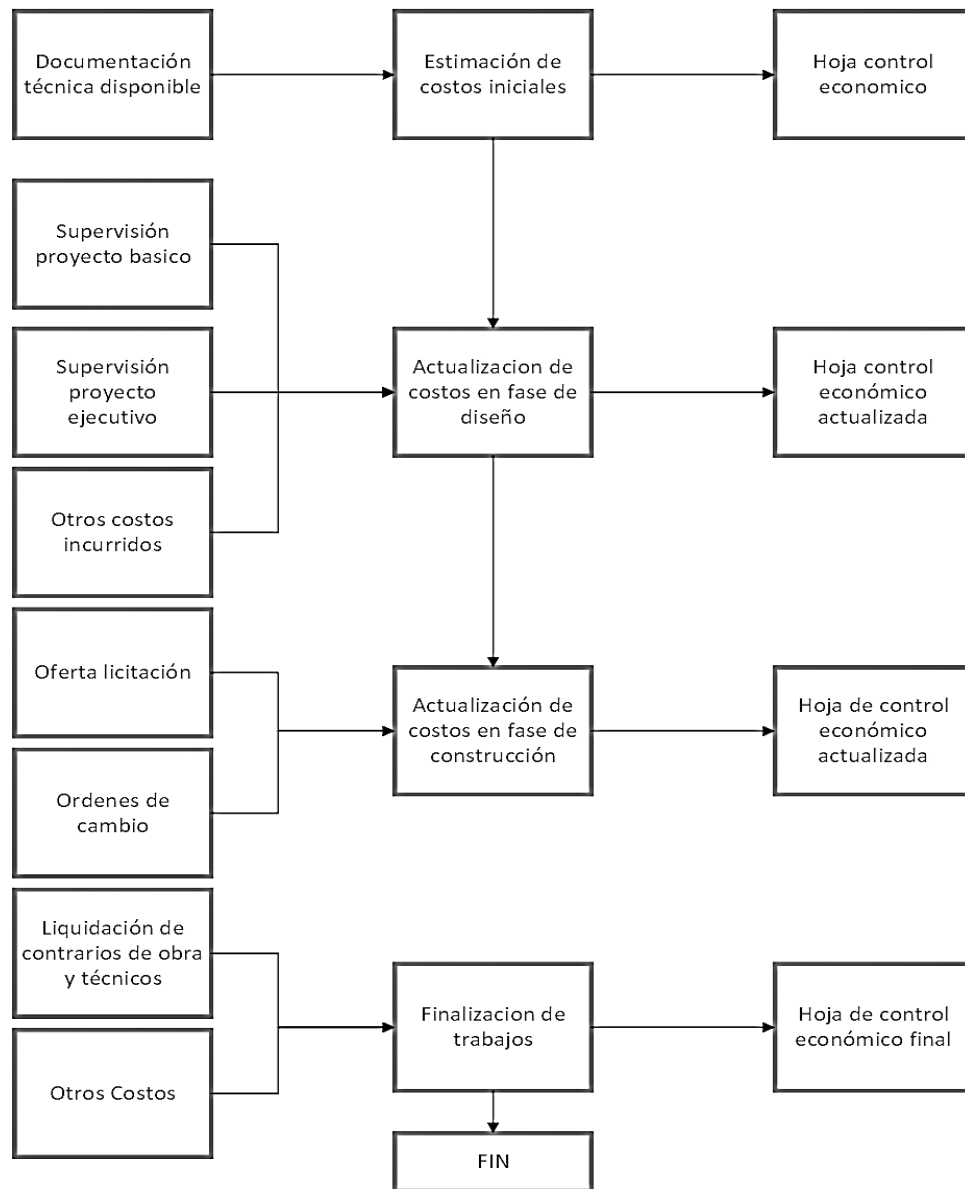
Posteriormente se tramitará contractualmente la orden de modificación definitiva. Se comunicará la orden de modificación a todos aquellos agentes que sean implicados, redactando posteriormente un acta de coordinación técnica. Por último, se procederá a actualizar la Hoja de control de costos, incorporando las ampliaciones contratadas.

Las tareas de control económico finalizan en el momento de la liquidación de las obras con la empresa contratista, que comprende el pacto de cierre económico con los contratistas y que implica el cierre económico del proyecto. El valor de la liquidación corresponderá a la diferencia entre el importe total de las obras contratadas y la certificación acumulada hasta ese punto temporal.

En el diagrama de la figura 14 se puede utilizar como referencia para desarrollar los procedimientos en la del control económico de los proyectos desarrollados bajo la metodología BIM.

**Figura 12.**

*Diagrama control económico proyectos BIM*



*Nota.* Flujograma que muestra como tener control económico de un proyecto. Elaboración propia, realizado con Visio®.

### **2.7.2. Control planificación**

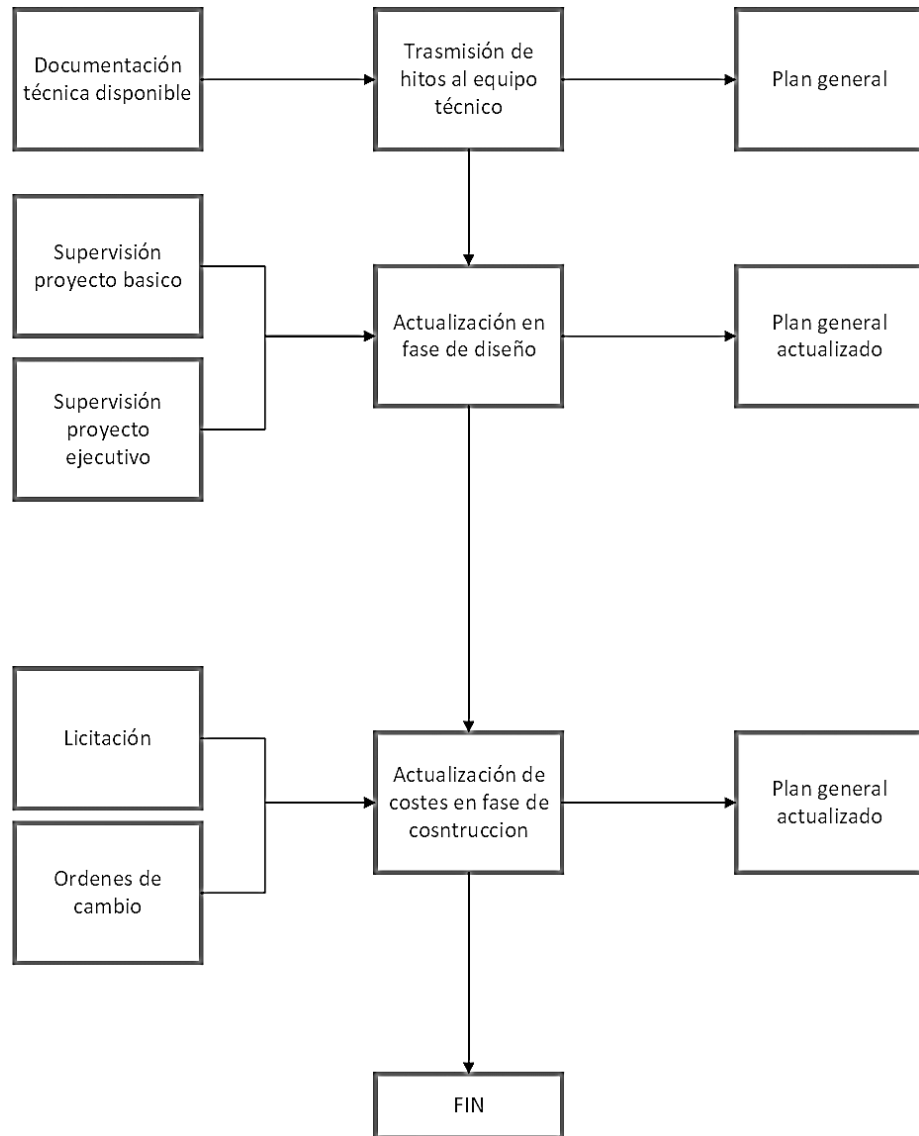
Durante la redacción y definición del proyecto, analizando la documentación técnica disponible y los objetivos especificados por el cliente, se transmitirán los puntos principales del proyecto al equipo de diseño para que confirmen su objetividad y factibilidad respecto a los trabajos previstos a realizar y para que elaboren un plan general del proyecto, dotando de factor tiempo a las distintas tareas requeridas en la fase de construcción del proyecto. Haciendo referencia a las oportunidades que ofrecen los programas de representación BIM se procurará que el modelo incorpore en sí las fases de construcción, quedando reflejados los periodos de tiempo para realizar cada una de las tareas, así como también el orden cronológico de los mismos.

A medida que avance la redacción del proyecto y se vaya detallando el mismo, se atenderá a todas las actividades del proyecto que puedan tener repercusión en los plazos previstos del mismo, tales como revisiones de proyecto, trámites y legalizaciones, entre otros. Las variaciones en el proyecto o retrasos que impliquen modificaciones de los hitos generales del proyecto deberán ser aceptadas y aprobadas por el cliente. Como norma general, se comunicará y reflejará en los informes de seguimiento para el cliente todas las modificaciones.

En la figura 13 se muestra un ejemplo de diagrama para el control de la planificación de proyectos con metodología BIM.

**Figura 13.**

*Flujograma para planificación de proyectos*



*Nota.* Esquema que muestra como planificar un proyecto. Elaboración propia, realizado con Visio®.

### **2.7.3. Gestión de la construcción**

En este punto de la implementación de la metodología BIM para edificaciones se abarca la coordinación de tareas necesarias para el inicio físico del proyecto, tomando en cuenta las gestiones anteriores, el gerente del proyecto junto a su equipo técnico habrá informado con antelación al cliente y a todos los interesados el inicio de las obras en el proyecto, entre los documentos necesarios a presentar para el inicio de los trabajos se debe incluir: planos, cronograma de actividades, hoja de control de gastos con el visto bueno del cliente, además del Acta de Inicio de Obras. (ver Apéndice 1) documento por el cual todas las personas invitadas al acto declaran tener conocimiento y dar conformidad sobre el terreno y la ubicación definitiva del proyecto.

El Acta de Inicio de Obras estará formada por los siguientes documentos: plano topográfico, proyecto técnico en modelos BIM, contrato de obras y otros documentos que acrediten la disponibilidad física del terreno. El Acta deberá ser firmada por las siguientes partes: cliente, director de obra, contratista y gerente del proyecto.

La ejecución de la obra se supervisará mediante visitas de obra, cuya cantidad vendrá principalmente dada según las características del proyecto y la fase de ejecución en la que se encuentre. En primer lugar, se procederá a la lectura del acta de seguimiento anterior, dando si procede la aprobación por parte de todos los interesados mediante la firma de esta. Se procederá a la lectura del orden del día de la reunión, que podrá haber sido enviada con antelación y seguidamente se pondrán en común cada uno de sus puntos. Se recopilará toda la información referente a los temas tratados durante la visita de obra. El acta de seguimiento se redactará después de la visita, haciéndola llegar por el medio acordado a los participantes antes de la siguiente visita.

Como criterio general, se aceptarán todas aquellas solicitudes de órdenes de modificación provenientes del cliente, contratistas o dirección de obra; recopilando toda la información referente a las causas que han provocado la propuesta del cambio de proyecto. Una vez recopilada esta documentación técnica necesaria, se lleva a cabo un análisis de viabilidad técnica de la propuesta. Se estudiará y valorará la solución propuesta y se formalizará la orden de cambio, valorando finalmente la repercusión en el proyecto.

Posteriormente, se procederá a elaborar la orden de cambio definitiva con la firma de visto bueno del cliente, al mismo tiempo se rellenará la hoja de precios, con el fin de llevar control de todos los costos presentados por el contratista o proveedor en cuestión, ya sea aceptados o rechazados. También, se especificarán los modelos de información implicados en la redacción del *As Built* (documentación final de cómo han quedado las obras, y es la documentación que se entrega al cliente una vez que la ejecución del proyecto ha terminado) documento compuesto por toda la documentación final de obra:

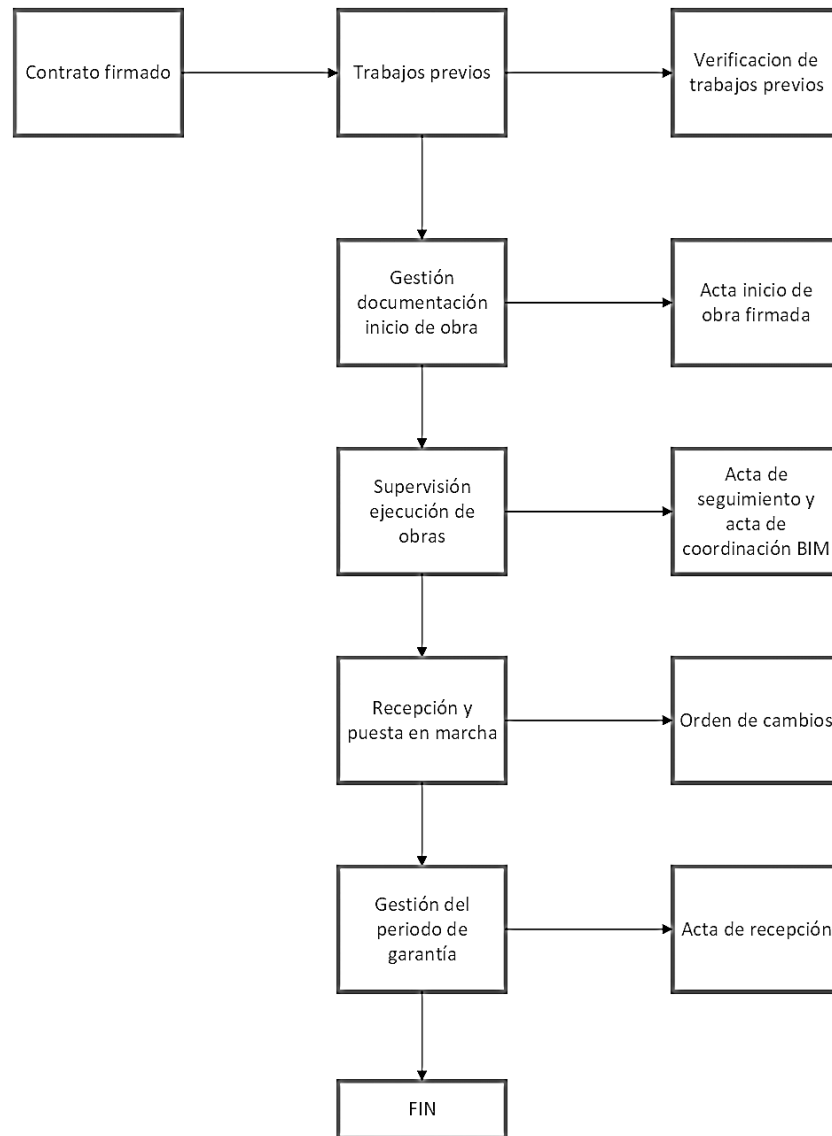
- Documentación gráfica y detalles
- Modelo BIM final del proyecto
- BIM Project Executive Plan definitivo
- Memoria descriptiva de las soluciones técnicas empleadas
- Estudios realizados durante la ejecución de las obras y anteriores
- Esquemas de conexión entre elementos estructurales

- Relación de equipos instalados
- Fichas técnicas y listado de proveedores
- Resultados ensayos realizados por el Control de calidad

Finalmente, una vez aprobada y firmada la orden de cambio, se convocará una reunión de seguimiento de construcción con el objetivo de difundir a los equipos técnicos afectados la orden de cambio y sus aplicaciones en relación con la obra. En las figuras 14 y figura 15 se muestran ejemplos de diagramas de control de la construcción bajo sistemas BIM, el cual resume los pasos anteriormente descritos.

**Figura 14.**

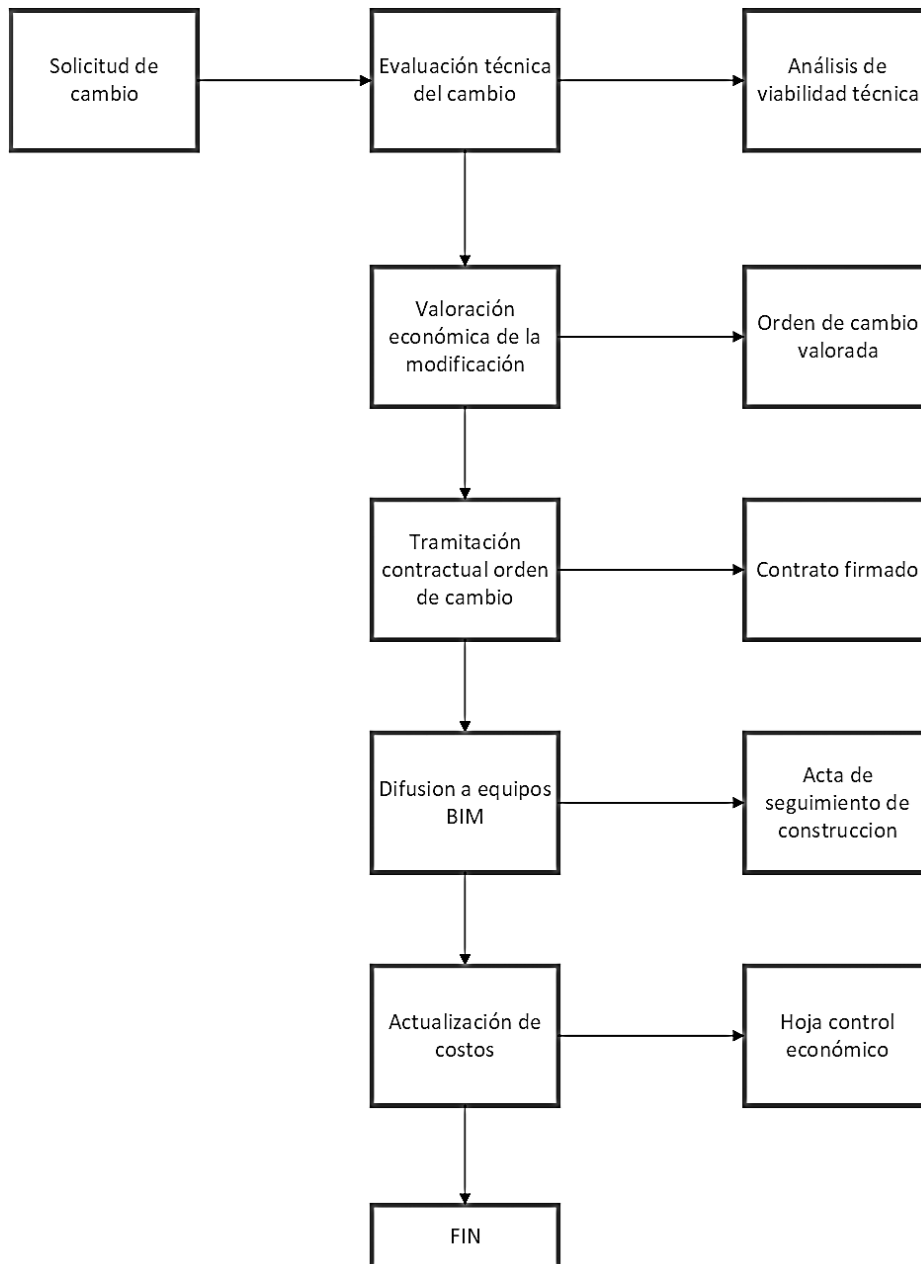
*Diagrama de control de la construcción de proyectos*



*Nota.* Diagrama que muestra los controles de la construcción en un proyecto. Elaboración propia, realizado con Visio®.

**Figura 15.**

*Diagrama de gestión de órdenes de cambios*



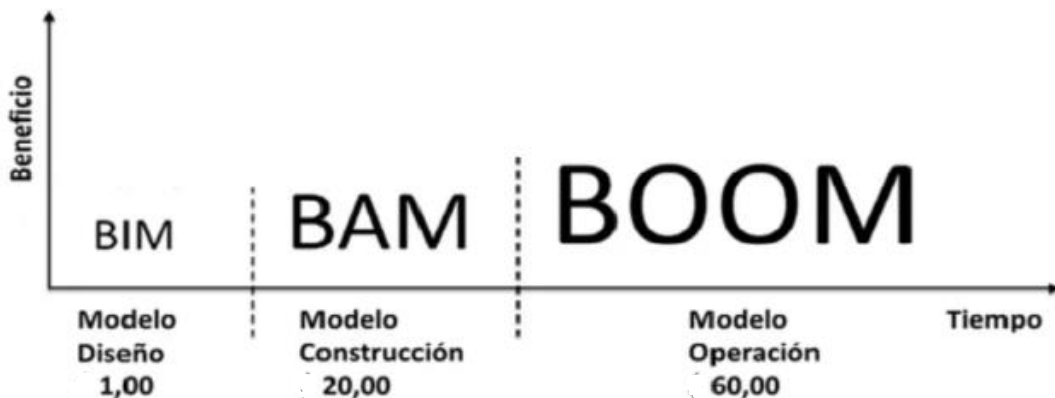
*Nota.* Diagrama de cómo gestionar órdenes de cambios en proyectos. Elaboración propia, realizado con Visio®.

#### 2.7.4. Fase de explotación de los activos ejecutados

El uso de la metodología BIM abarca la fase de explotación de los activos ejecutados, tanto en la manera que se gestionan y son mantenidos. Es de suma importancia hacer un cálculo estimado de los costos repercutidos en cada una de las fases del ciclo de vida de un edificio, diferenciando la fase de diseño, construcción y explotación de activos.

**Figura 16.**

*Reparto de la inversión en un proyecto*



*Nota.* Diagrama de cómo se distribuye la inversión de un proyecto. Elaboración propia, realizado con Visio®.

Es por esta misma razón que las administraciones públicas como propietarios privados de activos tienen el interés de llevar a cabo los proyectos en metodología BIM, para así obtener un mayor control de toda la información y documentación generada de sus activos y un mayor control de los costos de mantenimiento. Hoy en día la información es un bien deseado, las mayores

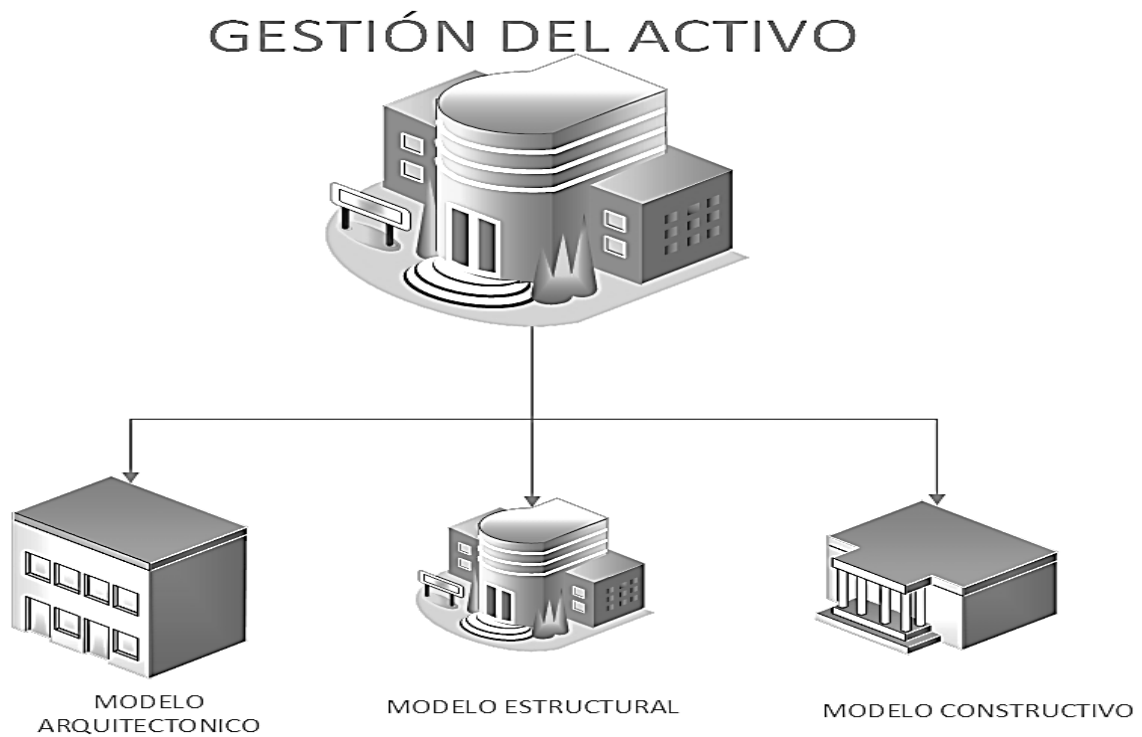
empresas mundiales tienen como producto final la información. Pues la construcción también busca llegar a un estado similar, ya que con la aplicación de los modelos y de la información adjuntada a los mismos se pretende obtener uno o varios documentos con toda la información necesaria y de gran utilidad.

La aplicación de la metodología BIM en la construcción de proyectos y su posterior adecuación para el uso de la información contenida en los mismos modelos, permite a los propietarios las siguientes acciones:

- Gestión integrada de los activos e inmuebles
- Gestión de nuevos proyectos en edificios previamente modelados con BIM
- Gestionar, planificar y controlar el mantenimiento de instalaciones
- Identificar y gestionar posibles impactos tanto ambientales como financieros
- Acceder a la información de la propiedad de una forma simple
- Buscar y consultar en tiempo real informes, planos, dibujos y otros documentos archivados
- Medio para compartir datos con clientes, proveedores y otros agentes implicados

**Figura 17.**

*Vinculación de modelos en la gestión del activo*



*Nota.* Diagrama que muestra los diferentes modelos en un proyecto. Elaboración propia, realizado con Visio®

En la figura 17 se representa el hecho de poder vincular un sistema de representación BIM a la gestión de activos el cual nos aporta las siguientes ventajas:

- Podremos crear en tiempo real enlaces entre los modelos BIM y aplicaciones de la gestión de edificios.
- Conectar datos de la fase de diseño, construcción y gestión del activo.

- Sincronizar las propiedades del contenido del modelo con herramientas de gestión de activos.
- Llevar a cabo la redacción de planes de mantenimiento para equipos de construcción.
- Realizar seguimiento de los activos fijos del proyecto, por ejemplo, los servicios de alquiler de apartamentos que generen un ingreso a la administración del edificio.

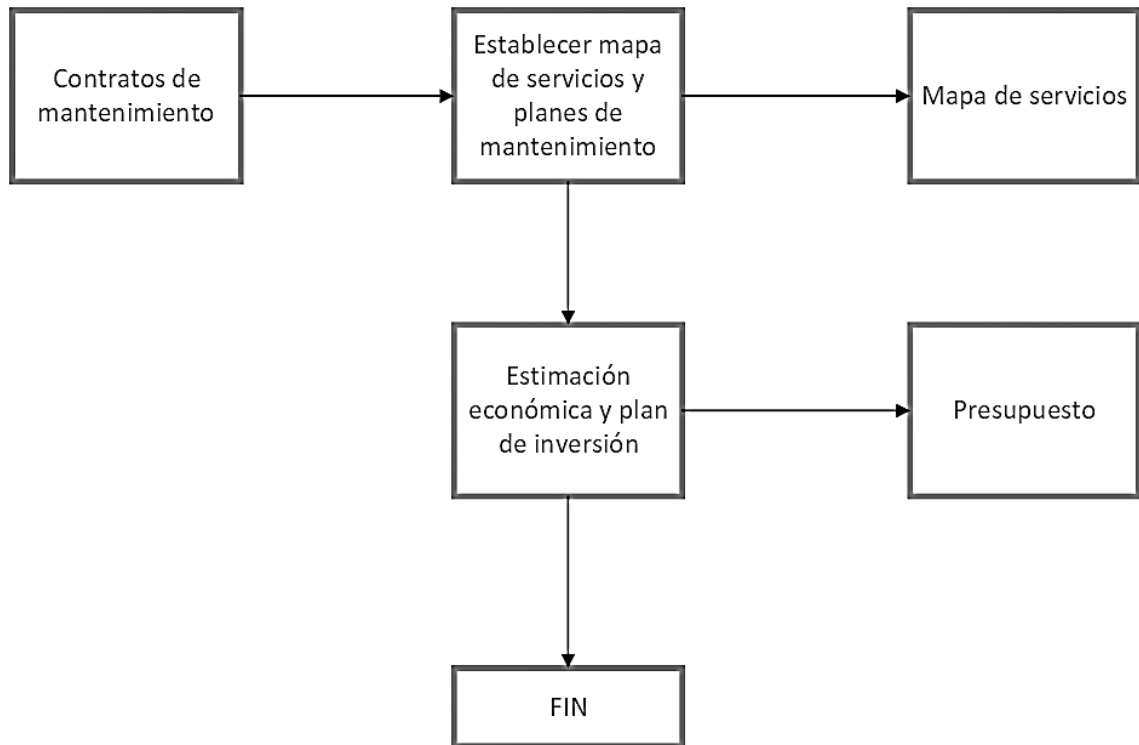
#### **2.7.5. Estrategia de mantenimiento**

La explotación de un activo se desarrolla mediante una estrategia de mantenimiento. En una primera instancia, se busca definir el alcance del conjunto de servicios y planes de mantenimiento necesarios para el desarrollo del activo. Posteriormente se deberá dotar de estimaciones económicas al volumen de gastos e inversiones a realizar en relación con la estrategia de mantenimiento establecida.

A continuación, se detalla el diagrama modelo de las actividades a desarrollar en el mantenimiento de activos.

**Figura 18.**

*Diagrama de estrategia de mantenimiento de proyectos*



*Nota.* Diagrama que muestra los procesos para el mantenimiento de proyectos. Elaboración propia, realizado con Visio®.

El equipo del proyecto recogerá la información relevante y necesaria de la propiedad mediante diversas fuentes, principalmente el modelo BIM, contratos de servicios de mantenimiento, donde se especifica información sobre la edificación, las instalaciones y de los servicios.

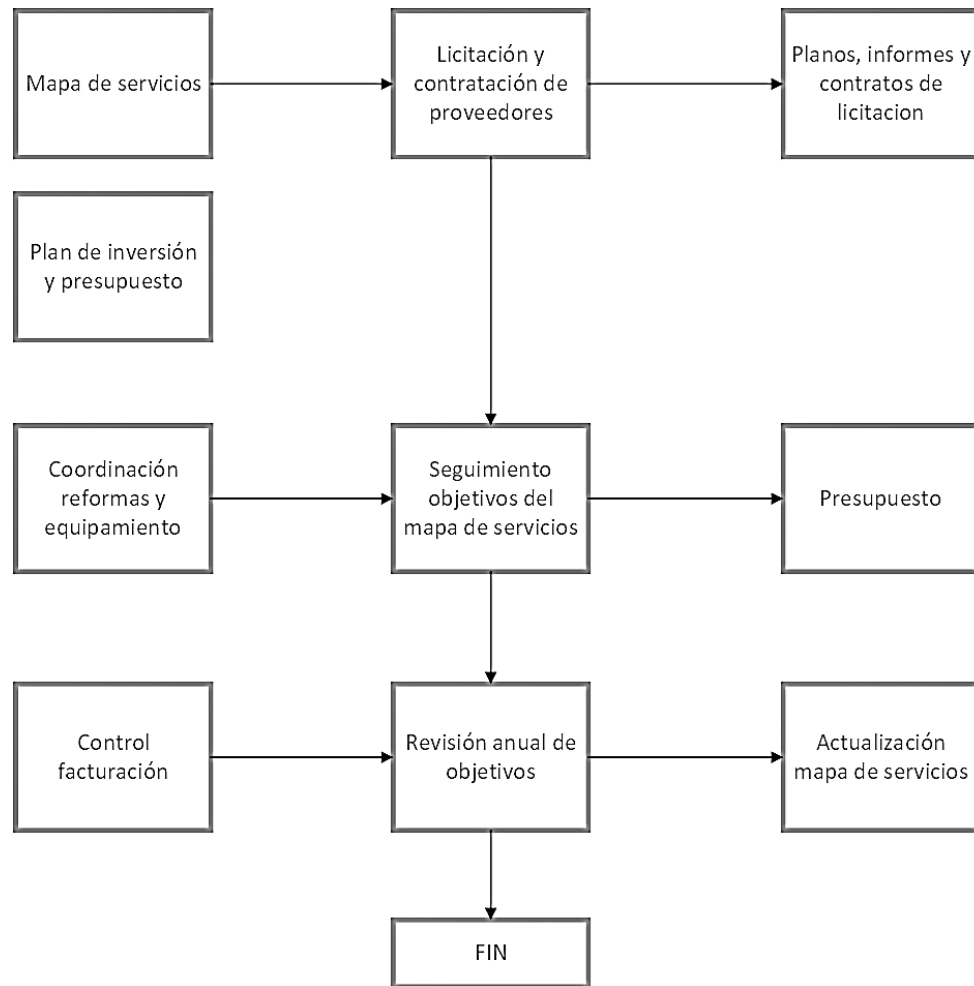
## **2.8. Gestión de mantenimiento**

Una vez establecido el mapa de servicios y haberlo dotado de un plan de inversión, se lleva a cabo la contratación de las empresas implicadas, manteniendo un seguimiento técnico y económico del desarrollo de los servicios. Durante la gestión de mantenimiento es necesario realizar un seguimiento con el cliente para establecer y asegurar el cumplimiento de los objetivos deseados

A continuación, se muestra el diagrama de la gestión de mantenimiento de activos:

**Figura 19.**

*Diagrama de gestión de mantenimiento proyectos BIM*



*Nota.* Diagrama que muestra la gestión del mantenimiento de proyectos BIM. Elaboración propia, realizado con Visio®.

Una vez aprobado el Mapa de servicios, el plan de inversión y el presupuesto anual, se inician las tareas de licitación y contratación de los proveedores. De manera coordinada y supervisada por el cliente, se redactarán los planos de licitación, al mismo tiempo que se procederá a la redacción de los

contratos y establecer una lista de los posibles proveedores, la cual será revisada por el cliente y adaptada a sus intereses. Una vez finalizado el periodo de recepción de ofertas por parte de los posibles adjudicados participantes de la licitación, se valorarán todas ellas según los puntos de valoración definidos en las bases de licitación. Se redactará un informe de licitación que se presentará al cliente y donde se propondrá un adjudicatario. El cliente aceptará o proporcionará el adjudicatario final de los servicios contratados. Se llevará a cabo la adecuación del contrato y la posterior firma de este.

### **3. MODELADO DIGITAL 3D (BIM)**

#### **3.1. Diseño, oferta y construcción (*Design / Bid / Built* DBB por sus siglas en inglés)**

En el modelo diseño, oferta y construcción, el cliente, contrata a un contratista quien es el encargado de conceptualizar los requerimientos y establece el alcance y objetivos del proyecto. Seguidamente, el contratista procede con una serie de fases: diseño esquemático y desarrollo del diseño. Las fases anteriores son las mismas que se manejan en Guatemala y estas son la fase de anteproyecto y planos constructivos respectivamente.

Durante el desarrollo del diseño, el contratista se apoya en consultores para que le asistan en otras áreas del diseño como son la parte estructural, la parte mecánica, la eléctrica, el diseño de sitio, entre otras, dependiendo de la complejidad del proyecto. Estos diseños son proporcionados por medio de dibujos (planos en planta, elevaciones, secciones y visualizaciones en tres dimensiones), los cuales, deben ser coordinados para reflejar todos los cambios que han sido realizados por parte de los consultores. El set final de planos y especificaciones como comúnmente se conocen, deben contener la suficiente información y el suficiente detalle para facilitar las labores de construcción.

La segunda etapa del proceso se basa en obtener apuestas, en lenguaje guatemalteco lo conocemos como ofertas, de diferentes contratistas interesados en llevar a cabo el proyecto. En esta etapa, el dueño y el contratista juegan un papel determinante en la elección de cuáles interesados pueden desarrollar el proyecto. A cada interesado en ejecutar el proyecto, se le envía un set de planos

y especificaciones, que, una vez estudiados por los contratistas, devuelven una oferta donde incluyen las cantidades y estimaciones que individualmente determinaron costará el proyecto. Una vez teniendo todas las ofertas, el dueño puede darse una idea inicial del precio estimado.

El contratista ganador, comúnmente llamado contratista general, es aquel al cual se le fue adjudicado el proyecto, normalmente, este es el que presenta la oferta más baja basándose en cumplir los requerimientos establecidos en las bases del proyecto. Es normal que, antes de que el contratista inicie el trabajo, se tengan que redibujar algunos de los planos para adecuar el proceso constructivo y modificar la planeación de trabajos a ejecutar. Los subcontratistas deben producir lo que se conoce comúnmente como planos de detalle, los cuales reflejan un mayor nivel de detalle de ciertos elementos, tal como uniones metálicas, detalles de uniones ventanas paredes, recorrido de tuberías con las pendientes correspondientes y así sucesivamente.

La poca claridad en el diseño original hace que muchos de los elementos sean fabricados dentro del proyecto, como resultado de lo anterior, luego de aclarar las dudas respecto al diseño, la construcción de dichos elementos provoca un aumento en los costos, en el tiempo de construcción y es más propensa a cometer errores que no hubieran ocurrido si el trabajo se hubiera realizado en un ambiente colaborativo con todos los implicados en el proyecto, en donde se alcanza un mayor control de los procesos constructivos.

A menudo, durante la fase constructiva, numerosos cambios son hechos al diseño original como resultado de errores previos desconocidos u omisiones en la revisión de planos, consultas sobre el diseño, nuevos requerimientos del alcance del proyecto provenientes del cliente, entre otros cambios que ocurren durante la ejecución de un proyecto. Para cada cambio, debe asignarse un

procedimiento para determinar cuál fue la causa, asignar una responsabilidad, evaluar el impacto en tiempo y el costo y buscar una solución al cambio.

La fase final, suponiendo que se logró concretar y terminar el proyecto, es la fase de ponerlo en funcionamiento. En esta etapa deben realizarse las pruebas del funcionamiento correcto de la obra y se revisan los sistemas eléctricos, mecánicos, de incendio, entre otros. Dependiendo de los requerimientos del contrato, los planos finales son entregados para reflejar todos los cambios y así tener un set de planos con los cambios indicados, estos son finalmente entregados al dueño del proyecto acompañado de todos los manuales de instalación y mantenimiento de los equipos y el proyecto.

### **3.2. Modelos de negocio actuales en la industria de arquitectos, ingenieros y constructores. (*Architects / Engineers / Construct* AEC por sus siglas en inglés)**

Actualmente, la industria de la construcción permanece fragmentada y depende de formas de comunicación basada en papel. Errores y omisiones en esta metodología es frecuente y causa costos imprevistos, retrasos y conflictos legales entre las diferentes partes involucradas en un proyecto. Los esfuerzos por reducir estos problemas incluyen nuevas estructuras de organización de un proyecto tales como diseño, oferta y construcción, precio máximo garantizado, entre otros. Sumado a lo anterior y a raíz de la época actual, el uso de la tecnología e internet como soporte para documentar y acceder a información por medio de sitios web ha sido implementado junto con la utilización de las diferentes herramientas de diseño asistido por computadora (CAD).

Uno de los problemas más comunes asociados con el uso de la información en dos dimensiones según señala durante la etapa de diseño es la

cantidad de tiempo invertido para generar la información requerida sobre un proyecto solicitado. Lo anterior incluye estimación de costos, detalle estructural, arquitectónico, mecánico, análisis energéticos. Los análisis anteriores son normalmente hechos al final, una vez que el diseño está aprobado y cuando es muy tarde para realizar cambios importantes.

### **3.3. El proceso del modelado**

Al iniciar a ejecutar un proyecto bajo la metodología BIM, es importante establecer los requerimientos básicos y los niveles de detalle, desarrollo que se espera alcanzar en el modelo. El modelado forma parte de un proceso global en el que, a su vez se definen los elementos 2D, tablas de cuantificación de áreas, volúmenes, cantidades, espacios, materiales y los sistemas constructivos que se utilizaran en el modelo.

### **3.4. Herramientas del modelado**

La mayor ventaja que presenta la metodología BIM con respecto a otras plataformas está en que, anteriormente se representaban los distintos elementos constructivos (paredes, muros, puertas, cubiertas, ventanas, zonas verdes, entre otras) mediante líneas, espesores de líneas, rellenos y colores mientras que, con las plataformas BIM, estos elementos pueden ser modelados utilizando las herramientas apropiadas. Ejemplo de esto es que las ventanas pueden modelarse utilizando la herramienta ventanas en el *Software* BIM, las puertas pueden modelarse utilizando la herramienta puertas en el *Software* BIM y así para la mayoría de los elementos.

Con lo mencionado anteriormente se puede realizar un modelo ya sea arquitectónico que reúna todas las componentes visuales del proyecto, un

modelo estructural que contenga todos los elementos necesarios para su ejecución y un modelo mecánico que contenga todas las instalaciones necesarias.

### **3.5. Modelado arquitectónico**

El modelo arquitectónico es necesario en cualquier fase de los proyectos basados en BIM, es parte esencial para el futuro desarrollo de los demás modelos para las demás disciplinas. Dado lo anterior, es fundamental que el modelo arquitectónico sea técnicamente correcto y adecuado en todas las fases del proyecto donde los elementos que lo componen sean los adecuados para cada elemento.

También, es importante que, si un proyecto se compone de varios edificios, se trate a cada uno de ellos como independiente y sean modelados de la misma manera. Si fuera necesario, dependiendo del tamaño del edificio y del peso de los archivos, un edificio puede ser separado en varias partes. En edificios muy grandes, podría ser necesario dividir el edificio por niveles, por partes, o ambas, debido a la complejidad técnica.

Los modelos arquitectónicos se desarrollan en niveles. Es decir, un muro exterior en los programas BIM puede modelarse desde el nivel uno hasta el nivel seis o puede modelarse desde el nivel uno hasta el nivel dos y así sucesivamente hasta el nivel superior, lo cual, presenta más lógica constructiva. La razón de lo anterior es que la mayoría del *Software* BIM emplea niveles y realiza cálculos de áreas y espacios, además de que muchos otros agentes, principalmente constructivos, se manejan principalmente con niveles.

### **3.6. Modelado estructural**

En el modelo estructural, se deberán modelar todos los elementos estructurales soportantes y los elementos no soportantes. A similitud de los elementos arquitectónicos, las columnas deben modelarse utilizando la herramienta de columnas, las vigas como vigas, las cimentaciones con la herramienta fundaciones y así sucesivamente.

Es importante mencionar que los elementos que comparten características estructurales y arquitectónicas sean modelados en ambas disciplinas manteniendo, eso sí, una coordinación entre ambas. Lo mencionado hace referencia por ejemplo a paredes y muros en modelos arquitectónicos donde, en múltiples ocasiones estos elementos, aparte de ser arquitectónicos, cumplen a su vez funciones estructurales y son parte de un modelo estructural.

Dependiendo la fase en la que se encuentre el proyecto: prediseño, diseño, construcción, así será el contenido y precisión del modelo estructural. Por ejemplo, en una etapa de prediseño, es posible que el modelo funcione como una ayuda preliminar del costo estructural aproximado y una idealización básica de la estructura para prever posibles problemas y soluciones.

Para una etapa de diseño, el modelo puede contener más información tal como el acero estructural correspondiente a cada elemento, detallado de nudos metálicos y/o de concreto, entre otro. También, el modelo puede utilizarse para visualizar el modelo estructural como parte del modelo combinado (arquitectónico, mecánico, eléctrico) y con ello lograr una mejor interpretación del proyecto con relación a las demás disciplinas.

### **3.7. Modelado de instalaciones generales**

Por modelado mecánico o de instalaciones generales se entienden los modelos mecánicos y modelos eléctricos del edificio. Al igual que en las disciplinas anteriores, dependerá de la fase del proyecto el nivel de detalle y precisión del modelo. Comúnmente, el modelado electromecánico se divide en dos sub-áreas diferentes:

- Etapa de diseño esquemático y de desarrollo del diseño
- Diseño detallado

Cuando se realiza el modelado electromecánico, en la etapa de desarrollo del diseño, se diseñan las redes horizontales con el propósito de representar a través de un modelo tridimensional la geometría y el trazado principal de los principales elementos. Al igual que los elementos de las demás disciplinas, los elementos deben ser modelados utilizando las herramientas correspondientes: tuberías, conductos, bandejas de cable, accesorios, ductos, entre otros. En cuanto al tipo de tuberías, deberá indicarse si son de PVC, cobre, hierro, entre otras.

Es recomendable que, durante la etapa del desarrollo del diseño, se elija una habitación o un área como un prototipo de modelado de construcción. El nivel de precisión del modelo BIM en estos espacios es tal que se puede utilizar para asegurar que los componentes se puedan ejecutar en el área en cuestión. Debe recordarse que con el fin de dotar al modelo electromecánico de la precisión que se requiere, debe contarse ya con el modelo BIM Arquitectónico y Estructural.

Todas las instalaciones del modelo BIM que tienen un significado funcional de previsión de espacio se modelan en una habitación o área. La habitación que se elija como muestra contiene modelos con dimensiones reales de tomacorrientes, interruptores, dispositivos terminales, conductos de tuberías, canaletas, accesorios de iluminación, servicios sanitarios, grifería, entre otros. Se excluye en la mayoría de los casos la geometría 3D de cables de instalación.

### **3.8. BIM en el uso de estimación de cantidades en el sector de la construcción**

El posible uso de la estimación de cantidades de materiales a partir del modelo es otra ventaja que se puede obtener de un modelo BIM. Comúnmente, a la empresa constructora le corresponde estimar el costo del edificio partiendo de un conjunto de planos, proporcionado por el cliente. En ocasiones, durante el sistema tradicional de diseñar, presupuestar y construir, existe una comunicación muy pobre entre los distintos autores del conjunto de planos, por lo que, en muchos casos, la interpretación y cuantificación de los materiales depende muchas veces de la experiencia de la empresa constructora.

Uno de los principales aportes de la metodología BIM es el uso de un único modelo en lugar de dibujos arquitectónicos en dos dimensiones, permitiendo que la cuantificación y medición de los elementos pueda llevarse a cabo directamente desde el modelo consiguiendo que la información obtenida siempre sea consistente con el diseño. Más allá de esto, cuando un cambio es realizado en modelo, cuando se varía el largo de una pared, por ejemplo, este se refleja automáticamente en toda la documentación del modelo como lo son también sus cantidades, dimensiones y vistas del elemento.

La importancia de la estimación de costos utilizando modelos BIM es que les permite a los distintos diseñadores de las diferentes áreas realizar cálculos e ingenierías de valor mientras realizan el diseño, considerando diferentes alternativas, eliminando la práctica tradicional de remover elementos y disminuir los costos una vez que el diseño está terminado. Debe tenerse claro que utilizar un modelo BIM no genera por sí solo una estimación total de los costos de un proyecto, ni sustituye ni reemplaza la labor de un estimador de costos, sin embargo, ofrece ventajas significativas sobre los métodos tradicionales de estimación de cantidades de materiales, minimizando el esfuerzo y reduciendo errores en los conteos.

Los cuantificadores pueden utilizar BIM como ayuda para extraer cantidades de materiales, áreas, perímetros y volúmenes de sus proyectos. Debe tenerse en cuenta que no existe aún en el mercado una herramienta BIM que provea el mismo poder y habilidad que las hojas de cálculo o programas especializados en cuantificación como por ejemplo STACK y Plan Swift (programas para cálculo de materiales en modelos 3D)



## **4. CASO PRÁCTICO: VIVIENDA UNIFAMILIAR**

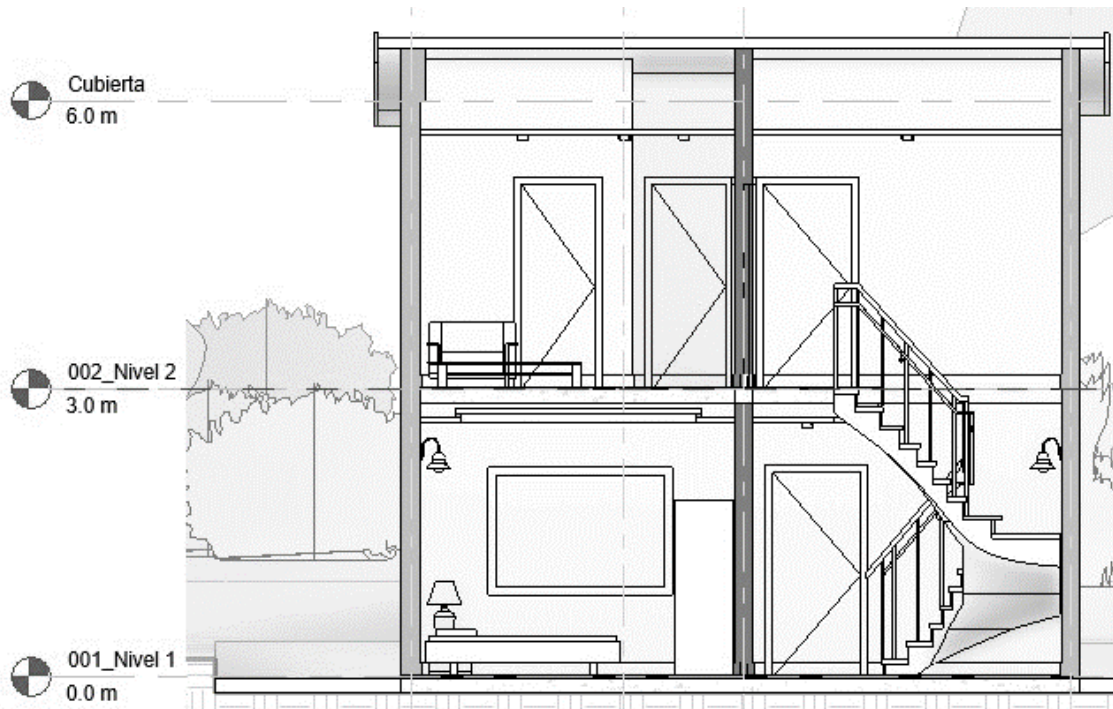
### **4.1. Creación de un modelo BIM: Software Revit®**

Una vez abierto la herramienta Revit®, se recomienda iniciar por la definición de los diferentes niveles. Los Niveles se definen en las vistas de elevación de la vivienda, además se cuenta con la opción de introducción de nivel dentro de la misma pestaña de Estructura del menú principal. Existen dos tipos de niveles básicos, por un lado, encontramos aquellos niveles a los cuales va asociado un plano de planta, mostrados en el Navegador de proyectos del modelo; y los niveles que no están vinculados a ningún plano, que son empleados en las vistas de alzados como referencias al momento de modelar.

A continuación, la figura 20 muestra los distintos niveles empleados para el modelado, acompañados de la cota de estos.

**Figura 20.**

*Sección del modelo*



*Nota.* Sección arquitectónica del modelo. Elaboración propia, realizado con Revit®.

Definidos los niveles deseados para el modelado de cada una de las plantas, insertamos plantillas en formato CAD en los respectivos planos de planta, se debe clicar en la pestaña Insertar del menú principal y dar clic a la pestaña Importar CAD. Automáticamente se abre una ventana donde nos da la opción de escoger el archivo .pdf deseado. Para una correcta importación de la plantilla al plano de planta de Revit®, se debe prestar especial atención en las opciones de importación. Por un lado, debe de aparecer seleccionada la opción de solo vista actual.

Las unidades de importación deben coincidir con las unidades establecidas en el archivo CAD, siendo en este caso metros. Por último, la posición de importación de la plantilla debe aparecer Automático – Origen a origen, de esta manera la herramienta Revit® nos mantiene en el eje de referencia de los planos y permite importar otras plantillas en diversas vistas sin perder la referencia.

**Tabla 1.**

*Carpeta de planos para importar*

<b>Nombre</b>	<b>Tipo de documento</b>	<b>Fecha de subida</b>
01.pdf	Documento PDF	22/01/2020
02.pdf	Documento PDF	22/01/2020
03.pdf	Documento PDF	22/01/2020
04.pdf	Documento PDF	22/01/2020
05.pdf	Documento PDF	22/01/2020

*Nota.* Listado de planos para importar al modelo. Elaboración Propia, realizado con Excel.

Una vez tenemos las plantillas ya importadas a cada uno de los planos de planta a utilizar, es de gran utilidad realizar una comprobación para validar si las plantillas se han colocado correctamente. Mediante la representación de uno o varios planos de referencia, en algún punto común de las distintas plantas de la vivienda, como es en este caso las fachadas de la vivienda, podemos comprobar que las plantillas se encuentran bien colocadas.

El modelado de la vivienda se inició por la planta de cimentación. Se emplearon los elementos ya disponibles en la pestaña de Estructuras, en la sección Cimentación, la de tipología aislada. Tal y como se ha explicado con

anterioridad los *Softwares* de modelado BIM presentan una biblioteca básica de elementos constructivos. Pero cada proyecto constructivo emplea distintos elementos, por lo que sería imposible y en cierto modo poco útil, tener una biblioteca con todos los elementos constructivos posibles.

La herramienta Revit® dispone de plantillas con ciertos elementos ya cargados, sin embargo, con la descarga del programa viene consigo una biblioteca con gran cantidad de elementos, tanto estructurales, arquitectónicos y de instalaciones; que pueden ser incorporados al proyecto de manera muy sencilla.

En la pestaña Insertar del menú de herramientas, aparece la sección cargar desde biblioteca, que nos da la opción de Cargar Familia. Se abre a continuación una ventana con diversas carpetas, que agrupan elementos según tipología. Al seleccionar y abrir cualquier de los elementos, este ya estará disponible en la plantilla del modelo en la se trabajará.

**Tabla 2.**

*Plantillas para ser importadas a las vistas de planta*

<b>Nombre</b>	<b>Tipo</b>	<b>Fecha de subida</b>
Annotations	Carpeta	27/05/2023
Boundary Conditional	Carpeta	27/05/2023
Cable Tray	Carpeta	27/05/2023
Casework	Carpeta	27/05/2023
Columns	Carpeta	27/05/2023
Doors	Carpeta	27/05/2023
Duct	Carpeta	27/05/2023
Furniture	Carpeta	27/05/2023
Mass	Carpeta	27/05/2023

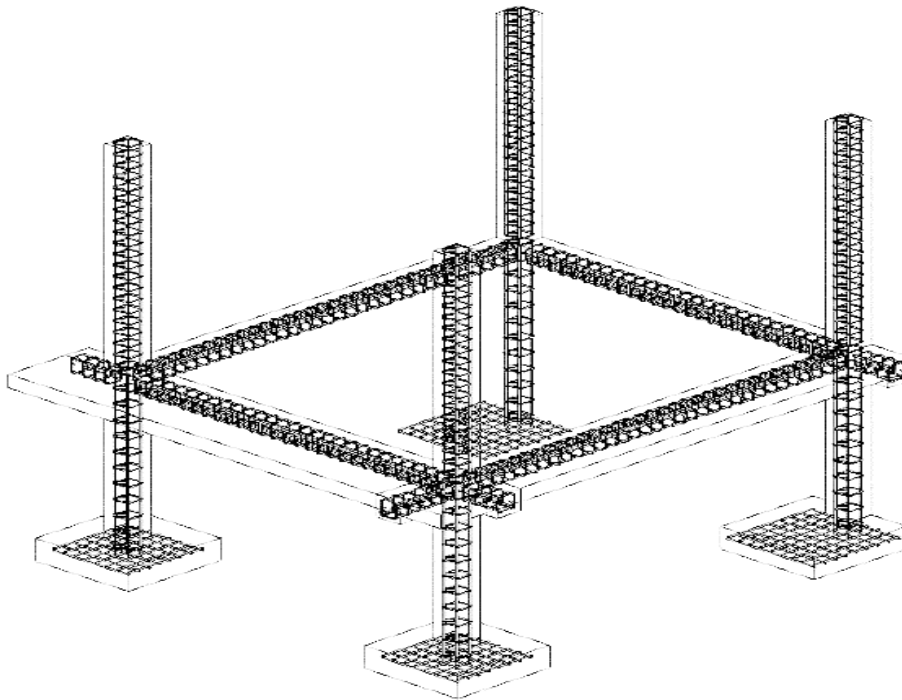
*Nota.* Lista de plantillas que se pueden utilizar en el modelo. Elaboración propia, realizado con Excel.

Suele darse el caso que las características deseadas de un elemento no coinciden exactamente con las ofrecidas por los elementos de la misma plantilla o de la biblioteca. En el caso de Revit®, podemos crear nuevos elementos a partir de otros existentes, aprovechando las características físicas deseadas. El caso más usual es cuando se desea modelar un elemento con dimensiones particulares. En el caso de la cimentación, las zapatas aisladas previstas tienen las siguientes dimensiones 2.0 x 2.0 x 0.60 m en la mayoría de los casos y luego otras dimensiones más específicas.

Para modelar las zapatas, se seleccionó una de las disponibles en las plantillas y se editó el elemento (Editar tipo). En la ventana Propiedades de tipo, existe la opción Duplicar, que permite dotar de nombre nuevo elemento y también de las propiedades deseadas. Dicho elemento creado a partir de uno ya existente se guarda automáticamente en la biblioteca de elementos de la plantilla en cuestión.

## Figura 21.

### *Modelado de estructuras*



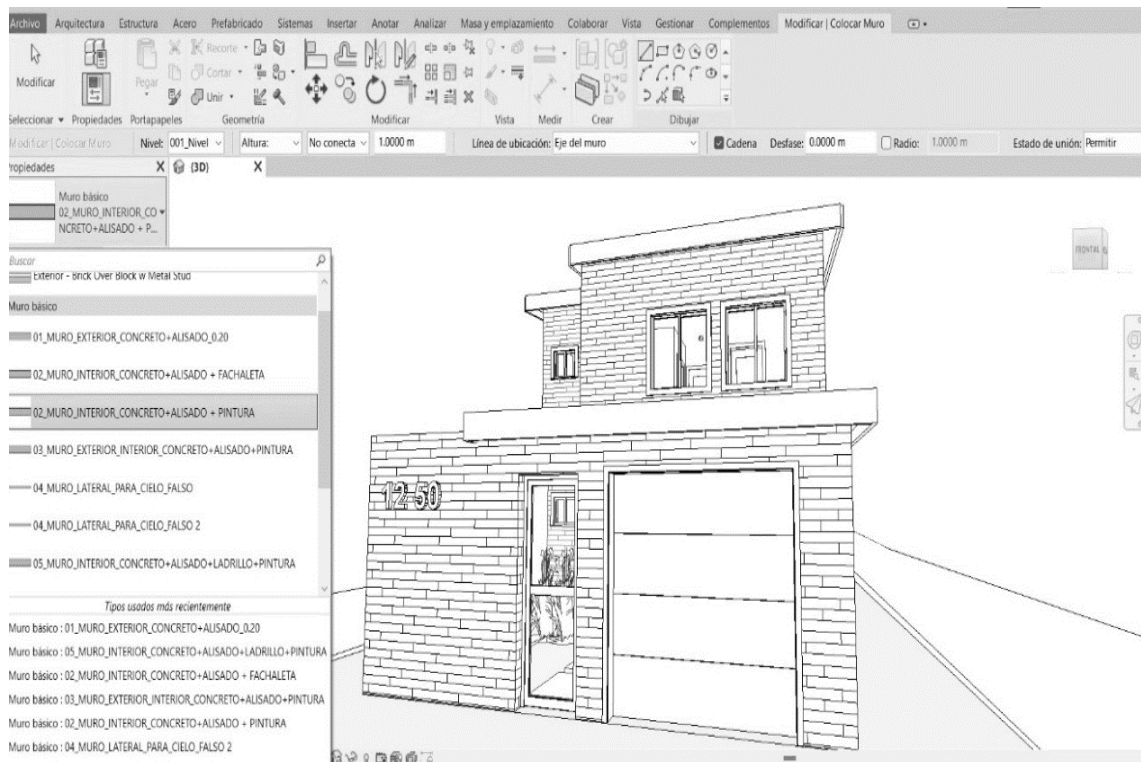
*Nota.* Esquema de modelado estructural. Elaboración propia, realizado con Revit®.

Para el modelado de los parámetros verticales, en el caso del proyecto en cuestión, muros de mampostería de 20cm, resulta muy cómodo emplear niveles y distintas vistas para su modelado. Tal y como se puede observar en la figura 22, en la ventana de propiedades del elemento seleccionado, en el caso mostrado un muro de mampostería de 200mm de ancho, aparecen una serie de Restricciones. Es el caso de la restricción de base, que nos da a escoger a que nivel queremos que se levante el elemento modelado. Sin embargo, para evitar rigideces a la hora de modelar o el uso de gran cantidad de niveles, existe la posibilidad de introducir desfases respecto al nivel seleccionado, tanto de base

como superior. Para acotar el extremo superior del muro, se emplea la restricción superior de nivel; PB, aunque se añade desfase superior negativo del canto del forjado de la planta baja.

## Figura 22.

*Propiedades de muro básico empleado en el modelo*



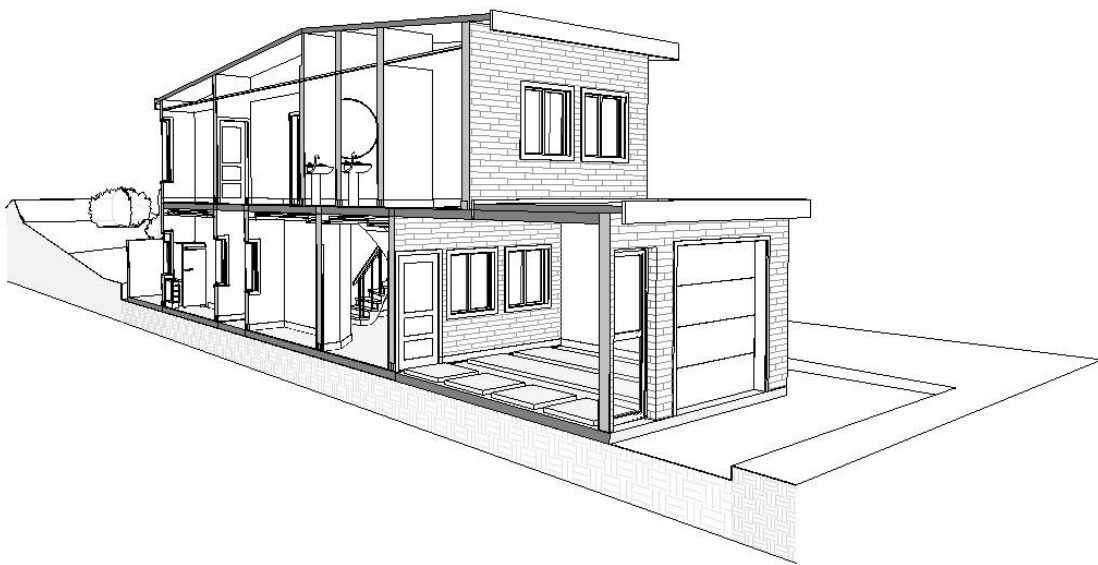
*Nota.* Se muestran las propiedades de muro a utilizar. Elaboración propia, realizado con Revit®.

La herramienta Revit® permite modelar elementos con unas propiedades determinadas, tales como dimensiones o restricciones de ubicación, y luego ser copiados y pegados en el mismo modelo. Este hecho simplifica bastante por ejemplo el modelado de columnas, vigas, zapatas de diferente sección.

Revit® ofrece una opción de visualización muy interesante y útil para la comprobación del modelado, accediendo a la Vista 3D del navegador de proyectos, dentro de la ventana de Propiedades, aparece la posibilidad de marcar o desmarcar caja de sección, dentro de la categoría Extensión. Aparece pues en la vista las aristas de un prisma que marca el límite de la vista 3D en cuestión moviendo los planos que conforman el prisma, podemos buscar intersecciones con nuestro modelo y obtener así una visión clara de aquellos detalles que queremos destacar.

**Figura 23.**

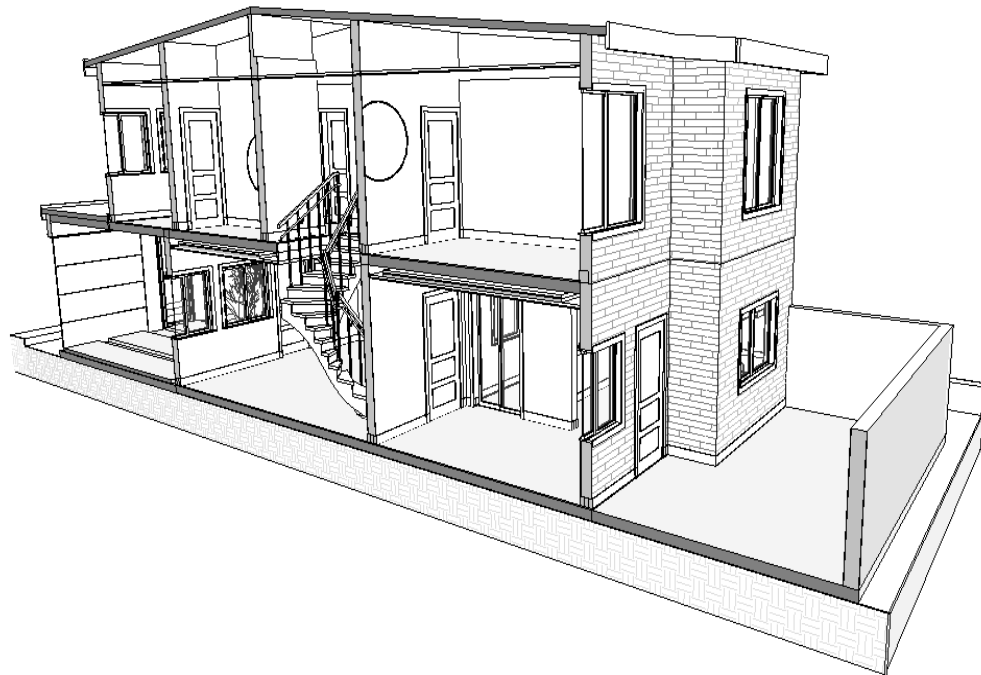
*Vista 1 modelo con intersección con caja de sección*



*Nota.* Corte arquitectónico del modelo. Elaboración propia, realizado con Revit®.

**Figura 24.**

*Vista 2 modelo con intersecciones con caja de sección*



*Nota.* Corte arquitectónico del modelo Elaboración propia, realizado con Revit®.

Como ya se ha explicado anteriormente, el uso de la metodología BIM en un proyecto permite introducir en nuestro proceso la dimensión del tiempo. Las herramientas de modelado permiten indicar cuando serán ejecutados y en qué fase se encuentran los distintos elementos del proyecto constructivo. Dicha vinculación es de vital importancia para la planificación del proyecto ya que podremos mostrar la evolución de este antes de ser construido, esta vinculación resulta como una alternativa de mejora al proceso de planificación de proyectos en Guatemala.

La herramienta Revit® permite crear fases de tiempo como queramos, tantas como sean necesarias aplicar al proyecto, existiendo la posibilidad de crear dicha información para la elaboración de planos diferentes para cada una de las fases, siempre dentro del mismo proyecto.

Para la determinación de las fases deseadas a introducir en el modelo, debemos ir a la pestaña gestionar y dentro del grupo proceso por fases. Automáticamente se nos abre una ventana, proceso por fases, con tres pestañas distintas: fases del proyecto, filtros de fases y modificaciones de gráfico.

**Figura 25.**

*Estableciendo las fases del proyecto*

PASADO	
Nombre	Descripción
1	FASE I CIMENTACIONE ZAPATAS,VIGAS HIDROFUGAS,CONTRAPISO
2	FASE II LEVANTADOS MUROS,COLUMNAS,SOLERAS Y LOSA 1ER NIVEL
3	FASE III ESCALERAS ESCALERAS
4	FASE III LEVANTADOS MUROS,COLUMNAS,SOLERAS Y LOSA 2DO NIVEL
5	FASE IV CUBIERTA CUBIERTA
6	FASE VI ACABADOS 1E ACABADOS PUERTAS VENTANAS ARTEFACTOS MOBILIARIO LUMI
7	FASE VII ACAVADOS 2 ACABADOS PUERTAS VENTANAS MOBILIARIO ARTEFACTOS LUMI
8	FASE VIII RETOQUES Y RETOQUES Y LIMPIEZA
9	COMPLETADO
FUTURO	

*Nota.* Se muestra fases consideradas en el proyecto. Elaboración propia, realizado con Revit®.

Al tratarse de una estructura para una vivienda unifamiliar el orden constructivo es inequívoco, iniciando los trabajos desde las cotas más bajas hacia los elementos situados a mayor altura. Tal y como se muestra en la figura 27 se han establecido 9 fases de proyecto, cuyos nombres y descripción son editable en cualquier momento.

Una vez definidas las fases del proceso de construcción del proyecto, se debe vincular cada uno de los elementos modelados a través del cuadro de Propiedades, en el apartado de Procesos por fase. Allí se puede definir tanto la Fase de Creación como la Fase de derribo. Al tratarse de una obra de nueva construcción y definido el proceso constructivo de la vivienda, no es necesario realizar ningún derribo. Pero, resulta muy interesante en proyectos de rehabilitación modelar tanto los elementos previamente existen como el diseño final. De esta manera puede dejarse reflejado de manera más clara en qué momento se derriban ciertos elementos y cuales son ejecutados.

Otro caso donde el uso de la fase con nombre derribo, utilizada por la herramienta Revit®, puede ser útil en la ejecución de estructuras complejas, donde sea necesario el uso de elementos constructivos temporales, tales como pilotes y muros de contención. En las pestañas Filtros de fases podemos escoger las distintas formas en la que podemos representar nuestras vistas, es decir, ofrece opciones de visualización grafica (Grosor de líneas, colores y patrones). Los filtros no se asocian directamente a las fases del proyecto, sino que se adaptan a la fase en la que se encuentra la vista.

La herramienta Revit® permite editar cada uno de los filtros según cada una de las fases de los elementos de una vista (Nuevo, Existente, Derribado y Temporal) mediante las tres opciones siguientes: Modificado, Por categoría y No mostrado. Si se selecciona la opción Modificado se usarán los valores gráficos

indicados en la pestaña Modificaciones de gráfico. En el caso de Por categoría el grafiado de los elementos será el indicado a nivel de vista, mientras que la opción No Mostrado permite ocultar los elementos. De esta manera se podrán establecer tantos filtros como visualizaciones se requieran. Una vez creados, son guardados y pueden ser utilizados en cualquier otra plantilla de proyecto, ofreciendo un ahorro de trabajo considerable y asegurando el mismo criterio de representación en toda la documentación gráfica elaborada.

Para este caso de estudio en cuestión, se ha decidido establecer tres tipos de filtros: Mostrar anteriores + nuevos, Mostrar nuevo y Mostrar todo (Filtro autodeterminado).

**Figura 26.**

*Filtros empleados en las visualizaciones del modelo*

	Nombre de filtro	Nuevo	Existente	Derribado	Temporal
1	MOSTRAR TODO	Por categoría	Modificado	Modificado	Modificado
2	Show All	Por categoría	Modificado	Modificado	Modificado
3	Show Complete	Por categoría	Por categoría	No mostrado	No mostrado
4	Show Demo + New	Por categoría	No mostrado	Modificado	Modificado
5	Show New	Por categoría	No mostrado	No mostrado	No mostrado
6	Show Previous + Dem	No mostrado	Modificado	Modificado	No mostrado
7	Show Previous + New	Por categoría	Modificado	No mostrado	No mostrado
8	Show Previous Phase	No mostrado	Modificado	No mostrado	No mostrado

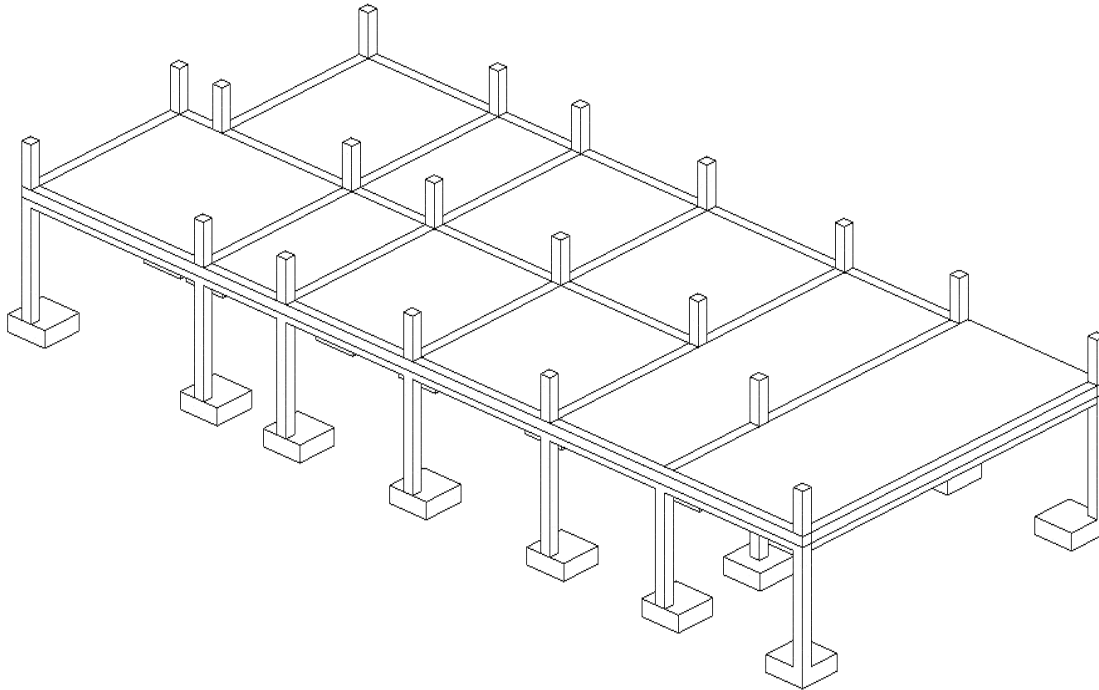
*Nota.* Esquema que muestra los filtros considerados para el modelo. Elaboración propia, realizado con Revit®.

#### **4.2. Modelado paramétrico de elementos básicos a partir de un modelo BIM**

La cimentación de la vivienda corresponde a un sistema de cimentación superficial mediante zapatas aisladas fundidas in situ en concreto de 280 kg/cm<sup>2</sup> con un entramado de vigas hidrofugas en concreto de igual especificación. El nivel de detalle que se proyecta en este modelo exige que se modelen como componentes de cimentación los siguientes elementos: zapatas, vigas hidrofugas y losa de cimentación superior.

**Figura 27.**

*Vista general de cimentación*



*Nota.* Esquema que muestra una vista general de la cimentación del modelo. Elaboración propia, realizado con Revit®.

#### **4.2.1. Zapatas**

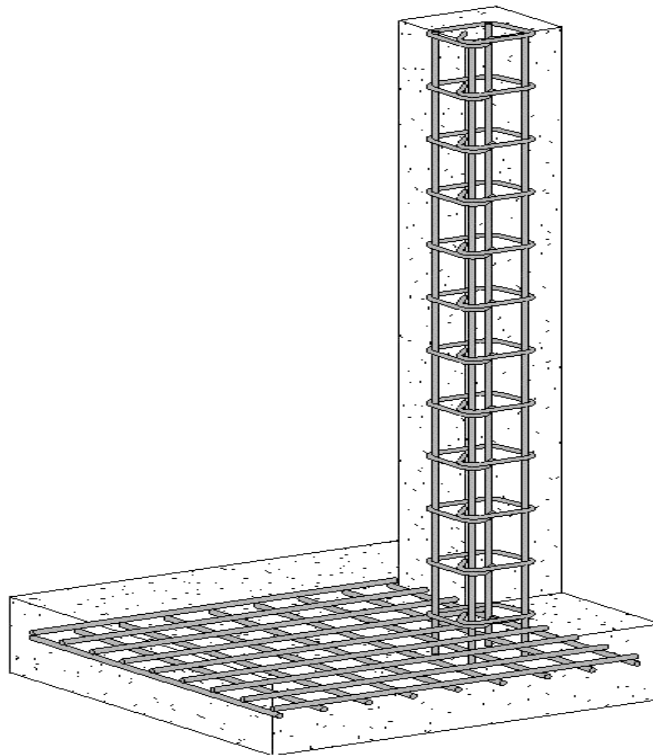
Inicialmente fue necesario trazar los ejes del modelo que servirán como guía para ubicar las zapatas del proyecto. El plano acotado sirve como plantilla para ubicar correctamente cada una de las 21 zapatas. Posteriormente se utilizó el material en el entorno de Revit Structure® 2019 a partir de una plantilla de material tipo hormigón. Se le asignó el nombre de emiliani concreto de alta resistencia con los datos de identidad como descripción, fabricante y costo, se

eligió la textura deseada y se modificaron las propiedades estructurales correspondiente a un concreto de 4000 PSI respectivamente.

Para crear el elemento tipo Zapata se duplica una Zapata cargada por defecto en el programa a la cual se le Designa un nuevo nombre emiliani- zapatas de 2x2x0.20 y se modifica el parámetro Grosor de Cimentación de 20 cm.

**Figura 28.**

*Vista de una zapata creada del modelo*



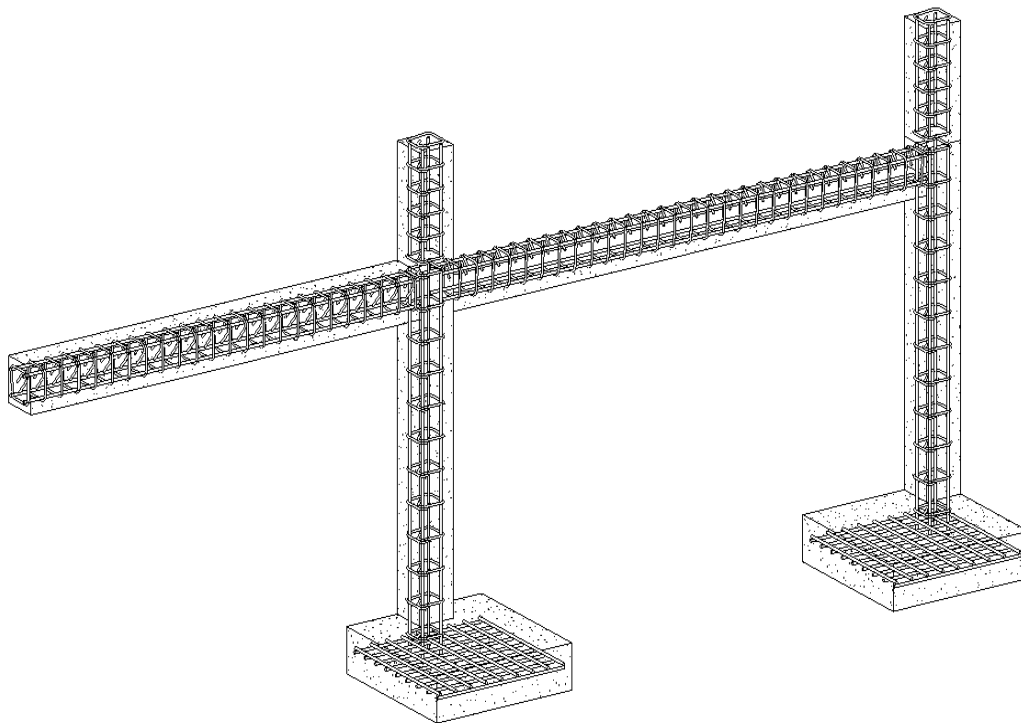
*Nota.* Esquema que muestra el armado de la zapata y columna. Elaboración Propia, realizado con Revit®.

#### 4.2.2. Vigas hidrofugas

Con las zapatas modeladas se procede a ubicar las vigas hidrofugas en el modelo que conforman la losa de cimentación se requiere un plano estructural de la losa de cimentación en el nivel nct. Luego se crearon los elementos estructurales modificando los parámetros necesarios para crear vigas en concreto, el material que se utilizó para estas vigas fue emiliani de concreto armado.

#### Figura 29.

*Vista de vigas de cimentación en concreto*



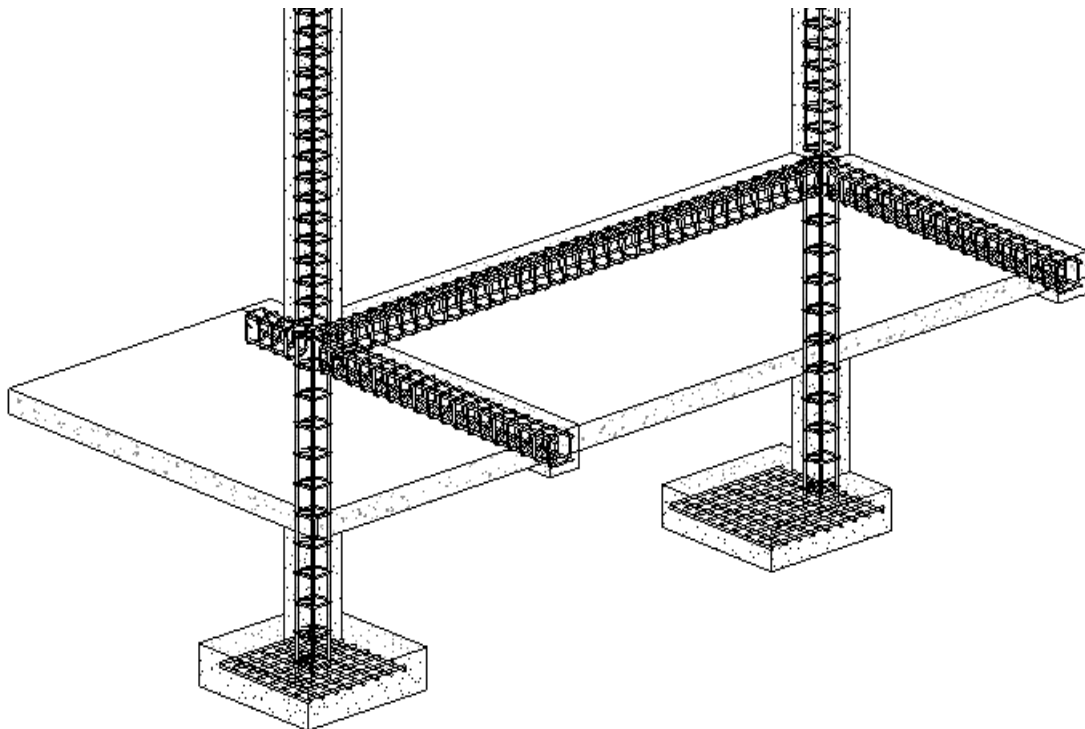
*Nota.* Esquema que muestra el detalle de vigas de cimentación. Elaboración Propia, realizado con Revit®.

### 4.2.3. Losa de cimentación superior

Con el entramado de vigas y zapatas terminado, se procede a modelar la losa de cimentación superior. Para ello se genera el tipo de losa dentro de la familia de losas de concreto, asignándole el material EMILIANI CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA y un espesor de 20.0 cm. Se dibuja el contorno abarcando el área delimitada por los muros de contención de la edificación, que se ilustran en el plano de planta estructural de localización de zapatas.

**Figura 30.**

*Vista de la losa de cimentación*



*Nota.* Detalle de armado estructural de losa de cimentación. Elaboración propia, realizado con Revit®.

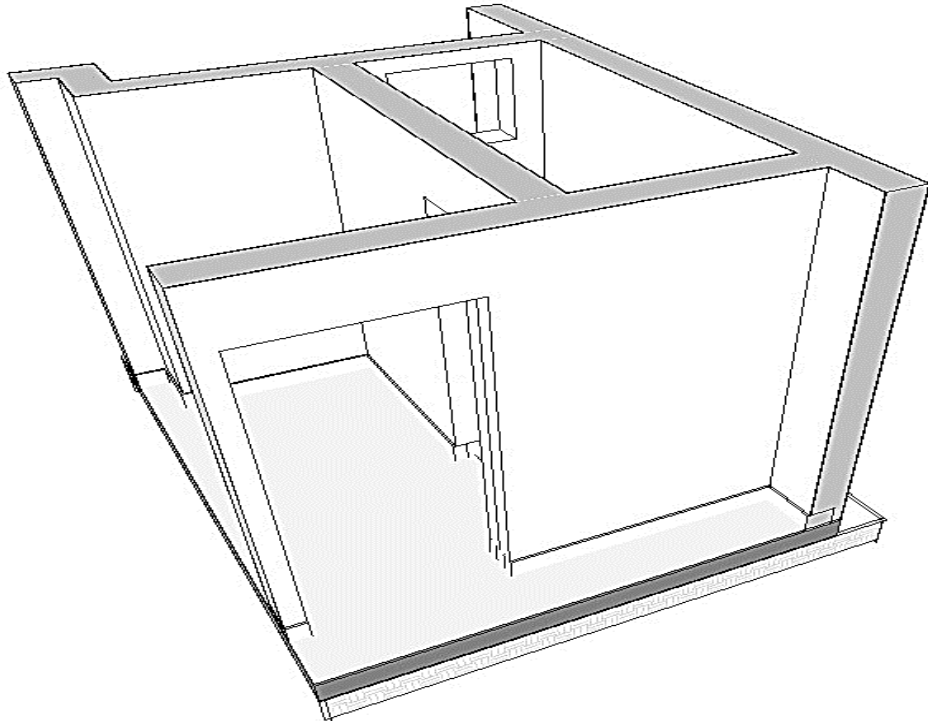
#### **4.2.4. Paredes de mampostería**

Para los muros de mampostería se tomó un elemento tipo muro, el cual duplicó y se modificó el nombre como su espesor. Para estos muros se trabajó con un espesor de 20 cm. Los muros de mampostería se modelan con una restricción de base, la cual es la del nivel correspondiente al que se va a apoyar dicho muro y una restricción superior que se maneja con un desfase de altura de -20.0 cm que es el espesor de la losa superior.

Teniendo la referencia de los niveles y de los ejes sobre los cuales se va a modelar muros, se procede a dibujar los elementos de acuerdo con las distancias correspondientes. La fachada de la vivienda se compone de elementos de mampostería, en su mayoría con un recubrimiento plástico + fachaleta. En la entrada acceso principal de la vivienda se cuenta con un portón de madera y acero con los aspectos necesarios tanto como material y mano de obra.

**Figura 31.**

*Muros de mampostería*



*Nota.* Paredes de mampostería de modelo. Elaboración propia, realizado con Revit®.

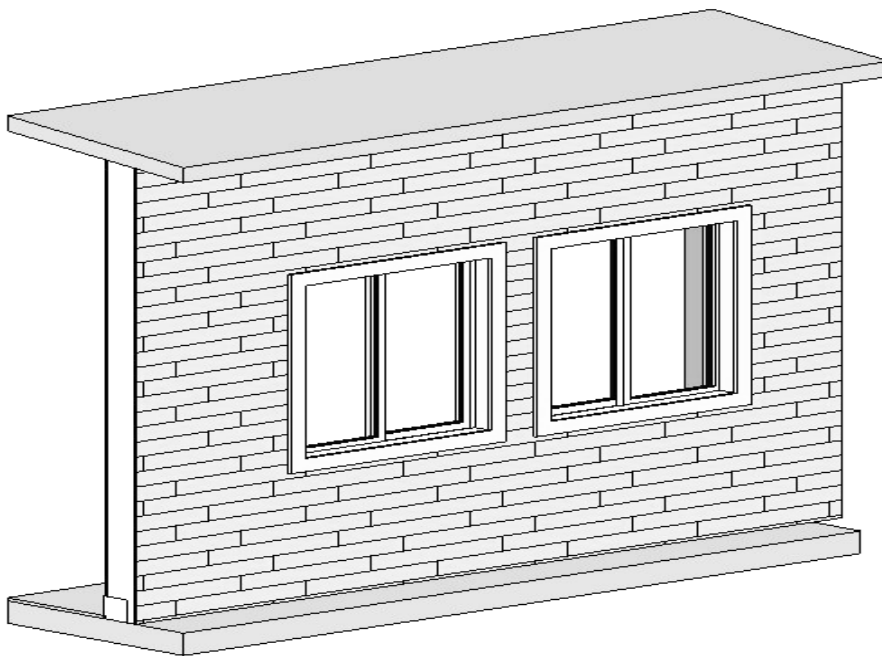
#### **4.2.5. Ventanas y puertas internas**

Anteriormente, se implementó un modelo BIM para adquirir automáticamente las cantidades de los elementos arquitectónicos más comunes de un proyecto. Seguidamente, se presentará que, de igual forma, la extracción automática de cantidades de aquellos elementos menos comunes se puede realizar de manera simplificada con la ayuda de un modelo BIM.

Las ventanas del proyecto, así como las puertas internas de este, tienen poca variabilidad respecto de un elemento a otro. Es decir, existen una gran cantidad de tipos de ventana con longitudes, alturas y anchos muy parecidas unos de otros. La tarea de cuantificar estos elementos resulta muy rápida y precisa.

**Figura 32.**

*Ventanería utilizada en el proyecto*



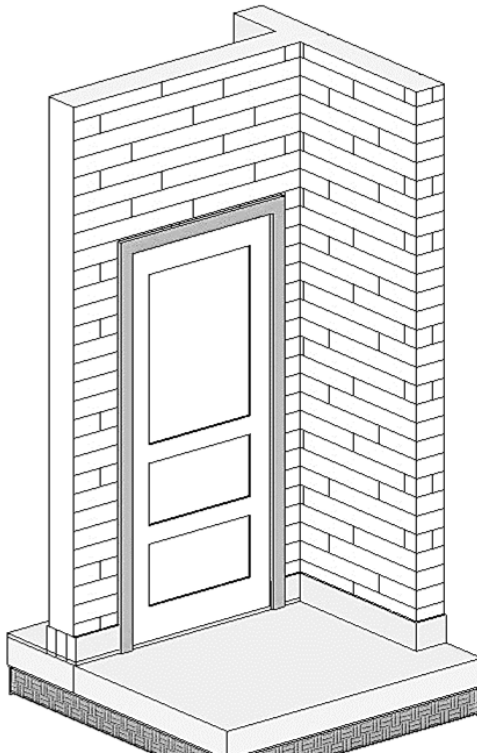
*Nota.* Ventanearía utilizada en el proyecto. Elaboración propia, realizado con Revit®.

En el caso de las puertas internas del proyecto, de la misma manera en que se modelaron las ventanas, estas puertas se dibujaron tomando en cuenta las medidas de los vanos establecidos y utilizando un modelo de puerta del

sistema el cual se Editó el tipo y se Duplicó para establecer el tipo de puerta a utilizar.

**Figura 33.**

*Puertas utilizadas en el proyecto*



*Nota.* Se muestra puertas utilizadas en el proyecto. Elaboración propia, realizado con Revit®.

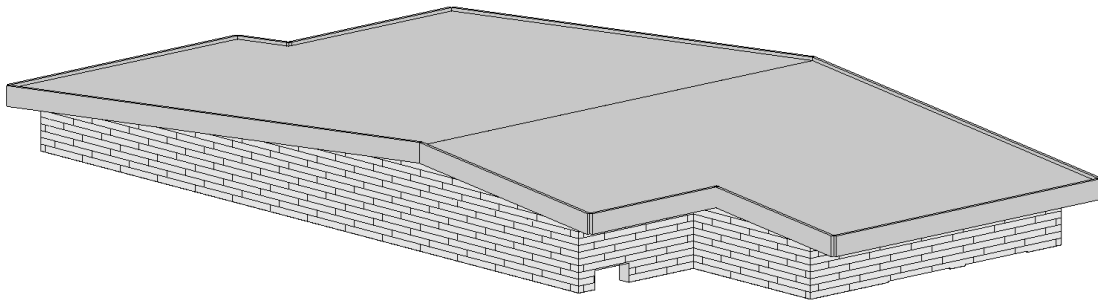
**4.2.6. Techos**

La estructura de cubierta se compone de una losa de cubierta superior con revestimiento de teja de madera + estructura de concreto como moldura en el perímetro de la cubierta. El proceso de modelado requirió crear niveles de

referencia adicionales que sirven para verificar las alturas variables y las pendientes.

**Figura 34.**

*Cubierta superior utilizada en el proyecto*



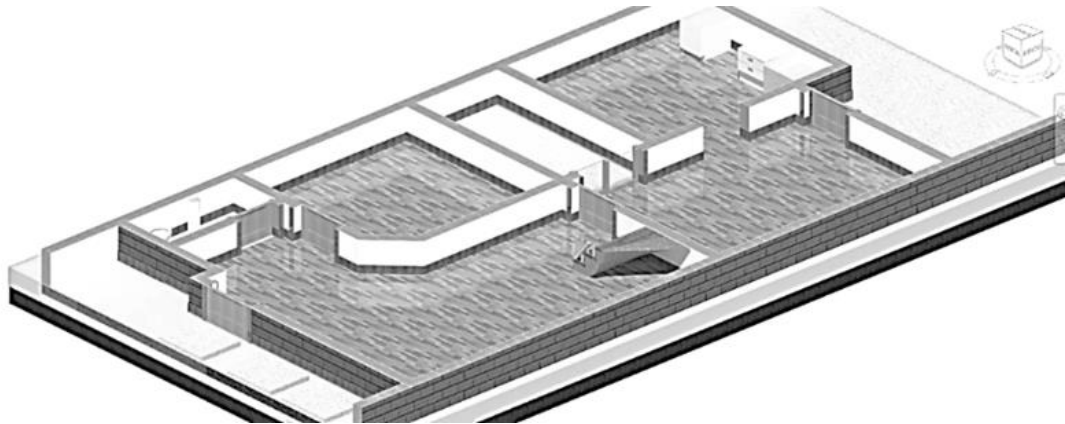
*Nota.* Se muestra cubierta considerada en el modelo. Elaboración propia, realizado con Revit®.

**4.2.7. Pisos**

El modelado de pisos se logró mediante la creación de la losa estructural cuya textura se asemejará al enchape de madera de ingeniería colocado en la vivienda. Es una losa de 2cm de espesor a la cual se modificó el material. Esta losa descansa sobre un afinado de piso de madera que también se modela con un tipo de losa.

### **Figura 35.**

*Pisos arquitectónicos utilizados en el proyecto*



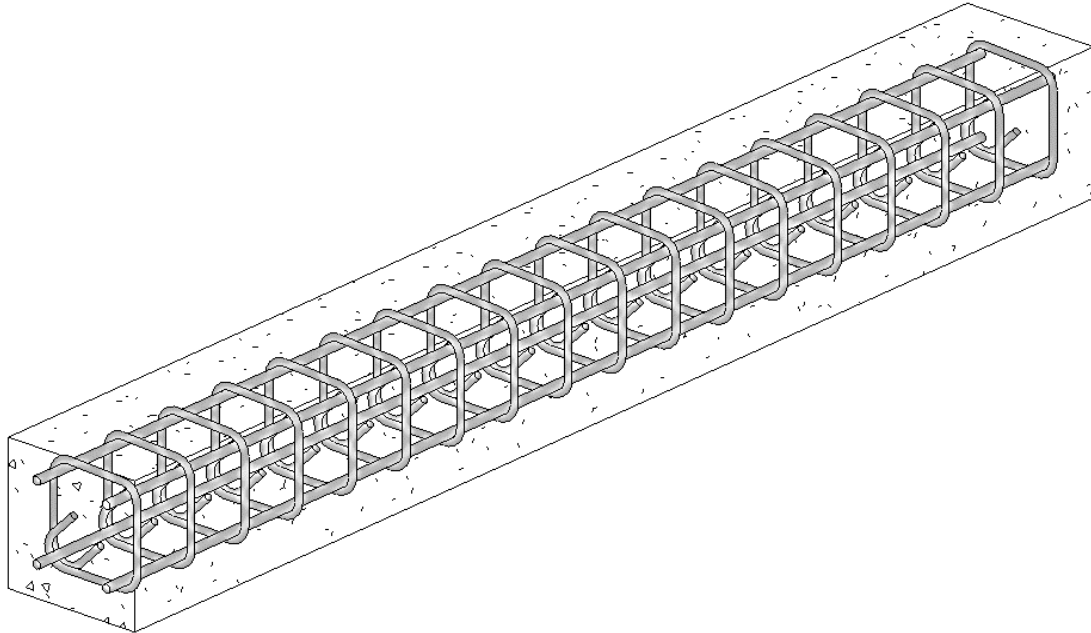
*Nota.* Se muestra los pisos utilizados en el modelo. Elaboración propia, realizado con Revit®.

#### **4.2.8. Vigas estructurales**

Para el modelado de vigas se crearon dentro de una familia con los tipos necesarios modificando sus dimensiones y asignándoles el material Emiliani concreto de alta resistencia. Se crearon los tipos vigas intermedias y vigas de corona. Es prerequisite modelar las columnas para poder conectar las vigas a estos elementos.

### **Figura 36.**

*Vista de vigas estructurales del proyecto*



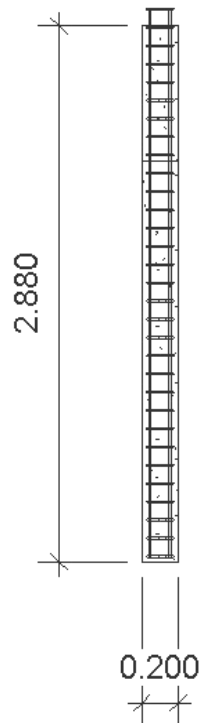
*Nota.* Se muestra armado de vigas estructurales. Elaboración propia, realizado con Revit®.

#### **4.2.9. Columnas**

Para modelar columnas se crearon dentro de una familia los tipos necesarios modificando sus dimensiones y asignándoles el material Emiliani concreto de alta resistencia del mismo modo que se hizo con las vigas estructurales, se crearon dos tipos de columnas con la Marca de tipo C-1 y C-2, las cuales varían en sus dimensiones.

**Figura 37.**

*Vista de columnas estructurales del proyecto*



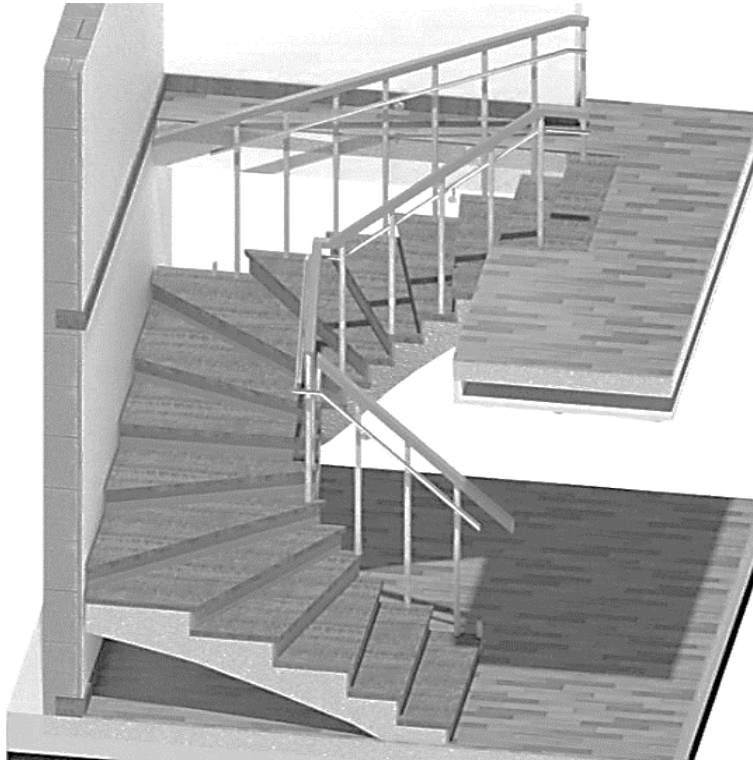
*Nota.* Esquema que muestra una columna armada. Elaboración propia, realizado con Revit®.

**4.2.10. Escaleras**

Autodesk Revit® es un *Software* muy versátil para modelar estos elementos, partir de una escalera predefinida que se utiliza como plantilla, para editar los diferentes parámetros de dimensión en el editor de tipos para lograr las escaleras deseadas, de la misma manera se asignó los materiales correspondientes.

### **Figura 38.**

*Vista de gradas del modelo*



*Nota.* Esquema que muestra las gradas del modelo. Elaboración propia, realizado con Revit®.

### **4.3. Creación de documentación gráfica**

La elaboración rápida y sencilla de la documentación gráfica de un proyecto es uno de los beneficios que aporta el uso de las herramientas de modelado BIM. Estas herramientas BIM proporcionan una reducción considerable del tiempo dedicado a la elaboración de la documentación gráfica y sobre todo de posteriores y numerosas modificaciones que se van realizando hasta la versión definitiva del proyecto.

El modelo del caso práctico desarrollado en este capítulo se ha aprovechado para emplear como ejemplo la construcción de planos arquitectónicos a partir de un único modelo.

Es importante mencionar que los planos extraídos del modelo no corresponden exactamente a planos constructivos de la edificación, ya que no contiene detalles, ni se aportan las tablas de propiedades de los elementos según normativas aplicables. Únicamente se presenta en los planos vistas en planta acompañadas con anotaciones (Cotas) y algunos detalles de secciones. El objetivo de este apartado del trabajo no es obtener unos planos constructivos, sino indicar las pautas básicas para montar planos a partir de un modelo.

Para iniciar con la elaboración de planos, se indica que la plantilla utilizada se tomó la que Revit® pone a disposición del usuario, sin embargo, se ha optado por adaptar la plantilla a los datos del modelo. En el Navegador de Proyectos aparece dentro de la rama de Vistas (todo) la opción Planos (todo). Apretando el botón secundario nos aparece la opción de crear un nuevo plano. Seguidamente nos preguntará por el cuadro de rotulación (Plantilla) deseado, donde tenemos la opción de seleccionar una de las predeterminadas o cargar una plantilla propia.

Posteriormente, la creación de los planos se resume a montar las vistas de planos deseados (tantos las vistas de planta como las vistas de secciones) a la plantilla. Una vez colocados, podremos modificar la posición, incluir imágenes de renders y redactar textos en la misma plantilla.

En este caso, se han levantado cinco vistas con la nomenclatura siguiente:

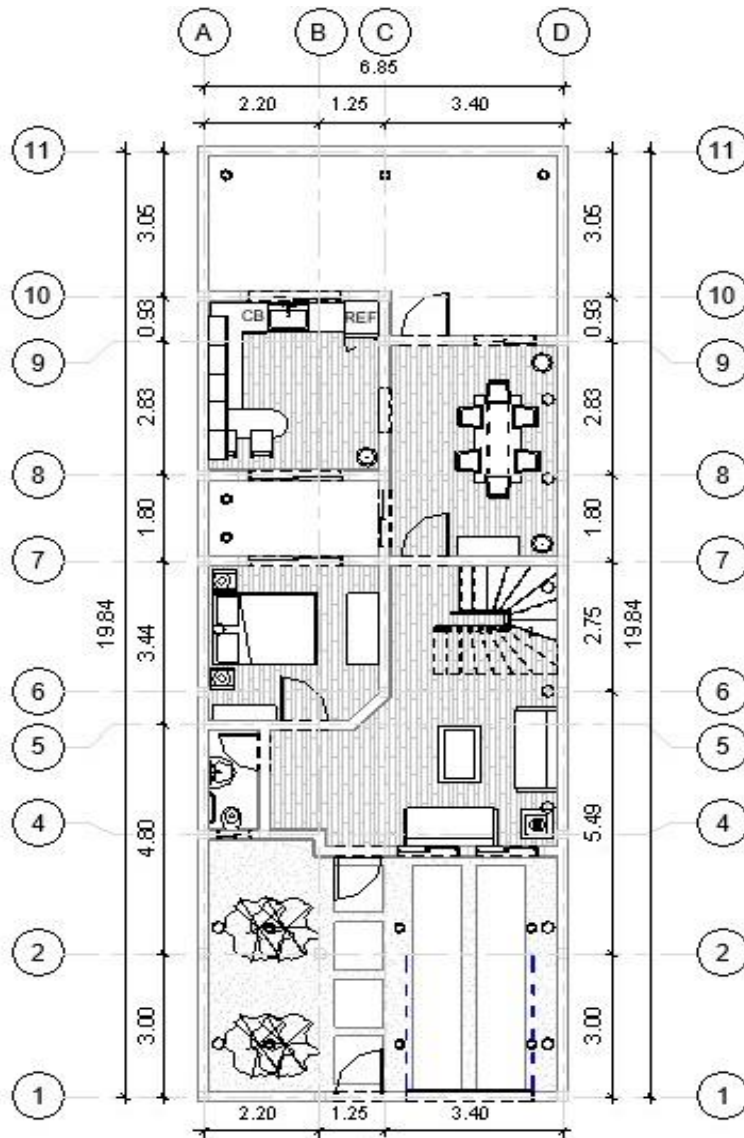
- A001 – planta amueblada A002 – planta acotada, A003 – planta de cimentación, A004 – corte y secciones, A005 – fachadas.

#### **4.3.1. Vistas en planta de cada nivel, cortes y fachadas**

Las vistas o planos que se generan con el uso de la herramienta permiten a los profesionales y a los clientes una mejor visualización de los elementos que componen su proyecto.

**Figura 39.**

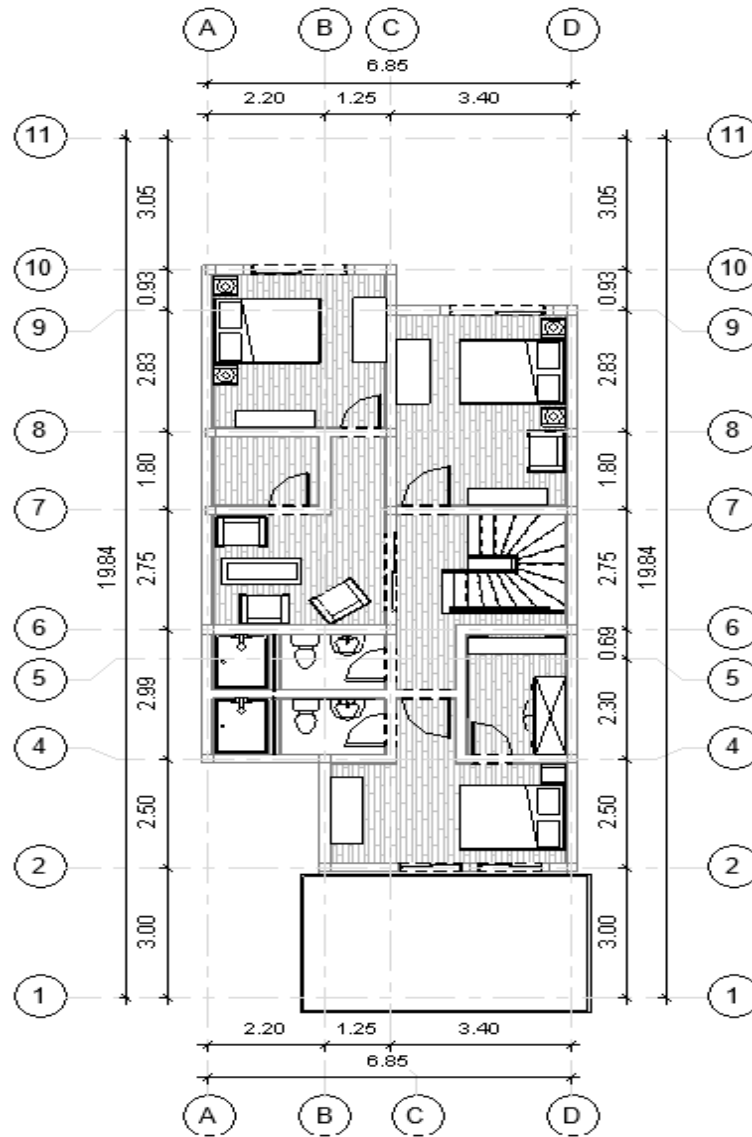
*Planta amueblada primer nivel*



*Nota.* Plano de arquitectura generado del modelo. Elaboración propia, realizado con Revit®.

**Figura 40.**

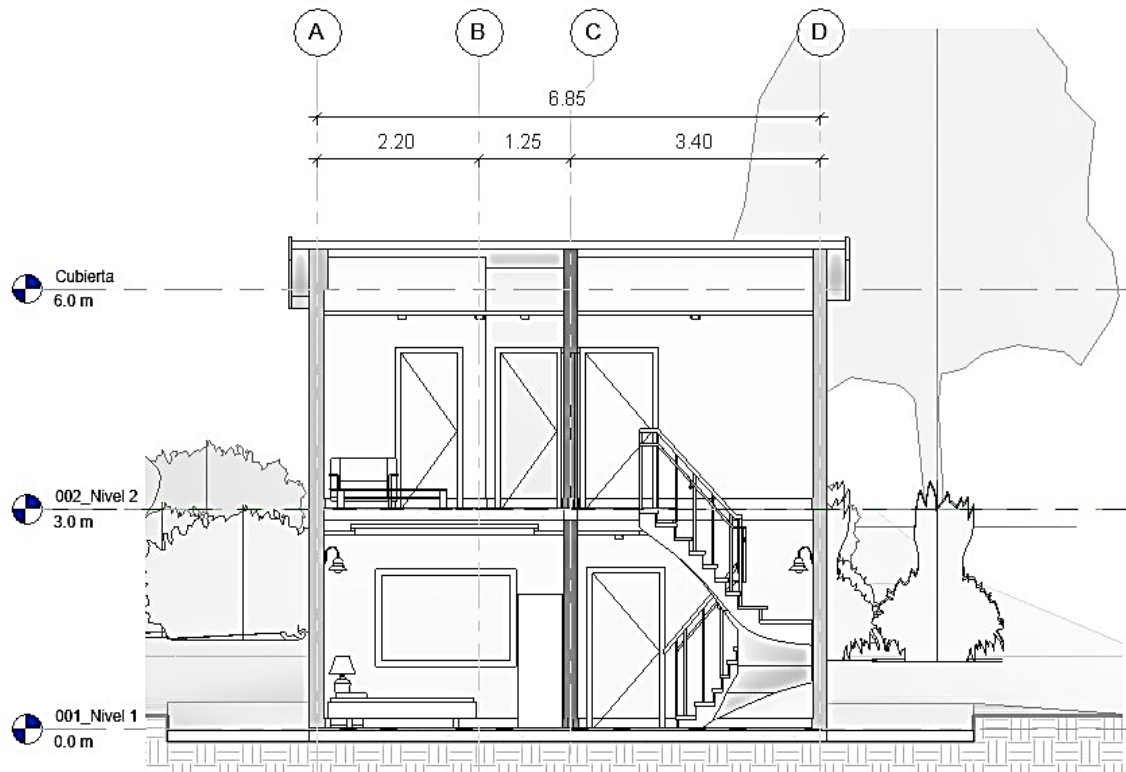
*Planta amueblada segundo nivel*



*Nota.* Plano de arquitectura generado del modelo. Elaboración Propia, realizado con Revit®.

**Figura 41.**

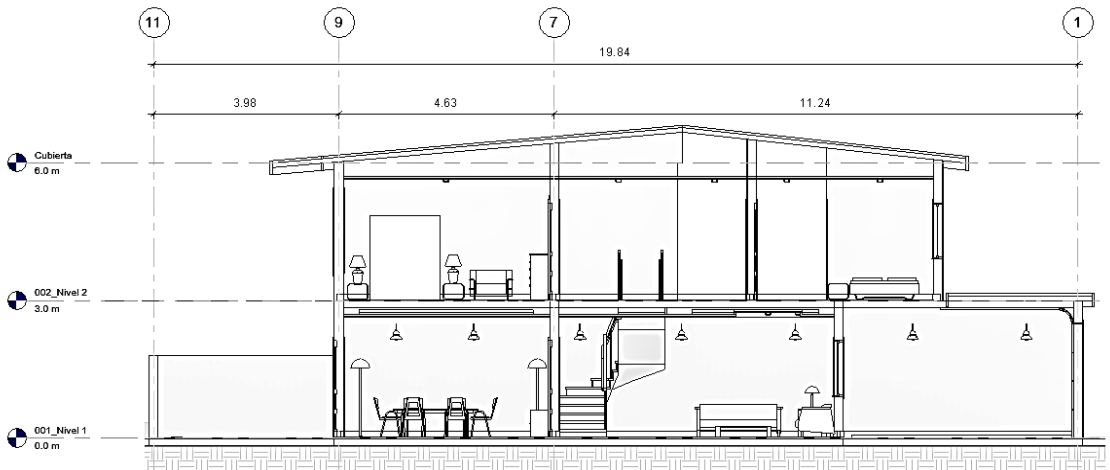
*Corte A001*



*Nota.* Corte arquitectónico del modelo. Elaboración propia, realizado con Revit®.

**Figura 42.**

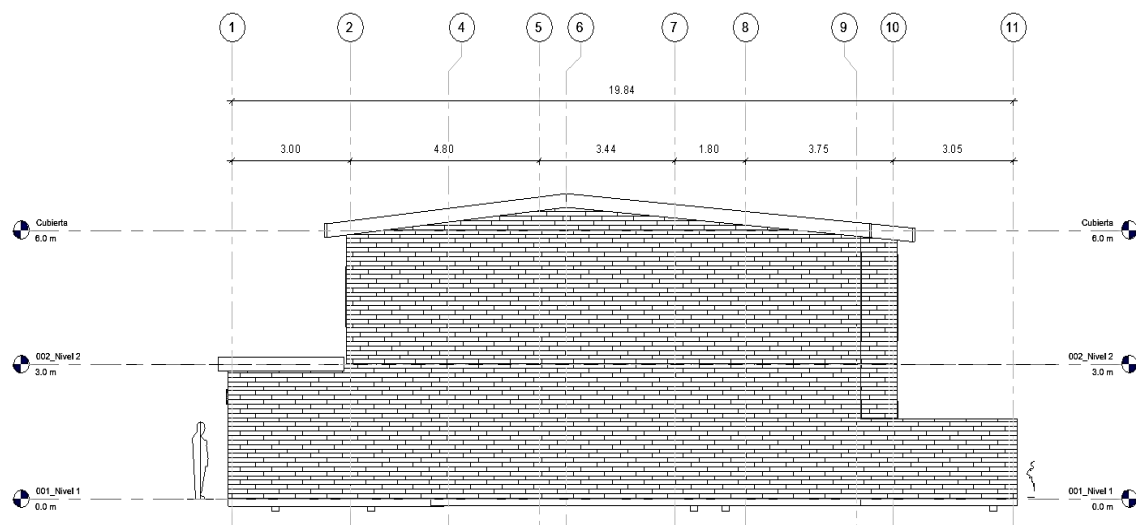
*Corte A002*



*Nota.* Corte arquitectónico del modelo. Elaboración Propia, realizado con Revit®.

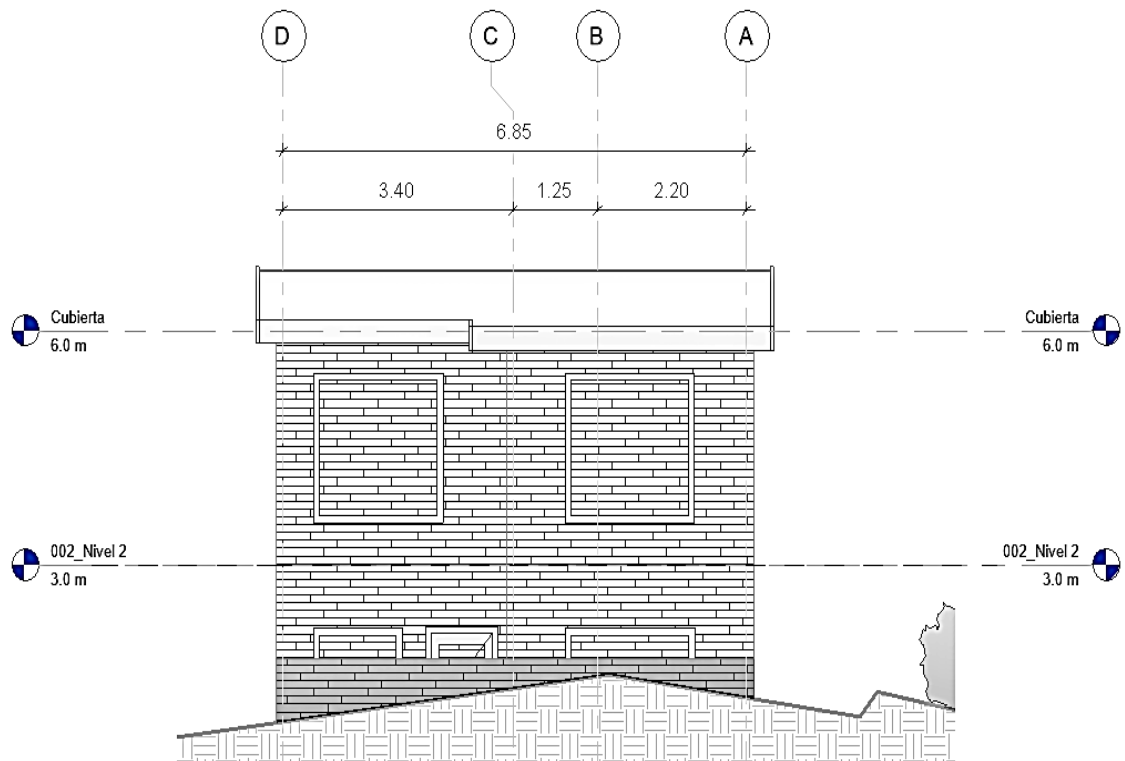
**Figura 43.**

*Fachada este*



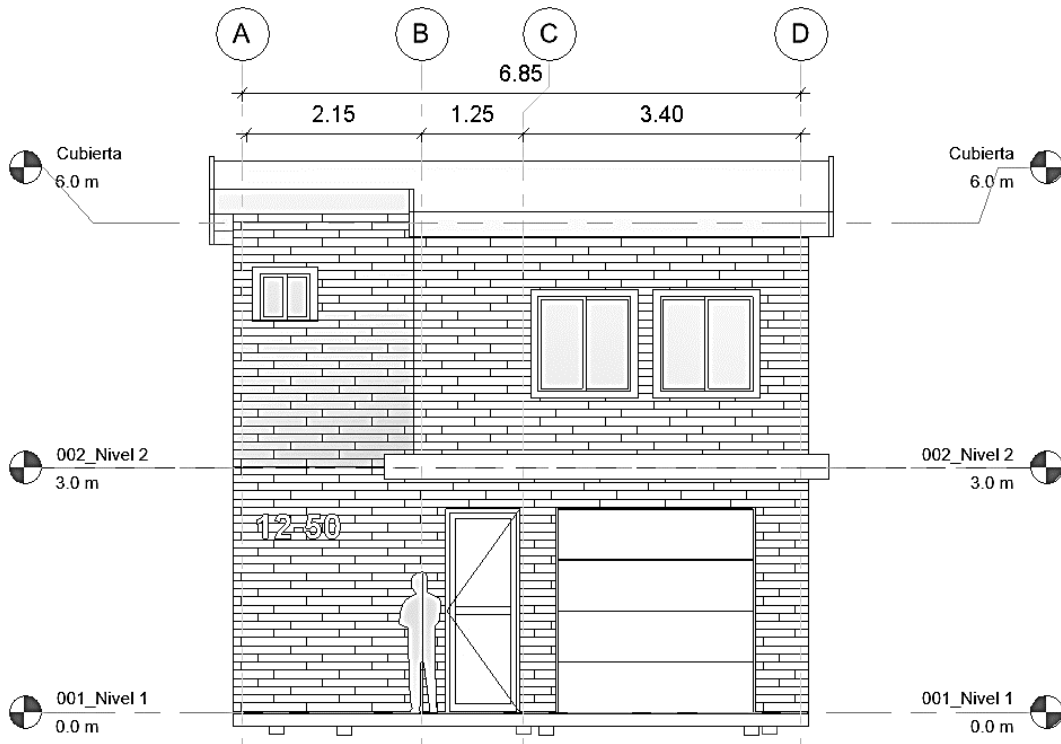
*Nota.* Sección arquitectónica sentido este. Elaboración propia, realizado con Revit®.

**Figura 44.**  
*Fachada norte*



*Nota.* Sección arquitectónica sentido norte. Elaboración propia, realizado con Revit®.

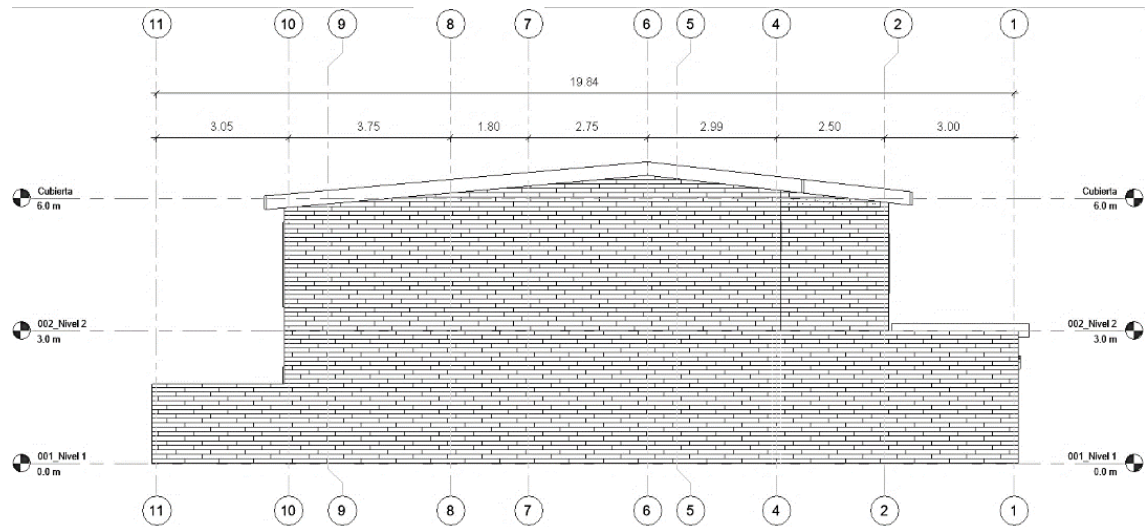
**Figura 45.**  
*Fachada sur*



*Nota.* Sección arquitectónica sentido sur. Elaboración propia, realizado con Revit®.

**Figura 46.**

*Fachada oeste*



*Nota.* Sección arquitectónica sentido oeste. Elaboración propia, realizado con Revit®.



## **5. RESULTADOS OBTENIDOS**

### **5.1. Cuantificación de elementos a partir de un modelo BIM**

Para realizar la cuantificación de cualquier elemento creado en el modelo, los *Softwares* basados en la metodología BIM permiten crear tablas inteligentes con información importante relacionada a cada tipo de objetos. Una de las diferencias entre las metodologías tradicionales y la metodología BIM es la capacidad de insertar información relevante a cada objeto modelado, consiguiendo extraer los datos de forma resumida y a mayor velocidad si se cuenta con un modelo completo.

#### **5.1.1. Cuantificación de cerramientos (paredes de mampostería)**

Para los distintos tipos de muros en el proyecto, inicialmente se contaba con una única familia de muros llamado Muro Básico. De esta forma, el orden, las propiedades y muchas características comunes de las familias se mantienen constantes al momento en que se crean tipos, mientras que otras particularidades, tales como espesor y materiales pueden variar.

En el proyecto se utilizaron muros de mampostería de 20 cm de espesor, muros de mampostería con revestimiento de monocapa con pintura y en algunos casos revestimiento de fachaleta de ladrillo. Con las tablas de cuantificación que se extraen de la herramienta Revit®, se obtiene el área en metros cuadrados por tipo de muro, también el volumen es uno de los parámetros que se le indico a la

herramienta que estimara con el fin de evaluar en sitio la cantidad posible de m<sup>3</sup> de concreto que se podrían utilizar en lugar de mampostería.

Adicionalmente se agregaron los parámetros de recuento, longitud, área, volumen y costo como parte de ejemplificar la diversidad y cantidad de información que se puede extraer a partir de un modelo BIM tal y como se presenta en la siguiente tabla.

**Tabla 3.**

*Resumen de planificación de muros*

<b>Cantidad</b>	<b>Tipo</b>	<b>Área</b>	<b>Costo</b>
10	Muro de concreto con acabado alisado	78	Q 10,560.00
6	Muro de concreto con acabado fachaleta	35	Q 6,225.00
20	Muro de concreto con acabado pintura	164	Q 37,000.00
4	Muro de concreto con acabado alisado y pintura	140	Q 9,600.00
22	Muro lateral para cielo falso	3.2	Q 34,000.00
9	Muro de concreto con acabado de ladrillo y pintura	54	Q 15,850.00
<b>TOTAL</b>		<b>474.2</b>	<b>Q 113,235.00</b>

*Nota.* Resumen de tipos de muros utilizados en el modelo. Elaboración propia, realizado con Excel.

Como se observa, de manera muy ordenada y fácil, podemos llevar un control y cuantificación muy precisa de los muros que se usarán en el proyecto y de sus respectivos tipos, parámetros ya que la herramienta permite realizar cambios en la tablas de planificación para que el usuario visualice la información en la manera que más le conviene, se presenta en la siguiente figura, la información con parámetros diferentes como el material estructural y la longitud

total de paredes es de resaltar que la intención de mostrar más información es para demostrar lo manipulable que son estas tablas.

**Tabla 4.**

*Resumen de cantidad de muros*

<b>Cantidad</b>	<b>Tipo</b>	<b>Longitud</b>
1	Muro de concreto con acabado alisado	56.3
1	Muro de concreto con acabado fachaleta	14.9
1	Muro de concreto con acabado pintura	61.2
1	Muro de concreto con acabado alisado y pintura	50
1	Muro lateral para cielo falso	40.5
	Muro de concreto con acabado de ladrillo y pintura	29
<b>TOTAL</b>		<b>251.9</b>

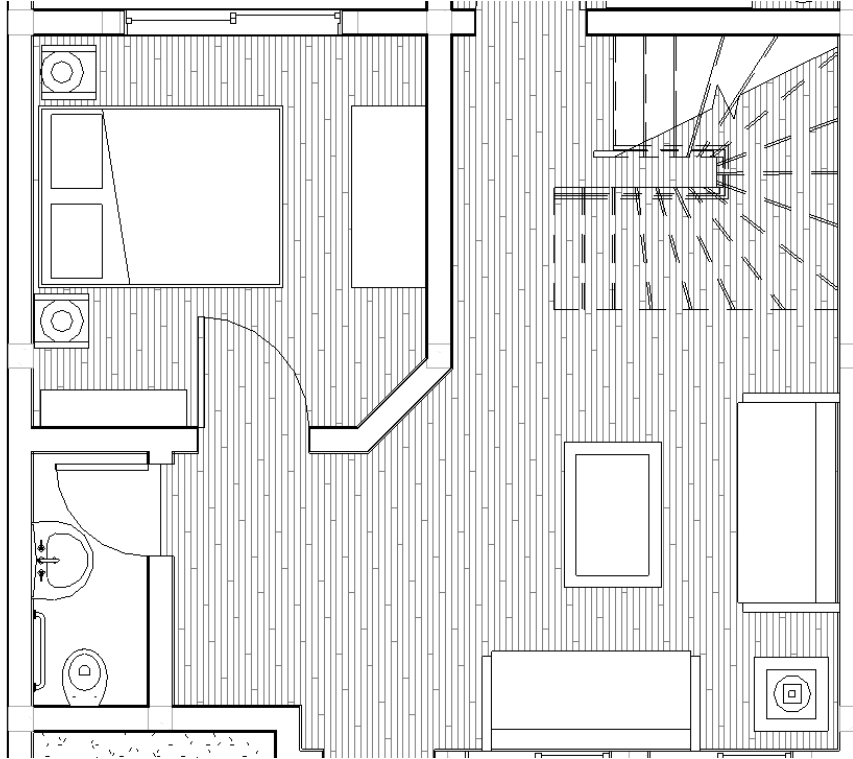
*Nota.* Cantidad de muros utilizados en el modelo. Elaboración propia, realizado con Excel.

- Cuantificación de pisos

La estimación de tipo de acabado arquitectónico de los pisos para el proyecto se realizó de una forma muy similar a la obtención de las cantidades de muros, sin embargo, para los pisos se realizó una diferenciación entre el tipo de piso utilizado en las zonas de proyectos, es decir; madera de ingeniería para habitaciones y áreas sociales, azulejos en baños, concreto pulido para áreas externas.

**Figura 47.**

*Acabados de piso en proyecto*



*Nota.* Esquema que muestra el acabado en piso del modelo. Elaboración propia, realizado con Revit®.

**Tabla 5.**

*Resumen de planificación de pisos arquitectónicos*

<b>Cantidad</b>	<b>Tipo</b>	<b>Área</b>
1	Piso de madera	69
1	piso tipo azulejo	3
1	Piso de madera	67
1	piso tipo azulejo	9
<b>TOTAL</b>		<b>148</b>

*Nota.* Cantidad de pisos arquitectónicos utilizados en el modelo. Elaboración propia, realizado con Excel.

La tabla anterior incluye los parámetros de nivel, recuento, fabricante y área, debe tomarse en cuenta el parámetro de área ya que este se utilizará para cuantificar el suministro de metros cuadrados necesarios de piso arquitectónico para las áreas del proyecto, esta sumatoria automática de totales se realizó con el fin de ejemplificar la capacidad de este tipo de tablas de un modelo BIM.

En la tabla 6 se presenta la misma información de la tabla anterior, sin embargo, se agrega la columna de costo, en donde se le indica a la herramienta que presente el costo total del piso utilizado en el proyecto.

**Tabla 6.***Cantidad de pisos arquitectónicos + costos*

<b>Cantidad</b>	<b>Tipo</b>	<b>Área</b>	<b>Costo</b>
1	Piso de madera	69	Q 34,140.00
1	piso tipo azulejo	3	Q 1,020.00
1	Piso de madera	67	Q 32,700.00
1	piso tipo azulejo	9	Q 2,500.00
<b>TOTAL</b>		<b>148</b>	<b>Q 70,360.00</b>

*Nota.* Cantidad de pisos utilizados en el modelo Elaboración propia, realizado con Excel.

En la tabla anterior, se observa una característica que no se había presentado en las tablas anteriores y es el uso de decimales en la columna de área. Se le indico a la herramienta que presentara dos decimales para verificar que el cálculo del costo total fuera correcto.

- Cuantificación de ventanas y puertas internas

Las ventanas de un proyecto, así como las puertas internas de este, tienen una variabilidad respecto a un elemento a otro. La tarea de cuantificar estos elementos es en muchos casos complejas ya que, en ciertas ocasiones, los detalles de las ventanas y puertas no corresponden a lo propuesto por el arquitecto en las fachadas o simplemente se toma un precio de referencia de algún proyecto anterior sin saber a ciencia cierta la totalidad de los elementos.

**Tabla 7.***Planificación de ventanas*

<b>Cantidad</b>	<b>Tipo</b>	<b>Área</b>	<b>P unitario</b>		<b>Costo</b>	
5	Ventana corrediza de 2 hojas	1.32	Q	1,500.00	Q	9,900.00
2	Ventana corrediza de 2 hojas	0.42	Q	1,500.00	Q	1,260.00
3	Ventana corrediza de 2 hojas	2.16	Q	1,500.00	Q	9,720.00
2	Ventana corrediza de 2 hojas	3.24	Q	1,500.00	Q	9,720.00
<b>TOTAL</b>					<b>Q30,600.00</b>	

*Nota.* Cantidad de ventanas utilizadas en el modelo. Elaboración propia, realizado con Excel.

En la Tabla 5, se presenta toda la información sobre las ventanas a colocar en el proyecto, es importante mencionar las tablas de cuantificación obtenidas a partir de un modelo BIM y en este caso a partir de la herramienta son muy dinámicas en cuanto al uso que el usuario le quiera dar a las tablas, lo cual resulta de gran ayuda para estimar las cantidades y costos, ya que, se tienen formatos y planillas específicas en cada oficina de ingeniería o arquitectura para realizar estimaciones.

**Tabla 8.***Planificación de puertas*

<b>Cantidad</b>	<b>Tipo</b>	<b>Área</b>	<b>P unitario</b>		<b>Costo</b>
1	Portón de madera	6.000	Q	5,000.00	Q 30,000.00
1	Puerta corrediza	2.52	Q	1,000.00	Q 2,520.00
1	Puerta corrediza	3.78	Q	1,000.00	Q 3,780.00
6	Puerta de dormitorio	1.575	Q	1,500.00	Q 14,175.00
6	Puertas abatibles	1.89	Q	1,500.00	Q 17,010.00
1	Puerta de ingreso	2.25	Q	1,500.00	Q 3,375.00
1	Puerta corrediza	3.78	Q	1,000.00	Q 3,780.00
<b>TOTAL</b>					<b>Q 74,640.00</b>

*Nota.* Cantidad de puertas utilizadas en el modelo. Elaboración propia, realizado con Excel.

Para la estimación de las cantidades de puertas del proyecto, así como de sus tipos, metodología a seguir fue la misma que la realizada para la cuantificación de ventanas. Para este caso, los parámetros que se agregaron fueron el tipo, el nivel, altura, espesor y ancho. Estos parámetros corresponden a la información que contiene cada tipo de puerta; se presentan los resultados de manera resumida.

## **5.2. Visualización del proyecto**

Las visualizaciones de un proyecto se utilizan como una herramienta para potenciar la planificación de proyectos identificando posibles colisiones entre elementos, pero además permite utilizarlas como una herramienta de venta hacia los clientes, agregándole valor a las propuestas y teniendo un mejor control de las expectativas de los clientes.

**Figura 48.**

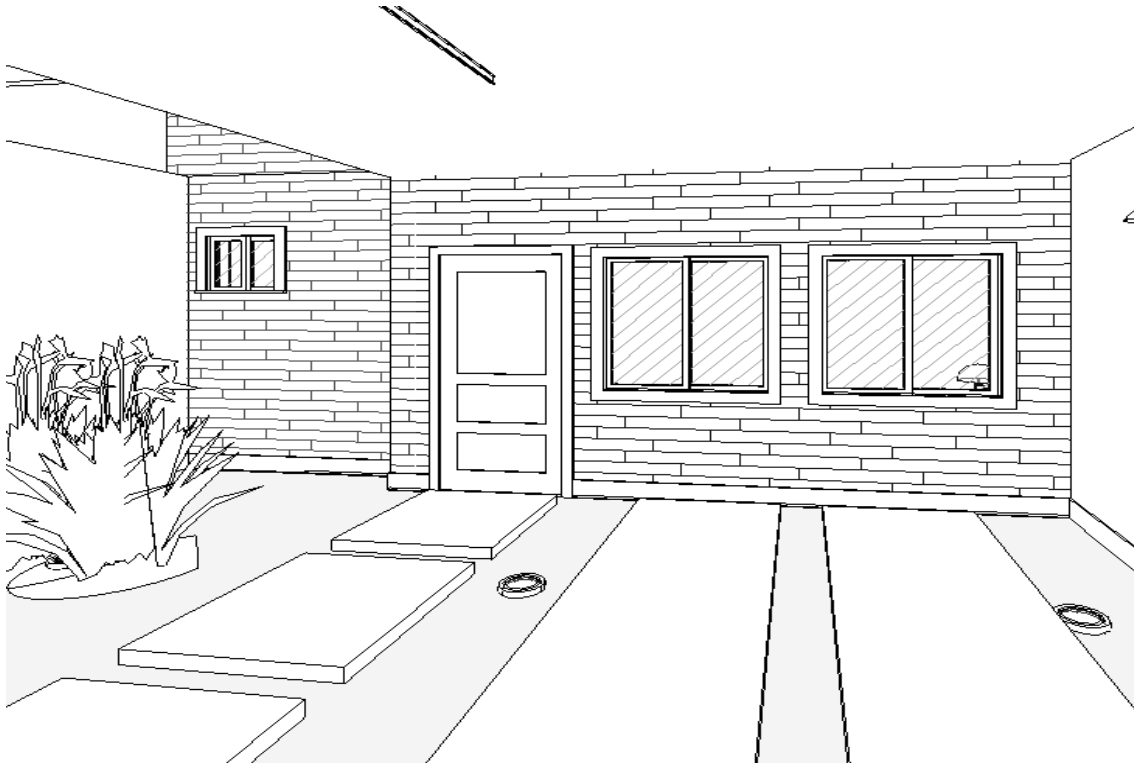
*Vista frontal de proyecto BIM*



*Nota.* Imagen que muestra una vista frontal del modelo. Elaboración propia, realizado con Revit®.

**Figura 49.**

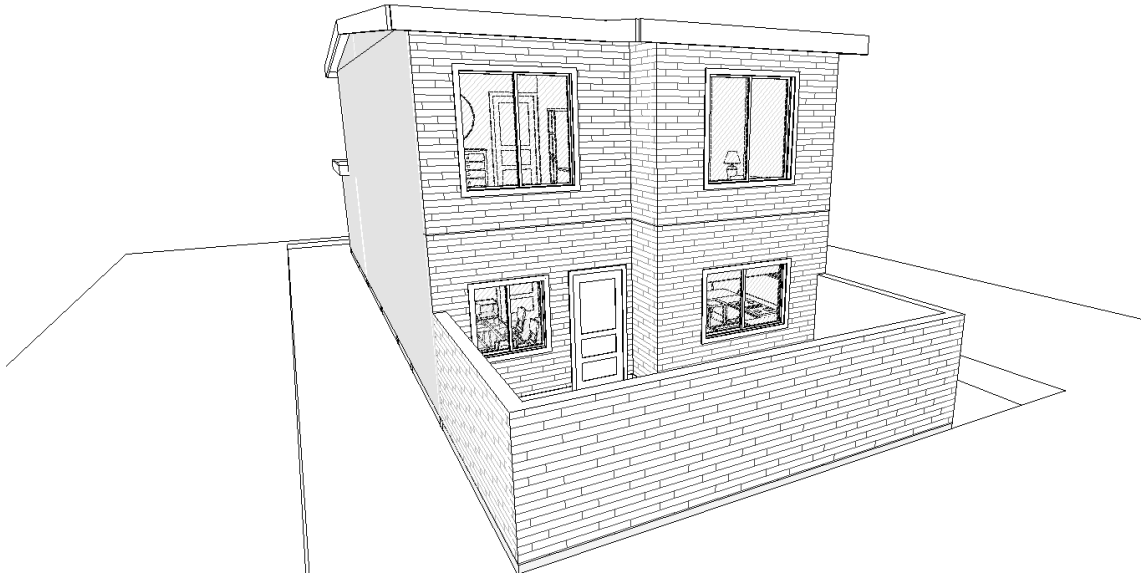
*Vista frontal interior*



*Nota.* Imagen que muestra una vista interna del modelo. Elaboración propia, realizado con Revit®.

**Figura 50.**

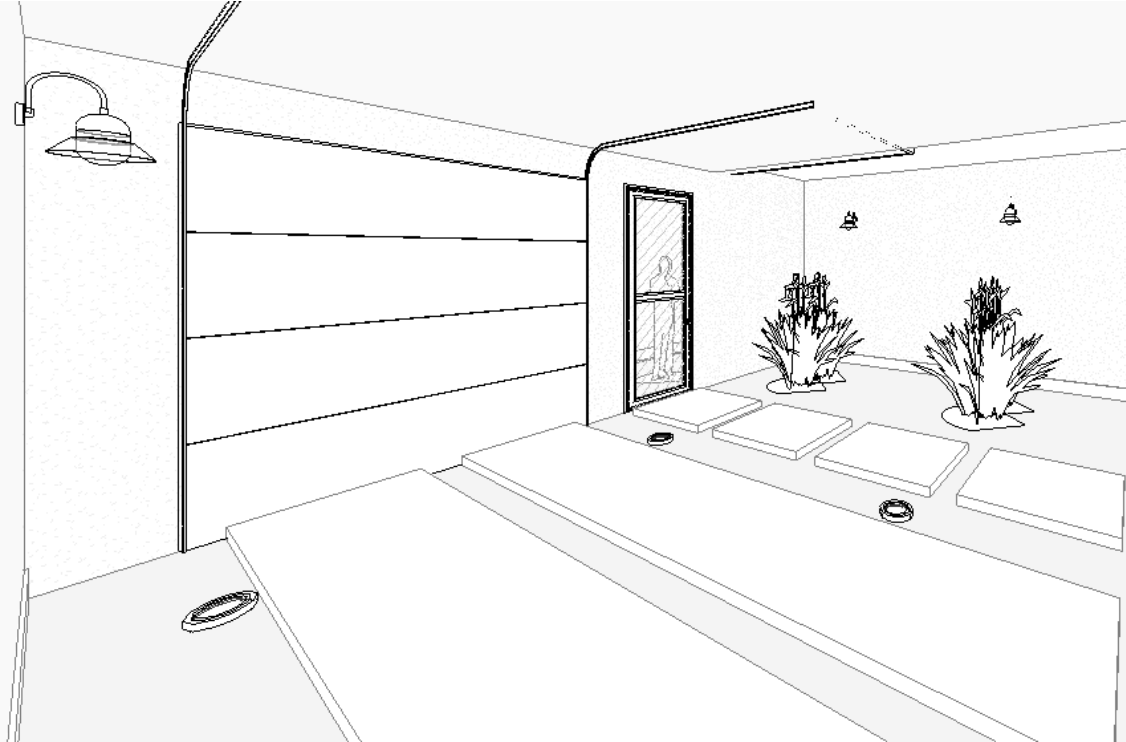
*Vista posterior de proyectos BIM*



*Nota.* Vista posterior del modelo. Elaboración propia, realizado con Revit®.

**Figura 51.**

*Vista de garaje*



*Nota.* Vista interna de estacionamiento. Elaboración propia, realizado con Revit®.

**Figura 52.**

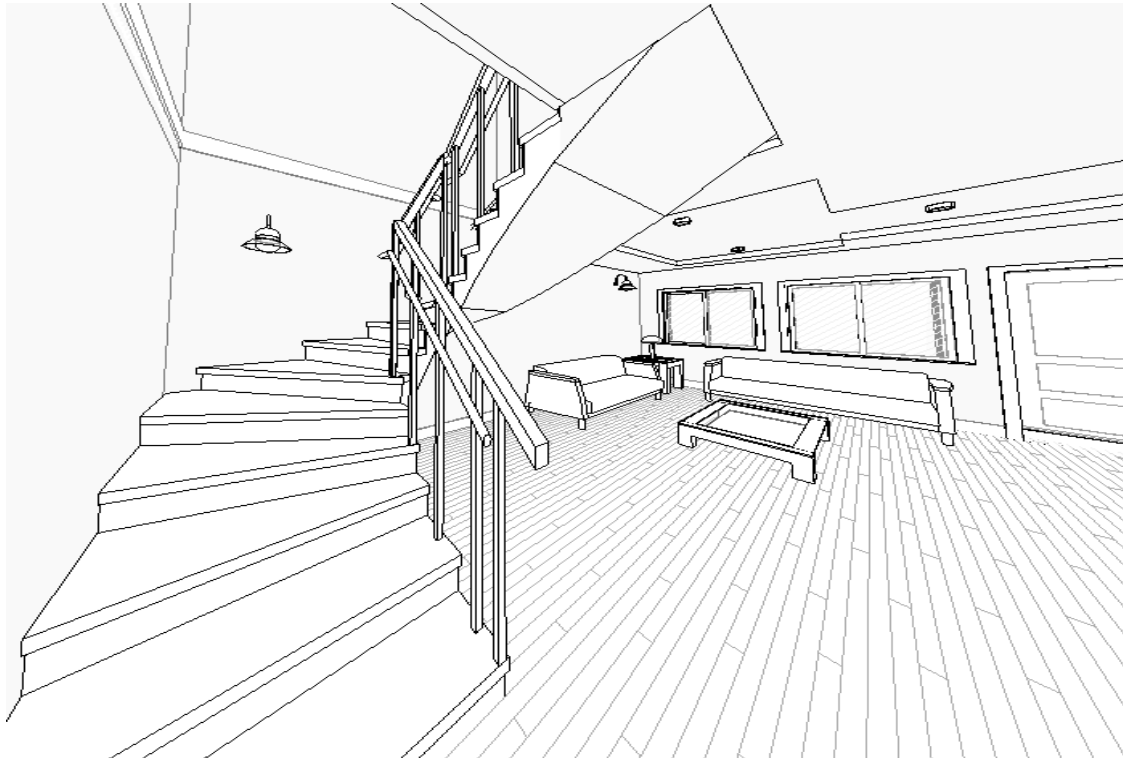
*Vista de sala principal*



*Nota.* Imagen que muestra ambiente de sala del modelo. Elaboración propia, realizado con Revit®.

**Figura 53.**

*Vista de sala principal y gradas*



*Nota.* Imagen que muestra ambiente de sala y gradas del modelo Elaboración propia, realizado con Revit®.

**Figura 54.**

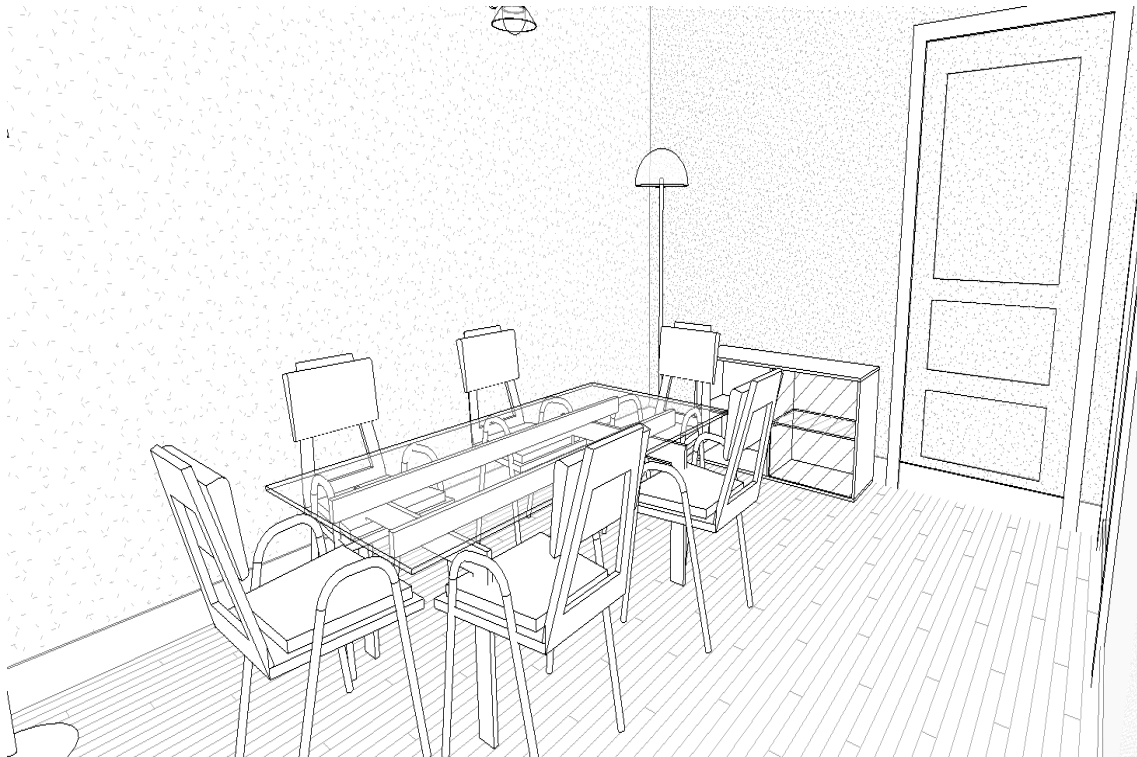
*Vista de cocina*



*Nota.* Imagen que muestra ambiente de sala y gradas del modelo Elaboración propia, realizado con Revit®.

**Figura 55.**

*Vista de comedor*



*Nota.* Imagen que muestra ambiente de comedor de modelo Elaboración propia, realizado con Revit®.

**Figura 56.**

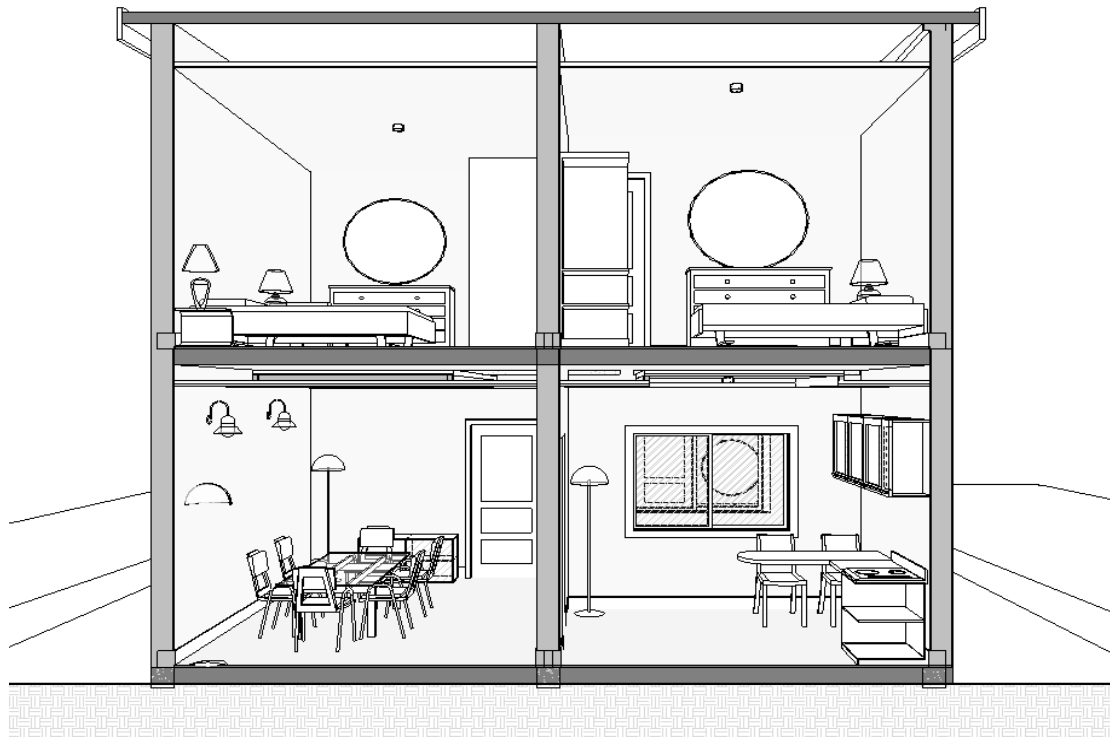
*Vista de dormitorio de servicio*



*Nota.* Imagen que muestra ambiente de dormitorio de servicio del modelo Elaboración propia, realizado con Revit®.

**Figura 57.**

*Vista transversal interna del proyecto*



*Nota.* Imagen que muestra sección transversal del modelo. Elaboración propia, realizado con Revit®.

**Figura 58.**

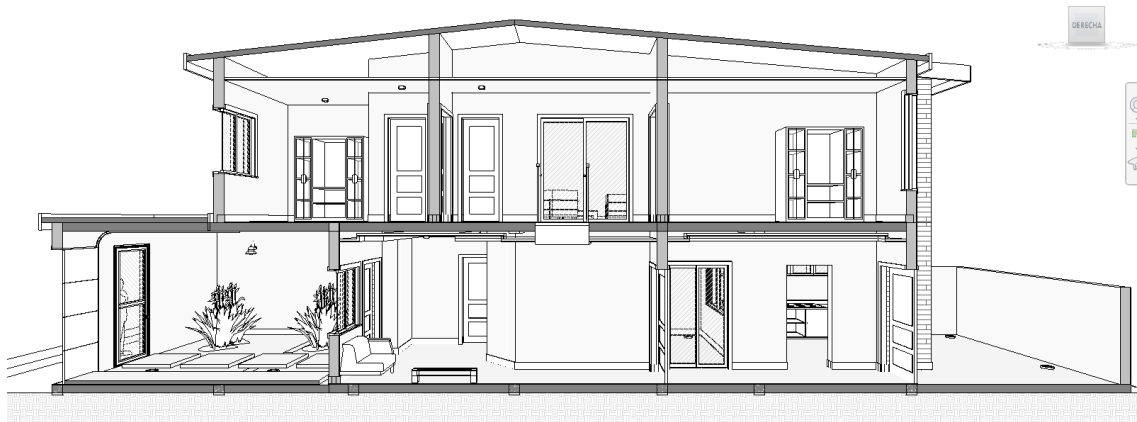
*Vista 2 transversal interna del proyecto*



*Nota.* Imagen que muestra sección transversal del modelo. Elaboración propia, realizado con Revit®.

**Figura 59.**

*Vista longitudinal interna del proyecto*



*Nota.* Imagen que muestra sección longitudinal del modelo. Elaboración propia, realizado con Revit®.

### **5.3. Programación de obra**

El uso de parámetros compartidos debe ser estudiado en las etapas iniciales del proyecto, preferiblemente previo a la fase del modelado; en las primeras reuniones BIM se recomienda definir los parámetros de interés que deberán utilizarse en las tareas de coordinación, cuantificación, simulación y también los tipos de archivo necesarios de acuerdo con los requerimientos del proyecto y el *Software* disponible en las oficinas de las diferentes partes.

En este sentido la metodología BIM y ninguna otra metodología, pueden sustituir el buen criterio del usuario. Es muy poco probable detectar errores donde no se estén buscando, por esta razón es altamente recomendado llevar un control de los objetos modelados, los que han sido programados, y tener siempre muy claro lo que se está revisando en cada iteración de la programación.

La utilización de la metodología BIM resulta de utilidad cuando se requiere pasar de una EDT (estructura de desglose de trabajo) de alto nivel a una que refleje con mayor detalle las interacciones entre las diferentes actividades de la construcción. El nivel de experiencia necesario para realizar una programación de obra disminuye ya que la secuencia de actividades puede ser deducida a partir del modelo 3D y a la vez validada mediante la simulación de la construcción. Sin embargo, los modelos BIM serán utilizables en la medida que sus alcances estén alineados con los objetivos de la implementación de una estrategia BIM en un proyecto determinado.

El entorno de Microsoft Project y un juego de planos pueden no ser suficientes para entender la complejidad de un proyecto que consta de miles de actividades secuenciales y no secuenciales. Con el modelo, por el otro lado, se puede tener una idea muy clara de las precedencias reales, las limitaciones de espacio, entorno e imprevistos que puedan surgir durante la construcción.

#### **5.4. Simulación constructiva de la edificación**

La simulación constructiva de un modelo BIM, permite al propietario o constructor y al equipo de profesionales analizar el progreso de un proyecto a través de la visualización de una serie de actividades secuenciales asociadas a los elementos modelados y a los procesos constructivos durante el periodo de duración del proyecto; el objetivo principal de esta herramienta está orientado a mejorar la gestión del tiempo en el control de los procesos constructivos del proyecto.

La simulación constructiva debe estar respaldada por un cronograma de actividades del proyecto, generando a partir de rendimientos, equipos, restricciones entre otros. En la simulación de este tipo de edificaciones se crea

un vínculo entre los elementos del modelo BIM con el cronograma de actividades de la obra, a partir de ahí, se asignan fechas de inicio y final para cada uno de estos elementos, al realizar esto, se alcanza una secuencia constructiva coherente y se logra anticipar posibles problemas constructivos.

#### **5.4.1. Simulación del proceso constructivo basado en la programación de obra real integrando el modelo de Revit® con el Software Autodesk Navisworks®**

La simulación constructiva del proyecto se realizó utilizando la herramienta Navisworks® 2019. Para llevar a cabo una simulación constructiva a partir de un modelo BIM, debe elaborarse lógicamente el modelo, luego crear un cronograma de labores con la herramienta Microsoft Project, y posteriormente, asignarle a cada actividad del cronograma los elementos correspondientes a partir del modelo BIM para luego introducir la fecha programada de inicio y final, se debe especificar si la obra es a construir, demoler o temporal.

En la siguiente figura se presenta el modelo BIM exportado a la herramienta Navisworks® donde, una vez con el modelo insertado dentro de la herramienta y contando con el cronograma de actividades del proyecto, es posible asignar elementos a las actividades dentro del plan de trabajo.

**Figura 60.**

*Vista del proyecto en herramienta Navisworks®*



*Nota.* Imagen que muestra una vista del modelo dentro de la herramienta Navisworks®  
Elaboración propia, realizado con Revit®.

A continuación, se presenta una sección del programa de trabajo dentro de la interfaz del programa para ejemplificar lo mencionado. En este se presenta una parte del cronograma de labores que muestra las actividades de Fase I Cimentaciones, Fase II Levantados, Fase III Levantados 2do Nivel, Fase IV Levantados Cubierta, Fase VII Acabados.

**Figura 61.**

*Proyecto en herramienta Navisworks®*



*Nota.* Imagen muestra una vista del modelo dentro de la herramienta Navisworks® Elaboración propia, realizado con Navisworks®.

El proceso anterior debe seguirse para realizar la simulación constructiva de todo el proyecto, es decir, deben ir asignándosele a cada actividad, los elementos del modelo, así como fechas de inicio y conclusión de estas. Lo anterior se realizó con el fin únicamente de ejemplificar lo que es una simulación constructiva dentro de un modelo BIM, sin embargo, depende de lo que el usuario requiera y el detalle del cronograma de actividades.

## **5.5. Aportaciones del BIM en la planificación y control de procesos constructivos de una edificación**

De forma general se ha anunciado los múltiples beneficios y facilidades que aporta la metodología BIM a los trabajos dedicados a la planificación y control de procesos constructivos de una edificación, en pocas palabras la utilización de la metodología BIM permite extraer y elaborar una documentación de mayor precisión y valor añadido. Se trabaja con distintas documentaciones gráficas, tablas de planificación, y vistas con todos estos datos contenidos en un solo modelo BIM, reduciendo considerablemente las incongruencias que pudiera existir en los documentos, además se consigue optimizar el tiempo gracias a los múltiples usos del modelo 3D.

El objetivo principal de la aplicación de la metodología BIM es reducir tiempo y costos de operación en las firmas de arquitectura e ingeniería, son muchas las causas por las que la metodología es capaz de disminuir costos, pero lo más importante es la detección de posibles problemas gracias a la simulación del proceso constructivo del proyecto. La simulación de las obras vinculadas a la planificación permite determinar los problemas que puedan darse más adelante en la fase constructiva de la obra.

Esto reduce considerablemente la cantidad de imprevistos que se presentaran durante la ejecución del proyecto, ya que se identificaran en la fase de planificación, esto permitirá que se resuelva a tiempo y sin incurrir en gastos económicos innecesarios durante la ejecución.

La implementación de la metodología BIM va encaminada a las tareas de diseño y de construcción, sin embargo, la metodología BIM tiene mucho más que aportar tanto a las oficinas de arquitectura e ingeniería en general. Actualmente

en Guatemala se puede generalizar, que la implantación del BIM se está desarrollando de manera gradual y lineal principalmente en oficinas de arquitectura e ingeniería, pero cada vez es más común que se solicite implementación BIM en constructoras y oficinas que se dedican a la planificación de proyectos.

Los avances y el desarrollo de múltiples herramientas y *Softwares* harán que los sistemas CAD vayan dando paso a los programas de modelado BIM. Sin embargo, la expansión que poseen los sistemas CAD pone en duda que lleguen a desaparecer en corto plazo de tiempo. Resulta posible que las herramientas CAD recuperen su función esencial de delinear y no la construcción a través de modelos 3D.

## **5.6. Limitaciones**

La implementación BIM, tiene gran cantidad de limitaciones en la propia metodología, las cuales repercuten en el proceso de su implementación ya que significa una desmesurada elevación de costes y pérdida de eficiencia de los equipos técnicos.

La metodología BIM abarca básicamente todos los ámbitos del sector de la construcción por lo tanto deja grandes deficiencias y cuestiones por definir, que se deben tomar en cuenta por los diferentes agentes participantes de un proyecto. De acá nace el principal problema de la metodología, que es la redistribución del esfuerzo entre los agentes involucrados en un proyecto. Sirve de ejemplo la falta de experiencia en el manejo de la metodología BIM, el uso de las herramientas, el cambio a las formas de trabajar, además de la exigencia de los clientes de la utilización de la metodología BIM a las oficinas de arquitectura

y los estudios de diseño por el mismo precio de un proyecto desarrollado con la metodología actual.

La aplicación de la metodología BIM permite reducir los sobrecostos de obra, gracias a poder anticiparnos mediante la construcción virtual a situaciones no previstas en obra. Sin embargo, este ahorro beneficia a los clientes, pero no repercute en los agentes que participan en el diseño y construcción de los proyectos.

Por otro lado, la metodología BIM exige el uso de herramientas y *Softwares*, que en gran parte son de pago, así como el conocimiento de saber cuáles de estas se emplean para el desarrollo de las tareas profesionales que exige la metodología. Todas estas herramientas exigen inversiones importantes en la adquisición de *Softwares* como en la actualización de equipos de cómputo con características técnicas adecuadas para soportar la cantidad de información en los modelos.

La preparación por recibir depende de la disciplina del usuario en cuestión, por un lado, serán los equipos de diseño quienes deberán aprender a modelar, complementar con datos el modelo y extraer toda la información requerida. En el caso del Project Manager (Gerente de construcción), deberá poseer habilidades principalmente con herramientas de visualización de modelos y simulación de procesos constructivos, además debe poseer conocimiento de las diferentes empleadas por el resto de los agentes, así como también dominar la metodología y documentación que requiera la metodología BIM.

La metodología BIM tiene todas las posibilidades para superar al sistema tradicional CAD, sin embargo, es una metodología que está enfocada tanto a las nuevas generaciones de profesionales como también a los actuales grupos

de trabajo. Se puede prever que las nuevas generaciones aportaran un mejor dominio y manejo de los equipos de cómputo, careciendo de experiencia. Será en ese momento que los grupos actuales de trabajo aportaran experiencia propia y permitirán exponer sus metodologías de trabajo funcionales que puedan ser combinadas y mejoradas con el BIM.

### **5.7. Implementación del BIM en el Project Management**

Existe un cambio radical respecto a la metodología tradicional de trabajo ya que ahora el Project Manager (Gerente de construcción) asume como responsabilidad la preparación de las bases de la implementación BIM en el proyecto, basados en el *BIM Executive Plan* (Plan de ejecución BIM) el cual es la pieza clave para el buen desarrollo del Proyecto. Exige entre otras cosas conocimiento y experiencia con herramientas BIM, garantizar la comunicación y ser ejemplo de liderazgo, así como también conocimientos y criterios técnicos.

El mayor papel dentro de la organización y gestión del proyecto es el incremento de las actividades donde participa el *Project Manager* (Gerente de construcción), hace que se busque formar equipos de trabajo complementarios, donde cada uno de ellos domine varios ámbitos de la gestión de obra. La implementación del BIM en proyectos da lugar a gran cantidad de documentación y datos que debe ser ordenada de manera que pueda ser utilizada en fases posteriores del proyecto, tales como la gestión de la explotación y mantenimientos de los proyectos.

## CONCLUSIONES

1. El uso de la metodología BIM permite elaborar una documentación gráfica más precisa y clara de lo diseñado para un proyecto, lo que facilita el desarrollo de los proyectos además de lograr mejores resultados en cuanto a la elaboración de planos y visualizaciones ya que toda esta información se puede extraer de un único modelo tridimensional. Se pudo corroborar que existe mayor facilidad en la realización de cambios al proyecto durante planificación y la ayuda que nos proporciona el modelo tridimensional para visualizar los diferentes elementos del proyecto.
2. La metodología BIM reduce los costos de los proyectos con el uso de las tablas de planificación, con las cuales, se puede obtener tener fácilmente la cuantificación de objetos y materiales con datos exactos tanto en cantidades, metrajes y costos, lo que permitirá mejorar considerablemente el control de costos durante la ejecución del proyecto.
3. La metodología BIM aplicada a la planificación de proyectos de construcción y el uso del modelo de información, permite generar un cronograma de actividades detallado de las diferentes tareas a ejecutar durante la fase de construcción del proyecto, generando así un mayor control en cada una de estas. Logrando que el proyecto evite los reprocesos en cuanto a seguimientos y revisiones de tareas ya planificadas. En el Apéndice 3 se incorpora el cronograma detallado.
4. La detección de posibles problemas gracias a la simulación del proceso constructivo del proyecto permite determinar incompatibilidades

constructivas como también la oportunidad de realizar tareas de manera inmediata y evaluar como impactarían estas en los costes y tiempos de ejecución de los proyectos. La creación de un cronograma de actividades basado en el modelo tridimensional, y en la simulación constructiva permite obtener un cronograma más detallado y real de lo que se espera ocurra en el proyecto.

5. Se puede afirmar de manera muy generalista, que en Guatemala la implementación de la metodología BIM, se está desarrollando de manera gradual principalmente en las firmas de arquitectura, pero que cada vez más las desarrolladoras empiezan a solicitar el uso de la metodología BIM en sus licitaciones. Hoy en día las firmas arquitectónicas parten con ventaja al estar más tecnificadas, implantarán la metodología BIM antes que las empresas constructoras, aunque son estas las que podrían sacar un mayor provecho de la metodología.

## RECOMENDACIONES

1. Definir el tipo de información que se requiere obtener del modelo, al iniciar cada proyecto es de suma importancia para generar los parámetros adecuados en el proceso de modelado. Un modelo creado con los parámetros erróneos es muy difícil de ajustar cuando el proceso se encuentre en una etapa avanzada y representa inversión de tiempo y recursos en corregir errores cuyas soluciones van a afectar el diseño y ejecución del proyecto.
2. Delimitar el nivel de detalle antes de iniciar el proceso de modelado, considerando que información se requiere obtener de él y sobre todo tomar en cuenta el nivel de conocimientos en los *Softwares* de las personas que efectúan el modelado, se recomienda que la delimitación del nivel de detalle del modelo este a cargo del BIM Manager y su equipo.
3. Realizar revisiones analíticas y cuantitativas del modelo con el fin de asegurar la congruencia de este para su uso en programas de análisis estructural, energético, para los proyectos de construcción, en donde parte de los interesados son los contratistas, resultaría interesante establecer un modelo asociado a una metodología BIM como herramienta para la comunicación de información entre varios contratistas.



## REFERENCIAS

- Agusti, S. (2016). *Implementación de metodología Bim en el Project Management*. [Tesis de pregrado, Escola de Camins]. Archivo digital. <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/103199/TFG%20Moria.pdf>
- Banks, J. (2014). La convergencia de 25.000 años de Historia del Arte conduce al BIM. Shoegnome. <http://www.shoegnome.com/2014/05/02/important-bim-diagram-2014/>
- Bouzas, M (20 de octubre de 2023 ) *Abramos la caja de herramientas BIM*. Easybim. <https://manuelbouzas.wordpress.com/2013/05/22/abramos-la-caja-de-herramientas-bim-i/>
- Guía de Usuarios BIM. (2014). *Building Smart Spanish Chapter*. <https://www.BuildingSMART.es/recursos/qu%C3%ADas-ubim/>
- González, L. M. (2015). *Modelado de un edificio habitacional utilizando la herramienta BIM para la cuantificación de elementos de construcción*. [Tesis de pregrado, Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica]. Archivo digital. <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/handle/123456789/2956>
- Journal, A. (1964). CBC: Coordinated Building communication [Comunicación coordinada del edificio]. Architect's Journal.

Mojica, A. Valencia, D. (2012). *Implementación de las metodologías Bim como herramientas para la planificación y control del proceso constructivo de una edificación en Bogotá*. [Tesis de grado, Pontifica universidad Javeriana]. Archivo digital. <https://core.ac.uk/download/pdf/71419247.pdf>

Riera, R. (2017). *Bim A0. Introducción al Bim*. Zigurat.

Universidad Tecnológica de Mexico (2023). Ensayo AutoCAD. <https://www.studocu.com/es-mx/document/universidad-tecnologica-de-mexico/disenio-por-computadora/ensayo-cad-tareas/61138737>

# APÉNDICES

## Apéndice 1.

### Acta de Inicio de Obra

ACTA INICIO DE OBRA	
Proposito del Proyecto	Inicio de proyecto
Objetivos Generales del proyecto	Cumplir con lo presupuestado en el tiempo indicado
Criterios de Exito	Finalizar el proyecto en tiempo y forma.
Requisitos de Alto Nivel	Evitar reprocesos con la utilizacion de la metodologia BIM
Supuestos a Alto Nivel	La constructora a cargo considera personal calificado para el uso de metodologia.
Principales Hitos	1. Evitar reprocesos en fase de planificacion. 2. Integrar a todos los interesados al proyecto. 3. Visualizar posibles colisiones entre elementos antes de iniciar la
Presupuesto de Alto Nivel	El presupuesto en estos momentos se dispone de un rango entre Q450,000.00 a Q550,000.00
Principales Interesados	1. Inversionista 2. Diseñador 3. Constructor 4. Project Manager
Aprobacion para Finalizacion del Proyecto	Para aprobar la finalizacion del proyecto, se procedera con cada uno de los principales interesados a comprobar que la funcionalidad del proyecto
Nombre de Aprobador	Project Manager
Project Manager	Alexander Brenes
Funciones del Project Manager	1. Coordinador de las reuniones de seguimiento semanales 2. Autoriza los gastos conforme el presupuesto (arriba de 15% de variacion debe presentar a Junta Directiva para aprobacion) 3. Actualiza y coordina las actividades conforme la linea base del cronograma (arriba de un 5% de variacion debe presentar a Junta
Limite de Autorizacion del Project Manager	
Costo	Hasta Q 20,000
Tiempo	Hasta el 31 de octubre
Nombre del Inversionista	Juan Manuel Fangio
Puesto en la Empresa	Inversionista
Firma del inversionista	
	Fecha de Firma: 15-ene-2024

*Nota.* Hoja que muestra ejemplo de un acta de inicio de obras. Elaboración propia, realizado con Excel.

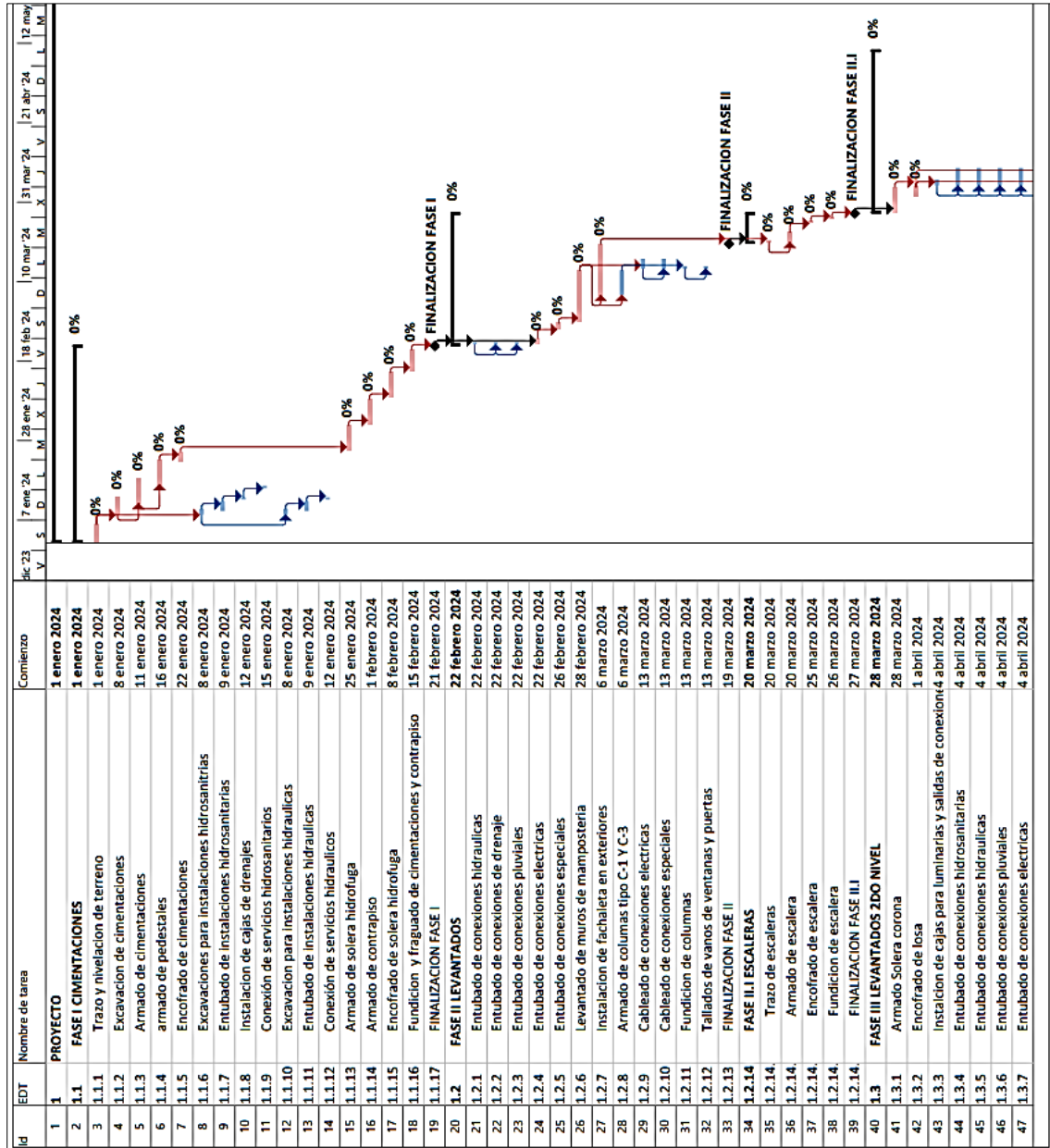
## Apéndice 2.

### Hoja de control de costos

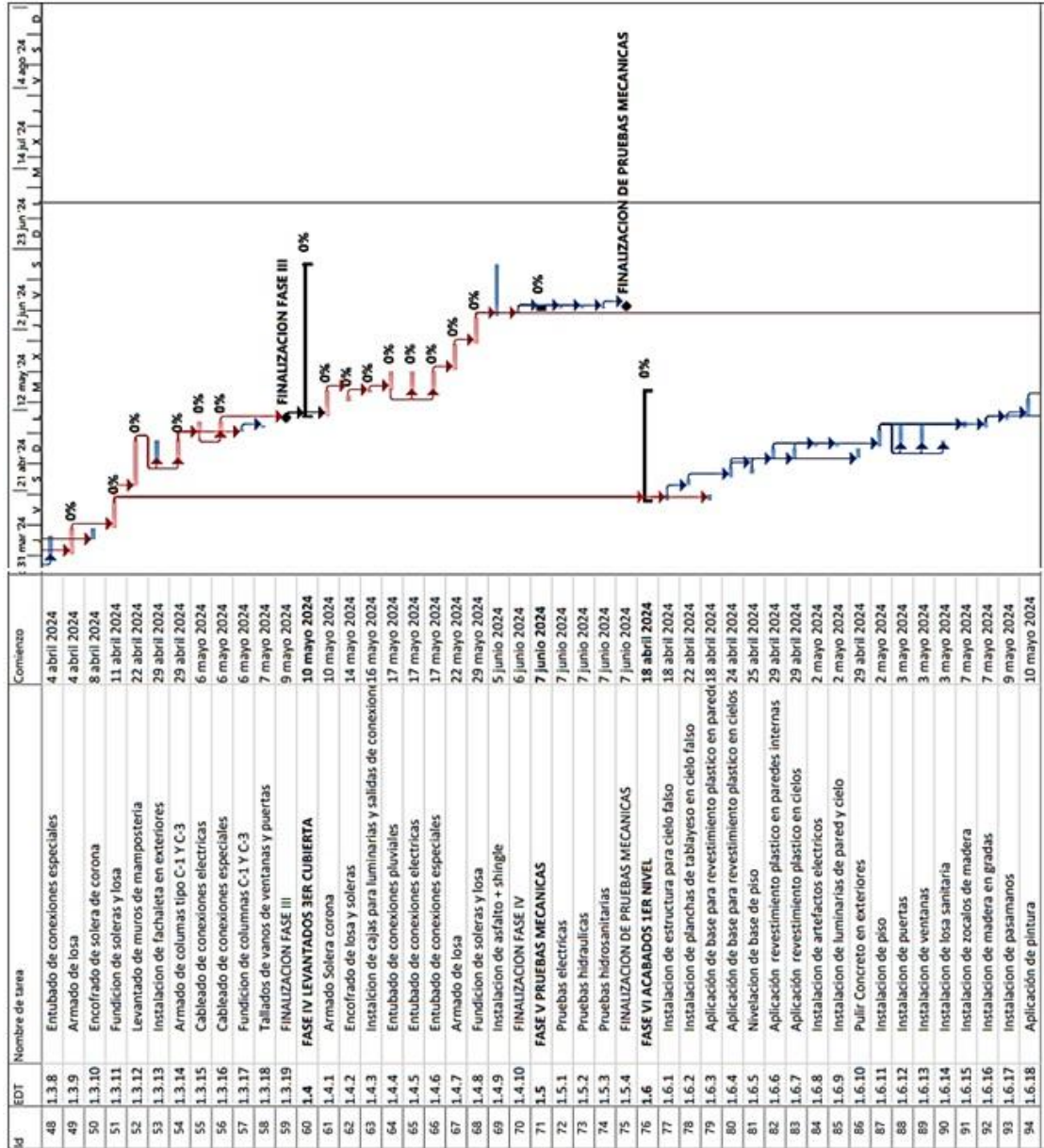
HOJA DE CONTROL DE COSTOS							
Este plan debera ser adaptado a las necesidades de cada proyecto, por lo que es obligacion del Project Manager, actualizar dicho plan y compartir a cada interesado.							
Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	% completado	Costo ofertado	Costo utilizado	Dif
<b>PROYECTO</b>	35 días	1/01/2024	4/07/2024	0%	Q0.00	Q0.00	Q0.00
<b>FASE I CIMENTACIONES</b>	38 días	1/01/2024	21/02/2024	0%	Q0.00	Q0.00	Q0.00
<b>FASE II LEVANTADOS</b>	25 días	22/02/2024	24/03/2024	0%	Q0.00	Q0.00	Q0.00
<b>FASE III LEVANTADOS 2DO NIVEL</b>	31 días	28/03/2024	9/05/2024	0%	Q0.00	Q0.00	Q0.00
<b>FASE IV LEVANTADOS 3ER CUBIERTA</b>	28 días	10/05/2024	18/06/2024	0%	Q0.00	Q0.00	Q0.00
<b>FASE V PRUEBAS MECANICAS</b>	1 dia	7/06/2024	7/06/2024	0%	Q0.00	Q0.00	Q0.00
<b>FASE VI ACABADOS 1ER NIVEL</b>	21 días	18/04/2024	16/05/2024	0%	Q0.00	Q0.00	Q0.00
<b>FASE VII ACABADOS 2DO NIVEL</b>	18 días	5/06/2024	28/06/2024	0%	Q0.00	Q0.00	Q0.00
<b>FASE VIII RETOQUES Y LIMPIEZA</b>	4 días	1/07/2024	4/07/2024	0%	Q0.00	Q0.00	Q0.00

*Nota.* Hoja que muestra el control de costos de un proyecto. Elaboración propia, realizado con Excel.

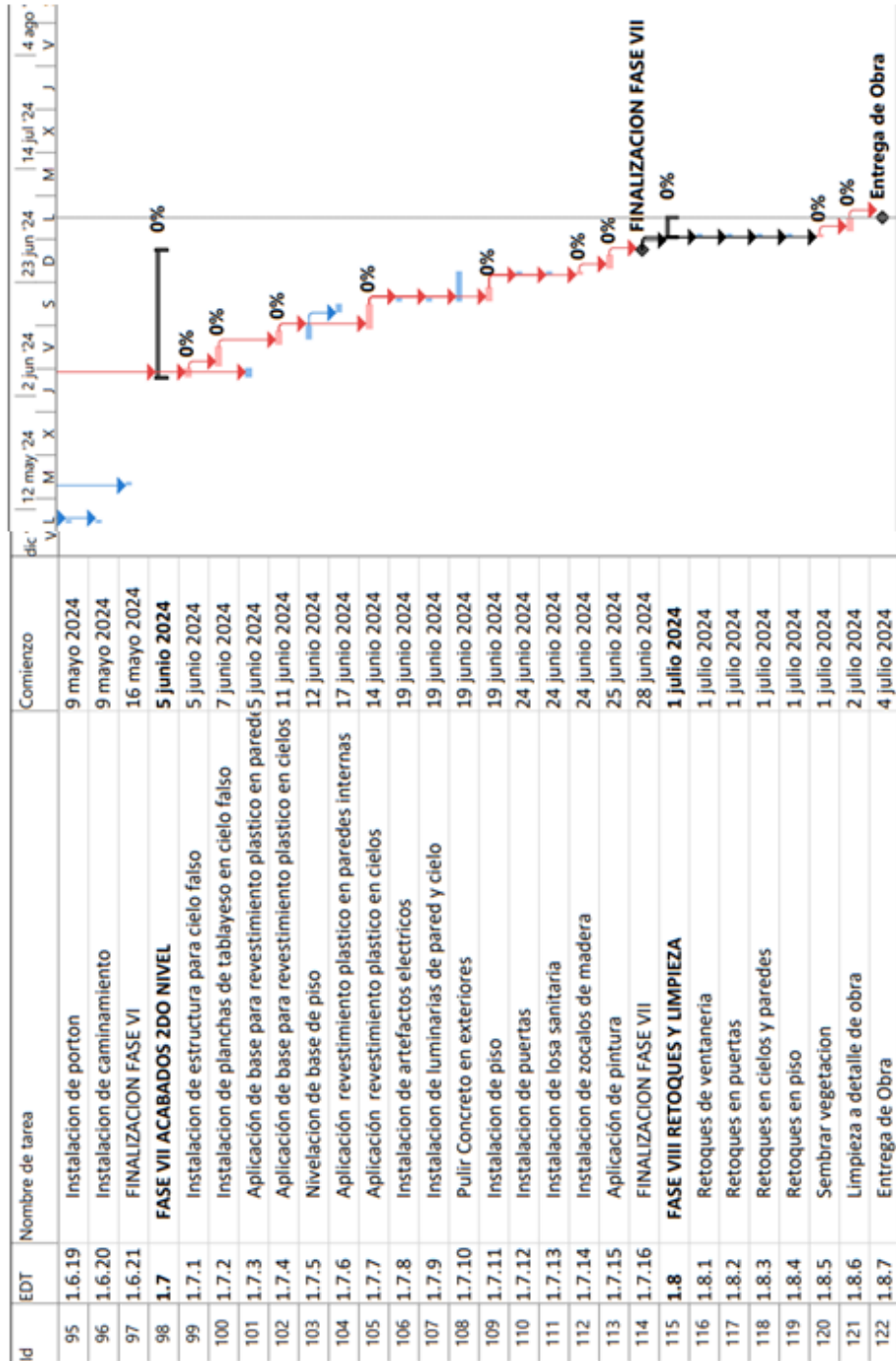
### Apéndice 3. Cronograma detallado



Continuación del apéndice 3.



Continuación del apéndice 3.



Nota. Cronograma que muestra los renglones de trabajo en un proyecto Elaboración propia, realizado con Microsoft Project.