

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



**Implementación de la metodología BIM en la etapa del
control de obra dentro de la fase de ejecución de la Iglesia
Santa María Reina de la Familia, Cayalá**

Trabajo de graduación presentado por Oscar Gabriel García Valladares
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Civil
Industrial

Guatemala

2024

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



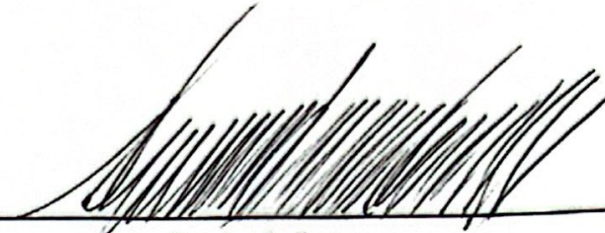
**Implementación de la metodología BIM en la etapa del
control de obra dentro de la fase de ejecución de la Iglesia
Santa María Reina de la Familia, Cayalá**

Trabajo de graduación presentado por Oscar Gabriel García Valladares
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Civil
Industrial


Guatemala

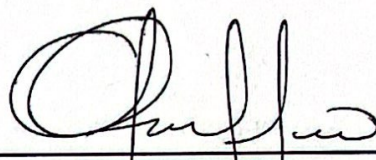
2024

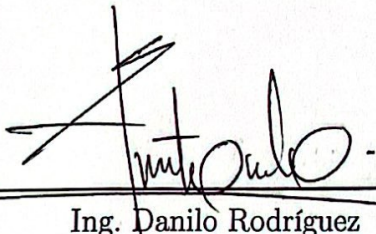
Vo.Bo.:

(f) 
Arq. Sergio de León

Tribunal Examinador:

(f) 
Arq. Sergio de León

(f) 
Ing. Otoniel Echeverría

(f) 
Ing. Danilo Rodríguez

Fecha de aprobación: Guatemala, 4 de enero de 2024.

La muestra perfecta de la complicidad entre una ciencia tan bondadosa como la ingeniería civil y algo tan complejo como la búsqueda del ser humano por encontrar explicaciones sobre lo que trasciende a la vida terrenal se plasma en esta obra llamada Iglesia Santa María Reina de la Familia. Encontrar la sinergia alcanzada por los equipos multidisciplinarios y los elementos que formaron parte de este proyecto resulta complejo; así de complejo es el reto al cual se someten día a día los guatemaltecos que, en búsqueda de nuevas oportunidades, se someten a los altos riesgos que conllevan la construcción, la herrería, la carpintería y demás tareas que en conjunto producen un resultado armónico.

Muchas veces el resultado no refleja el proceso detrás de cada detalle, acabado, imagen, textura, color, armado, instalación, etc. Es aquí donde mi proyecto de graduación busca resaltar y brindar protagonismo a la planificación y control que conlleva una obra de esta magnitud. Coordinar, revisar, corregir y garantizar resulta complejo si en pleno 2023 empleamos técnicas obsoletas en lugar de actualizarlos e incorporar nuevas metodologías que buscan facilitar y eficientizar el trabajo, como BIM. Implementar esas modalidades a métodos convencionales representa un desafío tanto a contratistas como responsables de obra y hasta al mismo cliente; sin embargo, las bondades y las ventajas competitivas que representa dejan a un lado la percepción y el miedo.

Quiero agradecer al protagonista de esta obra (Dios), a los patrocinadores de la mejor beca que he recibido (mis papás), a mis modelos a seguir (mis hermanos), a mis ahora colegas (catedráticos) y a mis medios de distracción (amigos). Cada uno juega un rol específico y determinante en mi caminar, sin su presencia, por más mínima que sea, no sería quien ahora soy.

Quiero hacer un especial agradecimiento y honrar su recuerdo, al Ingeniero Godo, quien estableció esta carrera de la cual hoy me graduó, Ingeniería Civil Industrial de la del Valle.

Índice

Prefacio	III
Lista de figuras	VII
Lista de cuadros	VIII
Resumen	VIII
Abstract	IX
I Introducción	1
II Justificación	2
III Objetivos	3
A Objetivo general	3
B Objetivos específicos	3
IV Marco teórico	4
A Iglesia Santa María Reina de la Familia	4
B ¿Qué es el BIM?	6
C Metodología BIM	7
D Metodología BIM en Guatemala	9
E Ventajas de la metodología BIM	10
F Ventajas de la metodología BIM en Latinoamérica	12
1 Ventajas de la metodología BIM para el propietario	13
2 Ventajas de la metodología BIM para el diseñador	13
3 Ventajas de la metodología BIM para el constructor	14
G Desventajas de la metodología BIM	15
H Roles BIM	16
1 Coordinador BIM	16
2 Modelador BIM	17
3 Gerente BIM	17
4 Ingeniero BIM	17
I Nivel de desarrollo BIM	17
1 LOD 100	18
a Requerimientos LOD 100	18
b Usos LOD 100	19
2 LOD 200	19

	a	Requerimientos LOD 200	20
	b	Usos LOD 200	20
3		LOD 300	21
	a	Requerimientos LOD 300	21
	b	Usos LOD 300	22
4		LOD 350	22
5		LOD 400	22
	a	Requerimientos LOD 400	22
	b	Usos LOD 400	23
6		LOD 500	23
	a	Requerimientos LOD 500	24
	b	Usos LOD 500	25
J		Niveles de información BIM	25
K		Dimensiones BIM	26
	a	1ra dimensión, concepción de la idea del proyecto	26
	b	2da dimensión, plano en dos dimensiones	26
	c	3ra dimensión, modelado en tres dimensiones	27
	d	4ta planificación de recursos - tiempo	29
	e	5ta planificación de recursos - costos	31
	f	6ta sostenibilidad energética	32
	g	7ma mantenimiento	32
L		Project management	33
M		Software	33
	1	Software 4ta dimensión	33
	a	Synchro 4D	33
	b	Navisworks	33
	2	Software 5ta dimensión	34
	a	Cost-It Revit 5D	34
	b	Plexos Project 5D	35
N		CYPE	35
Ñ		CYPE Arquímides	37
	1	Generador de precios	37
O		Earned Value Management	38
P		KPI	39
V		Metodología	44
VI		Resultados	46
VII		Conclusiones	64
VIII		Recomendaciones	66
IX		Referencias	68

Lista de figuras

Figura 1.	Imagen representativa de los países en donde se utiliza la metodología BIM	7
Figura 2.	Representación gráfica de las pérdidas de datos durante el tiempo de vida de un edificio	8
Figura 3.	Beneficios del BIM a corto plazo	11
Figura 4.	Beneficios del BIM a largo plazo	11
Figura 5.	Tipología de Usuario de BIM - País	12
Figura 6.	Intensidad de Usuario de BIM - País	13
Figura 7.	Intensidad de Usuario de BIM - País	14
Figura 8.	Representación gráfica del Nivel de desarrollo según la metodología BIM	18
Figura 9.	Imagen representativa del nivel de desarrollo 100	19
Figura 10.	Imagen representativa del nivel de desarrollo 200	20
Figura 11.	Imagen representativa del nivel de desarrollo 300	21
Figura 12.	Esquema gráfico de niveles de desarrollo LOD 300 y 350.	23
Figura 13.	Imagen representativa del nivel de desarrollo 400	24
Figura 14.	Imagen representativa del nivel de desarrollo 500	25
Figura 15.	7 Dimensiones BIM	27
Figura 16.	Planta arquitectónica de conjunto ISMRF	28
Figura 17.	Modelo 3D ISMRF	29
Figura 18.	Ejemplo Planilla Puertas y Ventanas ISMRF	30
Figura 19.	WBS ISMRF	41
Figura 20.	Resumen de Costos ISMRF	42
Figura 21.	Análisis del Valor Agregado	42
Figura 22.	Establecimiento de KPI para el proyecto	43
Figura 23.	Resumen de costos del proyecto ISMRF	47
Figura 24.	Clasificación por área de proyecto	48
Figura 25.	Segmento del cronograma para la planificación del proyecto	49
Figura 26.	Ejemplo Cronograma a mediados de 2020	50
Figura 27.	Extracto del WBS	50
Figura 28.	Curva S a las 91 semanas	52
Figura 29.	Parte 1 - Cronograma Arquímedes	53
Figura 30.	Parte 2 - Cronograma Arquímedes	54
Figura 31.	Parte 3 - Cronograma Arquímedes	55
Figura 32.	Cuantificación en Arquímedes	56
Figura 33.	Plan de Pagos	58
Figura 34.	Certificaciones	58
Figura 35.	Gráfica EVM	59
Figura 36.	Modelo tridimensional del proyecto ISMRF	61

Figura 37. Ejemplo de los atributos con los que cuenta cada uno de los elementos del modelo BIM	62
Figura 38. Elevación del modelo ISMRF	63
Figura 39. Plano en planta del modelo ISMRF	63

El siguiente trabajo de graduación contempla la implementación de la metodología BIM en la fase de planificación y ejecución del proyecto Santa María Reina de la Familia dentro de las etapas de control y entrega de obra.

Para la correcta implementación de la metodología BIM, en este proyecto, se utilizaron softwares cuyo funcionamiento se homogeniza con los estándares de la metodología BIM (Building Information Modeling) Se utilizó como base el modelo generado en el programa Revit existente del proyecto con el fin de estandarizar el trabajo a ejecutar.

La relevancia de esta obra parte de las dificultades que se suscitaron en su etapa inicial, presentó varios desafíos de carácter estructural, económico, cronológicos e ingenieriles.

Se desglosa el trabajo en tres etapas: planificación, control de obra y entrega de obra. La primera se generó a través de la documentación generada en el anteproyecto; la segunda a través de supervisión de obra y la utilización de los softwares previstos; la última, a través de manuales de entrega de obra gris, acabados, equipos e instalaciones. Esto provee información y documentación de vital importancia para el mantenimiento de la obra, incluso cuando no existan contratistas involucrados.

Palabras clave: BIM (Modelado de Información de la Construcción), Implementación de BIM, Metodología BIM, Gestión de Proyectos, Revit, Control de Obra, Entrega de Proyectos, Planificación de Proyectos, Desarrollo de Proyectos, Supervisión en Obra, Documentación Preliminar, Manuales de Entrega, Dificultades de Planificación, Estructura del Proyecto, Trabajos de Construcción, Instalaciones y Acabados.

This graduation project focuses on the implementation of the BIM methodology in the planning and execution phases of the Santa María Reina de la Familia project, specifically in the work control and project delivery stages. These stages are key components within project management.

For the correct implementation of the BIM methodology, software aligned with BIM (Building Information Modeling) standards was used. The project development was based on the existing Revit model to standardize the workflow.

The significance of this project arises from challenges encountered during its initial planning stage, including structural, economic, time-related, and engineering difficulties.

The project is divided into three stages: planning, work control, and project delivery. Planning is carried out through preliminary documentation, work control through site supervision and software utilization, and project delivery through manuals covering gray work, finishes, equipment, and installations. These manuals provide the client with essential information for maintenance, even in the absence of contractors.

Keywords: BIM (Building Information Modeling), BIM Implementation, BIM Methodology, Project Management, Revit, Work Control, Project Delivery, Project Planning, Project Development, Site Supervision, Preliminary Documentation, Delivery Manuals, Planning Difficulties, Project Structure, Construction Work, Installations and Finishes.

Para este trabajo, se contemplan los principios de la metodología BIM como principal herramienta para el desarrollo de la planificación y control de obra del proyecto Iglesia Santa María Reina de la Familia (proyecto de análisis), ubicada en Ciudad Cayalá, zona 16, Guatemala, Guatemala. Para ello, es necesario obtener toda la información inicial con la que cuenta la empresa gestora del proyecto para su posterior transición a las herramientas de la metodología BIM.

La metodología BIM, según la Universidad Católica de Colombia, eficientiza los procesos relacionados al ciclo de vida de un proyecto gracias a su capacidad de fortalecimiento en la etapa de planificación y la generación de información según el nivel de detalle que se desea alcanzar en el proyecto (Cerón, 2017).

Según enuncia el PMI (Project Management Institute), por el tipo de trabajo de graduación, fue necesario abocarse a una de las ramas de la ingeniería civil conocida como gestión de proyectos con el fin de evaluar la viabilidad en términos de tiempos y costos a través de una correcta planificación. La gestión de proyectos es una disciplina que abarca la organización, la planeación y el control de los recursos con la finalidad de alcanzar los objetivos propuestos dentro de las limitaciones establecidas. Alcance, tiempo, calidad y presupuesto (PMI, 2019).

Según el Project Management Professional, Ingeniero Civil y Director de Proyectos de la empresa PM502, S.A., Saúl Calderón (encargado de la gestión y planificación del proyecto Iglesia Santa María Reina de la Familia), la metodología BIM contribuye a la comunicación y generación de información tanto en el presente como en el futuro del proyecto. Además, es una herramienta de valor que recién se empieza a implementar en Guatemala (Calderón, 2020).

Para el desarrollo del proyecto de análisis se contemplan diversas fases dentro del ciclo de vida de un proyecto, entre ellas la planificación, ejecución, entrega y cierre del mismo; durante la elaboración de esta tesis se enfocarán esfuerzos en las fases de planificación y ejecución (control de obra) de la iglesia.

La planificación y el control de obra fungen un papel indispensable al momento de trabajar un proyecto de esta índole, es por ello que se empleará la metodología BIM mediante la implementación de distintos software que facilitarán el manejo de la información a la ejecución del proyecto de análisis. Esta obra es de gran relevancia para la iglesia católica y la congregación del Opus Dei en Guatemala, debido a su magnitud y complejidad, lo cual convierte en un potencial objeto de estudio para el protocolo de trabajo profesional.

Actualmente en Guatemala la metodología BIM inicia a cobrar fuerza y relevancia, y es por ello que nace la necesidad de crear un ente regulador capaz de introducir la metodología de una forma correcta y eficaz en el país. Cada vez son más las empresas que se suman a esta metodología de trabajo y buscan contratar profesionales cuya formación académica incluya el manejo de estas herramientas (Arévalo, 2019b).

Se utilizará la metodología BIM para generar reportes, estimaciones y simulaciones con base a la información generada en la etapa de ante proyecto y planificación para determinar el cumplimiento de los cronogramas, materiales y costos estipulados. Este tipo de trabajo planificado permite al desarrollador ejecutar sus alcances de una manera eficiente y precisa. Se pretende entregar un Plan de Ejecución BIM al cliente para la posterior implementación para futuros proyectos.

Un correcto control de obra respalda la seguridad del proyecto, evita las correcciones tardías, agiliza los tiempos de entrega, reduce los costos debido a imprevistos y vuelve el proyecto más limpio en su fase de ejecución.

A. Objetivo general

Desarrollar un plan estratégico de ejecución durante la etapa de control de obra del proyecto de análisis a través de la metodología de trabajo BIM y sus múltiples herramientas de desarrollo computacionales.

B. Objetivos específicos

- Identificar los métodos actuales empleados para el desarrollo de las etapas de planificación y ejecución del proyecto de análisis.
- Determinar los alcances del 4D y 5D del modelado BIM aplicado en el proyecto en ejecución Iglesia Santa María Reina de la Familia, ubicado en Ciudad Cayalá, de la ciudad de Guatemala.
- Comparar los resultados obtenidos a través de un método convencional y el modelado BIM en las etapas de planificación y control de obra.
- Descubrir las posibles oportunidades de mejora en el método utilizado actualmente para desarrollar las diferentes etapas de un proyecto en ejecución.
- Definir la documentación y contenidos necesarios para la ejecución del proyecto en tiempo, costo y calidad.

A. Iglesia Santa María Reina de la Familia

La Iglesia Santa María Reina de la Familia es una obra financiada por la ASFEC (Asociación Fomento Educativo y Cultural) a través de su junta directiva, patronato y principales donadores. Esta obra consta de una nave central y dos naves laterales. Fue planificada para ejecutarse en el año 2010, sin embargo, fue hasta el año 2019 que la empresa PM502, S.A. se hizo cargo de ejecutar la planificación y poner en marcha la fase de ejecución del proyecto.

La Iglesia se encuentra ubicada en la Ciudad Cayalá en la zona 16 de la Ciudad de Guatemala y está destinada a ser entregada en el año 2022, sin embargo, se contempla sostener actividades de relevancia para el patronato con anterioridad. La altura de la iglesia será de 42m y con un área aproximada de 4,000 metros cuadrados busca albergar aproximadamente a 850 personas simultáneamente.

Dentro de los principales objetivos trazados por la empresa encargada del desarrollo de este proyecto podemos encontrar,

- Efectuación del presupuesto inicialmente establecido en la fase de planificación del proyecto.
- Cumplimiento y alcance de los índices de satisfacción y calidad del patronato y comité técnico (principales clientes).
- Comunicación activa del equipo de proyecto e interesados para minimizar riesgos e incrementar desempeño.

Según el Arquitecto Pedro Godoy, diseñador del plan maestro de ciudad cayalá y miembro de la empresa diseño urbano, ciudad cayalá se compone de tres principales edificios,

torre mercado, el edificio Azarea al centro (salón comunitario) y la iglesia. Siendo el más importante de estos la iglesia (Pedro Pablo Godoy, 2020).

El proyecto de análisis será la primera iglesia tradicional a realizarse en Guatemala en el siglo XXI, y la primera de este tipo particular en más de dos siglos. El proyecto de análisis se destaca como el edificio público más importante de ciudad Cayalá, lo cual se logra a través de su robusta volumetría, rico tratamiento arquitectónico, profusión de elementos verticales y, muy especialmente, por su ubicación urbana que la convierte en el foco visual para toda la ciudad. La iglesia redefine el perfil de la ciudad de Guatemala y establece la jerarquía de lo sagrado sobre lo secular y de lo público sobre lo privado, dando así continuidad al uso de principios universales que son válidos para todos los hombres y en todos los tiempos (Pedro Pablo Godoy, 2020).

Existen algunos principios de la arquitectura sagrada, según expone el Arquitecto Godoy se dividen de la siguiente manera:

- Verticalidad
- Direccionalidad
- Geometría
- Técnica
- Iconografía
- Presencia urbana

El diseño del proyecto de análisis posee un precedente apalancado en una tradición nacida en antigua Guatemala, bajo la idea que los edificios tradicionales poseen una secuencia en el tiempo y hacen una referencia a otros edificios. Al ser un edificio sagrado, este mantiene una continuidad en el tiempo, desde los principios de la iglesia católica en Guatemala durante la colonización hasta el presente (Pedro Pablo Godoy, 2020).

Otro aspecto a considerar al momento de analizar los precedentes, es el factor económico, y es que, el desembolso realizado para la ejecución de un proyecto de esta magnitud sin duda sienta un precedente en la historia guatemalteca. Si bien el proyecto de análisis es de los pocos edificios sagrados construidos recientemente por la iglesia católica, existen algunos ejemplos de iglesias anteriormente ejecutadas en el país que deberán ser tomados en cuenta.

Iglesia de San Nicolás se encuentra ubicada en Quetzaltenango, y fue destruida en 1902 debido a un terremoto. Debido a la falta de fondos para su reconstrucción fue hasta 1946 que se inauguró un nuevo templo. La mayoría del presupuesto considerado fue donado por personas afines a las creencias religiosas, sin embargo, se estima que su coste aproximado fue de 2,000,000 de quetzales (Molina, 2017).

La catedral metropolitana de Guatemala es sin duda el edificio católico más grande del país, con una edificación que ronda los 50,000 metros cuadrados de construcción sobre un terreno de 2,250 metros cuadrados de área. Para este proyecto fueron invertidos aproximadamente 500,000 pesos españoles de aquella época (Garzaro, 2015).

Ciudad de Dios es un templo evangélico ubicado en carretera al salvador, Ciudad de Guatemala el cual fue construido en el año 2013. El mismo tiene la capacidad de albergar al menos a 10,000 personas al unísono. Esta obra fundamenta un precedente para la obra con fines religiosos más grande y costosa de Guatemala. Se estima que este proyecto llegó a costar aproximadamente 350,000,000 de quetzales (Monzón, 2018).

Iglesia Santa María Reina de la Familia es el nombre que recibe el proyecto el cual inició su etapa de ejecución en el año 2019 y está proyectado a finalizar en Julio 2021. Para la correcta ejecución de este proyecto es necesario un aporte de aproximadamente de 25,000,000 de quetzales.

B. ¿Qué es el BIM?

El "Building Information Modeling." BIM por sus siglas en ingles, es el proceso de generación y gestión de datos del proyecto durante su ciclo de vida utilizando software dinámico de modelado en tres dimensiones y en tiempo real, para disminuir las pérdidas en recursos durante la planificación y ejecución del proyecto. Este proceso produce el modelo de información que abarca la geometría, las relaciones espaciales, la información geográfica, así como las cantidades y las propiedades de los componentes (Calderón, 2020).

Según el "BIM task group" de Reino Unido, BIM se define como la creación de valor a través de la colaboración en todo el ciclo de vida de un activo apoyado en la creación, recopilación y el intercambio de modelos 3D y los datos compartidos, inteligentes, estructurados, y vinculados a ellos (Group, 2014).

Existen dos conceptos ligados a la definición brindada por el "BIM task group", estos son, interoperabilidad e interdisciplinariedad.

Por interoperabilidad se entiende la capacidad que poseen los sistemas de información de compartir datos y posibilitar el intercambio de información y conocimiento entre ellos. La interoperabilidad es la capacidad de comunicación entre distintos sistemas con distintos datos en distintos formatos de modo que la información pueda ser compartida, accesible desde distintos entornos y comprendida por cualquiera de ellos.

Por otro lado, la interdisciplinariedad se define como una combinación de enfoques de distintas Ciencias sobre un mismo objeto, que se inter vinculan de diferentes formas específicas, partiendo de conocimientos y métodos seleccionados en cada una que, manteniendo su lógica científica y características propias, resultan los más adecuados, necesarios y suficientes para resolver problemas cuyo alcance desborda los límites de una rama del saber o campo científico determinado. Esta metodología permite combinar varias disciplinas, para interconectarlas y potenciar así las ventajas de cada una evitando que se desarrollen acciones de forma aislada, minimizando los reprocesos y facilitando la comunicación y coordinación entre especialistas.

BIM supone la evolución de los sistemas de diseño tradicionales basados en el plano, ya que incorpora información geométrica (3D), de tiempos (4D), de costes (5D), ambiental (6D) y de mantenimiento (7D). El uso de BIM va más allá de las fases de diseño, abarcando la ejecución del proyecto y extendiéndose a lo largo del ciclo de vida del edificio, permitiendo

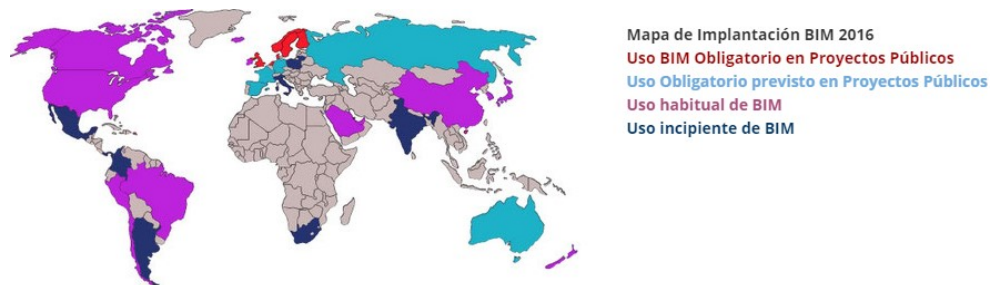
la gestión del mismo y reduciendo los costes de operación(España, 2012).

Es importante entender que BIM es una herramienta fundamental para la planificación de un proyecto y es que, posee una estrecha relación con la gestión de la información y no sólo con el modelado. A pesar de que se confunda BIM como un software en específico, este es un método de trabajo que se define en el contexto de la cultura colaborativa y de la práctica integrada, y supone una profunda transformación que afecta a todos los procesos de diseño, constructivos y de gestión de activos (INGENIERÍA, 2015).

Partiendo de la premisa anteriormente establecida, se afirma que la información que se aporta al modelo BIM proviene de distintos tipos de software, programas de modelado, cálculo estructural, MEP, software de presupuestos, análisis de comportamiento energético, diseño arquitectónico, entre otros. El conocimiento de todas estas herramientas es fundamental para la correcta implantación del BIM.

Actualmente este modelo de trabajo no es de uso obligatorio en la mayoría de países en el mundo, y en los cuales si lo es, se utiliza de manera híbrida entre obras del sector privado y el sector público, como se puede mostrar en la siguiente imagen.

Figura 1: Imagen representativa de los países en donde se utiliza la metodología BIM



Nota. Adaptada de *Building SMART*, (2012).

C. Metodología BIM

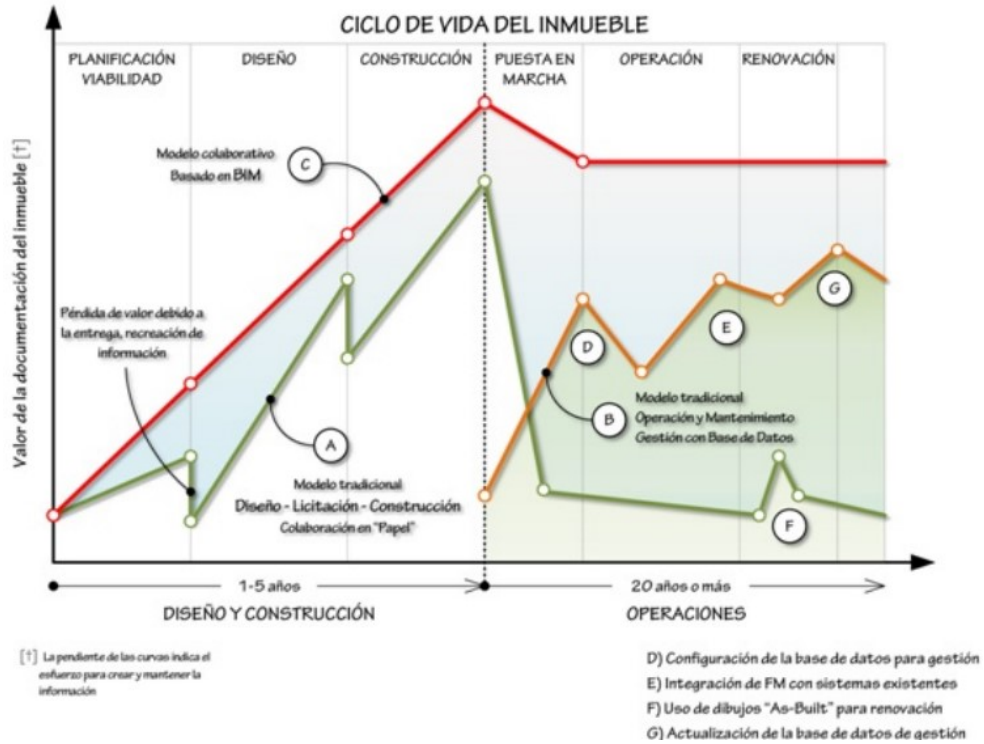
Una definición acertada de lo que es la metodología BIM es el conjunto de metodologías de trabajo y herramientas caracterizadas por el uso de información de forma coordinada, coherente, computable y continua; empleando uno o más modelos compatibles que contengan toda la información en lo referente al edificio que se pretende diseñar, construir u operar (Choclán F, 2014).

BIM es un nuevo acercamiento al diseño, construcción y gestión de los edificios. Se trata de una metodología que ya ha comenzado a cambiar la manera en la que se ven los edificios, cómo estos funcionan y la manera en la que los mismos se construyen. La adopción de una metodología BIM y el uso de modelos digitales integrados durante todo el ciclo de vida de un proyecto supone un paso en la buena dirección para la eliminación de costos resultantes de una incorrecta etapa de planificación de un proyecto (Choclán F, 2014).

La finalidad de la metodología BIM es evitar la pérdida de valor de la información a lo largo del ciclo de vida del proyecto con el método tradicional existente, y que obliga a

un mayor esfuerzo de producción de información en las distintas fases del proyecto. Este resultado de aplicación de la metodología BIM en el valor de la información se puede ver de manera clara en la figura 2.

Figura 2: Representación gráfica de las pérdidas de datos durante el tiempo de vida de un edificio



Nota. Adaptada de *EASTMAN, C., (2011)*.

La metodología BIM centraliza toda la información del proyecto en un único modelo de información creado por todos los agentes participantes. Incluso puede incluir los productos necesarios para materializar la obra, incorporando al modelo sus características, costo e información de contacto para comprarlos. Esto supone una evolución respecto a los sistemas de diseño tradicionales basados en un plano, ya que incorpora, además información geométrica, datos sobre tiempos, costes, impacto ambiental y mantenimiento (Barbieri, 2020).

Los proyectos cada vez son más complejos y requieren de un mayor número de recursos y de agentes involucrados. Incluso cuando se habla de proyectos que se realizan en cualquier lugar del mundo y la geolocalización no siempre resulta posible. Las técnicas tradicionales ya no son aptas para gestionar este tipo de proyectos, por las deficiencias que presentan en las fases de los proyectos complejos. Estas técnicas muestran una pobre colaboración desde la etapa de diseño. Empleando la metodología BIM, se logra detectar errores en las etapas posteriores, que en la mayor parte de los casos vienen causadas por faltas en la documentación distribuida y deficiencias en la comunicación (Choclán F, 2014).

La metodología BIM es rentable para proyectos complejos y de gran magnitud. No obstante se consigue aumentar la calidad en cualquier tipo de proyecto, como valor añadido de gestión. Su costo de implementación traducido en recursos económicos, cronológicos y tecnológicos resulta en que sea una metodología empleada en proyectos de menor envergadura,

por ejemplo la construcción de una casa particular, una pequeña obra hidro sanitaria, entre otras.

El desarrollo de la metodología BIM ha revolucionado el mundo de la edificación. Sin embargo, las infraestructuras han tardado más en adoptar estos estándares. Por un lado, debido a la falta de madurez del software y, por otro lado, debido a la falta de normativa al respecto. Durante la última década, la metodología BIM se ha implantado de forma progresiva en diferentes países, siendo para algunos de ellos objetivo prioritario de sus administraciones públicas, las cuales han impuesto o valorado su uso en obra pública(David, 2020).

D. Metodología BIM en Guatemala

Guatemala se encuentra comenzando el camino hacia la aplicación generalizada del modelaje digital de proyectos bajo la metodología Building Information Modeling (BIM), y esto ha despertado el interés de todas las especialidades involucradas en el desarrollo de un proyecto constructivo(Arévalo, 2019a).

El Building Information Modeling (BIM), ha cobrado fuerza y relevancia en el país con su utilización en la planificación, diseño y construcción de diferentes proyectos inmobiliarios, sin embargo según expertos todavía queda mucho camino que recorrer, ya que existen muchas especialidades que no se han logrado integrar a esta nueva forma de trabajo.BIM no es únicamente la maquetación del proyecto en tercera dimensión, sino que incluye una serie de procesos más que dan mayor certeza al proyecto, ahorro de recursos, correcciones previas de inconsistencias y tiempos menores en obra(Arévalo, 2019b).

Según el Arq. Alejandro Monterroso (Director de la empresa Danta Arquitectura y miembro fundador de la asociación guatemalteca de estándares BIM) "la metodología BIM es algo que no es el futuro, es algo que ya está sucediendo, que ya se está utilizando en proyectos en Guatemala.Además resaltó que BIM no es la utilización de un software de diseño en específico, sino que se trata de una metodología de trabajo integral (Arévalo, 2019a).

El Arq. Monterroso menciona que la metodología BIM es utilizada a nivel internacional como una estrategia de país, gobierno e industria como un propulsor de de crecimiento económico. Guatemala no es la excepción, en donde el sector privado ha logrado permear en el desarrollo de un creciente número de proyectos durante años recientes. Explicó que la mayoría de especialidades que han trabajado junto a ellos en varios proyectos aplican esta metodología en cierto grado, por lo que ya se está avanzando paulatinamente.

En una entrevista al director de nuevos negocios de la empresa Qualicons, Vicente Jo, este mencionó que entre los beneficios que identificó como constructor,destaca el lograr mejores eficiencias en el trabajo que realizan evitando contratiempos, logrando ahorros y sobre todo garantizar un mejor control sobre el proyecto. "Estamos en el proceso de implementación de la metodología BIM y nos interesa que nuestros clientes incursionen en esta también, por ello impulsamos temas educativos como estos"

E. Ventajas de la metodología BIM

La implementación de la metodología BIM en los proyectos constructivos representa un reto tanto a nivel planeación como ejecución, sin embargo, esta aporta múltiples beneficios, especialmente en el ámbito de la productividad. BIM facilita la creación de visualizaciones, secciones y alzados libremente y ayuda a incorporar esta información más adelante en el proceso de construcción y de mantenimiento de las edificaciones, infraestructuras e instalaciones (Reche, 2020).

- Mejora la gestión de de datos e información compleja de los proyectos.
- Facilita la comunicación entre las partes, optimizando los flujos de trabajo.
- Permite prever y solucionar problemas constructivos de manera anticipada.
- Optimiza costos y tiempos de obra.
- Permite simular medidas de seguridad y mejora la prevención de riesgos.
- Facilita el uso de materiales constructivos prefabricados.
- Permite desarrollar obras más eficientes y sustentables.
- Las plataformas BIM actualizan automáticamente la información que es editada en cualquier parte del modelo. Esto quiere decir que si un elemento es modificado en una planta, se modifica automáticamente en las secciones, alzados y vistas 3D, igual que si se modifica una característica en un listado, cambia automáticamente en todo el proyecto.
- Al trabajar todos los agentes sobre un único modelo, no se pierde información debido a la descoordinación entre versiones que manejan los distintos profesionales.
- Al establecer este método de trabajo en paralelo, todos los agentes pueden plantear desde el principio las opciones que consideren más convenientes para el proyecto, implicando directamente a toda la organización. El proyecto se desarrolla en tiempo real de forma coordinada en un entorno colaborativo, siempre velando por los intereses del cliente y del proyecto.
- El BIM permite disponer en todo momento de cualquier información que se requiera, tanto de de diseño como técnica, de costes, plazos de ejecución, mantenimiento, entre otros. También permite hacer modificaciones en tiempo real que actualizarán automáticamente todos estos parámetros, aumentando el grado de personalización y adecuación del proyecto a las necesidades del cliente.

En el informe de 2012 (McGraw Hill, 2012) las ventajas o beneficios del BIM se clasifican en beneficios a corto o largo plazo. Como es lógico, entre 2009 y 2012 fundamentalmente se ha percibido un incremento de satisfacción en los beneficios a largo plazo (figuras 3 y 4).

Como se puede observar en la imagen 3, la implementación de la metodología BIM a un corto plazo en el mercado de la construcción supone una diferencia mínima en la

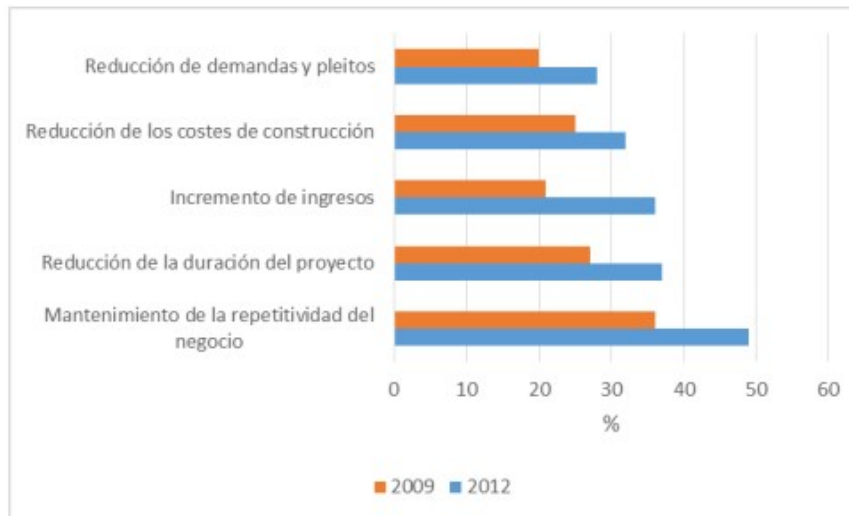
percepción de los beneficios. Esto debido a que las empresas están acostumbradas a una metodología tradicional y conservadora lo cual reduce las ventajas comparativas entre ambas metodologías y supone una menor cantidad de personas dispuestas a migrar entre una u otra opción.

Figura 3: *Beneficios del BIM a corto plazo*



Nota. Adaptada de *McGraw Hill, (2012)*.

Figura 4: *Beneficios del BIM a largo plazo*



Nota. Adaptada de *McGraw Hill, (2012)*.

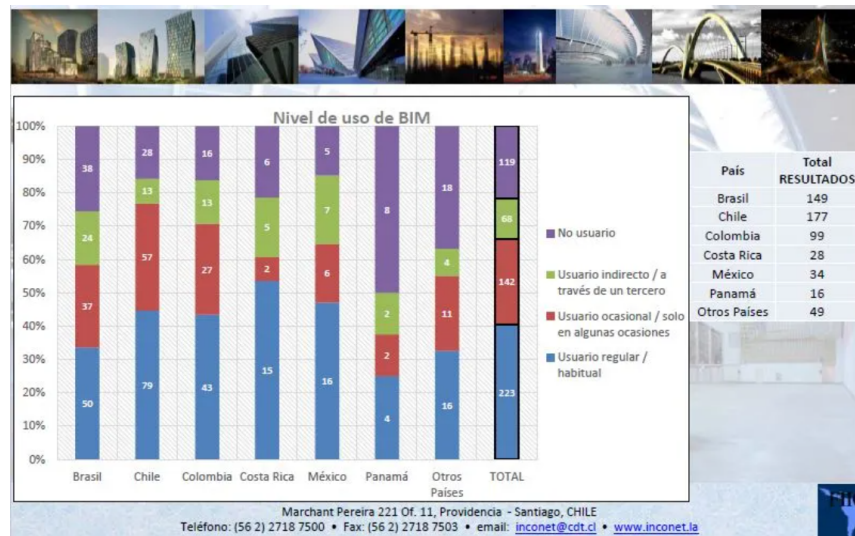
Con respecto a la figura 4, se puede notar un cambio significativo en los beneficios en la utilización de la metodología BIM. Esto debido al interés por parte de los usuarios en adoptar esta metodología de trabajo en las etapas de planificación y ejecución de sus proyectos. Aumenta el valor agregado y los ingresos, al igual que reduce los reprocesos, recursos, costos, tiempo e interferencias.

F. Ventajas de la metodología BIM en Latinoamérica

BIM es de utilidad durante todo el ciclo de vida de los proyectos en los cuales se desea implementar. Facilita la interacción entre los equipos de trabajo manteniendo tanto las características físicas como aquellas asociadas a costos, tiempo y recursos (León, 2017).

Recientemente, se recopiló información respecto al detalle de desarrollo de la metodología BIM en Latinoamérica. Se entrevistaron a 552 empresas de la región de las cuales, al menos 177, se dedican a la construcción.

Figura 5: Tipología de Usuario de BIM - País



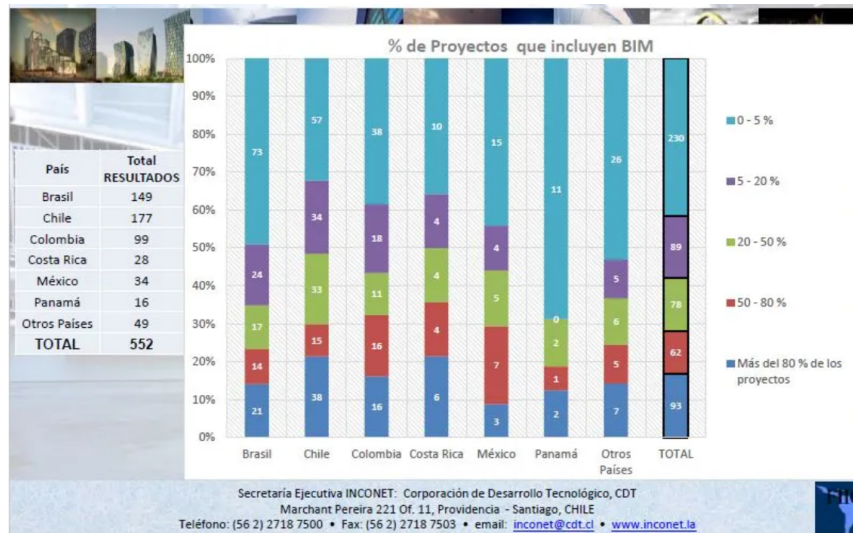
Nota. Adaptada de *Leon, (2017)*.

Se observa en la figura cinco que para el año 2017 en latinoamerica al menos 223 empresas utilizaban la metodología BIM de forma habitual y recurrente en la ejecución de sus proyectos. Esto representa un cuarenta por ciento del uso total de la población muestreada. Comparado con el veinte y dos por ciento de empresas las cuales no son usuarias de la metodología.

En la figura seis se observa un claro decremento en el uso de la metodología en los proyectos que ejecuta la empresa. Solamente 93 empresas utilizan la metodología en el ochenta por ciento o más de sus proyectos. Un dato preocupante es que al menos 230 compañías solamente emplean la herramienta en el cinco por ciento de sus proyectos.

Según se observa en la figura siete las empresas encuentran mayor ventaja en la disminución de los conflictos en la etapa de construcción o ejecución. Además remarcan que aumenta la calidad del producto final y maximizan las utilidades generadas, evitando costos derivados de reprocesos o correcciones no previstas.

Figura 6: *Intensidad de Usuario de BIM - Países*



Nota. Adaptada de *Leon, (2017)*.

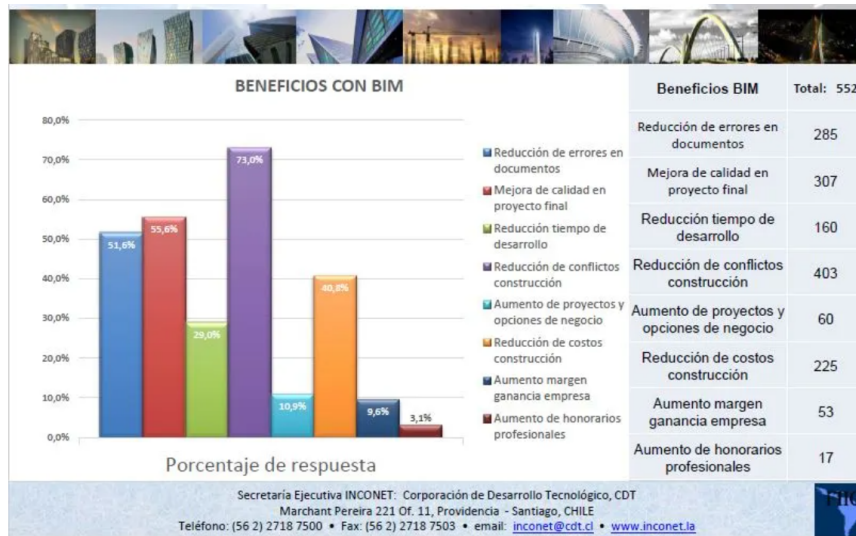
1. Ventajas de la metodología BIM para el propietario

- Beneficios de concepto, viabilidad y diseño. Saber a priori que un diseño en particular es significativamente mejor que otro elimina una cantidad importante de tiempo y esfuerzo, sin contar los costes. Un modelo de construcción aproximado, integrado y vinculado a una base de datos de presupuesto puede ser, por tanto, de gran valor para un propietario (David, 2020).
- Mayor rendimiento energético y calidad de la construcción. El desarrollo de un modelo esquemático antes de generar un modelo de construcción detallado permite una evaluación más cuidadosa del propuesto para determinar si cumple con los requisitos funcionales y de sostenibilidad necesarios del proyecto. La evaluación temprana de alternativas de diseño utilizando herramientas de análisis/simulación aumenta la calidad general del proyecto (David, 2020).
- Mejoras en la colaboración a partir de un modelo integral del proyecto. Cuando el propietario utiliza desde el inicio la adquisición de proyectos, BIM puede ser utilizado por el equipo del proyecto desde el principio del diseño para mejorar su comprensión de los requisitos del proyecto (David, 2020).

2. Ventajas de la metodología BIM para el diseñador

- Previsualizaciones en detalle del modelo. Los modelos que se generan a partir de una aplicación BIM están situados en coordenadas y permiten visualizar el diseño en cualquier etapa del proceso (David, 2020).
- Permite corregir el modelo de manera automática cuando se realizan cambios de diseño. Cuando se trabaja en modelos basados en elementos paramétricos se reduce la necesidad por parte del usuario de auditar los constantes cambios (David, 2020).

Figura 7: Intensidad de Usuario de BIM - Países



Nota. Adaptada de Leon, (2017).

- Generación de planos 2D más precisos y coherentes en todas las etapas de diseño. Esto reduce la cantidad de tiempo y el número de errores asociados con la generación de planos (David, 2020).
- Modelo colaborativo desde el inicio con múltiples disciplinas. Utilizando flujos de trabajo y aplicaciones BIM se puede realizar un trabajo de varias disciplinas de diseño de manera simultánea. BIM acorta el tiempo de diseño y reduce los errores u omisiones del diseño, proporciona una visión temprana de los posibles problemas y favorece la mejora constante (David, 2020).
- Estimación de los costes del modelo en la etapa de diseño. En cualquier etapa del diseño, la tecnología BIM puede extraer una lista precisa de cantidades que pueden utilizar para la estimación de costos (David, 2020).
- Mejora de la eficiencia energética y la sostenibilidad. Finalmente, se puede vincular el modelo con herramientas de análisis energético desde la concepción inicial de los espacios y usos de este. Esto no es viable si utilizamos un modelo 2D. Con la metodología BIM se generan modelos 6D, que aumentan las posibilidades de mejorar el rendimiento energético y la calidad de un proyecto (David, 2020).

3. Ventajas de la metodología BIM para el constructor

- Posibilidad de usar el modelo de diseño como base para la construcción. Un modelo de diseño BIM es una representación exacta de los elementos constructivos y de fabricación del proyecto. Por otro lado, añade la capacidad de realizar modificaciones in situ, dado que se conoce las dimensiones exactas de los espacios y disponemos de un importante catálogo paramétrico (David, 2020).
- Adaptación a los cambios de diseño, Con un modelo BIM las actualizaciones de diseño

pueden resolverse más rápidamente apoyándose en la capacidad paramétrica de los elementos manteniendo siempre la consistencia de este(David, 2020).

- Revisión de los posibles errores de diseño. Al trabajar con modelos 2D y 3D se limitan los errores de diseño causados por la incoherencia entre vistas (por ejemplo, de planta y alzado) en el proyecto. Además, al incluir en dicho modelo distintas disciplinas, se puede realizar análisis de interferencias para evitar conflictos durante la construcción (David, 2020).
- Sincronización entre el diseño y la planificación. Esto permite vincular una escala temporal a todos los elementos del modelo, que proporciona una visión clara de cómo se deberá construir el edificio o la infraestructura y reduce posibles problemas de incompatibilidades (David, 2020).

G. Desventajas de la metodología BIM

Los problemas en la aplicación práctica de BIM no se refieren en general a la capacidad de la metodología ni del software BIM, sino a la implementación efectiva dentro de los sistemas existentes y a la formación y equipamiento de los equipos con las habilidades necesarias para aprovechar sus muchas ventajas (Reche, 2020).

- Falta de demanda por parte de los promotores.
- Falta de tiempo para su evaluación.
- El precio del software.
- Liderazgo débil, Este es el desafío más importante al que se enfrentan los proyectos de implementación de BIM. A pesar de que las empresas están bien informadas sobre los beneficios generales de esta nueva forma de manejar el negocio de la construcción, los clientes no terminan de comprender el alcance real ni las implicaciones de la metodología en la forma de trabajar de las empresas. Sin un liderazgo fuerte que entienda la verdadera dimensión de BIM y adopte las medidas para incorporar a todos los empleados al proyecto, el éxito es mucho más complicado (Reche, 2020).
- Alto coste de la implantación, hay que tener en cuenta el posible coste de formar o contratar personal con conocimientos y experiencia suficiente en BIM. En empresas grandes y medianas puede ser más sencillo alinear sus equipos con BIM, ya que tienen equipos amplios que pueden adaptar adecuadamente. En empresas más pequeñas es más difícil comprometer a todo un equipo con el proyecto BIM. Una opción viable para ellas sería aprovechar la experiencia y los conocimientos de consultores externos que les ayudaría a mantener sus equipos intactos (Reche, 2020).
- Resistencia al cambio, la mayoría de los empleados están acostumbrados a trabajar con herramientas tradicionales que conocen y dominan a la perfección. Existen muchas barreras que impiden a los participantes del proyecto utilizar la última tecnología y el BIM. Las barreras incluyen miedo al fracaso, salida de la zona de confort, tiempo para aprender a utilizar el software y falta de apoyo de sus responsables.

- La implementación de una tecnología integral radicalmente diferente dentro de este entorno requiere una toma de decisiones estratégicas adecuadas por parte de la dirección, que involucren a los empleados haciendo uso del conocimiento y la experiencia disponibles para ejecutar la implementación sin alterar el modelo de trabajo existente (Reche, 2020).
- Falta de colaboración, la obtención de los máximos beneficios de la tecnología BIM está directamente relacionada con la capacidad de maximizar la colaboración de todos los integrantes en el proyecto. El hecho de que todos los participantes clave estén involucrados ofrece la mayor parte de los beneficios para todo el equipo (Reche, 2020).
Indefinición, es necesario incorporar BIM en su justa medida para los objetivos de la empresa, sin quedarse cortos, lo que impediría obtener los beneficios esperados, ni en exceso, produciendo más información y valor agregado que el que los usuarios pueden manejar, lo que supone un desperdicio evidente (Reche, 2020).
- Convivencia con sistemas no BIM, El uso de sistemas BIM y no-BIM que funcionan dentro de la misma oficina plantean un problema de dotación de personal. Con una sola plataforma de software como CAD, cualquier miembro del personal está disponible para trabajar en un proyecto relevante. Sin embargo, en la aplicación de BIM, sólo se dispondría de un pequeño grupo de miembros del equipo. La integración de los activos no-BIM en las nuevas herramientas de gestión de activos basadas en BIM será un aspecto clave para lograr una transición eficaz (Reche, 2020).

H. Roles BIM

La metodología BIM parte desde un enfoque colaborativo para el diseño, planificación, construcción, supervisión, gestión, aseguramiento y garantía de proyectos de obra civil. En ellos se emplean modelos digitales para representar las características físicas y funcionales de un edificio. Son varios los profesionales quienes interactúan en un mismo modelo, sin embargo, sus funciones y roles varían según las necesidades del diseño y de las habilidades del colaborador. Dentro de los principales roles se identifican los siguientes:

1. Coordinador BIM

Encargado y responsable de la administración del proceso BIM en el equipo de trabajo, garantizando que todos los miembros se involucren e interesen en el proceso, utilizando el software, estándares y los protocolos correctos. Coordina y gestiona el proyecto BIM, desde la creación de la documentación, el desarrollo de modelos y la coordinación de trabajo entre diferentes equipos multidisciplinarios. El coordinador trabaja de la mano con el gerente BIM para el aseguramiento del cumplimiento de los requisitos del proyecto. Además, es el responsable del mantenimiento y creación de los modelos BIM, asegurando su precisión, consistencia y que contenga toda la información necesaria. Finalmente, el coordinador se encarga de asegurar la calidad del modelo, realizando revisiones y simulaciones periódicas para detectar posibles errores y discrepancias.

2. Modelador BIM

Responsable de la creación de modelos digitales empleando la metodología y los software BIM. Reúne la información proporcionada por los profesionales involucrados en el proceso, arquitectos, ingenieros, eléctricos, entre otros y la traslada al modelo en tres dimensiones. Dentro de sus alcances se encuentra la integración correcta de la información hacia el modelo general de la obra. Desarrolla planos y detalles de elementos constructivos según sean requeridos por clientes o demás miembros del equipo multidisciplinario. El modelador es imprescindible en reuniones de coordinación, trabajando estrechamente con el coordinador y el gerente BIM. Finalmente, el modelador BIM desempeña un papel importante durante la etapa de anteproyecto y planificación, al momento de solicitar los permisos y autorizaciones para la ejecución del proyecto en cuestión.

3. Gerente BIM

Responsable de supervisar a los coordinadores y modeladores BIM, además de gestionar el proceso en múltiples proyectos. Debe planificar el proceso BIM en el proyecto de construcción y el alcance de objetivos y metas pre-establecidas. El gerente BIM es el encargado de la formación y desarrollo del equipo, también se asegura de que los colaboradores cuenten con las habilidades y competencias para implementar la metodología. Busca continuamente el desarrollo y formación para el equipo, además de una constante capacitación en materia de la cultura BIM.

4. Ingeniero BIM

Rol responsable de analizar sistemas estructurales, mecánicos, eléctricos, hidrosanitarios, químicos, entre otros del proyecto empleando software BIM. Crea y desarrolla modelos BIM de ingeniería empleando herramientas de análisis y simulación que evalúan el desempeño y eficiencia de los sistemas como lo son energéticos, iluminación, ventilación o confort térmico. Genera reportaría técnica de equipos, planos, especificaciones, mantenimiento para el proyecto desarrollado.

I. Nivel de desarrollo BIM

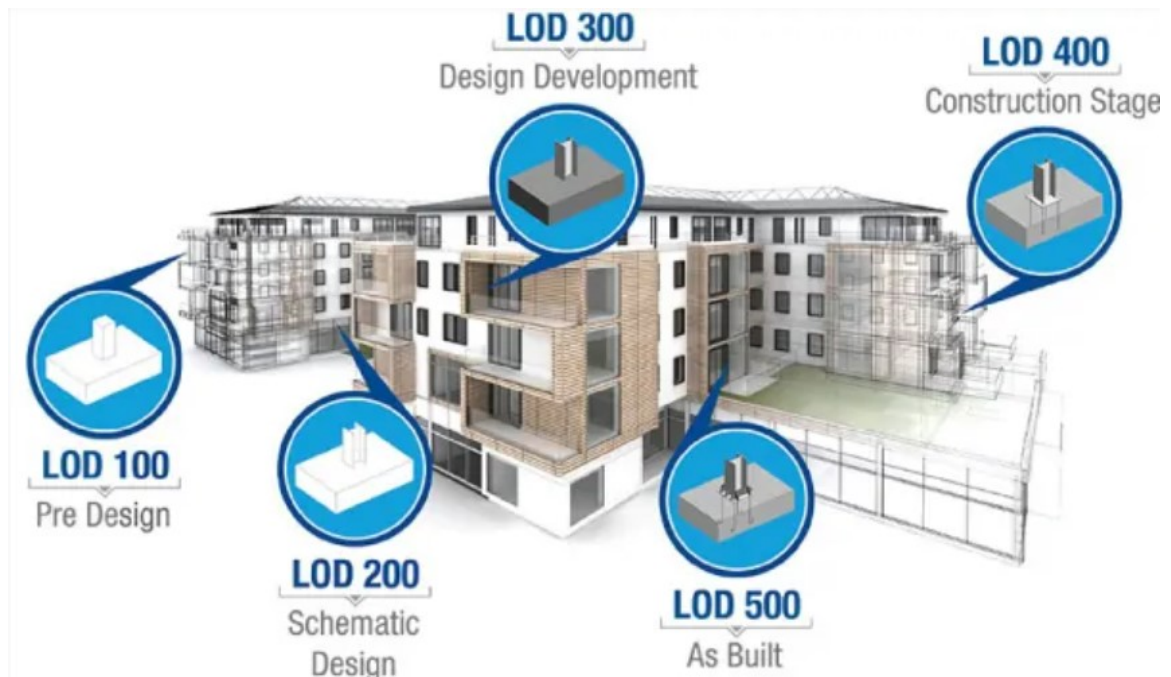
LOD corresponden a las iniciales de Level of Development o Nivel de Desarrollo. Este se define como una escala que informa hasta qué punto se ha desarrollado un elemento del modelo, en cuanto a su geometría y la información relacionada con él. Dicho de otro modo, informa del nivel de fiabilidad que los miembros del equipo de un proyecto pueden esperar de la información de la que disponen al usar dicho elemento en el modelo (Ortega, 2016).

A través del LOD se sabrá el nivel de datos, parámetros y geometría de los que está dotado un modelo BIM. Esto, de forma directa, puede hacerse evidente en el aspecto visual del modelo resultante en 3D, pero no todos los parámetros son visibles observando el modelo

virtual, pudiendo ser necesario interactuar con el mismo para conocer la profundidad del nivel de desarrollo (Morea Nuñez & Zaragoza Angulo, 2015).

Se debe tener en cuenta que el LOD en ningún caso se refiere a la totalidad del proyecto y tampoco tiene vinculación con la fase de desarrollo o construcción, sino que se aplica a cada elemento del proyecto. De ese modo, para poder afirmar que un proyecto ha llegado un determinado nivel LOD es necesario que todos sus elementos hayan alcanzado dicho nivel. Sin embargo, es posible definir qué elementos deben acceder a qué determinado nivel de desarrollo para poder considerar que el conjunto del proyecto ha alcanzado cierto grado de desarrollo o nivel de madurez general (Ortega, 2016).

Figura 8: Representación gráfica del Nivel de desarrollo según la metodología BIM



Nota. Adaptada de IMASGAL, (2021).

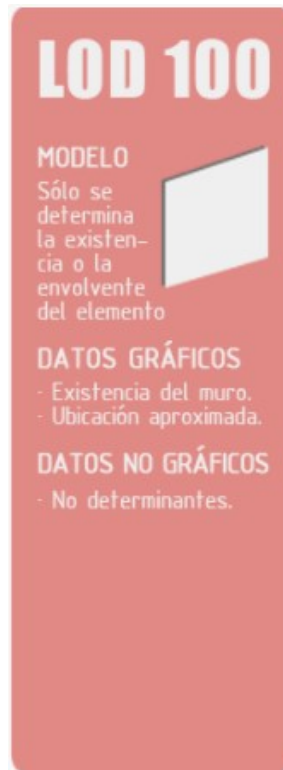
1. LOD 100

Es el nivel básico en el que se enumeran los elementos conceptuales de un proyecto, este se trata de un nivel de aspecto físico, propuesta visual o de diseño conceptual equivalente a un 20 por ciento de la cantidad de información total posible. Se Podría establecer el uso de este nivel de desarrollo para redacción del anteproyecto (Alonso, 2015).

a. Requerimientos LOD 100

El elemento objeto puede estar representado por un símbolo o representación genérica. No es necesaria su definición geométrica aunque este puede depender de otros objetos definidos

Figura 9: Imagen representativa del nivel de desarrollo 100



Nota. Adaptada de Núñez, (2015).

gráfica y geoméricamente. Muchos elementos pueden permanecer en este nivel de desarrollo en fases muy avanzadas del proyecto (Alonso, 2015).

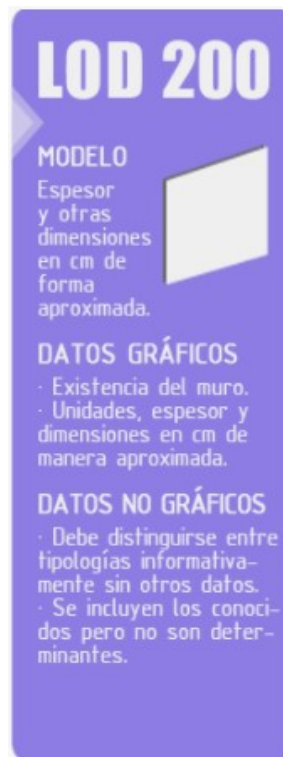
b. Usos LOD 100

- **Análisis:** con base a dimensiones geométricas, orientación y ubicación, así como relación con otros elementos (Alonso, 2015).
- **Coste:** estimación de costes en relación a datos como área, volumen o similares. Habitualmente el parámetro de mayor utilidad en este LOD (Alonso, 2015).
- **Programación:** el elemento puede ser utilizado para determinación de fases y duraciones (Alonso, 2015).

2. LOD 200

Es el nivel en el que se definen gráficamente el elemento, especificando aproximando cantidades, tamaño, forma y/o ubicación. Puede incluir información no gráfica (Alonso, 2015).

Figura 10: Imagen representativa del nivel de desarrollo 200



Nota. Adaptada de Núñez, (2015).

a. Requerimientos LOD 200

El elemento objeto está determinado por su posición; ya posee una definición geométrica no completa. Tiene los datos aproximados de dimensiones, forma, ubicación y orientación. Su uso está vinculado a elementos genéricos o cuyas definiciones detalladas estén dadas por agentes externos al proyecto.

Es el LOD más bajo en el que se indica la posibilidad de incluir información no gráfica de un elemento, como puede ser el coste real (no estimado del LOD 100), así como características de envolventes, pesos, fabricantes y manuales de mantenimiento (Alonso, 2015).

b. Usos LOD 200

- **Análisis:** el elemento puede ser analizado para su funcionamiento con base al uso de criterios generales del proyecto (Alonso, 2015).
- **Coste:** estimación avanzada de costes vinculados a datos geométricos y de cantidades propios de este nivel. Deriva del propio elemento y no de otros (Alonso, 2015).
- **Programación:** el elemento puede ser utilizado para mostrar planificaciones de tiempos y criterios de prioridades (Alonso, 2015).
- **Coordinación:** el elemento puede ser utilizado para coordinarse con otros elementos

del proyecto en base a dimensiones, ubicación, trayectorias y distancias respecto a otros (Alonso, 2015).

- **Otros:** a definir por este LOD o siguientes. Por ejemplo, una fachada puede estar definida por su tipología y forma (fachada curva de Ladrillo cara vista) pero sin llegar a determinar su composición de capas o sistemas constructivos (espesores, materiales, etc) y su estimación de coste depende de su longitud y superficie propios, no de los de la superficie de cada planta del edificio (Alonso, 2015).

3. LOD 300

Es el nivel en el que se definen gráficamente el elemento, especificando de forma precisa cantidades, tamaño, forma y/o ubicación respecto al conjunto del proyecto. Puede incluir información no gráfica (Alonso, 2015).

Figura 11: *Imagen representativa del nivel de desarrollo 300*



Nota. Adaptada de Núñez, (2015).

a. Requerimientos LOD 300

El elemento objeto está definido geoméricamente en detalle, así como su posición, pertenencia a un sistema constructivo específico, uso y montaje en términos de cantidades, dimensiones, forma, ubicación y orientación. También se indica la posibilidad de incluir información no gráfica vinculada al elemento (Alonso, 2015).

b. Usos LOD 300

- **Análisis:** el Elemento puede ser analizado para su funcionamiento en base al uso de criterios específicos del propio elemento. Puede requerir información no gráfica complementaria (Alonso, 2015).
- **Coste:** valoración específica y precisa del elemento en base a datos concretos de fabricación y puesta en obra (Alonso, 2015).
-
- **Programación:** el elemento puede ser utilizado para mostrar planificaciones de tiempos y criterios de prioridades (Alonso, 2015).
- **Coordinación:** el elemento puede ser utilizado para coordinarse con otros elementos del proyecto en base a dimensiones, ubicación, trayectorias y distancias respecto a otros (Alonso, 2015).

4. LOD 350

Equivalente al nivel LOD 300 pero incluyendo la detección de interferencias entre distintos elementos. Es propio de proyectos complejos desarrollados independientemente por disciplinas u otra desagregación de proyecto específica (Alonso, 2015).

Afecta al análisis, Programación y coordinación del proyecto. Ocasionalmente, al coste por elemento y conjunto. Habitualmente, modifica la totalidad del proyecto respecto a LOD 300 según criterios definidos en los que suele ser prioritario el respeto a la estructura frente a instalaciones, y estas frente a arquitectura (Alonso, 2015).

Requieren de una perfecta coordinación entre todos los agentes y las distintas disciplinas y subdisciplinas para una correcta ejecución en obra y una drástico reducción de errores y modificaciones en esta (Alonso, 2015).

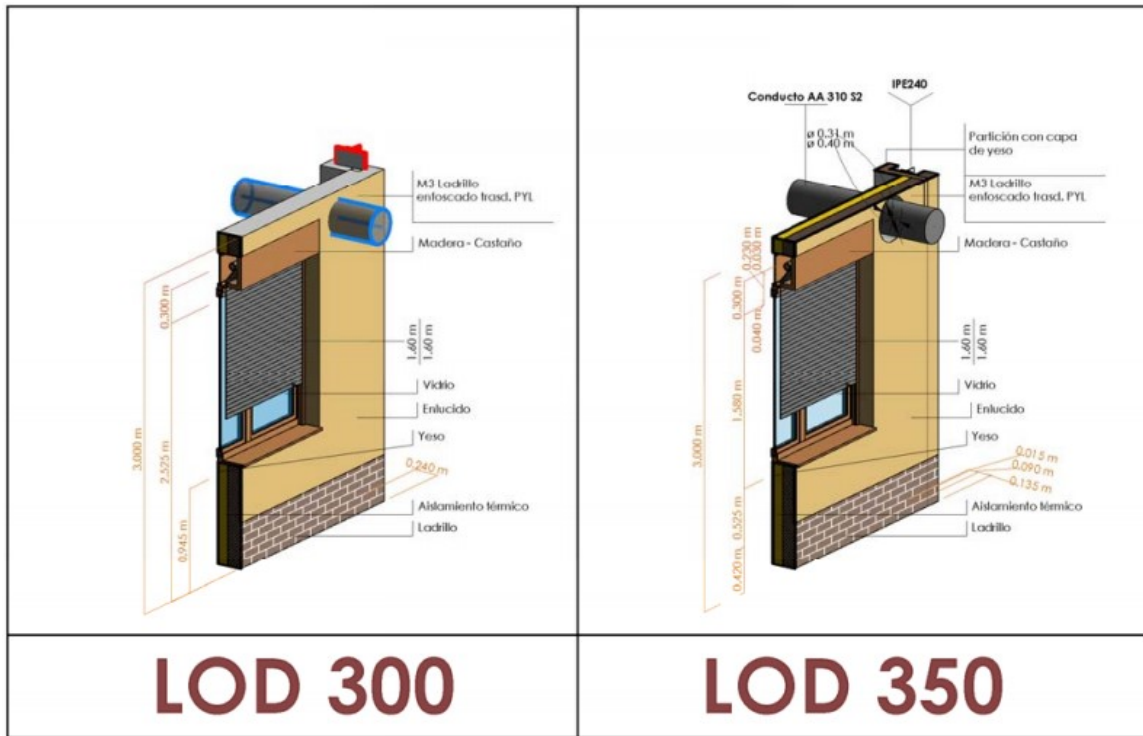
5. LOD 400

ya en este nivel los elementos cuentan con la información de un LOD 300 + los parámetros de un modelo concreto, fabricante, coste, etc. y se contempla ya a nivel de proyecto de contratación o construcción, equivaliendo a un 80 por ciento de la cantidad de información total posible (Morea Nuñez & Zaragoza Angulo, 2015).

a. Requerimientos LOD 400

El elemento objeto está definido geoméricamente en detalle, así como su posición, pertenencia a un sistema constructivo específico, uso y montaje en términos de cantidades, dimensiones, forma, ubicación y orientación con detallado completo, información de fabricación específica para el proyecto, puesta en obra/montaje e instalación. También se indica la posibilidad de incluir información no gráfica vinculada al elemento (Alonso, 2015).

Figura 12: Esquema gráfico de niveles de desarrollo LOD 300 y 350.



Nota. Adaptada de Alonso, (2015).

b. Usos LOD 400

- **Análisis:** el Elemento puede ser analizado para su funcionamiento en base al uso de criterios específicos del propio elemento y los sistemas o conjuntos constructivos a los que pertenece. Puede requerir información no gráfica complementaria (Alonso, 2015).
- **Coste:** valoración específica y precisa del elemento en base a datos concretos de fabricación y puesta en obra según precio de compra del mismo (Alonso, 2015).
- **Programación:** el elemento puede ser utilizado para mostrar planificaciones de tiempos y criterios de prioridades, así como plazos de fabricación y tareas vinculadas a esta (Alonso, 2015).
- **Coordinación:** el elemento puede ser utilizado para coordinarse con otros elementos del proyecto en base a dimensiones, ubicación, trayectorias y distancias respecto a otros, incluyendo datos de uso y mantenimiento específicos. Se incluye la detección de colisiones entre elementos (Alonso, 2015).

6. LOD 500

A este nivel se le conoce como “AS BUILT”, es decir, hace referencia a un nivel en el que el modelo es una la réplica de gran fidelidad a la edificación ya construida. Este nivel se

Figura 13: Imagen representativa del nivel de desarrollo 400



Nota. Adaptada de Núñez, (2015).

entiende que contiene el 100 por ciento de la información total posible, aunque realmente no tiene por qué ser así, como a continuación aclararemos (Morea Nuñez & Zaragoza Angulo, 2015).

a. Requerimientos LOD 500

El elemento objeto está definido geométricamente en detalle, así como su posición, pertenencia a un sistema constructivo específico, uso y montaje en términos de cantidades, dimensiones, forma, ubicación y orientación. También se indica la posibilidad de incluir información no gráfica vinculada al elemento (Alonso, 2015).

Se verifica la información de este nivel en relación al proceso constructivo finalizado (“as built”) y no es aplicable a todos los elementos del proyecto. El criterio válido será definido por la propiedad y las normativas correspondientes. La información de este nivel sustituye a las equivalentes de otros niveles inferiores en todos los casos (Alonso, 2015).

Elementos del modelo pueden estar definidos a nivel de LOD 500 sin haberlo hecho en niveles anteriores y se incluirá siempre el autor del mismo como agente responsable de su ejecución (Alonso, 2015).

Figura 14: Imagen representativa del nivel de desarrollo 500



Nota. Adaptada de Núñez, (2015).

b. Usos LOD 500

El uso del nivel LOD 500 está vinculado al futuro y puede incluir: determinación de estado actual, especificaciones y aprobaciones de productos, uso y mantenimientos directos o indirectos, gestión y explotación, así como renovaciones y modificaciones (Alonso, 2015).

J. Niveles de información BIM

En la metodología BIM se emplean distintos niveles de información para describir las diferentes etapas del proyecto en desarrollo y los elementos que lo componen. Dentro de los principales niveles de información BIM se encuentran:

- **Nivel 0:** hace referencia a la etapa previa a la utilización de la herramienta BIM, en ella no existe un modelo digital del proyecto y la información se presenta en documentos en dos dimensiones. Se puede asumir que este nivel de información corresponde al anteproyecto en el cual se establecen las bases para la planificación de la obra.
- **Nivel 1:** se traslada la información proveniente de la segunda dimensión a programas de diseño y modelado en tres dimensiones para representar gráfica y visualmente el diseño del proyecto. La información contenida en el modelo es limitada y se centra principalmente en la geometría del proyecto que se busca ejecutar.
- **Nivel 2:** en este nivel de información se espera obtener detalles más allá de los visuales sobre los elementos constructivos del proyecto, como lo son muros, losas, cimientos,

vigas, columnas, puertas, ventanería, entre otros. Además se puede añadir información sobre costos asociados a la construcción, costos de mantenimiento y la programación de la construcción.

- **Nivel 3:** en este nivel, el modelo BIM se utiliza para la gestión del ciclo de vida del proyecto, iniciando por la planificación hasta llegar al mantenimiento y renovación o restauración. El modelo contiene información detallada sobre el rendimiento del edificio, los equipos que se encuentran en él, la sostenibilidad del mismo y demás aspectos relacionados a su funcionamiento.

Los diferentes aspectos del proyecto serán evaluados según el nivel de información obtenido en el modelado BIM. Gracias a esta información se podrá mejorar el rendimiento y eficiencia del proyecto, la calidad y los recursos empleados en la planificación del mismo. Los niveles más avanzados, como el nivel de información 3, pueden proporcionar beneficios significativos en la gestión de proyectos y la toma de decisiones (Eastman, 2011).

K. Dimensiones BIM

Durante el ciclo de vida de un proyecto, partiendo por su concepción o idealización hasta llegar a la entrega final o mantenimiento del mismo, tendrán cabida las diferentes etapas en las cuales se desarrollan las dimensiones de la metodología BIM. Se conocen siete dimensiones que van desde la etapa de anteproyecto hasta el mantenimiento del producto final, la gestión de estas dimensiones se realiza a través de software BIM. Las dimensiones BIM consisten en sectorizar cada fase descriptiva del ciclo de vida del proyecto, considerando un proyecto dinámico con información cambiante en el tiempo aunada a un modelo digital (Mata, 2019).

a. 1ra dimensión, concepción de la idea del proyecto

En esta primera dimensión se produce el origen del proyecto, incluyendo la determinación de la localización, las condiciones iniciales de la infraestructura, estudios de mercado, estudios preliminares de factibilidad económica, estudios de suelos, primeros esquemas y estimaciones. Contempla el tema de revisión de leyes y estándares aplicables para evaluar la viabilidad del proyecto (EquipoBIMnD, 2019).

b. 2da dimensión, plano en dos dimensiones

Esta dimensión incluye el plano en dos dimensiones (AutoCAD) y es compatible con la forma de trabajar gestionando físicamente documentos (dibujo de plano por plano). Establece una base para la implementación del resto de las dimensiones, especialmente la 3D, si se trabaja desde un principio con un software compatible con la metodología BIM. Abarca el tema de la contratación, la definición del ámbito colaborativo y sostenibilidad del proyecto (Vitorino, 2020).

Figura 15: 7 Dimensiones BIM



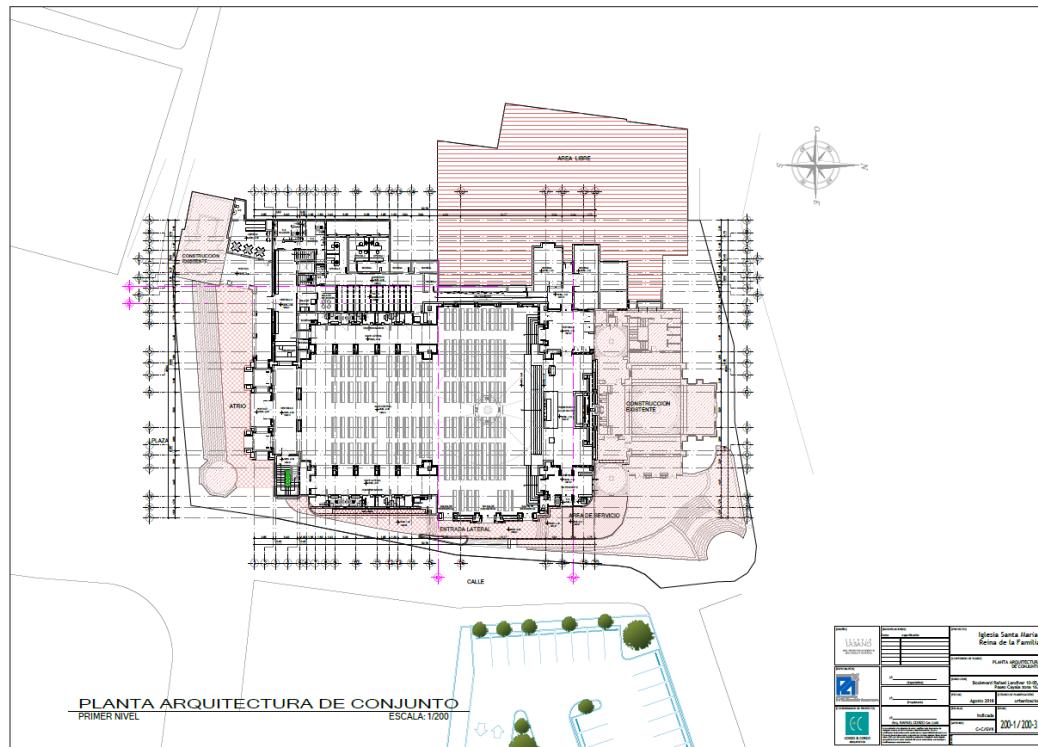
Nota. Adaptada de *Mata, (2019)*.

El proyecto de estudio fue diseñado en dos dimensiones inicialmente y posteriormente en tres dimensiones. Los juegos de planos van desde cimentaciones, estructuras de concreto, estructuras de acero, instalaciones eléctricas, instalaciones hidrosanitarias, instalaciones especiales, acabados, mobiliario, entre otros. Se realizan diferentes capas de diseño para luego empatar cada una de ellas y determinar localización, posicionamiento, congruencia y funcionamiento de los diferentes equipos, instalaciones y elementos constructivos.

c. 3ra dimensión, modelado en tres dimensiones

Es un modelo orientado a elementos constructivos (columnas, vigas, muros, entre otros) que representa toda la información geométrica del proyecto de forma integrada (con parametrización de sus componentes). Este modelado parte de los planos realizados en la fase anterior, si se utiliza un software de diseño BIM se puede integrar con facilidad a través de la importación del archivo. Inicialmente representará la información del diseño arquitectónico y de cada una de las ingenierías involucradas, lo que permitirá obtener una representación geométrica detallada de cada parte de la edificación dentro de un medio de información integrada. No solo se podrá, en forma virtual y anticipada, visualizar el proyecto en tres dimensiones, también se pueden actualizar las vistas durante todo el ciclo de vida del proyecto,

Figura 16: Planta arquitectónica de conjunto ISMRF



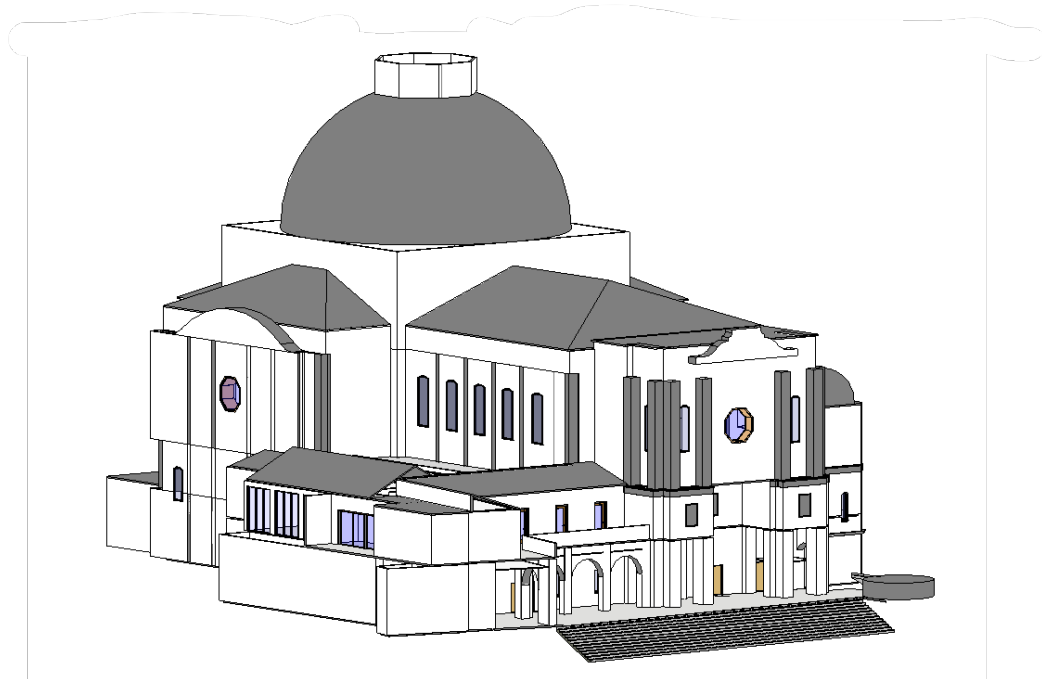
Nota. Adaptada de *PM502*, (2019).

mejorando la comunicación, que permite reducir iteraciones, efectuar correcciones, así como la detección de interferencias. El modelado en tres dimensiones es sometido a diversas revisiones para la completa satisfacción del cliente respecto a temas arquitectónicos y de diseño. Posteriormente se hacen evaluaciones y simulaciones que permiten garantizar que todos los elementos constructivos convivan en sincronía, armonía y eficiencia (Vitorino, 2020).

El modelado en tres dimensiones para el proyecto en cuestión fue realizado empleando el software Revit bajo la metodología BIM. Este modelo parte de un diseño en dos dimensiones ejecutado en la herramienta AutoCadz posteriormente es exportado para su conceptualización en 3D. Gracias a este desarrollo se pueden parametrizar diversas familias de objetos, obtener información que genere valor al modelo, cuantificar la cantidad de materia prima a emplear, simular el comportamiento del edificio, identificar interferencias, realizar cambios en tiempo real, trabajo colaborativo, entre otros.

Al haber definido los planos a emplear durante la etapa de ejecución es necesario definir una cuantificación de obra la cual se realiza con base a la segunda y tercera dimensión de la metodología BIM estableciendo las especificaciones, conceptos y elementos constructivos. No solo se deben cuantificar áreas o volúmenes de movimientos de tierras, sino también cantidades de materia prima a emplear, horas de trabajo a requerir, horas de maquinaria, cantidad de herramientas por operador, rendimientos de los recursos, desperdicios, mermas, combustibles, servicios de agua, luz e internet, entre otros variables correspondientes a la obra (Montes, 2015).

Figura 17: *Modelo 3D ISMRF*



Nota. Adaptada de *PM502*, (2019).

d. 4ta planificación de recursos - tiempo

Al modelado en tres dimensiones se le agrega la cuarta dimensión, la cual analiza el tiempo mediante la integración de un cronograma de actividades preestablecidas. Esto permite controlar la dinámica del proyecto, realizar simulaciones de las diferentes fases de la construcción, diseñar el plan de ejecución, establecer una ruta crítica, diseñar un plan de contingencia ante posibles imprevistos, identificar entregables clave para el avance de obra, entre otros factores (Mata, 2019).

La cuarta dimensión de la metodología BIM se basa en el control de logística del proyecto durante la ejecución, logrando obtener una predicción más acertada del resultado para que el producto sea eficiente y seguro. Es posible simular fases constructivas, de diseño y emplazamiento del trabajo. La gran mayoría de softwares que analizan este recurso trabajan bajo la metodología de análisis de escenarios pesimistas, optimistas y realistas (Vitorino, 2020).

Cabe resaltar que la dimensión considera aquellas actividades enlistadas en el WBS (Work Breakdown Structure), documento que refleja aquellos paquetes de trabajos que deberán realizarse para un proyecto en particular, según su tiempo de ocurrencia. Con esto, se hace referencia a que existen actividades predecesoras, sucesoras, dependientes e independientes que acontecen en momentos específicos de la ejecución del proyecto. La duración de cada tarea se evalúa conforme a la cantidad de recursos (materia prima, mano de obra, herramientas, maquinaria, etc), la experiencia de la mano de obra, factores externos (condiciones climáticas, permisos de trabajo), entre otros.

Figura 18: Ejemplo Planilla Puertas y Ventanas ISMRF

PUERTAS							VENTANAS								
TIPO	N1	N2	N3	TOTAL	NO. HOJAS	Tipo	MATERIAL	TIPO	N1	N2	N3	TOTAL	NO. HOJAS	Tipo	MATERIAL
P-1	1			1	2	Abatibles	Madera de roble	V1				2	2	Abatibles	
P-2	3			3	2	Abatibles	Madera de cedro o caoba + vidrio	V-2A				3	2	Abatibles	
P-3	2			2	2	Abatibles	Madera de cedro o caoba	V-2B				5	2	Abatibles	
P-4	1			1	2	Abatibles	Madera de cedro o caoba	V-3				3	2	Abatibles	
P-5	3			3	1	Abatible	PVC imitación madera + vidrio	V-4				3	1	Abatible	
P-6	1			1	2	Abatibles	PVC imitación madera + vidrio	V-5				2	2	Abatibles	
P-7	7	4		11	1	Abatible	Madera de tableros	V-6				4	1	Fija	
P-8	5			5	1	Abatible	Madera de tableros	V-7				2	1	Abatible	
P-9	1			1	1	Abatible	Madera de tableros	V-8				17	1	Abatible	

Nota. Adaptada de *PM502*, (2019).

Esta dimensión implica la aplicación de principios de gestión de proyectos, particularmente la conexión de los parámetros del modelo tridimensional con estructuras desagregadas de trabajo y clasificación estructurada de actividades o partidas (Vitorino, 2020).

Para determinar el tiempo de duración de una tarea existen diferentes métodos en función de los riesgos asociados y de la variabilidad intrínseca a la tarea. Para realizar una estimación se establece un valor central o medio y un rango o intervalo de confianza, para el que se debe aportar un porcentaje de certeza.

La estimación por analogía consiste en estimar la duración de una tarea a partir de los datos históricos disponibles. Conociendo los tiempos de ejecución con base al histórico, se obtienen estadísticos descriptivos, como la media del tiempo de realización o la desviación estándar de este parámetro. Asumiendo que la duración de las tareas mantenga un comportamiento de una distribución normal o gaussiana, se pueden establecer intervalos de confianza (Aramburú, 2016).

La metodología paramétrica es una técnica de estimación que no dispone de trabajos previos o datos históricos con un comportamiento similar al que se desea calcular. La solución es utilizar factores de corrección que tengan en cuenta la magnitud del proyecto. Para ello, la técnica matemática que se utiliza es la regresión lineal. Otro factor que se debe tener en cuenta es la curva de aprendizaje. Si un proyecto debe realizarse repetidamente, es evidente que cuantas más repeticiones, más rápida y limpia será su ejecución (Aramburú, 2016).

Finalmente la metodología por expertise y criterio de profesionales en la materia, consiste en acudir a varios expertos de manera independiente. Posteriormente se podrán promediar los resultados propuestos por cada experto y así intentar obtener una visión más global y menos sesgada por los criterios particulares de cada uno de ellos. Otra manera de mejorar la estimación realizada por este último método es lo que se conoce como la estimación por tres puntos. Se les pide a los expertos que realicen una estimación media, una estimación pesimista y estimación optimista (Aramburú, 2016).

e. 5ta planificación de recursos - costos

Abarca la estimación y control de costos (determinación del presupuesto) y estimación de gastos, orientada a mejorar la rentabilidad del proyecto. Se asocian cantidades de recursos (materiales, equipos, mano de obra, herramientas y maquinaria) a las estructuras de costos para la construcción. Adicionalmente se podrá organizar gastos y estimar costos operativos para la fase de uso y mantenimiento, logrando que los ejecutores y/o futuros operadores tengan mayor control sobre toda la información contable y financiera del proyecto (Vitorino, 2020).

En esta dimensión se elaboran presupuestos iniciales y estimados que conllevan a los presupuestos de contratación, ejecución, planificación (permisos de construcción), mantenimiento, operación, imprevistos, entre otros, permitiendo hacer comparaciones entre distintos modelos financieros y de costos para su control. La dimensión abarca además las tareas de definición de cantidades de recursos y sus costos (materia prima, herramientas, maquinaria, mano de obra, compras, pedidos, salarios, equipamiento de seguridad personal); control y definición de gastos (administrativos, generales, personales), entre otros (Vitorino, 2020).

Es necesario que exista una vinculación entre el modelo tridimensional y el software a emplear para la elaboración del presupuesto. Esto se logra a través de la clasificación de los diferentes elementos y estableciendo los costos asociados a su ejecución. Se recomienda que el nivel de detalle de los elementos constructivos sea alto con el fin de poder determinar con exactitud los costos unitarios tanto del material como de la mano de obra.

Para la realización de un presupuesto de obra inicialmente se debe contar con el listado de actividades a completar, o como se le conoce en la rama de la gestión de proyectos, WBS. Este se realiza incluso antes de definir un cronograma de tiempos de obra, el WBS refleja los trabajos a ejecutar en determinados tiempos y es categorizado según la jerarquía de las tareas. Lo que aporta esta herramienta es un efectivo control del proyecto, un desarrollo estratégico en términos de planificación y seguimiento, delimita los alcances de la ejecución, se encuentra altamente asociado a la cuarta y quinta dimensión, constituye un acta de constitución del proyecto y a través de él se pueden establecer criterios de aceptación de calidad (Juarez, 2017).

Posteriormente se establece una tabla de cantidades como se especifica en la tercera dimensión. Esta se obtiene al medir y calcular sobre los planos las proporciones correspondientes a cada actividad y se determinan las medidas y cantidades de materiales junto con sus respectivas unidades de dimensión (Juarez, 2017).

Al haber realizado la cuantificación correspondiente, se debe fijar el rendimiento de cada actividad o tarea en obra, para ello se determinan la cantidad de trabajos que se realizan en un tiempo determinado. Para ello es requerido realizar un desglose del costo por unidad de medición de rubro según sus componentes. Para ello es requerido fijar un precio unitario el cual proviene de la sumatoria de costos de materia prima, mano de obra, equipos y herramientas (Juarez, 2017).

Al contar con el desglose de los costos unitarios, se multiplicará cada cantidad por el precio unitario del rubro, obteniéndose el precio total del rubro. Finalmente se deben sumar todos los precios totales de cada rubro, dando como resultado el presupuesto final de la obra.

Tal y como se presenta en la imagen a continuación (Juarez, 2017).

f. 6ta sostenibilidad energética

En el sector inmobiliario es requerido tanto en la etapa de planificación, como en la de ejecución, operación y mantenimiento contemplar factores externos como el impacto ambiental que puede llegar a generar el proyecto en cuestión. La sexta dimensión implica simulaciones con el fin de realizar análisis energéticos de sostenibilidad. Esta dimensión permite conocer cómo será el comportamiento energético del proyecto antes de la ejecución del proyecto, determinando si el edificio es eficiente o cumple los requisitos necesarios para una determinada certificación energética, logrando optimizar procesos en tiempo real, tales como inspecciones, reparaciones, remodelaciones, mantenimientos, entre otros (Vitorino, 2020).

En esta dimensión se trata el diseño sostenible un proyecto y el concepto de ingeniería de valor, que consiste en la optimización de los sistemas constructivos e instalaciones, de forma que con modificaciones estratégicas, en sistemas o equipos empleados, se obtienen reducciones significativas de los costos, tanto en fase de construcción como en la futura fase de operación, sin perder la esencia y funcionalidad del edificio (Vitorino, 2020).

Gracias a la implementación de esta sexta dimensión a la metodología BIM es posible realizar estudios y simulaciones de confort térmico para edificaciones, consumos energéticos y emisiones de dióxido de carbono, cargas térmicas, iluminación de ambientes, cálculos de dirección de vientos y velocidades, estudios solares y de radiación y datos climáticos. Con esto se busca obtener certificaciones que avalen la armonía entre la obra y el medio en el que se encuentra.

g. 7ma mantenimiento

La séptima dimensión implica la utilización de los modelos generados previamente con el objetivo de prever o realizar los procesos de mantenimiento durante la operación del proyecto. Además de que permite crear planes de mantenimiento correctivo y predictivo con el fin de volver eficiente el proceso y disminuir los costos asociados a su ejecución. Esta dimensión permite gestionar el ciclo de vida de un proyecto y sus servicios asociados, además del control logístico y operacional del proyecto durante el uso y mantenimiento de la vida útil, logrando la optimización de inspecciones, reparaciones, mantenimientos (Vitorino, 2020).

La correcta implementación de la séptima dimensión permite una correcta administración de activos correspondiente a la gestión de patrimonios basado en principios de planificación, organización y gestión integrada. El objetivo de esta gestión es la optimización del rendimiento de los activos y la minimización de su costo, así como la mejora en el servicio ofrecido. Para esta dimensión es vital la generación de los planos .as built con el objetivo de identificar cada uno de los elementos, su ubicación, el estado actual, conexiones, desfogues, entre otros. Esto facilitará la tarea del mantenimiento al responsable (Vitorino, 2020).

L. Project management

El Project Management es una disciplina que abarca la organización, el planeamiento, la motivación y el control de los recursos con la finalidad de alcanzar los objetivos propuestos para lograr el éxito en uno o varios proyectos dentro de las limitaciones establecidas. Estas limitaciones suelen ser el alcance, el tiempo, la calidad y el presupuesto (PMI, 2019).

De esta forma, la finalidad de esta disciplina es coordinar todos los recursos disponibles para conseguir determinados objetivos; lo cual implica la interacción entre conocimiento, tecnología, entorno, estructuras, procesos, servicios y productos. En este sentido, las soluciones de la gestión y la dirección de proyectos deberán dar soporte al proceso de gestión de proyectos (PMI, 2019).

M. Software

1. Software 4ta dimensión

a. Synchro 4D

Synchro 4D es una herramienta que promueve soluciones en tiempo real dentro de una red interconectada para la planificación y las operaciones de construcción digitales. Este software desarrolla una interoperación entre las herramientas de diseño y modelado en tres dimensiones, además mantiene un control detallado del proyecto en ejecución. Con una plataforma de gestión de construcción digital en cuatro dimensiones se alcanza una mejor planificación de secuencias de trabajo, ensayos computacionales y rastreo de progreso en campo (Bentley Systems, 2023).

Con Synchro es posible planificar y gestionar modelos de construcción provenientes de una tercera dimensión. Además de presentar de forma sencilla un cronograma de obra lo cual permite una colaboración en tiempo real para garantizar una entrega en tiempo y calidad al cliente. La construcción de un modelo en cuatro dimensiones parte de una correcta gestión de modelos 2D y 3D con datos que aporten valor, geolocalizados en el contexto del proyecto (Bentley Systems, 2023).

Finalmente, a través de Synchro es posible revisar y cooperar en un entorno visual digital con todos los involucrados en la obra. Es posible optimizar el plan de proyecto incluso antes que este inicie, esto permitirá un ahorro de recursos como tiempo y dinero, identificando potenciales problemas en la programación de las principales tareas (Bentley Systems, 2023).

b. Navisworks

Partiendo de un modelo en tres dimensiones en el cual se busca pre visualizar el proyecto a su fase de ejecución, Navisworks 4D brinda un enfoque práctico en la simulación de enrutamientos de equipos o instalaciones, delimitación de áreas de trabajo, indicadores clave de hitos, secuencias de trabajo, operación de maquinaria, entre otras. La herramienta permite

visualizar y animar factores de valor agregado en el proyecto para la obtención de beneficios en el modelado virtual (Flannigan, 2020).

Bajo la premisa de que el modelo en tres dimensiones mostrará los objetos en su posición final, mientras que un modelo de construcción en cuatro dimensiones muestra los objetos y el espacio necesario durante la ejecución del proyecto. Se establece que las simulaciones en 4D son una herramienta de visualización práctica y de valor para la solución de problemas (Flannigan, 2020).

En el programa Navisworks existen tres tipos de modelado en cuatro dimensiones, el primero de ellos se denomina como modelo de logística del sitio el cual establece un modelo en tres dimensiones que se utiliza en simulaciones cronológicas. Además aporta valor al momento de planificar áreas de trabajo en sitio, la coordinación de almacenamiento de materiales y la superposición comercial del proyecto ante los involucrados (Flannigan, 2020).

El segundo tipo de modelado es una animación de enrutamiento de equipos e instalaciones eléctricas, hidrosanitarias y especiales correspondientes. Esta simulación implica movimiento en el emplazamiento del proyecto y se encuentra limitado únicamente por la situación real que se pueda llegar a producir en el sitio al momento de llevar a cabo la instalación (Flannigan, 2020).

El último tipo de modelado es una simulación de línea del tiempo del proyecto, esto es lo más aterrizado a la cuarta dimensión del modelado BIM. Se genera valor a partir de la visualización 4D, aportando geometría y seguimiento visual de los requisitos del sitio. Además se ejecutan cronogramas de planificación considerando los recursos como el tiempo, las herramientas, los económicos, los humanos, entre otros. Esto permite identificar la ruta crítica en el planificador y poder mitigar posibles atrasos o sobre costos (Flannigan, 2020).

2. Software 5ta dimensión

a. Cost-It Revit 5D

Cost-it es un complemento de Revit con el cual se desarrollan mediciones y presupuestos a partir de un modelo BIM. Cost-it proporciona una interacción entre los dos sistemas de información que permite utilizar Presto en la planificación y durante la ejecución (Spain, 2022).

Presto permite generar mediciones en el modelo según las necesidades del usuario, identificación de elementos del diseño desde el presupuesto y modificar los valores de los parámetros entre el modelo y la estimación cuantitativa (Spain, 2022).

La herramienta al ser un complemento del software revit se basa en la estructura de información del programa de autodesk. Esto permite mayor facilidad de interacción con el modelo, menor cantidad de restricción en mediciones, animaciones y simulaciones. Cost-It mide todas las categorías del modelo, estableciendo por defecto las mejores y más adecuadas unidades de medición para cada elemento (Spain, 2022).

Respecto a la interacción entre el modelo y el presupuesto se obtiene una trazabilidad

de queda elemento creando un vínculo con las líneas de medición. Esto genera una relación modelo-presupuesto-obra ejecutada (Spain, 2022).

b. Plexos Project 5D

El software plexos project es una herramienta de administración que trabaja con las dimensiones 3D, 4D, y 5D, bajo los estándares y características del BIM. Este programa permite ejercer el control de los proyectos en todas las dimensiones y ciclo de vida a través del registro de costos, índices de eficiencia y herramientas visuales (SOLIUTIONS, 2019).

Plexos project está diseñado para la gestión y planificación de proyectos bajo los enfoques lean construction y last planner system los cuales aportan estimaciones confiables al modelo. Esta herramienta con una base de datos en la nube facilitando el cálculo de presupuestos y la exportación. Una potencial ventaja que presenta este sistema es su compatibilidad con con Cype Generado de Precios, además con plexos se pueden crear automáticamente presupuestos (CATBIM, 2023).

El software trabaja bajo el método de valor ganado el cual permite la visualización del modelo bim de una forma fácil e intuitiva. Se busca al momento de utilizar este software obtener una mayor eficiencia de recursos a nivel de actividades y proyectos. La herramienta además permite fusionar varios proyectos en uno y controlarlos por medio del EVM (Earned Value Management) (CATBIM, 2023).

N. CYPE

CYPE es una empresa encargada del desarrollo de software técnico para el uso principal de ingenieros, arquitectos y constructores. El software abarca tres áreas fundamentales de un proyecto:

- Diseño y análisis estructural
- Diseño y cálculo de instalaciones
- Gestión de obras y documentación de proyecto

En los programas de gestión y documentación de obra de un proyecto de CYPE se incluye una clasificación de normativa, tanto por unidades de obra como por ámbito geográfico de aplicación, para la facilitar la redacción de proyectos y direcciones de obra (CYPE, 2021).

A través de los programas que CYPE contempla para la gestión de obras y la documentación del proyecto se pueden realizar las tres principales actividades:

- **Control financiero:** se controlan las facturas recibidas y las emitidas, con lo que es posible saber en cualquier momento el flujo de caja.

- **Control de compras y financiero:** podrá realizar la recepción de albaranes de suministros y de facturas y, por tanto, comprobar si las facturas recibidas corresponden a los suministros reales.
- **Control por centros de costes:** tendrá la posibilidad de imputar suministros a centros de coste y, con todo esto, saber en cualquier momento las desviaciones entre el precio de venta, los costes previstos y los costes de ejecución reales.

Dentro de las principales características del programa CYPE se encuentran las siguientes:

- **Multidisciplinariedad:** CYPE abarca varias disciplinas de la ingeniería, entre ellas, cálculo y diseño estructural, diseño de instalaciones de climatización, plomería y fontanería, instalaciones tanto hidrosanitarias como eléctricas, diseño arquitectónico, gestión de proyectos, entre otros.
- **Integración:** el usuario es capaz de realizar un proyecto completo desde la fase de anteproyecto y planificación hasta el control de obra gracias a que todos los módulos del programa se encuentran integrados entre si. Permitiendo trabajar sobre un único documento generando reportería constantemente.
- **Actualización Constante:** CYPE se mantiene en una actualización regular, lo cual busca la adaptación del programa a las normativas y reglamentos vigentes y más recientes. Esto garantiza el cumplimiento ante la legislación del país de emplazamiento, precisión en cálculos y diseños, además de una mayor fiabilidad ante el usuario.
- **Interfaz intuitiva:** su interfaz gráfica de usuario amigable y de fácil uso, permite un mayor aprendizaje y manejo del programa. Permitiendo así la manipulación para usuarios en cualquier rango de edad, formación académica o ejercicio profesional.
- **Exportación e Importación de datos:** la integración no solo sucede con las diferentes herramientas dentro del programa, sino también con diferentes software de diseño e ingeniería. Cype permite la exportación e importación de datos con otros programas, facilitando y permitiendo la interoperabilidad con otras plataformas de cálculo y diseño.
- **Herramientas de visualización:** brindando una visión más realista del proyecto, el software cuenta con herramientas de visualización 3D que permiten detectar posibles errores o incompatibilidades. Gracias a las simulaciones en tiempo real es posible corregir las incongruencias y realizar análisis de colisiones entre elementos constructivos o instalaciones de cualquier índole.

Cype es una herramienta completa y actualizada que facilita el cálculo, diseño, visualización y control de proyectos constructivos, gracias a su integración, interfaz intuitiva, multidisciplinariedad y la interoperabilidad con otros programas relacionados a la ingeniería civil o arquitectura (CYPE, 2021).

Ñ. CYPE Arquímedes

Arquímedes es una herramienta proporcionada por CYPE para la realización de mediciones, presupuestos y manuales de uso y mantenimiento del proyecto. Además este software trabaja bajo los principios de la metodología BIM y posee la capacidad de vincularse con programas relacionados a la ingeniería, el diseño arquitectónico y tópicos de la construcción en general (CYPE, 2021).

CYPE Arquímedes posee una serie de características que le dan ventaja en aspectos como estimación de costos, gestión de proyectos orientados a la construcción y cuantificación de materiales. Entre las principales características se encuentran:

- Generación automática de listas de materiales y presupuestos para proyectos de construcción. Esto a través de la herramienta del generador de precios.
- Integración con bases de datos de costos y precios asociados a los materiales de construcción obtenidos de cada país de emplazamiento con la divisa local.
- Herramientas de cálculo que permiten estimar los costos asociados a la mano de obra, materiales y demás recursos a emplearse en el proyecto.
- Seguimiento y control de obra a través de la herramienta Arquímedes y control de obra.
- Permite generar informes y reportes del avance del proyecto, siendo estos más detallados e incluso con la posibilidad de poder personalizarlos.
- Finalmente una de las características más importantes del proyecto es la posibilidad de trabajar en colaboración con otros usuarios en tiempo real, facilitando así la gestión de proyectos en equipos de trabajo.

Arquímedes es una herramienta útil para la gestión de proyectos, la generación de presupuestos, el control en la fase de ejecución de un proyecto, la generación de reportes y la multidisciplinariedad de una obra civil. Además permite reducir costos asociados a la construcción, aumenta la eficiencia en los equipos de trabajo, reduce los tiempos de ejecución y se garantiza la precisión en las estimaciones en la fase de planificación (CYPE, 2021).

1. Generador de precios

El generador de precios de Cype Ingenieros es una herramienta que facilita la creación de presupuestos en términos de tiempo y precisión. Esta se encuentra alimentada de una amplia base de datos de costos unitarios para materiales, equipos, mano de obra y demás recursos relacionados a la construcción.

El usuario es capaz de seleccionar aquellos renglones que considere necesarios cuantificar para el proyecto en desarrollo, mientras que el generador de precios automáticamente calcula el costo total en función de los precios registrados en la base de datos. El usuario es capaz

de incluir costos indirectos y utilidades al presupuesto, además de poder ajustar los precios según sea el emplazamiento de la obra.

El generador de precios puede ser personalizado por el usuario según sean las condiciones de la obra a ejecutar, esto para ajustarlo a las necesidades específicas del proyecto y los clientes. Los presupuestos generados pueden ser exportados a diferentes formatos (CYPE, 2021).

O. Earned Value Management

El valor agregado, también conocido por sus siglas en inglés -EVM (Earned Value Management)-, es una técnica utilizada en la gestión de proyectos, para evaluar el desempeño de un proyecto, considerando el costo y el tiempo (cuatro y cinco dimensiones, según lo analizado previamente). Los gerentes de proyectos se apoyan en él para medir el progreso real vs el plan original, tomando decisiones informadas con base en el presupuesto y cronograma establecidos. Los pasos a seguir durante el EVM, son:

1. Definir el plan del proyecto: incluir el desglose de trabajo (WBS definido con anterioridad), el cronograma y presupuesto a seguir.
2. Asignar una ponderación a las tareas: valorar cada actividad, en términos del costo planificado, el presupuesto, duración y recursos.
3. Registro: según se avanza el proyecto, es necesario registrar los datos reales, el costo y progreso que tiene cada tarea como individual, y el proyecto en general.
4. Calcular el valor agregado: se suma el valor de las tareas completadas hasta el momento:
 - a) **VA**: valor agregado de las tareas completadas.
 - b) **CR**: costo real, cantidad de dinero que realmente se ha gastado.
 - c) **VA.real**: suma de todas las tareas completadas realmente.
 - d) **CV**: costo variable, donde se mide si el proyecto está en el presupuesto, por encima o por debajo.
 - 1) $CV = VA - CR$
Si $CV > 0$, por debajo del presupuesto.
Si $CV < 0$, por encima del presupuesto.
si $CV = 0$, justo en el presupuesto.
 - e) **SV**: variación del programa, mide si el proyecto está en el cronograma, por delante o por detrás
 - 1) $SV = VA.real - VA$
Si $SV > 0$, por delante del cronograma.
Si $SV < 0$, por detrás del cronograma.
Si $SV = 0$, por delante del cronograma.
 - f) **CPI**: índice de desempeño de costo.
 $VA.real/CR$

- g) **PPI**: índice de desempeño del programa.
 VA_{real}/VA

5. Tomar decisiones y acciones: en función a lo obtenido, decidir qué rumbo tomará el proyecto, tomar acciones correctivas de ser necesario para garantizar el éxito del presupuesto y el cronograma.

El EVM resulta una herramienta útil en el control y la gestión de proyectos, debido a que proporciona una visión completa tanto del rendimiento del proyecto con base en costos y plazos. Además previene problemas desde las fases tempranas del proyecto y garantiza que se mantenga en línea con el cronograma y presupuesto establecidos (Muratet, 2023).

P. KPI

Los KPI (key performance indicators), llamados en español indicadores clave de desempeño, se utilizan como medidas cualitativas y cuantitativas para evaluar el rendimiento de un proyecto, relacionado a sus objetivos estratégicos o metas establecidas. Son de suma importancia al momento de dar seguimiento y cuantificar el éxito que ha tenido un proyecto respecto al progreso de los objetivos (Pérez, 2020).

De esta manera, se asegura el alcance de los objetivos en tiempo y costo preestablecidos. Los KPI más comunes son los siguientes:

1. Cronograma

- a) **Cumplimiento del cronograma**: estima el avance del proyecto según lo estipulado.
- b) **Desviación de plazos**: diferencia entre fechas según la planificación y la fecha real de ejecución.

2. Costo

- a) **Cumplimiento del presupuesto**: estima el avance del proyecto dentro del costo previsto.
- b) **Desviación de costos**: define cuál es la diferencia entre los costos presupuestados y los costos reales ejecutados.
- c) **Índice de desempeño de costo (CPI)**: eficiencia en gasto de la relación al presupuesto planificado. Si es mayor a 1, se encuentra por debajo del presupuesto, y si es inferior, se está por encima del presupuesto.

3. Alcance

- a) **Cumplimiento de alcance**: identifica si el alcance propuesto se está logrando y con cuántos cambios.
- b) **Cambios de alcance**: si hubo algún/algunos cambios respecto al alcance del proyecto y como esto impacta.

4. Calidad

- a) **Índice de calidad:** evalúa la calidad con la que se entrega el proyecto, o bien, según la satisfacción del cliente.
- b) **Número de errores/defectos:** se delimita la cantidad de defectos encontrados en el proyecto.

5. Recursos

- a) **Utilización de recursos:** determina qué tan eficiente es el uso de los recursos, tiempo y personal.
- b) **Disponibilidad de recursos:** como el nombre lo indica, evalúa la disponibilidad que tienen los recursos, según lo planificado.

6. Riesgo

- a) **Índice de riesgo:** evalúa como es la gestión de los riesgos en el proyecto y cómo se han identificado, la probabilidad y si es que se han gestionado ya.
- b) **Número de problemas no resueltos:** la cantidad de problemas que aún no han sido resueltos.

7. Satisfacción del cliente

- a) **Satisfacción:** únicamente se realiza cuando el proyecto ya está terminado.
- b) **Cantidad de reclamos:** se rastrean las quejas o problemas que el cliente ha presentado durante el proyecto.
- c) **Eficacia:** evalúa cómo fue la comunicación en el equipo durante el proyecto y también con las demás partes interesadas.
- d) **Documentación:** delimita si se generan y archivan los documentos de registro del proyecto.

Los KPIs dan una visión del desempeño del proyecto en diferentes puntos clave. Según la naturaleza del proyecto, los objetivos y puntos críticos, es que se determinan los KPIs para controlar y mejorar el proyecto (Wootton, 2020).

A continuación, se detallan los KPIs establecidos para el proyecto ISMRF:

Figura 19: *WBS ISMRF*

WBS	Descripción Región
1.00	ADMINISTRACIÓN
1.10	CONTRATO
1.11	carta adjudicación
1.20	PRELIMINARES
1.21	Trazo y nivelación
1.30	CIMENTACIÓN
1.31	muro de contención fase 1
1.32	muro de contención fase 2
1.33	pilotes
1.34	Zapatas
1.35	Vigas Conectoras
1.36	Cimientos Corridos
1.37	Pit de elevadores
1.40	MUROS DE MAMPOSTERÍA
1.41	muros nivel 1
1.42	muros nivel 2
1.50	LOSAS
1.51	losas nivel 1
1.52	losas nivel 2
1.60	ACABADOS DE OBRA CIVIL Y OTROS
1.61	gradas interiores
1.62	impermeabilizaciones
1.63	base de piso
1.64	zocalo martelinado exterior
1.65	molduras
1.70	INSTALACIONES
1.71	Instalaciones hidrosanitarias
1.72	Instalaciones electricas y especiales
1.80	ACABADOS GENERALES
1.81	Acabados en muros
1.82	Acabados en cielos
1.83	Instalación lámparas
1.90	CIERRE
1.91	Aceptación de trabajos
1.92	Cierre de proyecto
1.93	Hand-Over

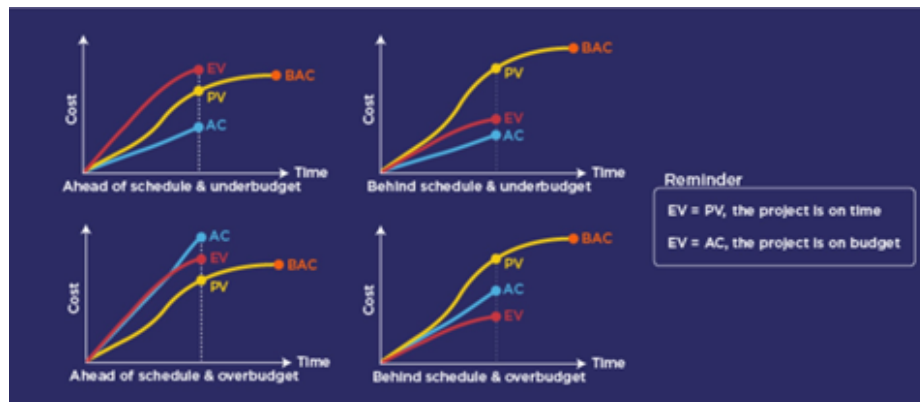
Nota. Adaptada de *PM502, (2021)*.

Figura 20: Resumen de Costos ISMRF

3/3/2019			
Descripción	Costo Directo (con IVA)	Área (m ²)	Costo por m ²
Trabajos Preliminares	\$ 20,406.69	2,864.45	\$ 7.12
Urbanización	\$ 200,728.06	2,864.45	\$ 70.08
Estructura Metálica	\$ 258,674.41	2,864.45	\$ 90.31
Obra Civil	\$ 1,708,778.87	2,864.45	\$ 596.55
Instalaciones Hidraulicas y Ventilaciones	\$ 232,237.33	2,864.45	\$ 81.08
Instalaciones Electricas y Especiales	\$ 220,750.15	2,864.45	\$ 77.07
Acabados	\$ 1,751,900.64	2,864.45	\$ 611.60
Equipamiento	\$ 309,242.88	2,864.45	\$ 107.96
Misceláneos	\$ 85,527.27	2,864.45	\$ 29.86
Total Costo Directo	\$ 4,788,246.30	2,864.45	\$ 1,671.61
PM	\$ 107,400.00	2,864.45	\$ 37.49
Planificación	\$ 54,442.31	2,864.45	\$ 19.01
Indirectos	\$ 101,956.94	2,864.45	\$ 35.59
Imprevistos 5.00%	\$ 252,602.28	2,864.45	\$ 88.19
SUBTOTAL	\$ 5,304,647.83	2,864.45	\$ 1,851.89
Aportes Inversionistas	\$ (567,441.49)	2,864.45	
Complemento (Retablo, Lienzos, Bancas)	\$ 669,036.48		
TOTAL	\$ 5,406,242.82	2,864.45	\$ 1,887.36

Nota. Adaptada de PM502, (2019).

Figura 21: Análisis del Valor Agregado



Nota. Adaptada de Abu Zaed Khan, (2023).

Figura 22: *Establecimiento de KPI para el proyecto*

OBJETIVOS

Objetivo General		
Completar el proyecto en calidad, tiempo, costo y velocidad de entrega, gestionando efectivamente las expectativas de los interesados.		
	Objetivos Específicos	Criterio de Éxito
1	Costo relacionado a la construcción	Cumplir con el presupuesto definido en la planificación del proyecto.
2	Calidad	Cumplimiento de los índices de satisfacción del patronato y comité técnico
3	Tiempo global del proyecto	18 meses
4	Comunicaciones	Comunicación activa del equipo de proyecto e interesados para minimizar riesgos e incrementar desempeño.
5	Riesgos	Mantener en un 5% el porcentaje de imprevistos respecto al presupuesto.
6	Transparencia	Documentación del proyecto según necesidades de la asociación.

Nota. Adaptada de *PM502, (2019)*.

Para la realización de este trabajo de graduación es necesario que el project manager posea conocimientos en la metodología BIM. Esto debido a que la mayor parte del desarrollo del trabajo requiere de la utilización de programas que se ejecuten bajo los fundamentos y estándares de la metodología (BIM).

Se utilizará la información generada en la etapa de anteproyecto y planificación como base del control de obra que surge posteriormente. Por otro lado es imprescindible realizar visitas al proyecto en la etapa de ejecución, esto con el fin de poder registrar su avance, supervisar su desarrollo y mantener un control cronológico del proyecto. Para este caso el proyecto será una iglesia la cual se esperaba culminar en el segundo trimestre del año 2021, según la metodología tradicional. Sin embargo, la iglesia se terminó de construir y fue inaugurada el 30 de abril de 2022. Por lo tanto, hubo un atraso de casi un año en la finalización del proyecto.

Dado que el alcance del proyecto de graduación involucra las etapas de planificación y control de obra del proyecto, es necesario contar con un modelo BIM para comparar el avance que presenta la obra según el cronograma, el avance real según las visitas de campo y el avance representado en el modelo. Este modelo BIM fue facilitado por la empresa PM502 para la realización del presente trabajo de graduación.

Inicialmente se realizará un levantamiento de los principales elementos y capítulos a considerar dentro de la cuantificación para la ejecución de un mejor control de obra. Este proceso se realizará a través de los planos constructivos con los que se cuenta y el modelo BIM. Se utilizará la herramienta Excel para su desarrollo y posterior traslado a Arquímedes y Control de Obra.

En CYPE se generaron cinco capítulos, cada uno con diferentes partidas, se utilizó el generador de precios de Arquímedes y se extrajeron las mediciones del modelo BIM (software Revit) para la cuantificación de cada elemento constructivo.

La principal herramienta a emplear para el desarrollo de este trabajo de graduación es el

software CYPE Arquímedes y Control de Obra. Esta se enfoca en tres principales áreas para la elaboración de un proyecto, diseño y análisis estructural; diseño y cálculo de instalaciones y gestión de obras y documentación de proyecto. CYPE Arquímedes y Control de obra se enfoca en la última de estas tres áreas, apoyando a con aspectos mediciones, presupuestos, certificaciones, pliegos de condiciones; y manual de uso y mantenimiento del edificio (CYPE, 2021).

Finalmente, con base a los resultados obtenidos por los software BIM utilizados se presentará la comparativa a la empresa PM502, S.A. encargada del desarrollo del proyecto ISMRF, la comparativa de haber utilizado un procedimiento convencional versus haber utilizado la metodología BIM para las etapas de control de obra y aseguramiento de la calidad.

El punto de partida del presente trabajo de graduación consiste en evaluar y realizar una comparativa de la metodología BIM y la metodología tradicional. Para el proyecto de la Iglesia Santa María Reina de la Familia -ISMRF- se elaboró un cuadro de Excel que, tras desglosarse en cada aspecto, se obtiene el costo directo de cada uno. Además, se toma en cuenta el área total del proyecto, para obtener un costo por metro cuadrado, para cada uno de los ítems.

El área total del proyecto se compone de 2,864.45 m², que representa un costo total de USD 5,406,242.82 para obtener un costo por metro cuadrado de USD 1,887.36. Los distintos ítems para analizar son:

- **Trabajos preliminares:** esto se compone de demoliciones de las estructuras preexistente, levantamiento topográfico y marcado en campo, instalación de drenajes temporales, delimitación del terreno a través de un cerramiento temporal. Toda obra requiere de la extracción de ripio y demás desecho, instalación del campamento y las instalaciones hidráulicas y energéticas temporales.
- **Urbanización:** comprende la excavación, relleno y movimientos de tierra necesario, para ejecutar los muros de contención. Finalmente, se incluyen los materiales para garantizar la vida útil de los muros de contención, la instalación de cerramientos perimetrales, gradas, acometidas, pavimentos y bordillos.
- **Estructura metálica:** se consideraron diferentes estructuras, tales como la base, el techo, techo coro, los paneles para techo, cúpula, linternillas, retablo, los catwalk, pérgola para el patio y los retoques necesarios de la estructura.
- **Obra Civil:** la obra civil, sin duda es la parte más importante para este trabajo de graduación, ya que considera toda la parte medible para comparar contra la metodología BIM. Dentro de los aspectos incluidos en el desglose de la obra civil, está la cimentación, columnas, muros, vigas principales, vigas soleras, las losas y estructuras de soporte. Esto tanto para la nave principal como para la zona administrativa.

Figura 23: Resumen de costos del proyecto ISMRF

3/03/2019			
Descripción	Costo Directo (con IVA)	Área (m ²)	Costo por m ²
Trabajos Preliminares	\$ 20,406.69	2,864.45	\$ 7.12
Urbanización	\$ 200,728.06	2,864.45	\$ 70.08
Estructura Metálica	\$ 258,674.41	2,864.45	\$ 90.31
Obra Civil	\$ 1,708,778.87	2,864.45	\$ 596.55
Instalaciones Hidraulicas y Ventilaciones	\$ 232,237.33	2,864.45	\$ 81.08
Instalaciones Electricas y Especiales	\$ 220,750.15	2,864.45	\$ 77.07
Acabados	\$ 1,751,900.64	2,864.45	\$ 611.60
Equipamiento	\$ 309,242.88	2,864.45	\$ 107.96
Misceláneos	\$ 85,527.27	2,864.45	\$ 29.86
Total Costo Directo	\$ 4,788,246.30	2,864.45	\$ 1,671.61
PM	\$ 107,400.00	2,864.45	\$ 37.49
Planificación	\$ 54,442.31	2,864.45	\$ 19.01
Indirectos	\$ 101,956.94	2,864.45	\$ 35.59
Imprevistos 5.00%	\$ 252,602.28	2,864.45	\$ 88.19
SUBTOTAL	\$ 5,304,647.83	2,864.45	\$ 1,851.89
Donaciones	\$ (567,441.49)	2,864.45	
Complemento (Retablo, Lienzos, Bancas)	\$ 669,036.48		
TOTAL	\$ 5,406,242.82	2,864.45	\$ 1,887.36

Nota. Adaptada de PM502, (2019).

- **Instalaciones hidráulicas y de ventilación:** se contemplan instalaciones hidrosanitarias del edificio, válvulas, rejillas, equipo de soporte, extracción de aire y ventilación.
- **Instalaciones eléctricas y especiales:** este ítem es muy particular y específico, ya que únicamente considera las acometidas para las instalaciones de iluminación y de fuerza. También, las instalaciones especiales como el pararrayos, el banco de tierra y los ductos para las instalaciones
- **Acabados:** los acabados incluyen las tabicaciones, forros en general, pisos, azulejos, sócalos, puertas, ventanas, cielo falso en el techo, detalles sanitarios y material de revestimiento.
- **Equipamiento:** se toma en cuenta el equipo acústico, de seguridad, elevadores, cocina y luminarias.
- **Varios:** ítems adicionales que no entra en ninguna de las categorías anteriores y que pueden ser esenciales para el funcionamiento de la Iglesia.

El desglose para calcular el costo por metro cuadrado se estima a partir del cuadro inferior. Este cuadro fue preparado con el fin de mostrar el área total que se trabaja. La huella individual del edificio es de 2,251.50 metros cuadrados. Por otro lado, el terreno alcanza hasta los 3,773 con un perímetro de 308.46 metros lineales.

Figura 24: Clasificación por área de proyecto

Descripción	Cantidad m2
Huella de Edificio	2,251.50
Área Edificable TOTAL	2,864.45
Área Terreno	3,773.00
Frente Promedio	46.94
Fondo Promedio	54.11
Perímetro Terreno	308.46

Nota. Adaptada de *PM502*, (2019).

El cronograma adjunto, describe inicialmente el comportamiento que tendrá el proyecto a través del tiempo. Este cronograma fue realizado por la empresa PM502, quien brindó la información necesaria para poder realizar una comparativa entre los resultados reales y el posible análisis en CYPE a través de la herramienta Arquímedes para el seguimiento en obra.

El cronograma que se presenta a continuación, como se puede apreciar en la figura inferior, cuenta con diversos ítems los cuales se pueden ir revisando los avances conforme la obra se va ejecutando. De esta manera, se puede dar un seguimiento, uno a uno a cada punto según su importancia y registrar su impacto en la obra. Se puede realizar tanto bajo la herramienta de Project, como en este caso, Excel.

Dentro de los puntos que se analizaron en este cronograma, tanto a través de Excel, como de CYPE Arquímedes, se tomaron en cuenta diversos factores. Por mencionar superficialmente los puntos analizados, se definen 4 importantes:

- **Adjudicación:** todo lo relacionado al proceso “legal” que conlleva el proyecto y es de suma importancia para el arranque de este.
- **Construcción:** se relaciona principalmente al ámbito civil, que es el tema principal de este trabajo de graduación, el seguimiento al proceso constructivo.
- **Cierre:** principalmente los trabajos finales que indican que el proyecto ha sido ejecutado satisfactoriamente, a nivel de funcionalidad.
- **Retablo:** también relacionado al ámbito ingenieril, donde se realizan los últimos trabajos para afinar la entrega final del proyecto.

A continuación se muestra cómo se presentan los resultados a través de la herramienta Excel, para los avances del cronograma, durante los mediados de 2020 aproximadamente.

El cronograma previamente mostrado, se realiza con base en diferentes situaciones. Estas, principalmente se basan en la experiencia del Project Manager, y es allí donde entra en juego la confiabilidad, el criterio ingenieril y principalmente, el conocimiento que tiene un profesional en la materia. El análisis de un cronograma para la ejecución del proyecto se basa en tener distintos escenarios; en este caso, para la ISMRF se tomó en cuenta el que

Figura 25: Segmento del cronograma para la planificación del proyecto

TIEMPO								
WBS	Descripción Región	Fecha de Inicio	Fecha de Finalización Base	Duración Estimada (días)	Fecha Finalización Proyectada	Días para Finalización	% de Avance	Situación del Región
1.00	ADJUDICACIÓN	22/07/2019	8/08/2019	18.00	8/08/2019	0	100.00%	FIN
2.00	CONSTRUCCIÓN	31/07/2019	8/11/2020	488.00	8/11/2020	-1088	34.00%	OS
2.10	PRELIMINARES	31/07/2019	14/08/2019	14.00	14/08/2019	0	100.00%	FIN
2.20	OBRA GRU8	17/08/2019	2/07/2020	320.00	2/07/2020	-1188	41.00%	OS
2.2.1	CIMENTACIÓN	17/08/2019	18/10/2019	83.00	18/10/2019	-1466	89.00%	BS
2.2.1.1	Muros de contención	17/08/2019	13/09/2019	27.00	13/09/2019	0	100.00%	FIN
2.2.1.2	Pilotes	17/08/2019	9/09/2019	23.00	17/09/2019	0	100.00%	FIN
2.2.1.3	Zapatillas	17/08/2019	19/10/2019	63.00	19/10/2019	-1455	99.00%	BS
2.2.1.4	Cimientos Corridos	20/08/2019	19/10/2019	60.00	19/10/2019	0	100.00%	FIN
2.2.1.5	Vigas Conectoras	12/09/2019	19/10/2019	37.00	19/10/2019	0	100.00%	FIN
2.2.2	MUROS DE MAMPOSTERÍA	18/08/2019	18/02/2020	168.00	18/02/2020	-1332	64.00%	OS
2.2.2.1	Muros de contención MC1	16/09/2019	1/12/2019	76.00	1/12/2019	0	100.00%	FIN
2.2.2.2	Muros de contención MC2	16/09/2019	1/12/2019	76.00	1/12/2019	0	100.00%	FIN
2.2.2.3	Muros de contención MC3	16/09/2019	1/12/2019	76.00	1/12/2019	0	100.00%	FIN
2.2.2.4	Muros nivel 1	19/10/2019	1/12/2019	43.00	1/12/2019	0	100.00%	FIN
2.2.2.5	Muros nivel 2	19/10/2019	19/02/2020	123.00	19/02/2020	-1332	29.00%	OS
2.2.2.6	Muros nivel 3	19/10/2019	1/12/2019	43.00	1/12/2019	-1412	0.00%	OS
2.2.3	LOSAS	17/08/2019	2/07/2020	320.00	2/07/2020	-1188	20.00%	OS
2.2.3.1	Losa nivel 1	17/08/2019	2/07/2020	320.00	2/07/2020	-1198	18.00%	OS
2.2.3.2	Losa nivel 2	17/08/2019	3/03/2020	199.00	3/03/2020	-1319	0.00%	OS
2.2.3.3	Losa nivel 3	25/01/2020	3/02/2020	9.00	3/02/2020	-1348	0.00%	OS
2.2.3.4	Estructura retablo	12/10/2019	11/03/2020	151.00	11/03/2020	-1311	33.00%	OS
2.2.3.5	Alcance cupula QC	11/03/2020	19/03/2020	8.00	19/03/2020	-1303	0.00%	OS
2.2.4	ACABADOS DE OBRA CIVIL	30/11/2019	18/06/2020	171.00	18/06/2020	-1242	11.00%	OS
2.2.4.1	Resanes	30/11/2019	15/01/2020	46.00	15/01/2020	-1367	0.00%	OS
2.2.4.2	Blanqueados	11/12/2019	11/03/2020	91.00	11/03/2020	-1311	0.00%	OS
2.2.4.3	Acabados en cupula	2/03/2020	19/05/2020	78.00	19/05/2020	-1242	0.00%	OS
2.2.4.4	Molduras	10/12/2019	7/04/2020	119.00	7/04/2020	-1284	47.00%	OS
2.2.4.5	Impermeabilizaciones	2/03/2020	14/04/2020	43.00	14/04/2020	-1277	0.00%	OS
2.2.6	URBANIZACIÓN	18/02/2020	28/06/2020	100.00	28/06/2020	-1232	0.00%	OS
2.30	INSTALACIONES	17/08/2019	4/03/2020	200.00	4/03/2020	-1318	67.00%	OS
2.31	Instalaciones hidrosanitarias	17/08/2019	12/02/2020	179.00	12/02/2020	-1339	36.00%	OS
2.32	Instalaciones electricas y especiales	17/08/2019	4/03/2020	200.00	4/03/2020	-1318	36.00%	OS
2.33	Sistema	8/09/2019	1/12/2019	84.00	1/12/2019	0	100.00%	FIN

Nota. Adaptada de PM502, (2019).

toma: valor más probable, el valor más pesimista y el valor optimista. De estos, se realiza una ponderación con base en los tiempos mencionados, para obtener cuánto es el tiempo “aproximado” donde se realizará cada uno de los puntos analizados.

Tras haber mencionado el análisis que se realizó a la información obtenida, se procede a delimitar los puntos importantes para este trabajo. Para ello, se realizó un listado que define las interacciones que tiene cada una de las distintas actividades entre sí. Para ahondar más en cada uno de los valores, se detalla cada actividad en el listado WBS adjunto. El listado WBS representa la descomposición jerárquica de las actividades. A través de él es que posible delimitar las actividades del proyecto que se analizarán en CYPE a través de la herramienta Arquímedes con el generador de precios, y finalmente, se le asigna una jerarquía para facilitar el análisis.

Dicho esto, cada uno de los puntos del WBS contienen diferente información. Estos se basan principalmente en 3 puntos:

Figura 26: Ejemplo Cronograma a mediados de 2020

WBS	Descripción Región	Fecha de Inicio	Fecha de Finalización Base	Duración Estimada (días)	Fecha Finalización Proyectada	Días para Finalización	% de Avance	Situación del Región	
1.00	ADJUDICACIÓN	22/07/2019	9/08/2019	18.00	6/08/2019	● 0	100.00%	FIN	
2.00	CONSTRUCCIÓN	31/07/2019	8/11/2020	466.00	8/11/2020	● -1069	34.00%	OS	
3.00	CIERRE	19/11/2020	26/12/2020	37.00	26/12/2020	● -1021	0.00%	OS	
4.00	RETABLO	1/05/2019	30/07/2020	456.00	30/07/2020	● -1170	61.00%	OS	
							% de Avance Total	39.00%	OS

DONDE:
BS: Behind Schedule, OS: On Schedule, AS: Ahead Schedule, FIN: Finalizado

Nota. Adaptada de *PM502*, (2020).

Figura 27: Extracto del WBS

WBS	Descripción Región
1.00	CIMENTACIÓN
1.10	MUROS DE CONTENCIÓN
1.1.1	EXCAVACIÓN MC-1
1.1.2	CONCRETO DE LIMPIEZA
1.1.3	ARMADURÍA Y COLOCACIÓN DE ACERO
1.1.4	FUNDICIÓN
1.1.5	EXCAVACIÓN MC-2
1.1.6	CONCRETO DE LIMPIEZA
1.1.7	ARMADURÍA Y COLOCACIÓN DE ACERO
1.1.8	FUNDICIÓN
1.1.9	EXCAVACIÓN MC-3
1.1.10	CONCRETO DE LIMPIEZA
1.1.11	ARMADURÍA Y COLOCACIÓN DE ACERO
1.1.12	FUNDICIÓN

Nota. Adaptada de *PM502*, (2019).

1. **Cimentación:** en él se encuentran diferentes estructuras, y cada una cuenta con tareas que se deberán ir realizando en orden cronológico y secuencial, para poder llevar a cabo la siguiente. Esto implica, por lo tanto, que uno se debe realizar antes que el otro. Siguiendo esa lógica, para terminar la cimentación, es necesario terminar:
 - a) Muros de contención
 - b) Pilotes
 - c) Zapatas
 - d) Cimientos corridos
 - e) Vigas conectoras
 - f) Losas de cimentación
2. **Estructura metálica:** De igual manera que con la cimentación, es necesario llevar a cabo una serie y secuencia de procedimientos para darla por terminada. En este caso.
 - a) Estructural de anillo de compresión
 - b) Estructura secundaria
 - c) Cúpula

3. **Acabados de retablo:** como se mencionó anteriormente, no solo se trabajó la parte de la “construcción” sino la parte de acabados también.

Para ingresar de lleno al análisis en Arquímedes, se generaron 5 capítulos principales basados en el WBS. Más adelante se hablará de cada uno de ellos y cómo se obtuvieron sus mediciones en el programa. Se generan partidas por cada uno de los elementos mencionados, para obtener el cronograma en el software y poder compararlo con los valores obtenidos en Excel de la planificación real del proyecto. Por su parte, con el generador de precios de la misma herramienta, Arquímedes, se realizó un presupuesto para obtener los costos del proyecto.

En ambas metodologías, se parte de un mismo anteproyecto, el cual delimita los hitos claves de resultados positivos y satisfactorios. En los dos casos, se inicia por la extracción de información de los modelos en dos y tres dimensiones atendiendo los requerimientos del cliente y, a la vez, estudiando la viabilidad con los especialistas, es decir, una tarea multidisciplinaria con un mismo fin.

Al contar con el anteproyecto aprobado, se procedió a extraer un cuadro de renglones maestros o WBS, el cual jerarquizó tareas asociadas a los principales elementos constructivos con el fin de alcanzar los objetivos del proyecto. Los principales entregables en esta fase fueron los, planos arquitectónicos y constructivos en dos y tres dimensiones, las licencias asociadas al desarrollo del proyecto y un cuadro de renglones maestros jerarquizado.

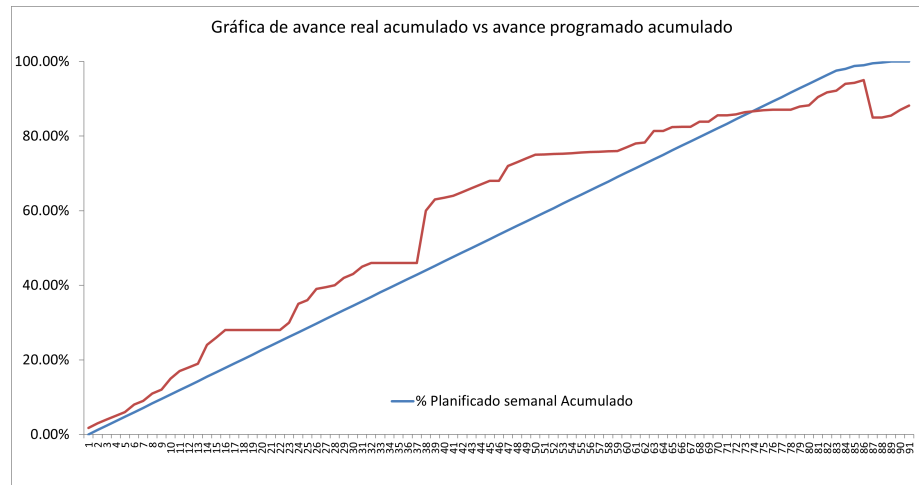
A partir de este último entregable, se realizó la diferenciación entre ambos métodos de planificación, gestión y ejecución para el proyecto de estudio. Como alcance general, se seleccionaron los siguientes renglones maestros a desarrollar

1. Cimentaciones.
2. Estructuras en concreto.
3. Instalaciones eléctricas.
4. Instalaciones hidrosanitarias.
5. Acabados generales.

La curva S se representa con dos colores distintos que muestran las variables de importancia para su análisis. En este caso, la línea azul representa el avance planificado por semana, el cual se va acumulando. Esta es una curva idealizada, donde los escenarios planteados se cumplen a la perfección. La línea roja, por su parte, es el avance real de la obra por semana y, de igual forma, se va acumulando. Si la línea roja es inferior a la azul, indica un atraso; por el contrario, si está por encima, implica que se está trabajando de manera eficiente y se están realizando ahorros para el proyecto.

La curva S también muestra cuál es el comportamiento real vs. el avance planificado. Se aprecia que durante las primeras 60 semanas la obra se llevó de manera eficiente, con mucho ahorro. Sin embargo, se nota un estancamiento que llevó a la obra a números negativos y ralentizó el avance del proyecto. La curva no es la última versión, ya que, por ética de

Figura 28: Curva S a las 91 semanas



Nota. Adaptada de *García, (2024)*.

la empresa, no fue posible obtenerla para fines académicos. Sin embargo, brinda una idea suficiente para entender cuál fue el comportamiento de la obra en la fase de cierre. Por lo tanto, es importante tener una adecuada planificación y prever estos escenarios para futuros proyectos.

En el caso de los cronogramas realizados en CYPE adjuntos, se mostró la planificación que se debió llevar a cabo a partir de junio de 2021 para finalizar la obra, aproximadamente, en abril de 2022. Estos cronogramas se detallan a continuación.

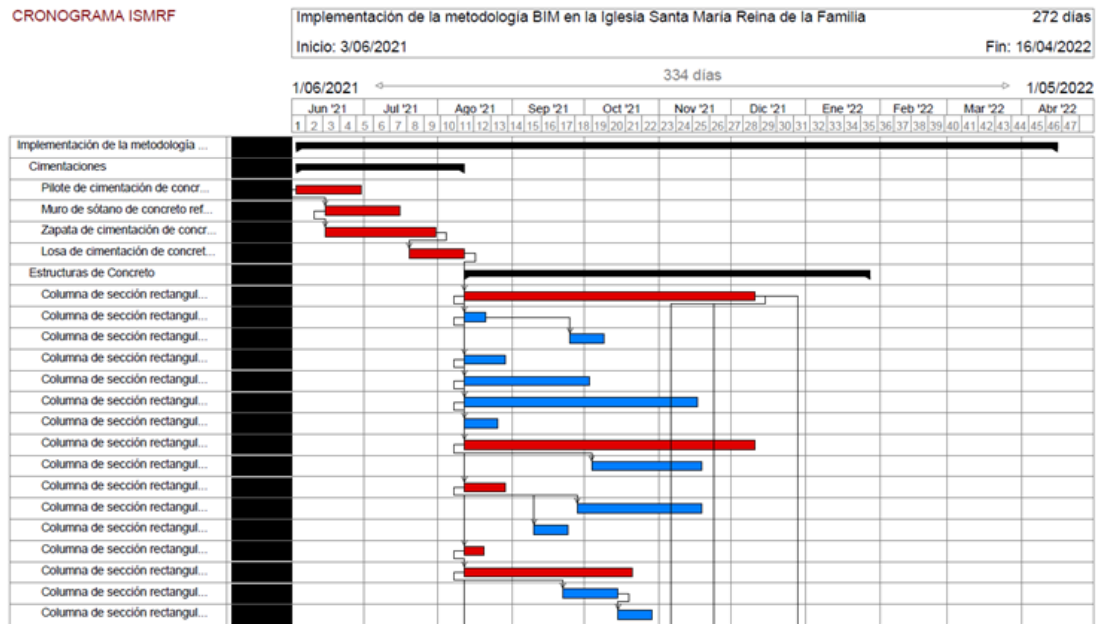
Habiendo determinado los principales elementos constructivos a analizar durante el desarrollo del trabajo, se procedió a ejecutar un cronograma de obra asociado a estos cinco hitos. Para ello se empleó la herramienta computacional, CYPE-Arquímedes y Control de Obra. Se extrajo del cuadro de renglones maestros la jerarquización de las actividades mencionadas anteriormente y considerando la metodología de tiempos pesimistas, reales y optimistas se colocaron fechas estimadas de inicio, desarrollo y culminación de tareas.

Habiendo corrido un estudio de interacción entre hitos, se determinó la existencia de tareas predecesoras, tareas dependientes de la culminación de otras y tareas a ejecutarse de manera simultánea. Se asumió una tendencia en la ejecución del trabajo la cual propone un tiempo estimado de ejecución de 11 meses.

Mientras que en la metodología tradicional se realiza un trabajo similar utilizando la herramienta Project, el alcance varió porque se contemplan todos los rubros asociados a la construcción de la iglesia. Aunque ambos entregables parten de un mismo cuadro de renglones, la metodología tradicional se basa en los avances mediante la supervisión y comparación con planos y modelos en dos dimensiones.

A diferencia del método ejecutado en CYPE, el cronograma desarrollado en Project no se encuentra directamente relacionado a un modelo BIM, entiéndase como tal, un modelo en tres dimensiones con correcciones en tiempo real, colaboraciones multidisciplinarias y actualizaciones o avances generados en obra.

Figura 29: Parte 1 - Cronograma Arquímedes



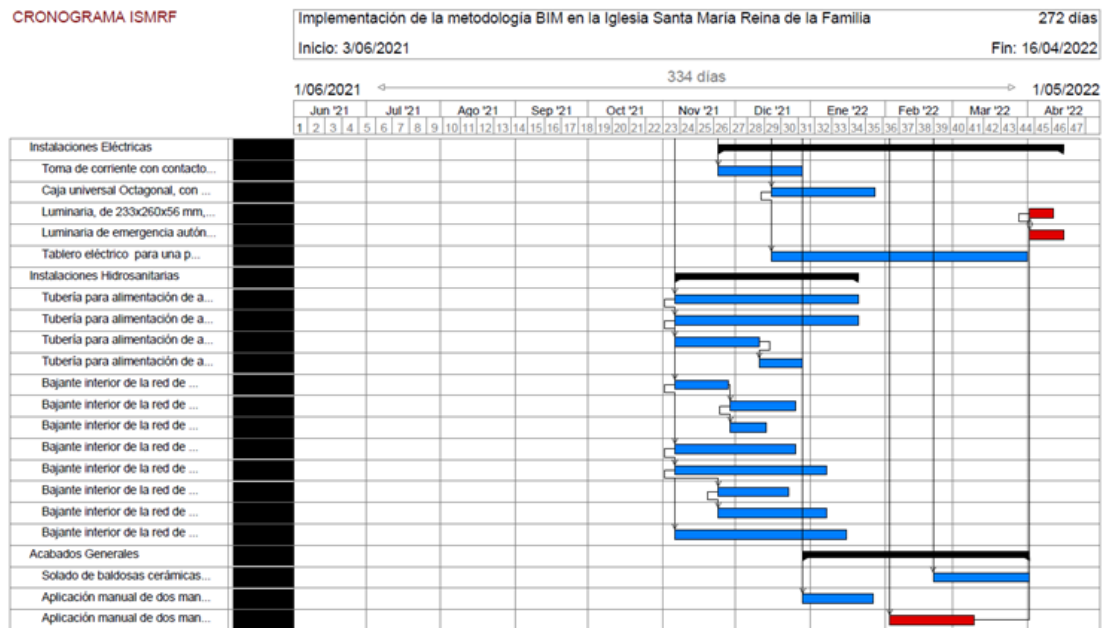
Nota. Adaptada de *García, (2023)*.

En el proceso de cuantificación y extracción de mediciones también se realizó una variación respecto a la metodología empleada en la planificación de la Iglesia Santa María Reina de la Familia. Habitualmente, la empresa encargada de la gestión del proyecto utilizó los modelos en dos dimensiones para la extracción de mediciones y cuantificación de materiales, mano de obra y herramientas. La propuesta de la metodología BIM en conjunto con la herramienta CYPE Arquímedes es extraer las mediciones para la cuantificación de recursos del modelo en tres dimensiones proveniente de Revit.

La metodología inicial sugirió la recopilación de información a través de los planos topográficos, arquitectónicos, estructurales, de instalaciones, cimentaciones y de equipos especiales; en dos dimensiones, en este caso utilizando la herramienta AutoCAD. El proceso inició desde la visualización de los planos en el software de diseño, conjunto con la herramienta de cálculo Excel para la extracción de mediciones. El programa cuenta con la facilidad de marcar y medir con cotas los elementos deseados según sea la necesidad en las unidades de medida dictadas por el mercado local. En Excel se transcribieron los datos obtenidos calculando los subtotales y totales de cada renglón, elemento constructivo y material del cual están hechos.

Para llevar a cabo esta cuantificación se requiere de varios especialistas expertos en la materia y debe contar con varias revisiones previo a emitirse una entrega final. La metodología convencional resulta repetitiva y prolongada con susceptibilidad al criterio y factor humano derivado de las múltiples variaciones que llega a sufrir el modelo en las instancias de planificación. Por lo tanto, existieron varias corridas de la cuantificación las cuales demoraron más tiempo del estimado, representando un aumento en el costo, atrasos en la planificación y ejecución.

Figura 31: Parte 3 - Cronograma Arquímedes



Nota. Adaptada de *García, (2023)*.

- **Cimentaciones:** pilotes, muros de contención, zapatas y losa de cimentación, medidos en metros lineales, metros cuadrados (área) y cúbicos (volumen).
- **Estructuras de concreto:** columnas, vigas y losas, medidos tanto en área como en volúmenes de concreto.
- **Instalaciones eléctricas:** diferentes aparatos y recursos de cableado para los diferentes equipamientos que se necesitan para hacer las instalaciones, medido en unidades.
- **Instalaciones hidrosanitarias:** principalmente las tuberías medidas en metro lineales.
- **Acabados:** los acabados se cuantificaron en unidades de área.

A continuación una muestra del resumen de la cuantificación:

Con cada variable a cuantificar y el modelo BIM cargado en el programa, Arquímedes permite realizar las mediciones asignando diferentes dimensionales (metros lineales, metros cuadrados, espesores, pesos, etc.) a cada una de las partidas. De esta manera, el programa interpretará que las variables están directamente relacionadas al modelo. La principal ventaja, es que se reduce en gran medida el factor humano y al estar vinculado con el modelo, automáticamente cualquier cambio que se realice en el modelo base, una vez se actualice, este también actualizará la cuantificación sin necesidad de realizarla desde cero.

Al haber obtenido los datos de la cuantificación de materiales, mano de obra y herramientas, se procedió a realizar el presupuesto asociado a la obra. El presupuesto propuesto es de costos unitarios enlazados a las unidades de medida sugeridas por el mercado nacional. Se realizó un presupuesto según los costos de los materiales sugeridos por los proveedores.

Figura 32: *Cuantificación en Arquímedes*

Capítulo EH Estructuras de Concreto			
EHS010	m ³	Columna de sección rectangular o...	105,551
EHS010b	m ³	Columna de sección rectangular o...	1,716
EHS010c	m ³	Columna de sección rectangular o...	4,590
EHS010d	m ³	Columna de sección rectangular o...	10,440
EHS010e	m ³	Columna de sección rectangular o...	56,435
EHS010f	m ³	Columna de sección rectangular o...	107,136
EHS010g	m ³	Columna de sección rectangular o...	38,850
EHS010h	m ³	Columna de sección rectangular o...	24,985
EHS010i	m ³	Columna de sección rectangular o...	5,083
EHS010j	m ³	Columna de sección rectangular o...	13,756
EHS010k	m ³	Columna de sección rectangular o...	4,347
EHS010l	m ³	Columna de sección rectangular o...	0,684
EHS010m	m ³	Columna de sección rectangular o...	17,942
EHS010n	m ³	Columna de sección rectangular o...	2,267
EHS010o	m ³	Columna de sección rectangular o...	3,444
EHS010p	m ³	Columna de sección rectangular o...	53,708
EHS010q	m ³	Columna de sección rectangular o...	105,670
EHV010	m ³	Viga descolgada, recta, de concret...	0,976
EHV010b	m ³	Viga descolgada, recta, de concret...	2,499
EHV010c	m ³	Viga descolgada, recta, de concret...	15,956
EHV010d	m ³	Viga descolgada, recta, de concret...	61,723
EHV010e	m ³	Viga descolgada, recta, de concret...	30,146
EHV010f	m ³	Viga descolgada, recta, de concret...	7,524
EHV010g	m ³	Viga descolgada, recta, de concret...	0,840
EHV010h	m ³	Viga descolgada, recta, de concret...	1,439
EHL010d	m ²	Losa maciza de concreto reforzad...	400,384
EHL010	m ²	Losa maciza de concreto reforzad...	708,705
EHL010b	m ²	Losa maciza de concreto reforzad...	512,941
EHL010c	m ²	Losa maciza de concreto reforzad...	143,917
Total capítulo EH			

Nota. Adaptada de *García, (2023)*.

Los costos de mano de obra fueron calculados con base al concurso de licitación de la construcción total de la iglesia santa maría reina de la familia. De igual forma los costos por arrendamiento de maquinaria por periodos reducidos o prolongados en obra se calcularon mediante cuadros comparativos de propuestas de proveedores. Se realizaron diferentes licitaciones según fuese necesario adquirir o arrendar una maquinaria.

Además, se contó con descuentos y/o donaciones por parte de ciertas empresas debido a la naturaleza del proyecto y por el tipo de cliente que adquiriría el bien o servicio. Existieron también contratos o documentos privados de confidencialidad los cuales aseguraban un mejor precio en la adquisición de materiales si el cien por ciento de los mismos eran adquiridos con el proveedor oferente.

El presupuesto base sufrió cambios durante la etapa de ejecución del proyecto, además de sobrecostos no considerados inicialmente debido a la prolongación en la construcción del edificio (aproximadamente cuatro años) lo cual sugiere fluctuaciones en el precio de materiales susceptibles como el acero. Estas modificaciones se realizaron manualmente y fueron constantemente reportadas a través de un documento semanal entregado a los involucrados del proyecto. Lo mismo sugiere un costo adicional en tiempos y mano de obra.

Realizar un presupuesto manual y localmente con diferentes concursos de licitación ofrece un mejor precio al adquisidor y será más real que a través del generador de precios de la herramienta CYPE Arquímedes y control de obra.

Para generar el presupuesto del proyecto bajo la metodología BIM se hace uso de igual

forma, del software Arquímedes. Otra ventaja significativa del programa es que este cuenta con el generador de precios. El generador de precios es una herramienta que ya tiene valores preestablecidos para los diferentes materiales, elementos constructivos, mano de obra, accesorios y equipos para la ejecución. Este cuenta con diferentes valores con base en los precios sugeridos para el país del análisis; en este caso Guatemala.

Contando con el generador de precios ya cargado en el proyecto, se deben tener las partidas creadas en los capítulos seleccionados a cuantificar. Cada precio contemplado en el generador de precios, se asigna a los distintos elementos constructivos para poder hacer ese enlace y con base en un precio unitario, este se multiplica por la dimensional en la que se ingresó la partida. Por ejemplo, el precio por metro cúbico de concreto se multiplicará automáticamente por el volumen de precios estimados en ese aspecto con base en el modelo BIM. De esta manera, de haber un cambio en el valor del volumen por una actualización del modelo, el presupuesto también se actualizará.

El objetivo para buscar dar una especie de seguimiento en obra es adaptar tanto los valores que da el generador de precios y la cuantificación BIM, haciendo una mezcla con los precios reales con los que se ejecuta. El punto acá es, que el generador de precios no toma en cuenta ciertos valores que la presupuestación tradicional sí. Por ejemplo, al realizar ciertas compras en volumen, se ofrece un precio más favorable, existen los precios de mayoristas o bien, ciertos acuerdos entre empresas donde se pacta un precio a cambio de asegurar un contrato de compra.

De esta manera, una combinación entre la presupuestación automatizada en BIM a través del modelo con Arquímedes, complementándose con la presupuestación real basada en precios más apegados a la vida real en la ejecución, darán una planificación más aterrizada y de mejor calidad. Como resultado, se facilita la utilización de estos presupuestos par garantizar y asegurar los desembolsos económicos del proyecto, hasta estimar el precio total del proyecto y los costos con los que se puede llevar a cabo la obra.

Partiendo del cronograma de actividades propuesto inicialmente y de la presupuestación realizada para el proyecto se obtuvo la gráfica de plan de pagos que se muestra a continuación.

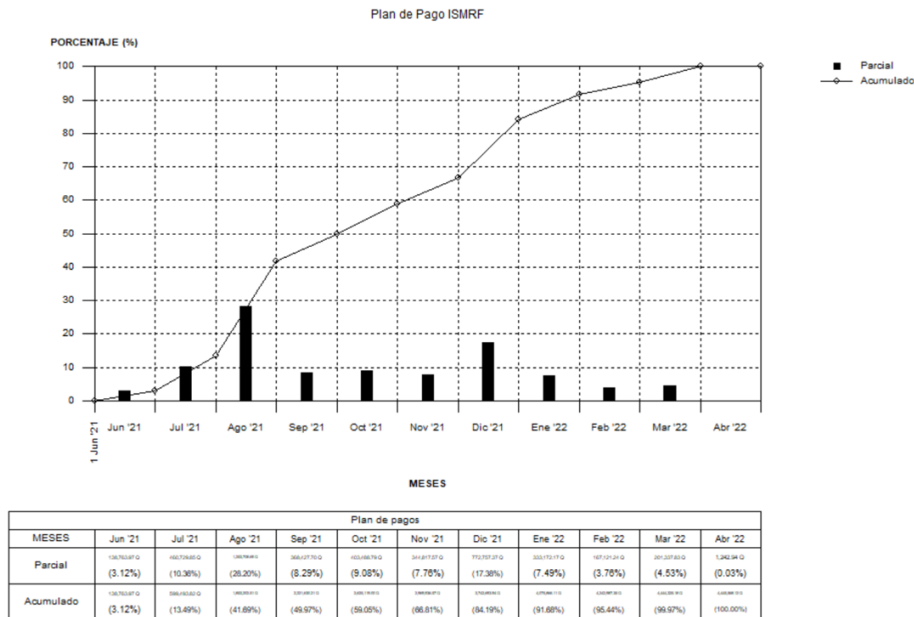
En dicha gráfica se presenta un desembolso económico versus un avance en obra tangibles, el cual tiende al alza a lo largo del tiempo, adicionalmente dentro de las características principales de la figura mostrada es que la pendiente de la línea tiende a incrementar debido a que refleja valores acumulativos.

Arquímedes y control de obra permite obtener un rastreo de todas aquellas certificaciones (cotizaciones) aprobadas en la vida del proyecto. Para ello se muestra la figura a continuación. A través del cuadro mostrado a continuación, es posible verificar las fechas y los montos por los cuales fueron aprobadas las cotizaciones asociadas a la obra.

Para un mayor entendimiento de las métricas clave de la figura de EVM, es necesario tomar en cuenta los siguientes puntos.

- **BAC (Presupuesto al finalizar) (Línea roja con triángulos):** representa el presupuesto total planificado para el proyecto.
- **PV (Valor Planificado) (Línea negra):** representa el costo presupuestado acumu-

Figura 33: Plan de Pagos



Nota. Adaptada de *García, (2023)*.

lado del trabajo que se tenía programado en el tiempo.

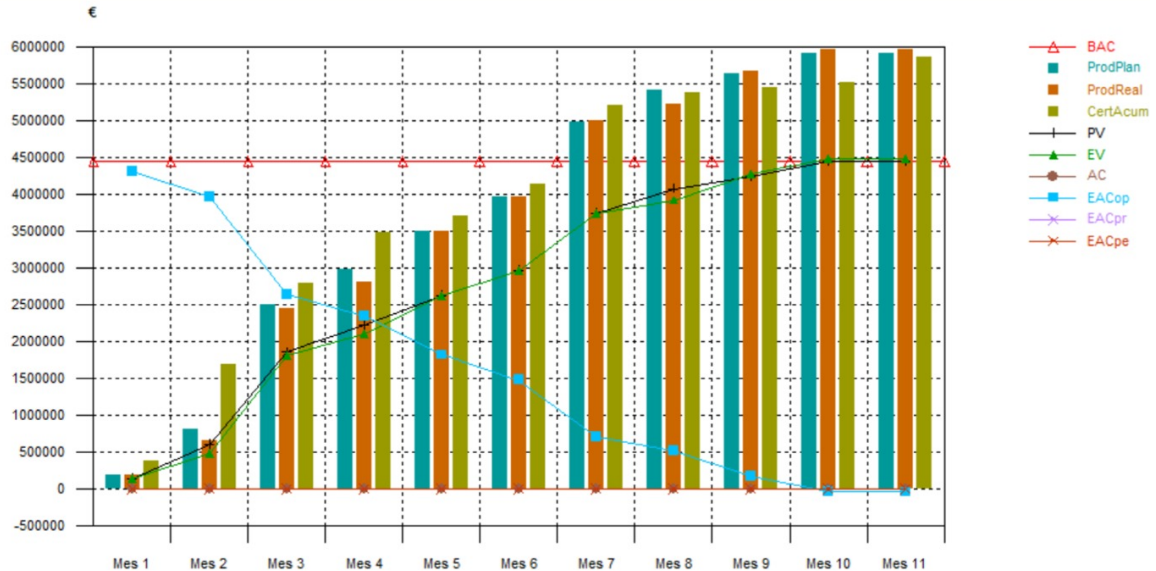
- **EV (Valor Ganado) (Línea verde con triángulos):** representa el valor del trabajo realmente realizado.
- **AC (Costo Real) (Línea café con círculos):** muestra los costos reales incurridos hasta el momento.
- **EAC (Estimación al finalizar):** proyecciones del costo final del proyecto según tendencias. Dentro de los puntos importantes que se deben tomar en cuenta para el desempeño del proyecto son:
- Si EV está por debajo de AC, el proyecto está sobrepresupuestado.

Figura 34: Certificaciones

Certificaciones cerradas					
Nº cert.	Editable	Fecha	IVA	Importe parcial	Importe acumulado
1		30/06/2021	12,00	426.055,21	426.055,21
2		31/07/2021	12,00	1.303.882,09	1.729.937,30
3		31/08/2021	12,00	1.136.012,23	2.865.949,53
4		30/09/2021	12,00	716.417,50	3.582.367,03
5		31/10/2021	12,00	222.837,08	3.805.204,11
6		30/11/2021	12,00	444.010,76	4.249.214,87
7	ativa de CYPE	31/12/2021	12,00	1.101.407,33	5.350.622,20
8		31/01/2022	12,00	178.855,72	5.529.477,92
9		28/02/2022	12,00	69.679,56	5.599.157,48
10		31/03/2022	12,00	64.793,38	5.663.950,86
11		05/04/2022	12,00	355.003,23	6.018.954,09

Nota. Adaptada de *García, (2024)*.

Figura 35: Gráfica EVM



Nota. Adaptada de *García, (2024)*.

- Si EV está por encima de AC, el proyecto está por debajo del presupuesto.
- Si EV está por debajo de PV, el proyecto está retrasado.
- Si EV está por encima de PV, el proyecto está adelantado.

Dentro de los puntos más importantes a discutir de la gráfica, según las métricas previamente descritas se encuentra:

- La curva PV crece de manera estable, lo que representa el trabajo planificado.
- La curva EV sigue de cerca a PV, lo que sugiere que el proyecto avanza según lo programado.
- La curva AC se desvía ligeramente de EV, lo que indica algunas variaciones en los costos.
- Las proyecciones EAC (EACop, EACpr, EACpe) muestran diferentes estimaciones de costos finales en función del rendimiento actual del proyecto.
- Si EAC es significativamente mayor que BAC, se esperan sobrecostos y podrían ser necesarias revisiones del presupuesto.

El motivo por el cual no se pueden visualizar las líneas de Actual Cost, (AC), EACop (Costo Previsto Optimista), EACpr (Costo Previsto Probable) y EACPe (Costo Previsto Pesimista) es debido a que no se contó con la autorización por parte de la empresa encargada

del Project Management para divulgar precios de contrato, cotizaciones, cuadros comparativos de concursos de licitaciones, facturas o Albaranes (notas de entrega), o contratos con proveedores debido a acuerdos de confidencialidad entre las partes involucradas.

De haber contado con dicha información se procedía a registrar dentro de Arquímedes Control de Obra el contrato, factura, albarán, pedido, suministro y crear una imputación al centro de coste. Cada Capítulo representa un centro de coste y todas las partidas por ende deberían estar asociadas a él, al asociar una imputación a dicho centro de coste podemos obtener el Importe de ejecución y el precio de ejecución. Con estos datos obtenidos se plantea el escenario de los costos previstos (Pesimistas, Realistas y Optimistas). Finalmente se determina si el proyecto para cada Certificación (Revisión Mensual) se encuentra En tiempo y en presupuesto a través de la curva del Earned Value Management

El proyecto de la iglesia inicialmente fue planificado y modelado en dos dimensiones empleando el software AutoCAD. La etapa de anteproyecto (permisos municipales y licencias de construcción) fue presentado en planos en 2D. La fase de planificación, entiéndase como tal, la etapa de cuantificación, presupuestación, cálculos de tiempos, logística, emplazamiento, costos, entre otros, se realizó con planos digitales. El modelo en tres dimensiones también fue realizado en la herramienta de diseño anteriormente mencionada y utilizado como referencia durante la etapa de planificación.

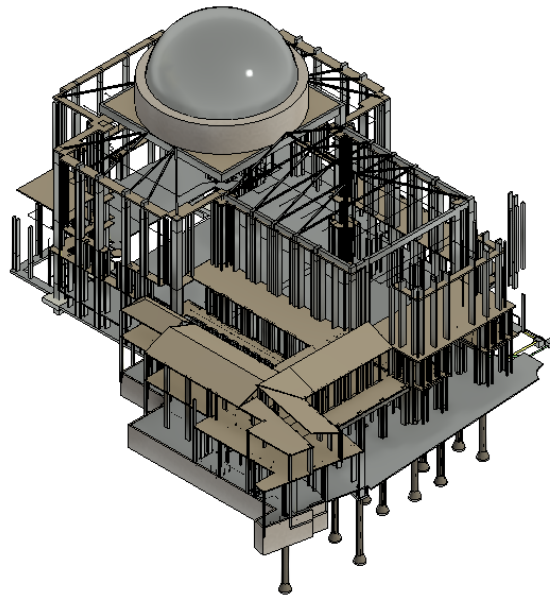
Para la etapa de ejecución del proyecto se emplearon de igual manera planos en dos dimensiones como guía en obra. El modelo arquitectónico BIM fue desarrollado durante la etapa de ejecución del proyecto como un valor agregado para el cliente final. Si bien, lo recomendado y funcional es desarrollar dicho modelo previo a la inicialización de la construcción, la existencia de este permitió la facilitación de reportería y entregas al cliente y a los equipos de trabajo multidisciplinarios.

Los planos finales o planos “as built” como mejor se conocen fueron entregados al cliente en formato “.DWG” al igual que en formato “.PDF”. Finalmente, el modelo BIM fue entregado como archivo para el proyecto en caso sea requerido en futuras ocasiones para brindar mantenimiento a la estructura o bien realizar modificaciones en la obra.

El modelo BIM utilizado para la cuantificación y presupuestación del proyecto ISMRF fue brindado por la empresa PM502 quien es dueña del modelo. Este modelo, cuenta con todas las características necesarias para llevar a cabo la cuantificación. Está representado en 3 dimensiones, con el fin de ir más allá de la metodología tradicional en AutoCAD y manejar todo a nivel de planos 2D. En Revit, además de contar con el modelo conceptual en 3D, cantidades, geometrías, medidas y ubicación real, se llegó a trabajar incluso a un nivel de detallamiento -LOD- 400.


Tal como se comentó en el marco teórico, un modelo se puede denominar LOD400 además de contar con toda la información geométrica bien definida, información de las instalaciones, geoposicionamiento y demás información adicional al modelo, este inclusive puede generar planos de diferente especialidad. Por ejemplo, el modelo de la ISMRF permitió la cuantificación y presupuestación, debido a todos los atributos, familias y buen orden que cuenta el modelo BIM y es una forma de ahorrar trabajo, aprovechar los recursos existentes y evitar un doble trabajo de la parte de cuantificación y modelado.

Figura 36: *Modelo tridimensional del proyecto ISMRF*



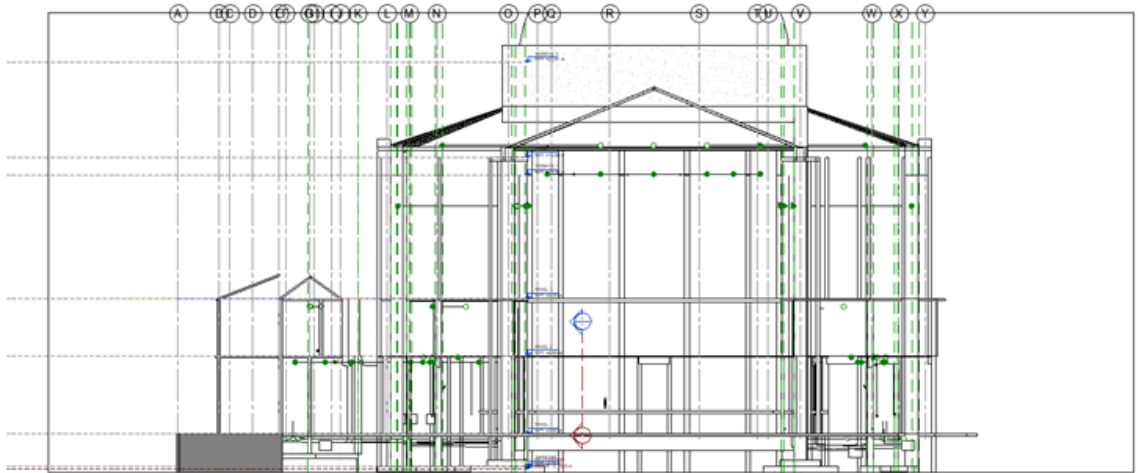
Nota. Adaptada de *PM502*, (2019).

Figura 37: Ejemplo de los atributos con los que cuenta cada uno de los elementos del modelo BIM

Propiedades	
	VER1-P2_ 0.70 m x 10 m
Pilares estructurales (1) Editar tipo	
Restricciones	
Nivel base	ZAPATAS
Desfase de base	-8.0000
Nivel superior	NIVEL 1
Desfase superior	0.0000
Estilo de pilar	Vertical
Se mueve con rejillas	<input checked="" type="checkbox"/>
Marca de ubicación de pilar	A-1(-2.92)
Materiales y acabados	
Material estructural	Concrete, Exposed Aggregate
Estructura	
Activar modelo analítico	<input checked="" type="checkbox"/>
Recubrimiento de armadura - ...	Rebar Cover 1 <25 mm>
Recubrimiento de armadura - ...	Rebar Cover 1 <25 mm>
Recubrimiento de armadura - ...	Rebar Cover 1 <25 mm>
Volumen reforzado estimado	47168.35 cm ³
Cotas	
Volumen	4.515 m ³
Datos de identidad	
Imagen	
Comentarios	
Marca	
Proceso por fases	
Fase de creación	PROPUESTA
Fase de derribo	Ninguno

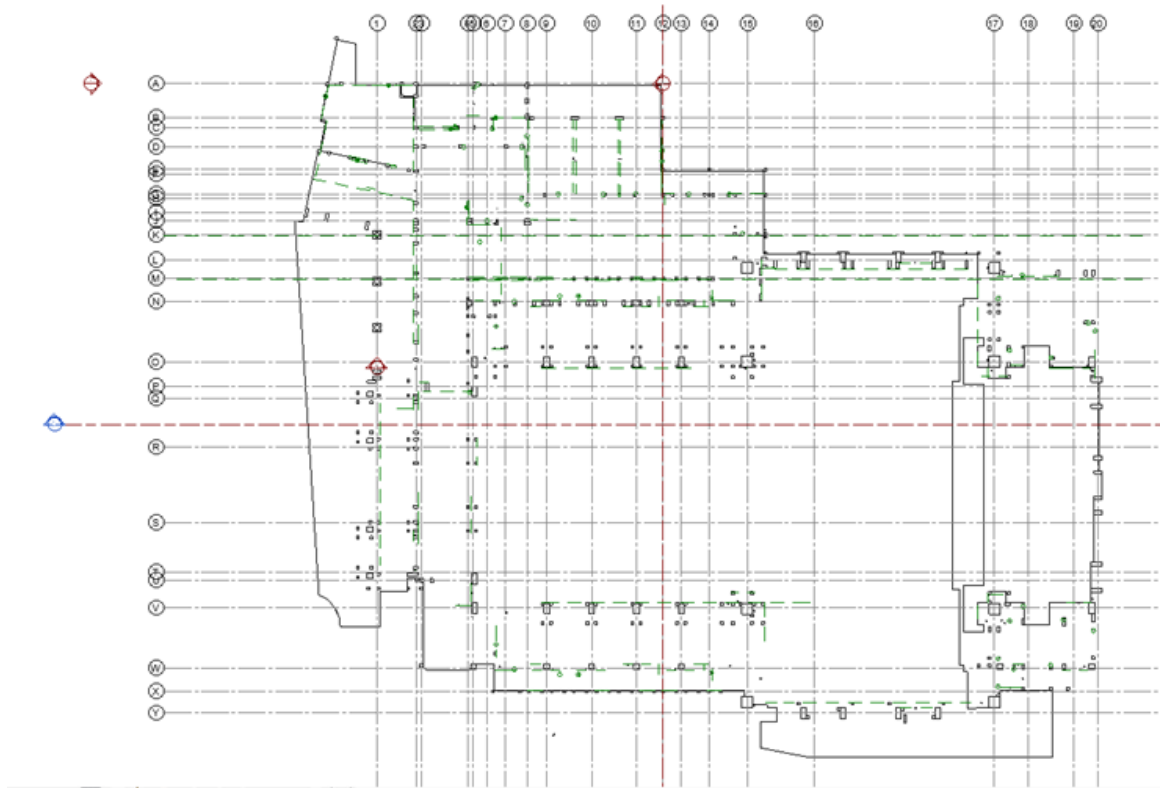
Nota. Adaptada de *PM502*, (2019).

Figura 38: *Elevación del modelo ISMRF*



Nota. Adaptada de *PM502*, (2019).

Figura 39: *Plano en planta del modelo ISMRF*



Nota. Adaptada de *PM502*, (2019).

- Se identificaron los métodos empleados en las etapas de planificación y ejecución del proyecto de análisis, destacando el uso de metodologías tradicionales basadas en diseños bidimensionales para la obtención de mediciones y cantidades de recursos (materiales, mano de obra y maquinaria). Para este trabajo de graduación, se incorporó la planificación basada en modelos tridimensionales (BIM) y herramientas digitales de gestión que optimizan la precisión y eficiencia en la ejecución de proyectos.
- Se determinaron los alcances de las dimensiones 4D y 5D del modelado BIM, aplicados en el proyecto de la Iglesia Santa María Reina de la Familia, ubicada en Ciudad Cayalá, Guatemala. Para la cuarta dimensión (4D), se desarrolló un cronograma detallado utilizando la herramienta Arquímedes y Control de Obra, que permitió la integración de la planificación temporal con los capítulos y partidas del proyecto. Para la quinta dimensión (5D), se elaboró un presupuesto de obra basado en el generador de precios del software CYPE, lo que facilitó la estimación de costos de manera precisa, vinculada al modelo BIM. Estos procesos evidencian la aplicación efectiva de metodologías BIM avanzadas, optimizando la gestión del tiempo y los costos en la ejecución del proyecto.
- A partir de la comparación entre la metodología convencional y el modelado BIM en las etapas de planificación y control de obra, se identificaron diferencias significativas en la eficiencia, precisión y gestión de la información del proyecto. El uso de la metodología BIM mediante Arquímedes y Control de Obra demostró ventajas en la optimización del tiempo, la calidad y la cantidad de recursos disponibles para la toma de decisiones. En contraste, se identificaron limitantes en la integración de datos y la visualización anticipada de posibles problemáticas durante la ejecución del proyecto.
- A través del análisis de la metodología propuesta para la ejecución del proyecto, se identificaron oportunidades de mejora en la gestión y el control del avance de obra. Se verificó que el diagrama de avance real acumulado versus el avance programado acumulado, empleado en la metodología tradicional, presentará limitaciones al no incluir información detallada sobre los desembolsos económicos. La metodología propuesta mediante la curva de análisis de valor agregado, permite la integración de datos y de rendimientos financieros.

- A través de la interconexión entre el modelo BIM y el software Arquímedes y Control de Obra, se generó información de valor, documentación y contenidos esenciales como el presupuesto de obra, el cronograma de avance y la cuantificación detallada de los elementos constructivos. Esta integración proporcionó parámetros clave para la gestión del proyecto en términos de tiempo, costo y calidad.

- Se sugiere emplear la metodología BIM para el mejor aprovechamiento de los recursos; ya que la metodología tradicional representa reprocesos y sobrecostos para el planificador del proyecto.
- Se recomienda realizar un profundo análisis del modelo BIM para el mejor aprovechamiento de la herramienta y así extraer la mayor cantidad de información que será utilizada para la realización del presupuesto y cuantificación del proyecto. Esto con base en los niveles de desarrollo y estándares que sugiere la metodología.
- Se recomienda a los profesionales que buscan adoptar tecnologías vanguardistas en la ejecución de proyectos de construcción implementar BIM con modelos de desarrollo detallados, vinculándolos a programas de planificación y control de obra que permitan extraer de información de valor.
- Se recomienda la constante capacitación e introducción de esta herramienta a los profesionales de la construcción, planificación y diseño para el aprovechamiento de su potencial, pues cuenta con diferentes recursos que se deberían aplicar a un proyecto de obra civil.
- A futuros estudiantes que utilicen este trabajo de graduación, se recomienda emplear las diferentes y múltiples herramientas que proporciona CYPE para un análisis más profundo y un mayor alcance. De esta forma, se obtendrá como principales ventajas la unificación de la información, la vinculación entre el modelo, la herramienta de cuantificación, el ahorro en tiempos de planificación y, finalmente, los detallar en el control de obra.
- Se recomienda la utilización de la información generada por Arquímedes y Control de Obra para la creación de manuales de entrega, operación y mantenimiento, ya que esta información se encuentra detallada y estandarizada según la ejecución de cada tarea, evitando los reprocesos al momento de extraer la información generada.

- Se recomienda generar una codificación en el modelo BIM antes de vincular el proyecto con Arquímedes y Control de Obra para facilitar el proceso de estandarización e información de los elementos, tal y como se realizó en este trabajo de graduación.
- Se recomienda que las empresas que se dedican al giro de la gestión de proyectos (Project Management) inviertan en la adquisición, aprendizaje y capacitación de la herramienta CYPE, específicamente Arquímedes y Control de Obra, para mejoras en sus procesos actuales de planificación y ejecución. De esta manera, optimizarán sus costos, tiempos y recursos.
- Se recomienda la herramienta del generador de precios del programa CYPE, Arquímedes y Control de Obra en procesos de licitación del sector público en Guatemala para reducir los índices de corrupción.

- Alonso, J. (2015). Nivel de desarrollo LOD. Definiciones, innovaciones y adaptación a España [Accedido: 31 de mayo de 2025]. *Spanish Journal of Building Information Modeling*, 15(1), 40-56. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5496892>
- Aramburú, J. (2016). *¿Cómo estimar la duración de una tarea?* Consultado en 2022, desde <https://www.itmplatform.com/es/blog/como-estimar-la-duracion-de-una-tarea/> Tiempo, estimación, project Management.
- Arévalo, L. F. (2019a). Foro Metodología BIM en Guatemala: retos y beneficios. Consultado en 2020, desde <https://revistaconstruir.com/foro-metodologia-bim-guatemala-retos-beneficios/> AGEBIM.
- Arévalo, L. F. (2019b). Nace en Guatemala la primera Asociación de Estándares BIM. Consultado en 2020, desde <https://revistaconstruir.com/nace-guatemala-la-primera-asociacion-bim/> AGEBIM.
- Barbieri. (2020). ¿Qué es y cómo funciona la metodología BIM? Consultado en 2021, desde <https://acortar.link/r55qcg> BIM, Metodología.
- Bentley Systems, I. (2023). Digitally enhance your construction planning and operations with 4D. Consultado en 2023, desde <https://virtuosity.bentley.com/product/synchro-4d/> 4D, Synchro, Planificación.
- Calderón, S. (2020). Entrevista y resolución de dudas con respecto al proyecto ISMRF. PM502, S.A.
- CATBIM. (2023). Gestión eficiente y con alta productividad. Consultado en 2023, desde <https://catbim.com.do/plexos/> 5D, Plexos, Bim.
- Cerón, I. (2017). Plan de implementación de metodología BIM en el ciclo de vida de un proyecto. Consultado el 6 de abril de 2017, desde <https://books.google.com.gt/books?id=o5xyAgAAQBAJ> Plan de implementación de metodología BIM en el ciclo de vida de un proyecto.
- Choclán F, G. R., Soler M. (2014). Introducción a la metodología BIM. *Introducción a la metodología BIM.*, 5-6.
- CYPE, s. p. i. y. c. (2021). CYPE Arquímedes y Control de Obra. Consultado en 2021, desde <https://http://arquimedes.cype.es/> CYPE.

- David, S. J. (2020). ¿Qué es la metodología BIM y qué beneficios aporta? Consultado en 2021, desde <https://ingeoexpert.com/articulo/que-es-el-bim-y-a-que-se-debe-su-importancia/> BIM, Metodología, Ventajs.
- Eastman, C. (2011). BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers. Consultado en 2023, desde <https://www.wiley.com/en-sg/BIM+Handbook:+A+Guide+to+Building+Information+Modeling+for+Owners,+Designers,+Engineers,+Contractors,+and+Facility+Managers,+3rd+Edition-p-9781119287537/> LOI, Informacion, Bim.
- EquipoBIMnD. (2019). Las 7 DIMENSIONES BIM. Consultado en 2022, desde <https://www.bimnd.es/7dimensionesbim/> BIM, Dimensiones.
- España, B. S. (2012). ¿Qué es BIM? Consultado en 2021, desde <https://www.buildingsmart.es/bim/> BIM, España.
- Flannigan, K. (2020). Practical 4D Construction Simulation Using Revit and Navisworks. Consultado en 2023, desde <https://acortar.link/jJ4f52> 4D, Navisworks, Bim.
- Garzaro, C. (2015). Bicentenario de la catedral Metropolitana 2015. Consultado en 2021, desde <https://guatehistoria.com/bicentenario-de-la-catedral-metropolitana-2015/> Bicentenario de la catedral Metropolitana 2015.
- Group, U. T. (2014). Preguntas y respuestas frecuentes, ¿Qué es BIM? Consultado en 2021, desde <http://www.bimtaskgroup.org/bim-faqs/> BIM.
- INGENIERÍA, K. A. E. (2015). ¿Qué es el BIM? Consultado en 2021, desde <https://www.kaizenai.com/bim/que-es-el-bim/> BIM, Qué es BIM.
- Juarez, U. B. (2017). ¿QUÉ IMPLICA LA WORK BREAKDOWN STRUCTURE (WBS)? Consultado en 2022, desde <https://acortar.link/nKufTp> WBS, costos, project Management.
- León, J. C. (2017). INCONET: Firme Posicionamiento de BIM en Latinoamérica. Consultado en 2022, desde <https://fiic.la/blog/2017/07/03/inconet-firme-posicionamiento-de-bim-en-latinoamerica/> INCONET, BIM, Metodología, Latinoamerica.
- Mata, L. (2019). Las 7 Dimensiones del BIM Propuesta de 3 Dimensiones Adicionales (8D, 9D Y 10D). Consultado en 2021, desde <https://dataiaing.com/site/las-7-dimensiones-del-bim/> Dimensiones, BIM, Metodología.
- Molina, E. A. (2017). San Nicolás, un sueño neogótico en Quetzaltenango (parte II). Consultado en 2021, desde <https://diariodelosaltos.com/2018/03/16/reportaje-san-nicolas-un-sueno-neogotico-en-quetzaltenango/> San Nicolás, un sueño neogótico en Quetzaltenango (parte II).
- Montes, M. F. C. (2015). Módulo 3 – Elaboración de presupuesto de obra. Consultado en 2022, desde <https://acortar.link/RZZMbL> Presupuesto, WBS, Cuantificación.
- Monzón, K. (2018). Cash Luna, pastor de Casa de Dios, será investigado por el MP. Consultado en 2021, desde <https://www.prensalibre.com/guatemala/justicia/cash-luna-casa-de-dios-marllory-chacon-investigacion-mp/#:~:text=El%20impresionante%20coliseo%20en%20forma,tecnolog%C3%ADa%20de%20luz%20y%20sonido.> Cash Luna, pastor de Casa de Dios, será investigado por el MP.
- Morea Nuñez, J., & Zaragoza Angulo, J. (2015). Guía práctica para la implantación de entornos BIM en despachos de arquitectura técnica. Consultado en 2021, desde <https://www.bimnd.es/lod-la-metodologia-bim/> LOD, Detalle.
- Muratet, L. (2023). What is EVM (Earned Value Management) and how do you use it? Consultado el 24 de octubre de 2023, desde <https://www.migso-pcubed.com/blog/cost-management/earned-value-management/> MIGSO.

- Ortega, A. S. (2016). LOD (QUÉ ES) MÁS QUE NIVEL DE DETALLE. Consultado en 2021, desde <https://www.espaciobim.com/lod> LOD, Detalle.
- Pedro Pablo Godoy, M. F. G. (2020). La Ciudad y La Arquitectura Sagrada. Consultado en 2021, desde https://www.facebook.com/watch/live/?v=800104510822013&ref=watch_permalink La Ciudad y La Arquitectura Sagrada.
- Pérez, A. (2020). KPIs: qué es y para qué sirve este concepto en Project Management. Consultado el 24 de octubre de 2023, desde <https://www.obsbusiness.school/blog/kpis-que-es-y-para-que-sirve-este-concepto-en-project-management> OBS Business School.
- PMI. (2019). ¿Qué es project management? Consultado el 1 de febrero de 2019, desde <https://www.pmmlearning.com/project-management/> Project Management Institute.
- Reche, A. (2020). Problemas en la aplicación práctica de BIM. Consultado en 2021, desde <https://retaintechologies.com/problemas-en-la-aplicacion-practica-de-bim/> BIM, Metodología, Desventajas.
- SOLUTIONS, B. (2019). Control de los proyectos en todas sus dimensiones y ciclo de vida, por medio del registro de costos y productividad. Consultado en 2023, desde <https://bimtechla.com/productos/plexos-project/> 5D, Plexos, Bim.
- Spain, R. (2022). Cost-it: BIM 5D con Presto. Consultado en 2023, desde <https://www.rib-software.es/pdf/Enlace-con-BIM/Cost-It-BIM-5D-con-Presto.pdf> 5D, Presto Cost-it, Bim.
- Vitorino, P. (2020). Las 7 DIMENSIONES de BIM. Consultado en 2022, desde <https://konstruedu.com/es/blog/las-7-dimensiones-de-bim> BIM, Dimensiones, 7 dimensiones.
- Wootton, P. (2020). Key Performance Indicators. Consultado el 24 de octubre de 2023, desde https://www.projectmanagement.com/wikis/345150/key-performance-indicators#_=_ ProjectManagement.com.