

**UNIVERSIDAD AMAZÓNICA DE PANDO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**



**Proyecto de Grado:**

**IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM PARA LA DETECCIÓN DE  
INTERFERENCIAS AL VINCULAR EL DISEÑO ESTRUCTURAL DE UN CENTRO  
DE TELECOMUNICACIONES EN LA CIUDAD DE COBIJA**

Postulante: Univ. Kevin Martínez Navia

Tutor Colectivo: Ing. Fabricio Ocampo Vedia

Asesor: Ing. Franz Navia Miranda

Arq. J. Pablo Navia Miranda

Cobija – Bolivia

2023

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a mi querida mamá Nirda y hermano José Fernando por su inquebrantable apoyo y aliento a lo largo de este proyecto. Su amor y aliento fueron mi mayor motivación. También agradezco a mi tío Pablo, Franz y Litzy por su sabiduría y orientación valiosa, que han sido fundamentales en este viaje académico. También agradecer a Fernanda, Jhobi, Álvaro y Nicol que me ayudaron cuando ya no había fuerzas y me empujaban hacia adelante. Sin su apoyo, este logro no habría sido posible. ¡Gracias por ser mi fuente constante de inspiración y motivación!

## **DEDICATORIA**

Dedico este proyecto de grado a mis queridos Papás Franz y Beatriz, quienes han sido la luz de mi vida y la inspiración detrás de cada logro. Su amor incondicional y sabios consejos han sido mi guía constante. A través de este trabajo, quiero honrar su legado y agradecerles por ser mi fuente de fortaleza y sabiduría. Este logro también es suyo. ¡Gracias por ser mi inspiración eterna!

## RESUMEN

La metodología BIM en la construcción, toma auge en países europeos y está dando sus primeros pasos en Latinoamérica. BIM abarca siete dimensiones que parten desde la idea hasta la gestión del ciclo de vida del proyecto, en tal virtud se toma un fragmento del potencial que tiene para realizar el análisis de interferencias en el edificio de telecomunicaciones en la ciudad de Cobija Pando. El objetivo principal es implementar la metodología BIM al vincular el diseño y modelado estructural de un Centro de Telecomunicaciones en la ciudad de Cobija para la detección de interferencias entre las distintas especialidades.

Se considera como interferencias aquellos choques, colisiones y desconexiones entre las diferentes especialidades de arquitectura, estructura, electricidad mecánica e hidrosanitaria, el análisis presenta un total de Arquitectura vs Hidrosanitaria 1476, que representa el 51,07%; Arquitectura vs Electricidad 1237 que representa el 42,80%; Arquitectura vs Mecánica 177, que representa el 6,12%.

Las interferencias surgen al no centralizar la información un modelo único, por este hecho BIM incorpora software que permite detectar interferencias y simular el posible cronograma de obra.

Cabe mencionar que fueron solucionadas 9 interferencias de forma óptima, precisa y técnica con fines académicos.

Palabras claves: Colisiones, Metodología BIM, CAD, Autodesk, Tecnología, Procesos, Procedimientos.

## **ABSTRACT**

The BIM methodology in construction is booming in European countries and is taking its first steps in Latin America. BIM covers seven dimensions that start from the idea to the management of the project's life cycle, in this virtue a fragment of the potential it has to carry out the analysis of interferences in the telecommunications building in the city of Cobija Pando is taken. The main objective is to implement the BIM methodology by linking the design and structural modeling of a Telecommunications Center in the city of Cobija for the detection of interference between the different specialties.

Interferences are considered those clashes, collisions and disconnections between the different specialties of architecture, structure, mechanical electricity and plumbing, the analysis presents a total of Architecture vs. Plumbing 1476, which represents 51.07%; Architecture vs Electricity 1237 representing 42.80%; Architecture vs Mechanics 177, which represents 6.12%.

Interferences arise when a single model does not centralize the information, for this reason BIM incorporates software that allows detecting interferences and simulating the possible work schedule.

It is worth mentioning that 9 interferences were solved in an optimal, precise and technical way for academic purposes.

**Keywords:** Collisions, BIM Methodology, CAD, Autodesk, Technology, Processes, Procedures.

# ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	i
DEDICATORIA.....	ii
RESUMEN.....	iii
ÍNDICE.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS .....	iiix
INDICE DE TABLAS.....	xi
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 ANTECEDENTES.....	1
1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA .....	5
1.2.1 Planteamiento del problema .....	6
1.3 OBJETIVOS.....	7
1.3.1 Objetivo general .....	7
1.3.2 Objetivos específicos.....	7
1.4 ALCANCES .....	7
1.5 METODOLOGÍAS Y HERRAMIENTAS UTILIZADAS .....	8
1.6 ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO .....	9
MARCO TEÓRICO.....	10
2.1 PROYECTO ARQUITECTÓNICO.....	10
2.1.1 Etapas del proyecto arquitectónico.....	10
2.1.2 Memoria descriptiva del proyecto .....	11
2.1.3 Problemas en la etapa de diseño .....	12
2.1.4 Problemas en la etapa de construcción y operación .....	12
2.1.5 Problemas en la comunicación .....	13
2.4 CICLO DEL PROYECTO .....	13
2.5 DISEÑO ESTRUCTURAL.....	14
2.5.1 Modelado.....	15
2.5.2 Análisis de carga.....	16

2.5.3	Análisis estructural .....	18
2.5.4	Diseño estructural .....	19
2.4.4.1	Elementos que componen el diseño estructural.....	19
2.5.5.	Detallado.....	20
2.5.6	La importancia del software de análisis y diseño estructural .....	21
2.6	CENTRO DE COMUNICACIONES.....	22
2.7	METODOLOGÍA BIM .....	22
2.7.1	Dimensiones de la metodología BIM .....	24
2.7.1.1.	Modelación tridimensional – 3D .....	24
2.7.1.2	Tiempo – 4D.....	25
2.7.1.3	Presupuesto – 5D.....	25
2.7.1.4	Sostenibilidad y energía – 6D.....	25
2.7.1.5.	Mantenimiento – 7D.....	25
2.8	BIM EN EL MUNDO .....	26
2.8.1	Interoperabilidad – IFC y la modelación BIM .....	28
2.9	IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM .....	29
2.9.1	Beneficios .....	29
2.9.2	Beneficios en la etapa de diseño.....	30
2.9.3	Beneficios en la etapa de construcción.....	31
2.9.4	Beneficios en la etapa de operación .....	31
2.9.5	Riesgos de la implementación de la metodología BIM.....	31
2.9.6	Nivel de madurez de la metodología BIM.....	32
2.9.6.1	Nivel 0 .....	32
2.9.6.2	Nivel 1 .....	33
2.9.6.3	Nivel 2.....	33
2.9.6.4	Nivel 3.....	33
2.9.7	Curvas de MacLeamy.....	34
2.9.8	LOD.....	39
2.9.8.1	Nivel de desarrollo LOD .....	39
2.9.8.1.1	LOD 100.....	39
2.9.8.1.2	LOD 200.....	40

2.9.8.1.3	LOD 300.	40
2.9.8.1.4	LOD 400.	40
2.9.8.1.5	LOD 500.	41
2.9.8.2	Nivel de Desarrollo LOD .	41
2.10	DETECCIÓN DE INTERFERENCIAS	44
2.10.1	Software de Interferencia (Autodesk Navisworks)	45
MARCO APLICATIVO		47
3.1	Características del proyecto	47
3.1.1	Ubicación	47
3.1.2	Infraestructura	47
3.1.3	Disciplinas y especialidades de diseño	48
3.2	Desarrollo	48
3.2.1	Área técnica	48
3.2.1.1	Plataforma de programas	48
3.2.1.2	Formatos de intercambio de archivos	48
3.3	PROTOCOLO BIM	49
3.3.1	Ingeniería Estructural	49
3.3.1.1.	Alcance	49
3.3.1.2.	Normas de calculo	49
3.3.1.3.	Materiales	50
3.3.1.4.	Nivel de control	50
3.3.1.5.	Fatiga admisible del suelo	50
3.3.1.6.	Ubicación de la construcción	50
3.3.1.7.	Vistas del modelo estructural	51
3.3.1.8.	Acciones adoptadas en el cálculo	53
3.3.1.9.	Modelo Estructural	54
3.3.1.10.	Conclusiones y Recomendaciones	54
3.4	Plan de ejecución BIM “BEP”	55
3.4.1	Gestión del proyecto <b>BIM</b>	55
3.4.1.1	Información del proyecto	55
3.4.1.2	Usos de la metodología BIM en el proyecto	55

3.5. Cronograma del proyecto .....	56
3.5.1. Cronograma del proyecto BEP .....	56
3.6. Nivel de desarrollo LOD .....	57
3.7. Modelo tridimensional del Edificio de telecomunicaciones.....	58
3.7.1. Consideraciones generales para la modelación paramétrica .....	58
3.7.2 Elaboración del modelo paramétrico.....	58
3.7.3 Cómputos métricos .....	59
3.8 DISEÑO POR ESPECIALIDADES .....	60
3.8.1 Elaboración del modelo BIM estructuras (3D).....	60
3.8.1.1 Modelado de cimentaciones:.....	60
3.8.1.2 Modelado de columnas y vigas: .....	61
3.8.1.3 Modelado de losas .....	61
3.8.2 Elaboración del modelo BIM arquitectura (3D).....	62
3.8.2.1 Modelado de muros .....	62
3.8.2.2 Modelado de pisos .....	63
3.8.2.3 Modelado de puertas y ventanas .....	63
3.8.2.4 Modelado de escaleras.....	63
3.9 RESULTADOS DE INTERFERENCIAS .....	64
3.9.1 Detección de interferencias con Navisworks 2022 .....	64
3.9.2 Arquitectura vs Hidrosanitaria.....	68
3.9.3 Arquitectura vs Electricidad .....	69
3.9.4 Arquitectura vs Mecánica.....	71
Conclusiones.....	73
Recomendaciones .....	74
Referencias Bibliográficas.....	76
ANEXO .....	80

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diseño estructural .....	14
Figura 2: Modelado .....	15
Figura 3: Análisis de carga .....	17
Figura 4: Cálculo de estructuras .....	18
Figura 5: Detallado .....	21
Figura 6: Niveles de madurez y dimensiones del BIM .....	26
Figura 7: El BIM en el Mundo .....	26
Figura 8: El BIM en America Latina.....	26
Figura 9: Niveles BIM.....	34
Figura 10: Efectos del cambio d metodología de trabajo .....	35
<i>Figura 11: Curva idealizada de la metodología BIM .....</i>	<i>36</i>
Figura 12: Expectativa de la implantación inicial de BIM.....	36
Figura 13: Realidad de la implantación del BIM .....	37
Figura 14: Proceso de implantación de BIM, adelantar el trabajo .....	38
Figura 15: Implantación inicial de BIM + Templating .....	38
Figura 16: Ejemplo Nivel de desarrollo .....	42
Figura 17: Nivel de detalle .....	44
Figura 18: Terreno .....	47
Figura 19: Ubicación .....	50
Figura 20: Estructura principal vista frontal.....	51
Figura 21: Estructura principal vista posterior .....	51
Figura 22: Estructura principal vista derecha.....	52
Figura 23: Estructura principal vista izquierda .....	52
Figura 24: Visualización del modelado de las cimentaciones.....	60
Figura 25: Visualización del modelado de losas .....	61
Figura 26: Modelado de elementos arquitectónicos .....	62
Figura 27: Visualización del modelado de pisos.....	63
Figura 28: Exportación del proyecto a la plataforma Navisworks Manage 2022. ....	65
Figura 29: Importación del proyecto a la plataforma Navisworks Manage 2022 .....	65

Figura 30: Comando Clash Detective en la plataforma Navisworks .....	66
Figura 31: Gráfico de Barras de Interferencias con BIM. ....	67
Figura 32: Conflicto 7 Arquitectura con Hidrosanitaria.....	68
Figura 33: Conflicto 5 Arquitectura vs Electricidad .....	69
Figura 34: Ubicación conflicto 5 Arquitectura vs Electricidad.....	70
Figura 35: Conflicto 1 Arquitectura con Mecánica.....	71
Figura 36: Ubicación conflicto 1 Arquitectura con Mecánica .....	72

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Principales formatos de programas .....	28
Tabla 2: Información del proyecto .....	55
Tabla 3: Usos de implementación BIM.....	56
Tabla 4: Cronograma a desarrollar del proyecto .....	56
Tabla 5: Nivel de desarrollo LOD estructural del edificio d telecomunicaciones en Cobija .....	57
Tabla 6: Descripción Color.....	57
Tabla 7: Número de interferencias identificados con BIM. ....	66

# INTRODUCCIÓN

## 1.1 ANTECEDENTES

A lo largo de la historia del hombre, la construcción se ha convertido en un indicador del desarrollo económico, así como en prueba de la evolución del país que implemente mejoras en este sector, el cual, siempre se ha visto ligado a la disponibilidad de sus materiales; su evolución puede analizarse al considerar el cómo y con qué se han construido tanto viviendas como edificios. (Diaz, 2017)

Principalmente, los materiales de construcción están divididos en tres diferentes: Materiales metálicos: Estos son sustancias inorgánicas compuestas de uno o más elementos metálicos, pudiendo contener algunos elementos no metálicos, como el carbono, ejemplo de estos son el hierro, cobre, aluminio, níquel y titanio. Materiales cerámicos: Los materiales de cerámica, como los ladrillos, el vidrio la loza, los aislantes y los abrasivos, tienen poca conductividad, tanto eléctrica como térmica y, a pesar de llegar a tener buena resistencia y dureza, son deficientes en ductilidad y resistencia al impacto. Materiales poliméricos: En estos se incluyen el caucho, los plásticos y muchos tipos de adhesivos; este tipo de material es producido al crear grandes estructuras moleculares a partir de moléculas orgánicas obtenidas del petróleo o productos agrícolas. (Diaz, 2017)

Por el lado de la vivienda, el hombre ha utilizado diferentes materiales para construir sus hogares, así como los edificios públicos para interactuar con su comunidad, en donde las primeras viviendas fueron trabajadas a base de barro o arcilla, y posteriormente aparecieron materiales como el acero y el concreto armado para los primeros edificios verticales. (Diaz, 2017)

Asimismo, la evolución de la construcción en la vivienda se ha visto reflejada a lo largo del mundo y de los tiempos; un ejemplo de esto es que, en el antiguo Egipto, las casas estaban construidas con adobes sobre planta rectangular, y en el oriente próximo, las viviendas se adaptaban a las posibilidades constructivas, ya sea de barro o piedra. (Diaz, 2017)

Para la edad media todas estas tipologías residenciales habían desaparecido en Europa, ya que se comenzaron a construir monasterios y núcleos urbanos en expansión, lo cual desencadenó, tras ciertos periodos de historia, lo que en el siglo XX conocemos como construcción residencial; así

fue como los arquitectos, a finales del siglo pasado, proyectaban viviendas según los principios y materiales que imponían su época. (Díaz, 2017)

Hoy en día existen nuevos métodos, técnicas y sistemas para la construcción de vivienda en el mundo con materiales innovadores, además de medios ingeniosos para reducir tiempo y costos, así como la importancia para que estos cumplan con un papel importante en la ecología, en la medida de aportar sustentabilidad para la conservación del medio ambiente. (Díaz, 2017)

Ejemplos de esto son el concreto cerámico esparcido, la construcción ecológica con concreto de papel, el concreto decorativo sobre las paredes, la casa contemporánea de hormigón armado, el domo de concreto, los paneles de concreto ligero, entre otros. (Díaz, 2017)

Actualmente la industria de la construcción se ha convertido en un motor global para el crecimiento económico en la etapa de pospandemia, con un crecimiento de 6,6% este 2022, de acuerdo con un estudio hecho por la transnacional Marsh. El año pasado, generó US\$10,7 billones y se espera que crezca alrededor de 42% o US\$4,5 billones entre el 2020 y el 2030. El informe de Marsh reveló que el sector alcanzará los US\$13,3 billones en el 2025. (Equipar, 2022)

El mercado latinoamericano registrará una expansión de casi dos dígitos (9,6%), superior a lo proyectado para las regiones emergentes en general (7,2% en el 2021). Y el crecimiento de este sector en la década del 2030 será de 35% más en comparación con lo que se registre en la década del 2020. (Equipar, 2022)

Las proyecciones apuntan a que la expansión del PIB global de la construcción promediará el 4,5% del 2020 al 2025, la tasa más alta que la que registrarán los sectores manufactureros y de servicios. Estos resultados estarán impulsados por una fuerte recuperación ante el covid-19 y un enorme estímulo de los gobiernos. (Equipar, 2022)

Cabe destacar que la construcción residencial impulsará el crecimiento a corto plazo, debido al desencadenamiento del exceso de ahorro de los hogares y la demanda de espacio residencial. (Equipar, 2022)

En un balance del mercado inmobiliario boliviano de 2022, expertos en el rubro informaron que este año se tuvo altas y bajas, pero prevalecieron las buenas noticias. El año estuvo marcado por el

crecimiento y consolidación, además hubo una recuperación en precios a comparación de otras gestiones. (Ferrufino, 2022)

“En Bolivia, el mercado inmobiliario ha crecido en la última década, tendió a una recesión en 2020, con una bajada del 10% en precios de venta y 30% en alquiler. En 2022, casi se han recuperado los precios prepandemia. Se esperaba que alcancen los mismos niveles de 2019 pero no fue así, si bien ha subido no ha logrado los niveles esperados”, dijo Carlos Terrazas Cortez, presidente de la Cámara Nacional Inmobiliaria de Bolivia (CNIB). (Ferrufino, 2022)

En el Estado Plurinacional de Bolivia el sector inmobiliario aporta de gran medida al comportamiento macroeconómico como se pudo ver durante los últimos años. Según datos del Instituto Nacional de Estadísticas (INE), al primer semestre de 2022, el Producto Interno Bruto (PIB) de la construcción creció en 6,1 por ciento en comparación con similar periodo de 2021. (Hinojosa, 2022).

Implementar tecnología BIM dentro de lo que es la fase de planeación, así como la de desarrollo de todo proyecto implican una serie de beneficios de mucha importancia tanto para el cliente como para el ingeniero constructor, pero; cabe resaltar que para cambiarse a esta tecnología hace falta una buena capacitación de profesionales que tengan que ver con el diseño y construcción de las estructuras de cualquier proyecto que se quiera ejecutar. Lograr que esta tecnología aplicada desde las fases iniciales no es una tarea fácil ya que implica a todo el personal involucrado en este tipo de trabajo que sean personas capaces de adaptarse a este tipo de modelos.

Los grandes beneficios que trae el uso de la metodología BIM es la compatibilización del diseño de las especialidades que se encuentran involucradas dentro del proyecto, este proceso va a integrar todos los modelos digitales (estructuras, arquitectura, instalaciones, etc.) con el fin de rastrear y detectar con antelación las distintas interferencias u observaciones que podrían afectar la puesta en marcha de las distintas instalaciones o sistemas, tales como, el cruce de distintos elementos que están ocupando un mismo espacio, esto ayudará a prevenir los sobrecostos además de tener una visualización en 3D con menos errores.

La metodología BIM no se encarga únicamente de detectar interferencias y coordinar toda la documentación técnica a través de la representación tridimensional de los objetos diseñados por

las diferentes disciplinas involucradas en la ejecución de un proyecto. La información que se puede incorporar y extraer de los modelos paramétricos que permite generar enfoques y aplicaciones totalmente diferentes a los que se tenían inicialmente con la implementación del BIM facilita a la industria de la consultoría y la construcción desarrollar procedimientos de calidad y detectar problemas a nivel económico antes de tener una situación que afecte el flujo de caja del proyecto. Es por ello la importancia del gerente; él debe tener un alto conocimiento en las herramientas basados en la metodología BIM. Los constantes problemas que deben enfrentar los profesionales en la coordinación de un grupo interdisciplinario para el desarrollo de un proyecto constructivo toman un interés particular de estudio, pues con la experiencia se ha evidenciado grandes vacíos en el ejercicio profesional en donde la elaboración de la documentación técnica está sujeta a los innumerables cambios que en la mayoría de casos nunca son reportados y que ocasionan inconsistencias graves que afectan directamente la confiabilidad de un proyecto.

La definición de BIM es un acrónimo usado para dos conceptos (BIM Forum Chile, 2017, pág. 8): BIM (Building Information Model) es la representación digital paramétrica del producto de construcción (losas, muros, pilares, equipamiento, puertas, ventanas, etc.) que incluye su geometría e información.

BIM es una metodología/proceso para desarrollar y utilizar modelos BIM para apoyar decisiones de diseño, construcción y operación durante todo el ciclo de vida de un proyecto, lo que implica una integración y gestión de información provista y usada por diferentes actores del proyecto.

No obstante, la coexistencia de estos dos conceptos, es importante aclarar que en la práctica no deben desarrollarse de forma independiente, sino que el concepto “BIM” entendido como “Modelo” se encuentra implícito en el concepto de “BIM” entendido como “Metodología”. Es decir, la generación del modelo implica desarrollarlo bajo una metodología y procesos formalmente establecidos

BIM es una metodología de trabajo colaborativo que documenta todo el ciclo de vida de la edificación y las infraestructuras, haciendo uso de herramientas informáticas con el fin de generar un repositorio único con toda la información útil para todos los agentes que participan en él y durante todo su ciclo de vida. (EUBIM, 2016)

## 1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Un problema muy común es no tener especialistas en nuevas herramientas que permitan una planificación adecuada, que permita a profesionales bolivianos destacar en este ámbito. Para 2023, el Presupuesto General del Estado programó un monto de 4.006 millones de dólares, es decir, 1.009 millones de dólares o 20,11 por ciento menos respecto a 2022. A esto se suma la baja ejecución presupuestaria. (Hinojosa, 2022)

Además, Arze señaló que otro aspecto que frena el crecimiento del sector es la adjudicación de obras a empresas extranjeras. “En Bolivia, desde hace varios años, se ha incrementado significativamente la contratación de empresas extranjeras. Se estima que la última década, el 77,5 por ciento de las obras de infraestructura licitadas por entidades del gobierno central se adjudicó a empresas extranjeras, y únicamente el 22,5 por ciento a empresas constructoras bolivianas” (Hinojosa, 2022)

En los diseños de proyectos de construcción se generan muchos problemas que son originados por la falta de información detallada y poco confiable, evidenciados a la hora de entregar documentos de tipo técnico (planos, memorias de cálculo, etc.), dichos inconvenientes provienen de etapas previas a la construcción es decir desde el momento mismo de la concepción del proyecto o en las etapas de diseño, lo cual genera interrupciones en la ejecución del proyecto, ocasionando sobrecostos para la obra, y desencadenando problemas de tiempo, lo cual conlleva que en su propia ejecución se proceda a solucionarlos, interrumpiendo los procesos constructivos de la obra.

La mayor parte de los proyectos de construcción suelen presentar deficiencias en la etapa de planificación, esta etapa es fundamental para realizar una eficiente gestión de proyectos, debido a que establece las actividades a realizar antes, durante y después de la ejecución de cada proyecto, entre los errores más comunes que se pueden encontrar son las incompatibilidades entre los trabajos desarrollados individualmente por cada uno de los especialistas. Estas deficiencias suelen presentarse posteriormente, como gastos no considerados en el presupuesto (Orden de Cambio o Contrato Modificadorio) y cambios en el cronograma del proyecto. (Osorio, 2015, pág. 26)

La falta de implementación de nuevas metodologías de trabajo y la falta de integración de los planos de las distintas disciplinas (Arquitectura, Estructuras, Instalaciones Hidráulicas, Instalaciones Sanitarias, etc.), genera un vacío de información al momento de ejecutar una obra que con lleva a la paralización de la obra hasta resolver dichos detalles y esto genera pérdida económica y hasta a veces incumplimiento del plazo previsto en cronograma de obra.

En el desarrollo de estas etapas de planeación de un proyecto se requiere de la interacción con otros profesionales de las diferentes ramas de la ingeniería y arquitectura, intercambiando mayoritariamente planos e información de las actividades a desarrollar por cada disciplina respectivamente, lo cual muchas veces, debido al tamaño y complejidad de cada actividad, no se da de manera efectiva, presentándose múltiples incongruencias que entorpecen la etapa constructiva de la obra generando a su vez, grandes pérdidas económicas

Motivados por esta problemática, diferentes disciplinas de la ingeniería a nivel mundial han tenido la tarea de desarrollar una tecnología capaz de unificar, mejorar y agilizar los diferentes procesos que atraviesa una obra civil desde su concepción; esta metodología, conocida como BIM permite el uso de la información de manera coordinada, coherente, computable y continuada, a través de un modelo único mediante una red a la cual pueden acceder todos los miembros del equipo al mismo tiempo.

Luego de la aparición del BIM, muchas empresas decidieron incursionar diseñando softwares exclusivos para trabajar bajo esta metodología, entre ellas Autodesk, la cual lanza una aplicación CAD/BIM llamada Revit en noviembre de 1999. Este programa brinda las herramientas de diseño arquitectónico, ingeniería MEP, ingeniería estructural y construcción, mediante las cuales permite crear un modelo digital lo más parecido a la realidad haciendo uso de elementos parametrizados; a su vez, REVIT tiene la particular asociación bidireccional que garantiza el reajuste global instantáneamente al hacer cualquier cambio sobre el modelo.

### **1.2.1 Planteamiento del problema**

¿Cómo utilizar la metodología BIM al vincular el diseño y modelado estructural de un Centro de Telecomunicaciones en la ciudad de Cobija para la detección de interferencias entre las distintas especialidades?

## 1.3 OBJETIVOS

### 1.3.1 Objetivo general

Implementar la metodología BIM al vincular el diseño y modelado estructural de un Centro de Telecomunicaciones en la ciudad de Cobija para la detección de interferencias entre las distintas especialidades.

### 1.3.2 Objetivos específicos

- Sistematizar los conceptos teóricos adecuados de la metodología BIM para la realización del proyecto de grado
- Exponer las ventajas que tiene la metodología BIM con respecto a los métodos tradicionales para su respectiva implementación.
- Modelar el diseño y cálculo estructural de un Centro de Telecomunicaciones aplicando la metodología BIM mediante el uso de software REVIT STRUCTURE y CYPE CAD (BIM)
- Determinar la influencia de la detección de interferencias en la integración multidisciplinaria al vincular el diseño estructural de un Centro de Telecomunicaciones aplicando la metodología BIM de con softwares como REVIT, CYPE CAD y NAVISWORKS.

## 1.4 ALCANCES

El proyecto hará mayor énfasis en el uso de un software de revisión y coordinación aplicando la metodología BIM, así como el análisis de detección de interferencias en la integración multidisciplinaria.

El alcance de la investigación será el siguiente:

- Integrar todos los modelos digitales de un centro de Telecomunicaciones (estructuras, arquitectura, instalaciones, etc.) mediante el uso de software con metodología BIM.
- Exponer las ventajas que tiene la metodología BIM con respecto a los métodos tradicionales en la ejecución de obras.

- Desarrollar presupuestos y planes de ejecución detallados unificando las disciplinas involucradas en un proyecto, mediante el uso de REVIT y NAVISWORKS.
- Realizar un análisis de detección de interferencias que incidan de manera relevante y significativa en el modelado de la información y en la integración multidisciplinaria al compatibilizar el diseño estructural de un Centro de Telecomunicaciones aplicando la metodología BIM.

## **1.5 METODOLOGÍAS Y HERRAMIENTAS UTILIZADAS**

El presente proyecto se iniciará mediante la revisión bibliográfica principalmente para el marco conceptual de BIM, se pretende indicar cuál es el enfoque de la metodología en cada punto analizado del diagnóstico, para concentrarse en la evaluación de los diferentes procedimientos que tiene la empresa. Con el fin de encontrar los aspectos que se puedan mejorar, corregir o eliminar, para la correcta implementación BIM.

En la segunda parte se realizará el cálculo estructural del proyecto en el software CYPE CAD que es un programa compatible con la metodología BIM.

En tercer lugar, se realiza la detección de interferencias entre la disciplina arquitectónica, estructural e instalaciones para ello se empleará softwares REVIT y NAVISWORKS. Así mismo se establecerá los flujos de trabajo que se utilizará para el modelado y la correcta gestión de las comunicaciones e información en las diferentes fases del proyecto con sus respectivos softwares. Acompañado de una estimación económica del coste de la implementación. Por último, se elabora el plan de ejecución BIM que será aplicado en los trabajos que requieran de colaboraciones externas, en el que se especifica todas las partes que conforman un proyecto y los procedimientos a seguir para el desarrollo.

Para la metodología de la investigación de este proyecto se utilizará el método científico deductivo donde la técnica de estudio es la bibliografía, observación documental de libros, publicaciones normas y artículos relacionados con el tema, información de internet, asimismo se efectuarán observaciones de campo y con ellos llegar a conclusiones particulares.

## **1.6 ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO**

El primer capítulo introductorio, se especifica los antecedentes del tema a desarrollar, además de la problemática y el motivo por el cual se decide hacer este proyecto de grado, en donde se definen los objetivos a conseguir a través de una metodología y poniendo márgenes a través de los alcances del estudio.

El segundo capítulo es el marco teórico.

El tercer capítulo es el marco aplicativo

El cuarto capítulo son las conclusiones

El capítulo quinto recomendaciones

El capítulo sexto son las referencias bibliográficas

EL capítulo siete son los anexos.

## MARCO TEÓRICO

### 2.1 PROYECTO ARQUITECTÓNICO

¿Qué es un Proyecto Arquitectónico? Es el conjunto de planos y especificaciones, esquemas, detalles y perspectivas que sirven para llevar a cabo la edificación de cualquier construcción, el cual contiene la distribución de todos los espacios de una edificación, así como los acabados que la integran. Dichos planos incluyen los datos técnicos de diseño estructural y de cimentación de la futura construcción. Los planos de instalaciones contienen especificaciones técnicas de cada instalación para su correcto funcionamiento y además incluyen todas las especificaciones de acabados que se implementarán en la construcción final. (Metal Manufacturing industries, 2021, p.3)

#### 2.1.1 Etapas del proyecto arquitectónico

1era Etapa – El encuentro con el cliente y el arquitecto. Aquí el arquitecto escucha las necesidades del cliente, sus preferencias, gustos y el presupuesto con el que se cuenta para realizar la obra.

2da Etapa – Levantamiento topográfico. Es un estudio del terreno en el cual se construirá la edificación, por lo que se realiza un estudio de Mecánica de Suelos, el cual consiste en tomar muestras del tipo de suelo del predio y así, saber el tipo de cimentación y estructura del diseño.

3era Etapa – Diseño Arquitectónico. Este es un diagrama de funcionamiento de actividad dentro del inmueble a construir, ubicando los espacios que se relacionan entre sí.

4ta Etapa – La Planimetría del Proyecto – Aquí se plasman las ideas y soluciones que se proponen para desarrollar un proyecto. Es un plano que incluye especificaciones detalladas de la información que contiene.

5ta Etapa – El Anteproyecto – Es el resumen de los estudios anteriormente realizados. El anteproyecto son las plantas arquitectónicas, fachadas y cortes. (Metal Manufacturing industries, 2021, p.5)

6ta Etapa – Proyecto Ejecutivo – Es un conjunto de planos donde se señalan todas las especificaciones técnicas y de diseño para ejecutar una construcción. Las plantas, las fachadas y los cortes, son los grupos que complementan la información que contienen los planos arquitectónicos.

- Planos Estructurales: de cimentación, de estructura, detalles estructurales y las memorias de cálculo.
- Planos de albañilerías y demoliciones.
- Planos de instalaciones: hidráulicas, sanitarias y eléctricas.
- Planos de instalaciones complementarias: Voz y datos, instalaciones contra incendio.
- Planos de acabados.
- Planos de carpintería, herrería, cancelería y plafones.
- Planos de jardinería.
- Planos exteriores.
- Planos de cotas.
- Planos de señalización.

(Metal Manufacturing industries, 2021, p.7)

### **2.1.2 Memoria descriptiva del proyecto**

Existe un documento en el cual se plantean los antecedentes y premisas que dieron paso al proyecto, donde se muestra el mecanismo y desarrollo de la creación arquitectónica, el cual lleva por nombre Memoria Descriptiva.

En resumen, el trabajo del arquitecto es fundamental para desarrollar un nuevo proyecto como lo es la construcción de un inmueble, ya que él es quien se encarga de crear estructuras, espacios y diseños, que en ocasiones van más allá de lo que el cliente pudo imaginar, superando sus expectativas. También es muy importante considerar el trabajo en equipo que se debe hacer con los especialistas involucrados en cada área para que dé como resultado un proyecto arquitectónico de calidad. (Metal Manufacturing industries, 2021, p.9)

### **2.1.3 Problemas en la etapa de diseño**

Esta es la etapa en la que los proyectos de edificaciones se desarrollan los diseños en las diferentes ingenierías (sanitaria, estructural, eléctrica, mecánica y especiales) y arquitectura, así como también se establecen las especificaciones técnicas del proyecto y sus términos de referencia para posteriormente presupuestar y planificar, definiendo así la metodología de los trabajos, la programación de actividades, los proveedores, la maquinaria y equipos a utilizar. (Bonifaz, Et al, 2015, p. 124)

Se comprende que el enfoque tradicional de desarrollar los proyectos trae consigo la persistencia de errores y problemas que desencadenan incrementos de presupuestos y pérdida de tiempo generalmente, no solo en la etapa de diseño y planificación sino también en las etapas de la propia construcción y operación. (Bonifaz, Et al, 2015, p. 145)

### **2.1.4 Problemas en la etapa de construcción y operación**

En esta etapa se realiza la materialización física del proyecto con todos los recursos como ser: mano de obra, maquinaria, materiales y con toda la información necesaria de entrada para llevar a cabo el proyecto como diseños de ingeniería y arquitectura, especificaciones técnicas y planes de gestión, los cuales deben ser confiables y de estricto cumplimiento. (CAPECO, 2015, p. 15)

Los problemas más frecuentes que se pueden encontrar en la etapa de construcción son los retrasos con el consiguiente presupuesto causados por reprocesos de diseños, actualización de cantidades y presupuesto.

No solo se encuentra errores que son consecuencia del mal desarrollo en la etapa de diseño, sino también se pueden encontrar errores propios de obra como ser: retrasos de entrega de materiales, por parte de proveedores, errores de ejecución por mala interpretación y errores en la ejecución por parte del personal de obra. (CAPECO, 2015, p. 19)

Se debe tomar en cuenta que estos problemas son en general consecuencia de modificaciones en los proyectos de diseño, planificación sin integración de especialidades y de las deficientes habilidades para interpretar la documentación técnica en obra por parte del personal calificado.

### **2.1.5 Problemas en la comunicación**

La información generada en torno a cada proyecto es infinita, lo que requiere que sea manejada de manera ordenada y correcta para no ocasionar errores en la transmisión de la misma; no obstante, hasta el proyecto más básico quiere que la información se distribuya y aplique de forma correcta. (CAPECO, 2015, p. 25)

## **2.4 CICLO DEL PROYECTO**

El ciclo de vida de un proyecto es la serie de fases por las que atraviesa este desde su inicio hasta su cierre, las fases son generalmente secuenciales y sus nombres y número se determinan en función de las necesidades de gestión y control de la organización u organización que participan en el proyecto, la naturaleza propia del proyecto y su área de aplicación.

Las fases se pueden dividir por objetivos funcionales o parciales, resultados o entregables intermedios, hitos específicos dentro del alcance global el trabajo o disponibilidad financiera. Las fases son generalmente acopladas en el tiempo, con un inicio y un final o punto de control. Un ciclo de vida se puede documentar dentro de una metodología. Se puede determinar o conformar al ciclo de vida de un proyecto sobre la base de los aspectos únicos de la organización, de la industria o de la tecnología empleada. Mientras que cada proyecto tiene un inicio y final definidos, los entregables específicos y las actividades que se llevan a cabo varían ampliamente dependiendo del proyecto.

El ciclo de vida proporcional al marco de referencia dependiendo del proyecto, independientemente del trabajo específico involucrado. (Aliaga, 2012, p. 85)

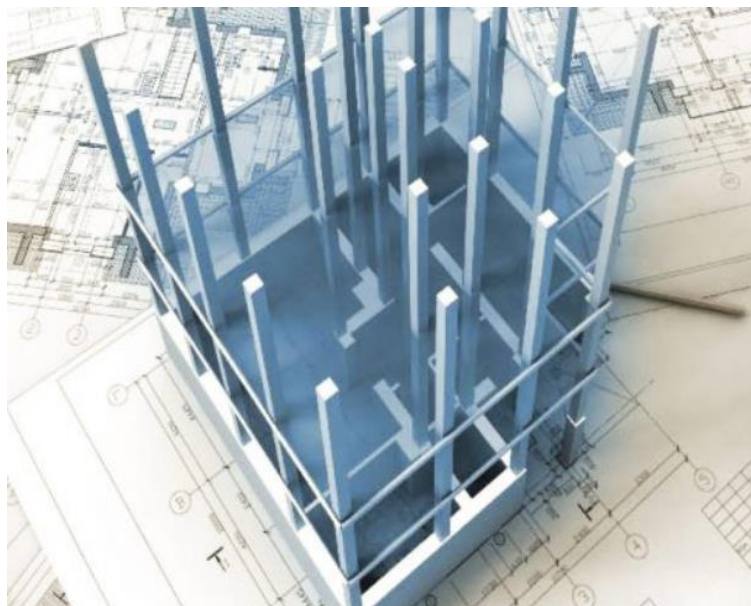
El estudio en todas las fases de un proyecto, desde la definición de los primeros criterios de diseño que comprenderán el alcance del proyecto (se comienza a contabilizar desde la primera reunión con el cliente) hasta el fin del proyecto que se entiende por demolición del edificio y gestión de sus residuos. Entre el principio y fin existen numerosas fases que van dando sentido al ciclo de vida y al proyecto. Estas fases varían en función del proyecto, pero podemos identificar una serie de ellas comunes a todos los proyectos:

- Fase de diseño
- Fase de Construcción
- Fase de Operación
- Fase de demolición

## 2.5 DISEÑO ESTRUCTURAL

El diseño estructural es el proceso que consiste en crear una estructura segura y funcional bajo cualquier estado de cargas que pueda experimentar. Durante este proceso, el ingeniero estructural determinará la estabilidad, la resistencia y la rigidez de la estructura. El objetivo básico en el diseño y análisis estructural es generar una estructura capaz de resistir todas las cargas aplicadas sin fallar durante su vida útil prevista. (Italo, 2023)

Existen principalmente 5 pasos esenciales a seguir para el diseño de cualquier estructura: (1) modelado, (2) análisis de cargas, (3) análisis estructural (4) diseño y (5) detallado.



*Figura 1: Diseño estructural*

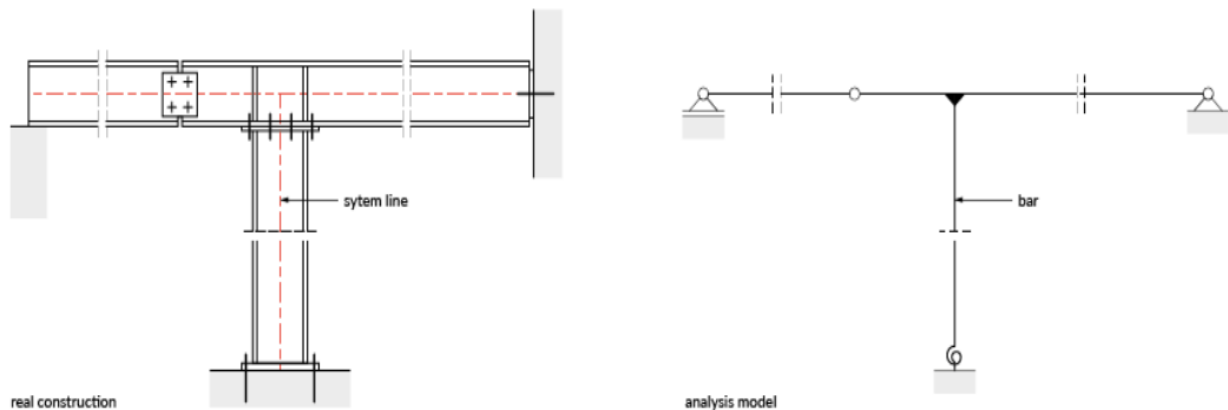
Fuente: Italo, 2023

### 2.5.1 Modelado

El primer paso es modelar el esqueleto mecánico de la estructura, incluidos sus cimientos, pilares, vigas, pórticos, cerchas y otros elementos. El punto de partida es el modelo arquitectónico. Un modelo arquitectónico muestra cómo se verá la estructura en la realidad, pero no es adecuado para los cálculos debido al alto nivel de detalle que se requiere. El modelo arquitectónico debe ser procesado hasta que solo quede la estructura portante. La estructura portante transferirá las cargas aplicadas al terreno. (BuiltSoft, 2022).

La traducción de la estructura portante a un modelo listo para los cálculos se denomina esquematización o creación del modelo alámbrico, del modelo mecánico o del plano del modelo.

La esquematización es un paso muy importante: es fundamental que el modelo mecánico pueda predecir las cargas ya que es la base de todo el proceso.



*Figura 2: Modelado*

Fuente: BuiltSoft (2022).

Los elementos estructurales más utilizados que se pueden incluir en el modelo estructural son:

- Vigas;
- Pilares;
- Zapatas;

- Forjados;
- Arriostramientos;
- Muros de carga.

Además, el modelado implica determinar el material para los componentes de la estructura, ya sea “acero estructural”, “hormigón armado o pretensado”, “madera”, o cualquier otro material. La elección depende principalmente de criterios económicos y de la seguridad requerida para la estructura. Un gran número de estructuras constan de elementos de acero, hormigón y madera.

El modelado también implica definir las dimensiones para cada elemento, que es la base para el cálculo del peso propio a tener en cuenta en el análisis de cargas. La estimación del tamaño del miembro incluye lo que debería ser el ancho, el canto o el espesor del elemento. Se pueden utilizar reglas empíricas para la elección de las dimensiones iniciales.

Otro aspecto relevante en el modelado consiste en definir las vinculaciones tanto interiores como exteriores de los miembros que componen la estructura.

### **2.5.2 Análisis de carga**

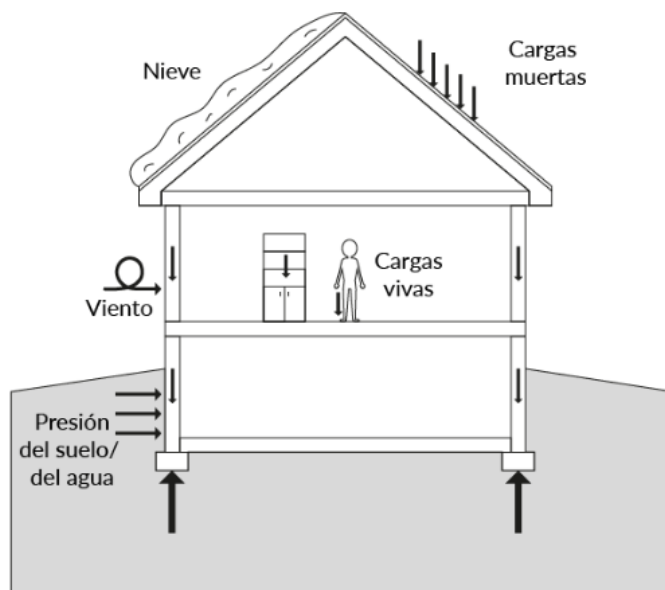
Luego, el ingeniero estructural debe identificar todas las posibles cargas o acciones que la estructura puede experimentar durante su vida útil. Ejemplos de cargas en estructuras son:

- Cargas muertas, es decir, el peso propio de la estructura y acabados;
- Sobrecargas de uso: ocupación de personas en edificios, equipos en movimiento y movimiento de automóviles en puentes;
- Cargas de viento: cualquier presión o fuerza horizontal y/o ascendente que el viento ejerce sobre un edificio;
- Cargas de nieve: solo aplicable para estructuras que se espera que reciban nevadas;
- Cargas sísmicas: cuando la estructura se encuentra en una región sísmica;
- Empuje de tierras: para ser aplicado en túneles, muros de contención, sótanos;
- Agua y hielo: para algunas estructuras como puentes, plataformas marinas y estructuras costeras;

- Cargas térmicas: el calentamiento o enfriamiento desigual de partes de la estructura crean grandes tensiones;
- Cargas dinámicas: por ejemplo, inducidas por maquinaria.

Por lo tanto, dependiendo del emplazamiento de la estructura, debe considerar los distintos tipos de cargas a aplicar. Los valores de estas cargas se pueden identificar usando las correspondientes Normativas de diseño estructural y referencias disponibles. (Fischer, Et al, 2014, p. 67)

En la vida real, distintas cargas actúan simultáneamente sobre la estructura. Por lo tanto, se debe evaluar la respuesta de la estructura ante la combinación de las diversas cargas. Por ejemplo, una acción simultánea de la carga muerta (peso de la estructura) y la sobrecarga de uso (uso del edificio por personas) puede ser una combinación de cargas. Así mismo, las cargas muertas y las cargas de viento pueden ser otra combinación posible. Encontrar cuál es la combinación de cargas más desfavorable para su estructura es parte del proceso de análisis de cargas. Por lo general, el software de ingeniería estructural creará automáticamente el conjunto de todas las combinaciones de cargas posibles.



*Figura 3: Análisis de carga*

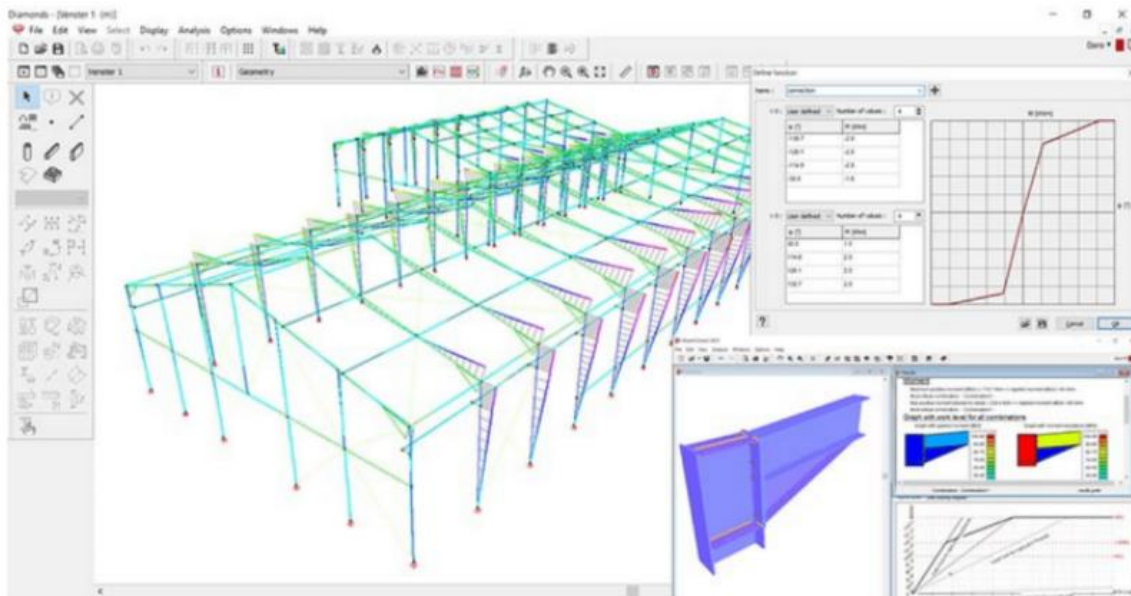
Fuente: BuiltSoft (2022).

### 2.5.3 Análisis estructural

En este paso, realizamos el análisis de los miembros estructurales. El objetivo es investigar cómo se comporta el modelo estructural con las diferentes combinaciones de cargas realizadas. El análisis de una estructura completa también se conoce como análisis global.

Los resultados del análisis incluyen los diagramas de esfuerzos internos (cortante, momento flector, esfuerzo axial, torsión y tensiones), reacciones, deformaciones/flechas producidas por las diferentes combinaciones de cargas.

Para estructuras simples, como una sola viga o pilar, este análisis se puede realizar a mano. Sin embargo, para estructuras 2D o 3D, el análisis requiere cálculos más complejos, principalmente mediante matrices, ya que, en el caso de cálculos manuales, se puede cometer errores con relativa facilidad. Actualmente, el software de diseño estructural asistido por ordenador ha reemplazado el cálculo manual. La mayoría del software de ingeniería estructural, como Diamonds de BuildSoft, utiliza FEA (análisis por medio de elementos finitos) para resolver las complejas ecuaciones de equilibrio. Un excelente software de análisis estructural debe ser rápido y fácil de usar para facilitar la vida de los usuarios principiantes y avanzados. (BuiltSoft, 2022)



*Figura 4: Cálculo de estructuras*

Fuente: BuiltSoft (2022).

### **2.5.4 Diseño estructural**

El diseño estructural es quizás, el paso más crucial del proceso. Se trata de dimensionar las diferentes partes de la estructura en base a los resultados del análisis. El diseño estructural está relacionado con el material.

Las dimensiones estimadas inicialmente se verifican para los requisitos de diseño en lo referente a durabilidad, estabilidad, resistencia y rigidez (rigidez/deformación). Estos requisitos se pueden encontrar en la Normativa de diseño de aplicación.

Si se cumplen estos requisitos de diseño, las dimensiones elegidas son correctas. Se puede considerar el ajustar los tamaños de los elementos para lograr un diseño más económico.

Si no se cumplen los requisitos de diseño, el ingeniero debe repetir todos estos pasos. Las dimensiones iniciales del elemento deben aumentarse, y se debe volver a pasar por el análisis de la estructura y las verificaciones del diseño estructural. Esto se repite hasta que se cumplan los requisitos de diseño.

El resultado del diseño estructural representa las dimensiones de cada elemento que componen la estructura, cumpliendo con los requisitos de diseño, junto con los detalles relacionados con el material, como puede ser, el área requerida de armadura para los elementos de hormigón armado.

Muchos países disponen de sus Normativas de diseño estructural, códigos de buenas prácticas o documentos técnicos. Es necesario que el diseñador estructural se familiarice con los requisitos locales y las recomendaciones relativas a la práctica correcta.

#### *2.4.4.1 Elementos que componen el diseño estructural*

**Estructuración.** La estructuración preliminar se hará en aquellos casos donde se requiera, en donde se espera proponer una cierta ubicación, y las dimensiones de los elementos estructurales, para que así se pueda afinar un determinado proyecto arquitectónico.

**Análisis.** Para realizar este análisis es de suma importancia que se utilicen programas de computación, donde se emplea el método de las rigideces. Estos son capaces de proporcionarnos los desplazamientos y elementos mecánicos de los miembros de una estructura.

Diseño. Teniendo en cuenta los elementos mecánicos del análisis, y partiendo desde ellos, se proporcionarán las dimensiones y armado de los miembros de la estructura.

Dibujo. Con todos los datos que se han logrado recabar hasta este punto, en cuanto a nuestro diseño estructural, se empezará a dibujar los planos estructurales, los mismos que serán proporcionados en C.D.

Memoria de cálculo. Se debe realizar una memoria de cálculo descriptiva de la estructura en cuestión, en donde tendrán que ser mencionadas todas las cargas vivas y muertas utilizadas. Así como también se deberán proporcionar algunos ejemplos de diseño. (Italo, 2023)

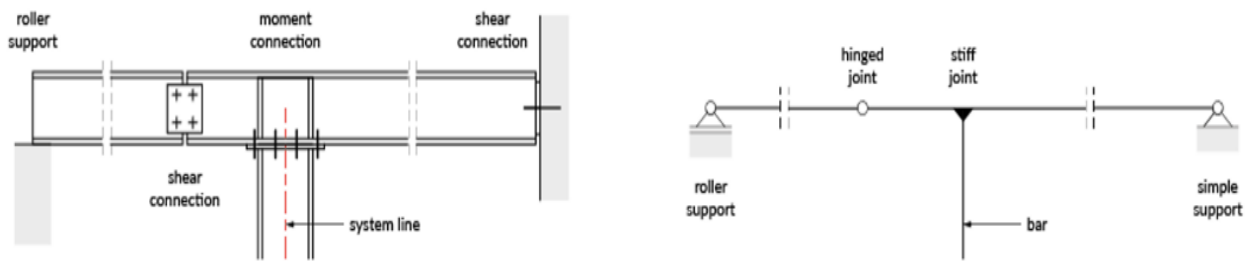
### **2.5.5. Detallado**

Una vez finalizado el análisis y el diseño global, el ingeniero estructural puede comenzar a detallar. El detallado estructural consta de 2 partes:

1. ¿Dónde deben colocarse los detalles y dónde deben realizarse las uniones estructurales o empalmes? Para otros detalles como uniones viga-pilar o placas de anclaje de pilares, la posición de estas es indiscutible.
2. Las especificaciones para la armadura, tornillos, pernos de anclaje y soldaduras, es decir, el diámetro y la disposición de las barras de la armadura, la calidad del acero del tornillo, el número de tornillos, el espesor de la garganta de la soldadura, las placas de los extremos, etc.

El detallado va de la mano con la ductilidad de las estructuras. En el caso de hormigón armado, por ejemplo: si aportamos una armadura de forma equilibrada en vigas y pilares, podemos aumentar la ductilidad de la estructura.

Si planificamos estratégicamente las uniones de acero, los costes pueden reducirse considerablemente. El empalme entre 2 partes de la viga no se debe realizar en el centro del vano de la viga sino a cierta distancia del pilar donde el momento flector tiende a anularse (unión articulada). De esa forma, solo se requiere una unión prácticamente a cortante, la cual es más fácil de construir y más rentable.



*Figura 5: Detallado*

Fuente: BuiltSoft (2022).

### 2.5.6 La importancia del software de análisis y diseño estructural

Para llegar a ser bueno en el diseño y análisis estructural, se recomienda aprender y mejorar sus habilidades. El análisis estructural de una obra civil o de un edificio es una de las partes más importantes de un proyecto constructivo, asegurando la resistencia de nuestra estructura a las cargas y acciones a las que estará sometida durante su vida útil. En este sentido, actualmente el cálculo de estructuras no se entiende sin la utilización de programas informáticos que facilitan en gran medida las operaciones. Por lo tanto, el conocimiento y manejo de los softwares utilizados será necesario si quieres centrarte en este campo. En el siguiente artículo profundizaremos sobre algunos de los más utilizados. (Structuralia, 2021)

Programas informáticos más utilizados

1. Cype Cad
2. Sap2000
3. Midas
4. Autodesk Robot
5. Tekla Structures

## **2.6 CENTRO DE COMUNICACIONES**

El Centro de Comunicaciones es el organismo encargado de recibir, transmitir, procesar y entregar mensajes oficiales en un cuartel general; con seguridad, rapidez y exactitud.

Este servicio depende del número y preparación del personal, medios disponibles y el volumen de mensajes. (IDOM, 2023)

El proyecto consta de un diseño arquitectónico nuevo, para convertirlo en las nuevas oficinas del Centro de Telecomunicaciones y Tecnologías de la Información del departamento de Pando.

Se crea un nuevo concepto de oficinas.

Uno de los objetivos propuestos por el cliente era el de convertirse en un proveedor de servicios públicos de liderazgo tecnológico, proactivo e innovador en todo el mundo.

Este argumento fue uno de los principales motivos por los que se propuso crear «un nuevo concepto de oficinas» para el Centro de telecomunicaciones basado en:

1. Crear nuevas dinámicas de trabajo donde sus usuarios tuviesen un entorno colaborativo y de intercambio de conocimiento.
2. Fomentar la comunicación en el espacio creando varios puntos de encuentro para trabajos colaborativos.
3. Modelar la nueva identidad corporativa con un diseño altamente tecnificado mostrando una imagen de marca frente a las expectativas de las autoridades competentes.

## **2.7 METODOLOGÍA BIM**

Building Information Modeling (BIM), es una metodología de gestión inteligente basado en la tridimensionalidad que dota a los profesionales de ingeniería, arquitectura, la construcción con herramientas y conocimiento para planificar, diseñar, construir y gestionar más eficientemente edificios e infraestructura. (AUTODESK, 2018)

Un modelo BIM consiste en los equivalentes virtuales de los elementos constructivos y piezas que se utilizan para construir un edificio. Estos elementos tienen todas las características “físicas y lógicas” de sus componentes reales. Estos elementos inteligentes son el prototipo digital de los elementos físicos del edificio, tales como: Elementos de cimentación, muros de sótano, muros de corte y pilares, vigas, losas, escaleras, etc. Que nos permita simular al edificio y entender su comportamiento en un entorno virtual antes de que se inicie su construcción real.

Building Information Modeling (BIM), es el proceso de generación y gestión de datos del edificio durante su ciclo de vida, utilizando software dinámico de modelación de edificios en 3D y en tiempo real, para disminuir la pérdida de tiempo y recursos en el diseño y la construcción. Este proceso produce el modelo de información del edificio (también llamado modelo BIM), que abarca a la geometría del edificio, las elaciones espaciales, la información geográfica, así como las cantidades y las propiedades de los componentes.

En una metodología de trabajo en el proceso diseño-construcción-operación que permite la comparación de la información entre todos los agentes intervinientes, la colaboración efectiva entre los mismos y la reducción del grado de incertidumbre que es inherente a todo proceso constructivo.

El propósito del BIM es hacer explícita la información de los diseños, de tal forma que el diseño puede ser evaluado de manera inmediata por todos los actores y grupo interdisciplinario que hacen parte de este. Un proyecto basado en la metodología BIM genera documentos esenciales como años cómputos métricos, planillas de costos, planificación de tiempo en obra, cantidad de materiales, programación de actividades, integración de los proyectos de las diferentes especialidades y todo tipo de documentación que se considera relevante compartir y comunicar a los distintos actores que participan en las etapas del proyecto.

Un modelo BIM contribuye a la eficiencia de los procesos y provee de una mayor precisión en comparación a los métodos tradicionales. (Saldias, 2010, p. 123)

Permite además la generación rápida de múltiples alternativas de diseño, mantener la integridad de la información del proyecto y una evaluación y generación rápida del plan de ejecución. (Sacks, 2010, p. 136)

Se establecen entonces las bases para realizar un modelo con características paramétricas, En el cual además de contar con las formas geométricas simples del modelo en 3D, pueden incorporarse datos reales (como por ejemplo propiedades de materiales), precios unitarios, tiempos de ejecución) que facilitan la concepción integral de los proyectos de construcción. La incorporación de estos nuevos parámetros a los modelos genera nuevas dimensiones adicionales a la 3D, en las que además de las propiedades geométricas tridimensionales del proyecto se puede incluir la programación de obra, es decir el tiempo (4D), el espacio físico y presupuesto (5D), el ciclo de vida del proyecto con análisis de impacto al medio ambiente como la eficiencia energética (6D – Green BIM) y el mantenimiento o Facility Management que permite el control logístico del proyecto durante su vida útil (7D). Al generar un modelo con un gran nivel de detalles se permite una evaluación minuciosa del proyecto con el fin de determinar si este cumple con los requerimientos de funcionalidad y sostenibilidad. (DATAEDRO 2017)

Las principales ventajas de la implementación de la metodología BIM son: mejor coordinación, aumento de productividad, diseño más eficiente, mejor calidad de detalle y control de la información. (DATAEDRO 2017)

### **2.7.1 Dimensiones de la metodología BIM**

Al hablar de la metodología BIM se habla de siete diferentes dimensiones, fases o procesos del proyecto. Estas son la esencia de la metodología BIM, marcando el alcance de cada dimensión de una forma acotada.

Las primeras dos dimensiones BIM se preocupan de las tareas iniciales de investigación, planteamiento, implementación y carga de datos en el programa, mientras que las siguientes fases agregan la profundidad del trabajo a través de información adicional para la gestión y el desarrollo.

#### *2.7.1.1. Modelación tridimensional – 3D*

Orientado a la modelación de elementos paramétricos que se quiere controlar a lo largo del proyecto. Este modelo representará la información de cada una de las ingenierías involucradas a fin de obtener una representación geométrica o una virtualización de su disposición espacial detallada, a la cual se puede añadir campos de información de la metodología BIM. (Martínez, 2009, p. 16)

### *2.7.1.2 Tiempo – 4D*

Se introduce una dimensión del tiempo generando un modelo tridimensional y temporal, es decir, añaden a los elementos paramétricos del modelo con la información del tiempo puesta en obra. Esto permite una visualización completa del proceso constructivo que se encuentra a futuro. Setiene un análisis dinámico de la planificación de obra, ayudando a obtener un plano general más claro del proyecto en su totalidad. (A través de la posibilidad de efectuar planificación de fases de construcción, optimización de los tiempos de cada actividad, simulación de la construcción virtual, entre otros). (Martínez, 2009, p. 24)

### *2.7.1.3 Presupuesto – 5D*

Esta dimensión va directamente relacionada a mejorar la rentabilidad del proyecto, por lo que permite añadir a los elementos paramétricos del modelo información como: Una cuantificación exacte de las cantidades de obra y presupuesto de todos y cada uno de los elementos necesarios para su ejecución, organización de presupuesto, estimación de costos operativos para la fase de uso y mantenimiento, entre otros. En combinación con otras dimensiones de la metodología BIM, permite controlar el presupuesto del ciclo de vida del proyecto. (Martínez, 2009, p. 28)

### *2.7.1.4 Sostenibilidad y energía – 6D*

La sexta dimensión de la metodología BIM (también llamada Green BIM). Analiza la información relativa a la eficiencia energética de cda elemento y del conjunto del proyecto, de manera que simula el comportamiento de los sistemas de ahorro energético y la gestión de recursos, entregando información fundamental para la toma de decisiones, teniendo en cuenta su disposición especial y situación geográfica. Gracias a esto es posible seleccionar las mejores técnicas y tecnologías para cada proyecto, optimizando el consumo de energía y reduciendo los daños al medio ambiente. (Martínez, 2009, p. 32)

### *2.7.1.5. Mantenimiento – 7D*

Se añaden o relacionan los elementos del modelo de la edificación con la información del tiempo de instalación, esto permite gestionar el ciclo de vida de un proyecto y sus servicios asociados. También permite el control logístico y operacional del proyecto durante la vida útil del edificio,

logrando la optimización de los procesos para planificar inspecciones, reparaciones, mantenimientos, etc. (Martínez, 2009, p. 42)



*Figura 6: Niveles de madurez y dimensiones del BIM*

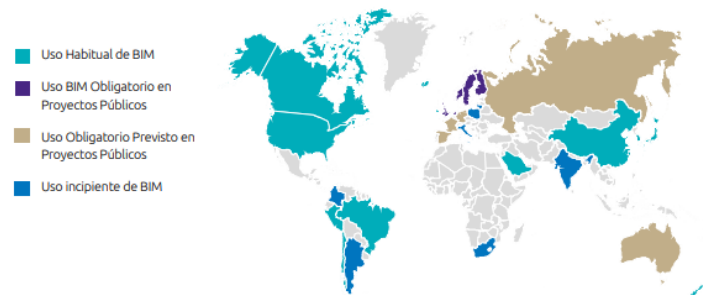
Fuente: Guillen, 2015

## **2.8 BIM EN EL MUNDO**

La obligatoriedad de uso de las herramientas BIM para licitaciones, también llamado mandato BIM o “BIM Mandate”, se está imponiendo por algunos gobiernos e instituciones públicas desde comienzos del siglo XXI. En Estados Unidos se aplica desde 2007 a través de la administración de Servicios Generales (o por sus siglas en inglés GSA, General Services Administration) y otras instituciones. Donde han desarrollado una serie de estándares como el National BIM Standard para la implementación de BIM en proyectos de construcción, convirtiéndose en un líder global en el desarrollo e implementación de la metodología BIM en la industria de la construcción.

En el Reino Unido desde 2016 está vigente la exigencia del denominado “BIM Level 2” eso quiere decir que todos los proyectos de construcción financiados con dinero público serán realizados con la metodología BIM.

España ha constituido la comisión BIM para conseguir la implantación en 2018 en las licitaciones de proyectos públicos de edificación y en 2019 licitaciones de los proyectos públicos de infraestructura.

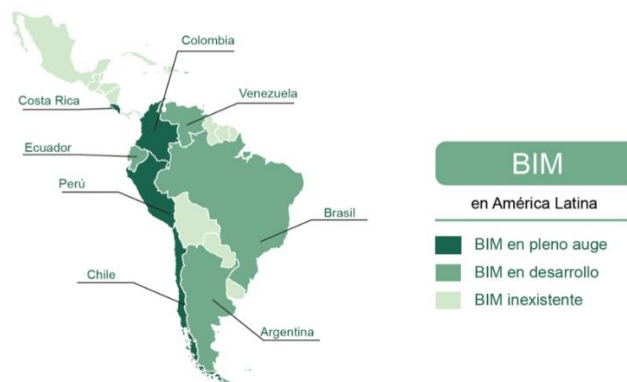


*Figura 7: El BIM en el Mundo.*

Fuente: *MundoBIM*

Noruega, Dinamarca y Finlandia adoptaron temporalmente el programa ArchiCAD, se encuentran en los primeros países en adoptar el diseño basado en modelos, defendiendo la interoperabilidad y los estándares abiertos convirtiéndose en parte integral del desarrollo de IFC (Industry Foundation Classes) y otras iniciativas relacionadas con los temas de interoperabilidad.

En Latinoamérica se produjeron recientemente algunas iniciativas gubernamentales como en Chile que a partir del 2020 todas las licitaciones públicas contemplaran el uso obligatorio de la metodología BIM.



*Figura 8: El BIM en América Latina.*

Fuente: *MundoBIM*

### 2.8.1 Interoperabilidad – IFC y la modelación BIM

El diseño y la ejecución de un proyecto constructivo son trabajos que deben realizarse en equipo con profesionales de las diversas especialidades y por ende se involucran diversas plataformas para su desarrollo.

La interoperabilidad es la capacidad de transmitir datos entre aplicaciones y para múltiples aplicaciones a fin de contribuir conjuntamente a la realización de la obra. La interoperabilidad mínimamente elimina la necesidad de copiar manualmente los datos ya generados en otra aplicación. (Eastman, 2011, p. 51)

La metodología BIM permite interfaces de otros productos específicos en la cual se puede realizar la importación y exportación de la información (datos), es decir, permite tener interoperabilidad al trabajar con la extensión internacional IFC (industry Foundation Classes). IFC es la extensión de los archivos que permite la comunicación e intercambio de la información entre los programas que utilizan la metodología BIM para la representación de información de proyectos de edificios.

*Tabla 1: Principales formatos de programas*

PROGRAMA	EXPORTACIÓN	IMPORTACIÓN
AUTOCAD	AutoCAD (.dwg, .dxf)	AutoCAD (.dwg, .dxf)
	IFC2X3 (. IFC)	IFC2X3 (. IFC)
	IGES (.IGES, .igs)	MicroStation (.dgn)
REVIT STRUCTURE	AutoCAD (.dwg, .dxf)	AutoCAD (.dwg, .dxf)
	CIS/2 LPM6 desing (.stp, .p21, . STEP)	CIS/2 LPM6 desing (.stp, .p21, . STEP)
	IFC2X3 (. IFC)	IFC2X3 (. IFC)
SYNCRHO PRO	REVIT (.spx via Revit Plug In)	REVIT (.spx via Revit Plug In)
	IFC2X3 (. IFC)	IFC2X3 (. IFC)
	AutoCAD (.dwg, .dxf)	AutoCAD (.dwg, .dxf)
REVIZTO	REVIT (.spx via Revit Plug In)	REVIT (.spx via Revit Plug In)
	IFC2X3 (. IFC)	IFC2X3 (. IFC)
PROJET	PROJET (.XLS, . PDF)	PROJET (.XLS, . PDF)

*Fuente: Elaboración propia, 2023*

La interoperabilidad se convierte en una herramienta fundamental para que la información de los modelos pueda ser correctamente visualizada dependiendo de la necesidad y el enfoque de cada

uno de los actores involucrados en un proyecto. La metodología BIM proporciona herramientas asociadas con el concepto de diseño paramétrico y la interoperabilidad permiten un entorno virtual integrado, en el que los conceptos de la coordinación modular pueden ser aplicados y comprendidos a partir de una visualización más clara del modelo y de su automatización de funciones. (Romcy, 20014, p. 23)

## **2.9 IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM**

### **2.9.1 Beneficios**

Los beneficios que se obtienen de la modelización de un proyecto empiezan por el hecho de incorporar la existencia del proceso constructivo desde la etapa de diseño que genera una temprana y más exacta visualización de este en el cual todos los actores trabajan integrando las diferentes disciplinas de manera que los errores de diseño y omisiones pueden ser solucionadas de forma temprana lo que significa la disminución de pérdidas de tiempo y dinero. Utilizar herramientas BIM permite a los actores visualizar el proyecto durante todas sus fases mejorando la comunicación y logrando un diseño pensando en la construcción. (Fischer, 2006, p. 64)

La metodología BIM el proyecto se puede diseñar, planear y ejecutar en un ambiente colaborativo donde todos los actores involucrados en cada fase del proyecto puedan intercambiar información, realizar modificaciones de otras áreas según sean los requerimientos particulares. Con esta metodología toda la información del proyecto se maneja de manera centralizada, lo que evita tener varias versiones de un mismo proyecto eliminando así las incompatibilidades que tradicionalmente se generan.

La metodología BIM permite interfases con otros productos específicos en donde se puede realizar la importación y exportación de las normas del proyecto, es decir, permite tener una interoperabilidad al trabajar con la extensión internacional IFC para la representación de información de edificios (Eastman, 2011, p. 134)

Los elementos que conforman el proyecto constructivo, que antes eran representados a través de dimensiones fijas, en la metodología BIM son definidos por parámetros modificados según las necesidades específicas del usuario, determinando no solo la geometría sino también las propiedades físicas del elemento. Esto genera una información real de los elementos constructivos

y también permite realizar cambios dentro del modelo de una manera rápida y eficaz. (Manizales, 2017, p. 78)

Con la metodología BIM se puede experimentar un prototipo virtual realista de un proyecto mucho antes de que sea construido. Una experiencia de realidad virtual totalmente inmersiva lo cual proporciona una sensación de escala, profundidad y conciencia espacial que simplemente no puede ser igualada por un render, recorrido o maqueta. La sensación de presencia, de existencia dentro del modelo 3D, donde los clientes tienen la libertad de explorar un edificio a su propio ritmo, para comprender como se sentirá y cómo funcionará. (Yan, 2008, p. 44)

### **2.9.2 Beneficios en la etapa de diseño**

Desarrollar los proyectos por la metodología BIM es más rápido, reduce la abstracción e integra las múltiples ingenierías, incluyendo el diseño y la documentación. Integra además planos, secciones, detalles, gráficos y datos no posibles de hacer en 2D.

Con la implementación de la metodología BIM es posible rediseñar sin sobrecostos, llevar a cabo el plan de gestión de cambios y toma de decisiones de manera apropiada ya que es posible realizar análisis previos, resolver incongruencias constructivas en cuanto a espacio, tiempo y forma.

En este sentido, el periodo que se emplea para desarrollar los diseños es menor, lo que se traduce en menor costo de implementación y administración teniendo como posibilidad iniciar la fase de ejecución en menor tiempo.

Uno de los mayores beneficios es utilizar la metodología BIM es que permite realizar la detección de interferencias entre las diferentes ingenierías relacionadas del proyecto, corrigiendo los problemas de diseño que se presentan entre planos y especificaciones técnicas durante el proceso de modelización, disminuyendo así el tiempo que se dedica en realizar las correcciones y cambios en el proyecto.

Sin duda alguna, la gestión del proyecto en cuanto a la planificación en la construcción es una característica destacable del uso de la metodología BIM, que permite una visualización completa del proceso constructivo que se tendrá a futuro. De esta manera, es posible detectar errores de planificación de la etapa constructiva pudiendo mejorarse este proceso para desarrollarlo en menor tiempo y de mejor manera.

### **2.9.3 Beneficios en la etapa de construcción**

BIM permite simular en tiempo real el proceso constructivo del proyecto y posibilita la visualización de este con el fin de evidenciar fallas de diseño, revelar fuentes de potenciales problemas y generar oportunidades de posibles mejoras de la planificación de la obra. (Salazar, 2017, p. 67)

Adicionalmente al conocer la información de las cantidades, especificaciones y propiedades de los elementos parametrizados, se pueden programar las compras y pedidos de los materiales a los contratistas, lo que permite que en la obra siempre se cuente con los insumos necesarios para la ejecución y no se tengan retrasos en las fechas estimadas.

### **2.9.4 Beneficios en la etapa de operación**

En la etapa de operación, la metodología BIM provee información representada digitalmente en cortes económicos, planos, modelos de las ingenierías involucradas, de los rendimientos de obra y de la evolución propia de la construcción de la edificación, lo que constituye una herramienta esencial para el control de operación de una edificación.

De esta manera, un modelo de información de la edificación puede apoyar el monitoreo de los sistemas de control en tiempo real. (Saldias, 2010, p. 145)

Al automatizar los procesos de operación de las diferentes ingenierías de una edificación y al lograr disminuir la probabilidad de error en los diseños, BIM puede reducir los recursos humanos durante la fase de funcionamiento de los proyectos, reducir los cambios constructivos por errores y por ende reducir los presupuestos administrativos tanto para el cliente y constructoras como para operadores. (Yan, 2008, p. 89)

### **2.9.5 Riesgos de la implementación de la metodología BIM**

De la misma forma que la metodología BIM proporciona beneficios importantes al proyecto, su implementación y concretamente los cambios que se producen en la metodología de trabajo y en la gestión a nivel general del proyecto pueden dar lugar a una serie de riesgos.

Los principales riesgos que se registran en la implementación de la metodología BIM se pueden resumir en: (Yan, 2008, p. 156)

- En un proceso colaborativo de la metodología BIM, la falta de toma de responsabilidad y comunicación por alguna de las partes implicadas puede dar lugar a ineficiencias inesperadas.
- Desconocimiento de los derechos, deberes y limitaciones sobre el uso de la información de los modelos de la metodología BIM del proyecto.
- Los profesionales que serán parte del equipo de trabajo deben estar capacitados, pues cada uno de ellos debe conocer muy bien tanto los programas de modelización como la metodología que se empleará para el desarrollo de proyectos.
- La elección de los programas según requiera el proyecto con los que se van a trabajar.
- El modelo que se elabore con estos programas será adecuado, bueno y útil en sus características dependiendo directamente de la calidad de la información que maneje.
- Actualmente no existe una regulación legal para la aplicación de la metodología BIM en el desarrollo de proyectos de construcción en el país, lo cual puede ocasionar retrasos y malos entendidos con los actores del proyecto, lo que conlleva en aparición de costos adicionales.

### **2.9.6 Nivel de madurez de la metodología BIM**

El concepto de niveles de madurez de la metodología BIM, se entiende como la escala para medir la habilidad de los distintos implicados del sector de la construcción, para operar e intercambiar información entre ellos.

El reino unido, tras el proceso de implementación en el sector público de la metodología de trabajo BIM, se ha aceptado de forma general una escala de 4 niveles de madurez que abarcan el Nivel 0 hasta el Nivel 3.

#### *2.9.6.1 Nivel 0*

Se refiere básicamente al desarrollo de la información del proyecto utilizando herramientas CAD para la creación de planos y detalles constructivos. Este nivel incluye dibujos 2D y textos con el formato de intercambio de información sin estándares ni procesos comunes.

### 2.9.6.2 Nivel 1

El nivel 1 se conoce también como Lonely BIM, comprende la introducción de la coordinación espacial, los formatos y estructuras estandarizadas. Este nivel puede incluir el desarrollo de información CAD tanto en 2D como en 3D para el desarrollo de modelos conceptuales o de visualización.

### 2.9.6.3 Nivel 2

Comprende la generación de modelos de información digital tridimensional como información asociada al modelo. Los modelos se generan en forma separada en las distintas ingenierías involucradas y son integradas en un **Modelo Federado**, para la coordinación interdisciplinar. La información que contiene el modelo puede incluir entre otra información 4D acerca de la planificación temporal de la construcción, información 5D acerca del presupuesto o información 6 D de Facility Management. En términos generales el nivel 2 se define como la colaboración basada en el intercambio de archivos y la gestión de bibliotecas. Los conceptos principales que definen el Nivel 2 son:

- Desarrollo de un plan de ejecución BIM.
- Creación de un entorno común de datos que organice los intercambios de información del modelo.
- Son modelos de información desarrollados utilizando programas basados en las distintas disciplinas, bases de datos propias y diferentes grados de interoperabilidad.

### 2.9.6.4 Nivel 3

Representa completa colaboración entre las distintas ingenierías del proyecto por medio de la utilización de un modelo único, proyecto compartido que se mantienen en un archivo centralizado. De esta forma, todas las partes involucradas en el proceso pueden acceder y modificar ese mismo modelo eliminando el riesgo de información contradictoria en el proyecto. Esto se conoce como “Open BIM”. El BIM Task Group ha descrito este nivel incluyendo los siguientes conceptos principales:

- Gestión completa del ciclo de vida del proyecto.
- Mediciones exactas.

- Escala y capacidad.
- Facilidad de uso e interoperabilidad total. (Cabello, 2017, p. 112)

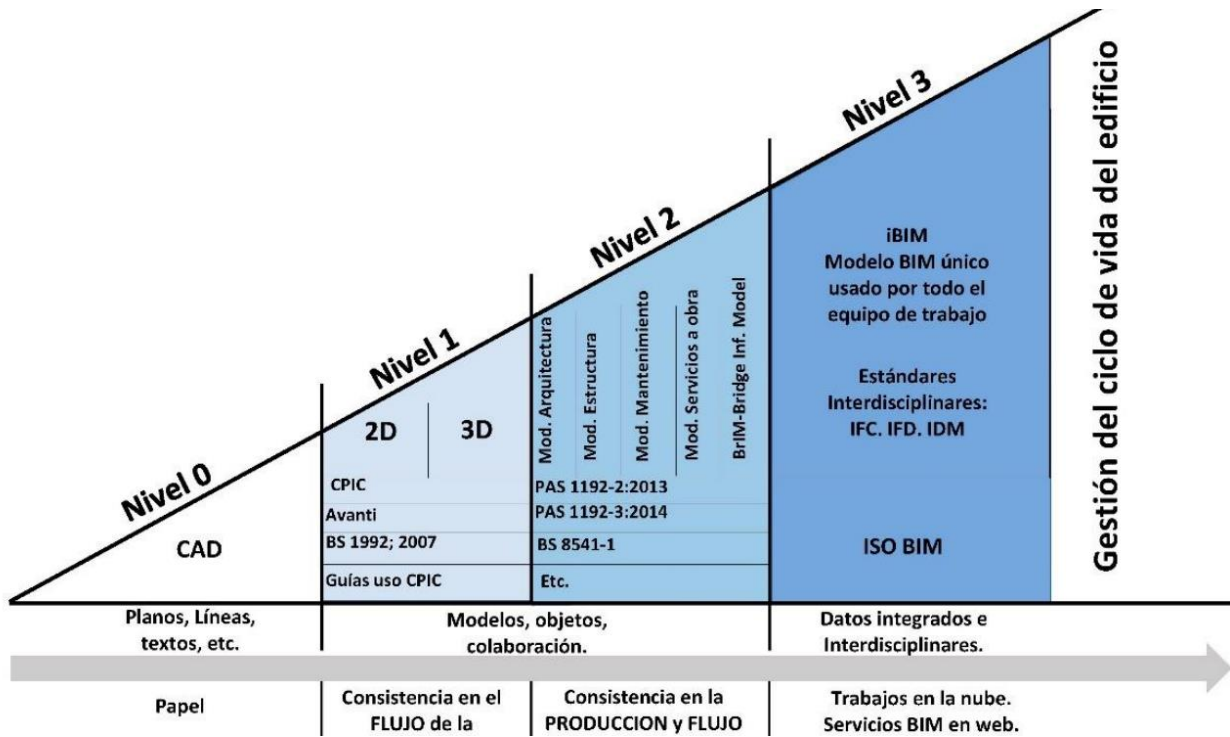


Figura 9: Niveles BIM

Fuente: Guillen, 2015

### 2.9.7 Curvas de MacLeamy

En 2004, se presentó un conjunto de curvas basadas en la siguiente observación: Los cambios en un proyecto resultan más complejos y costosos a medida que avanza el desarrollo del mismo. El punto clave de esta figura, es el entender que con la metodología tradicional los actores dedican el mayor esfuerzo de corrección del diseño en fases del proyecto en la que los cambios resultan más costosos. La curva de McLeamy en concreto, la metodología del trabajo BIM y el sistema de entrega del proyecto IPD (Integrated Project Delivery), proponen adelantar el presupuesto de los cambios de diseño y ampliar la capacidad de realizar dichos cambios en el proyecto.

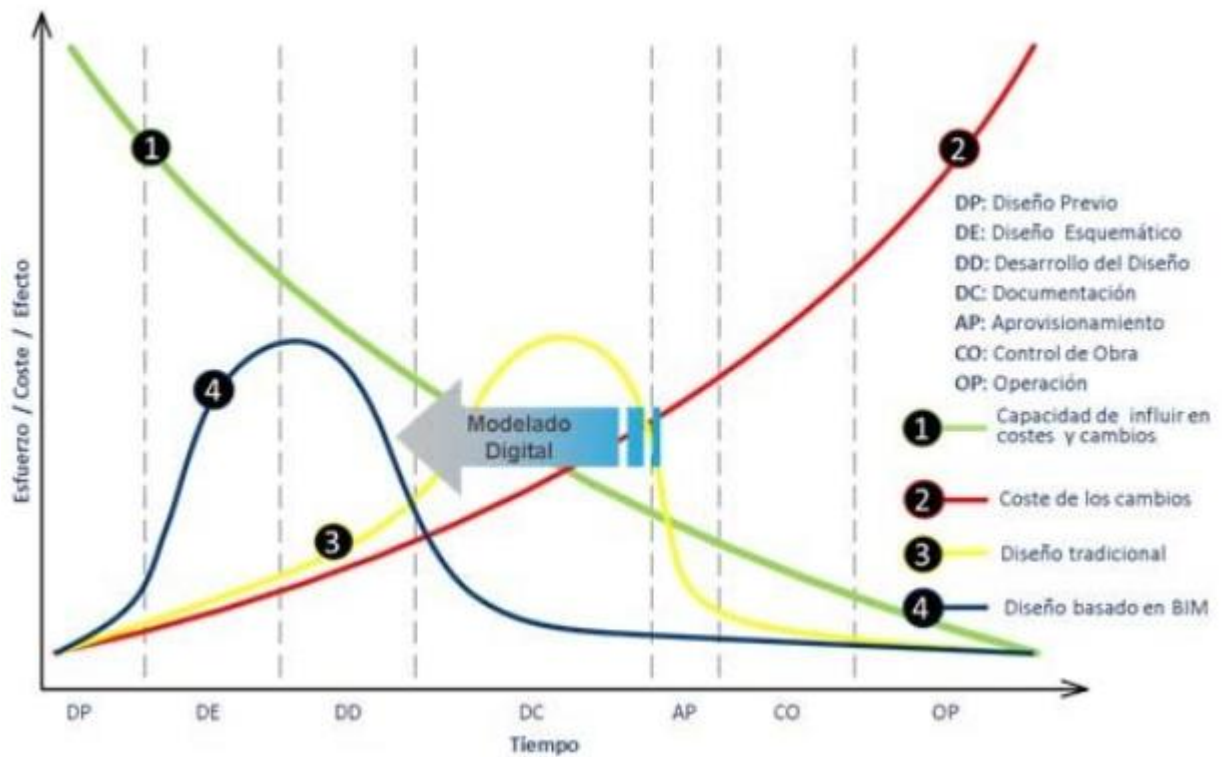


Figura 10: Efectos del cambio d metodología de trabajo

Fuente: MacLeamy, 2014

La curva de Macleamy ha dado lugar a la creación de una serie de gráficas que han sido utilizadas para demostrar los potenciales beneficios del cambio de la metodología de trabajo tradicional a la metodología BIM. Dichos gráficos representan en el eje horizontal una línea de tiempo con las diferentes fases del proyecto y en su eje vertical el esfuerzo dedicado a la elaboración de la información del proyecto medido en tiempo empleado.

Como se observa en la siguiente figura, el cambio a una metodología de trabajo BIM, conlleva un proceso que requiere de tiempo. Las tres curvas que se encuentran en la figura representan de derecha a izquierda la curva de trabajo utilizando la metodología tradicional en 2D CAD, la curva de trabajo en fase de implantación de BIM y por último la curva idealizada de trabajo utilizando la metodología BIM.

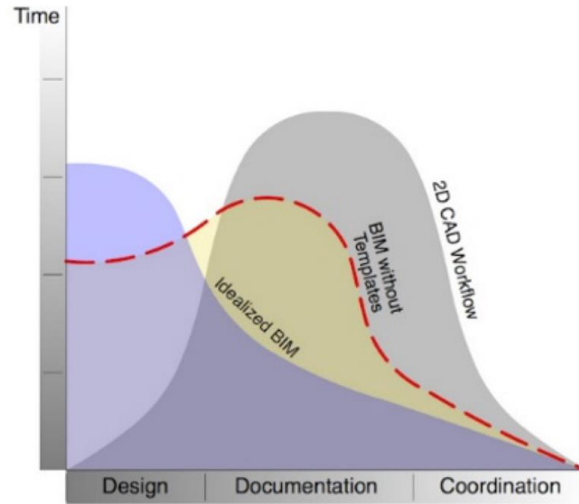


Figura 11: Curva idealizada de la metodología BIM

Fuente: MacLeamy, 2014

El problema principal hacia la implementación de la metodología BIM es el hecho de obviar el proceso de implantación de dicha metodología. La curva idealizada de BIM, que en la fase de implantación es errónea al no coincidir con la realidad de esfuerzo necesario para el desarrollo de un proyecto., lleva a generar unas expectativas de ahorro en planificación y presupuesto de entre el 10 a 50% que no son reales.

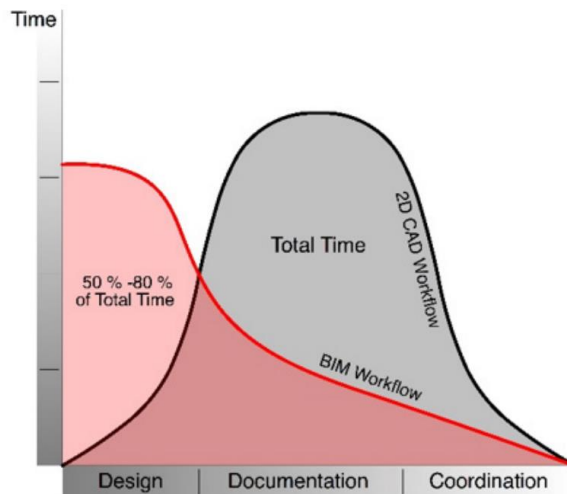
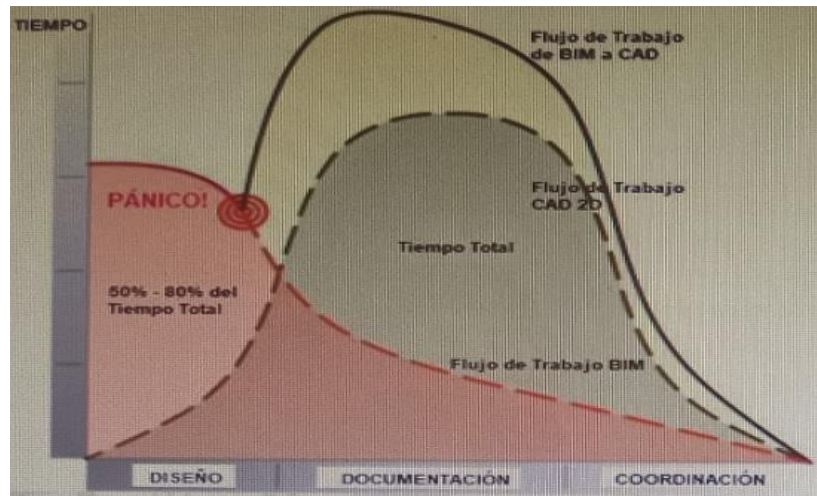


Figura 7: Expectativa de la implantación inicial de BIM

Fuente: MacLeamy, 2014

Dichas expectativas representan la idea para poder realizar el esfuerzo del trabajo productivo en la etapa de diseño del proyecto, mientras que si seguimos la curva real de trabajo en fase de implantación BIM observamos que no es el ahorro esperado. Y se podría observar que, después de la fase de diseño del proyecto. El nivel de trabajo necesario para el desarrollo del proyecto comenzaría a verse reducido de forma drástica ocurre lo contrario y sigue creciendo como nos indica la curva de dicha fase.



*Figura 8: Realidad de la implantación del BIM*

*Fuente: MacLeamy, 2014*

Este hecho habitualmente suele dar lugar a un determinado momento de pánico en el cual la desconfianza en la utilidad y la eficiencia de la metodología BIM puede desembocar al cambio a la metodología de trabajo tradicional.

Por tanto, es muy importante tener presente el proceso de implantación de la nueva metodología de trabajo que supone la implementación de BIM. Este proceso tiene como objetivo, desplazar los esfuerzos productivos a las fases iniciales del proyecto, generando una base de datos de plantillas (todo lo que es común en los proyectos como los métodos de organización, datos genéricos detalles estándares, librerías, etc.), que van a permitir acercar la curva real el trabajo a la curva idealizada de la metodología de trabajo BIM que se presenta en la figura ¿??

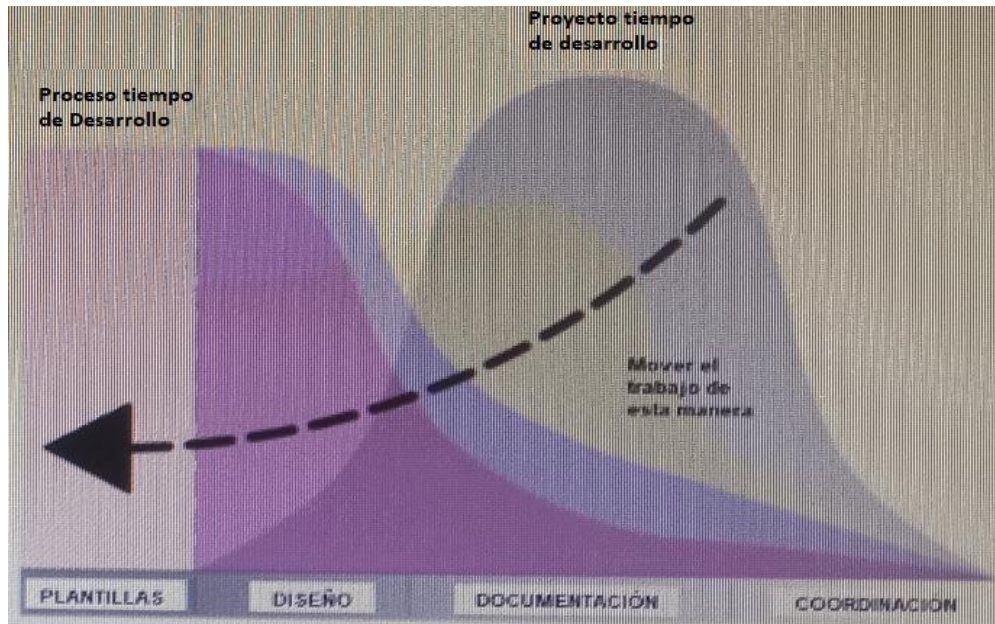


Figura 9: Proceso de implantación de BIM, adelantar el trabajo

Fuente: MacLeamy, 2014

El trabajo que se adelanta a fases previas del proyecto es aquel que puede ser común en varios proyectos y se puede predefinir en el proceso llamado Templating (capacitaciones, actualizaciones de programas, investigación, planillas, etc.)

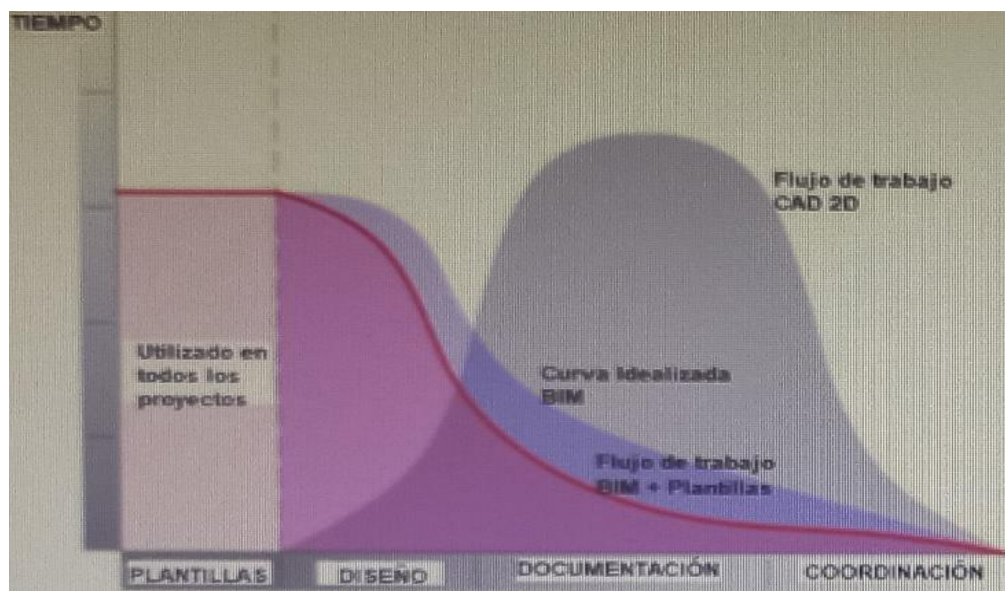


Figura 10: Implantación inicial de BIM + Templating

Fuente: MacLeamy, 2014

Finalmente vemos una figura que nos muestra la evolución de la curva de trabajo con la metodología BIM a lo largo del proceso de implementación de dicha metodología en la estructura de una empresa. (Cabello, 2017, p. 58)

### **2.9.8 LOD**

El acrónimo LOD corresponde a dos definiciones distintas. Nivel de desarrollo (Level Development) y Nivel de detalle (Level of Detail).

#### *2.9.8.1 Nivel de desarrollo LOD*

LOD («Level of Development») nos dice qué tan detallado tiene que ser un modelo BIM. Es un término que se define en la especificación de la organización de arquitectos de Estados Unidos (AIA). La última especificación del AIA referente al LOD, es la A202-2013 y la E302-2013. A partir de la A202-2013, Bimforum creó su especificación LOD, que es una de las especificaciones más completas que hay en este momento en el tema. (MundoBIM, 2018, p. 3)

Si quieren hablar en forma estandarizada de LOD, e irse a la segura, esta es la definición de niveles que da AIA, y en la que está basada la spec Bimforum:

##### *2.9.8.1.1 LOD 100*

Es el nivel básico en el que se enumeran los elementos conceptuales de un proyecto.

No es necesaria su definición geométrica, aunque este puede depender de otros objetos definidos gráfica y geoméricamente. Muchos elementos pueden permanecer en este nivel de desarrollo en fases muy avanzadas del proyecto. (Editeca, 2021, p. 4)

Podríamos establecer el uso de este nivel de desarrollo para redacción de Anteproyecto.

LOD100 – Conceptual. En el modelo aparece un símbolo, o un marcador genérico, sin forma particular y que no cumple nivel LOD200. No hay datos de geometría ni dimensiones. Información de cantidades para estimar costos se obtiene de otras fuentes relacionadas con el diseño, y las estimaciones deben considerarse aproximadas. (MundoBIM, 2018, p. 5)

#### 2.9.8.1.2 *LOD 200.*

Es el nivel en el que se definen gráficamente el elemento, especificando aproximadamente cantidades, tamaño, forma y/o ubicación respecto al conjunto del proyecto. Puede incluir información no gráfica. Este nivel se correspondería con uno Proyecto Básico de Arquitectura o Ingeniería. (Editeca, 2021, p. 4)

LOD200 – Geometría. En el modelo aparece un objeto genérico o un ensamblaje genérico, que tiene dimensiones, cantidades, ubicación y orientación aproximadas. El objeto tiene algo de información asociada, y se pueden obtener de él algunas cantidades y datos para estimar costo de manera aproximada.

#### 2.9.8.1.3 *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. Nivel de desarrollo alcanzado un desarrollo de Proyecto de Ejecución. (Editeca, 2021, p. 4)

LOD300 – Construcción. En el modelo aparece una representación específica del objeto o sistema, preciso en dimensiones, cantidades, tamaño, forma, ubicación y orientación. Se pueden tomar medidas y cantidades directamente del modelo, sin recurrir a documentos complementarios, especificaciones complementarias o notas complementarias. El origen de coordenadas está claramente definido, y el objeto puede ubicarse correctamente respecto a este origen. Los objetos tienen información asociada, que sirve para su identificación y compra (marcas, modelos, números de catálogo, etc).

LOD350 – Coordinación y colisiones. Se cumple todo lo indicado para LOD 300 pero además el objeto tiene modeladas todas las conexiones que le permiten interactuar con otros sistemas, por ejemplo, colgantes, soportes, bases, placas, etc. El elemento LOD350 permite hacer análisis preciso de colisiones y conflictos de espacio.

#### 2.9.8.1.4 *LOD 400.*

Una vez el objeto está definido geométricamente en detalle se añade información específica sobre su posición, pertenencia a un sistema constructivo específico, uso y montaje en términos de

cantidades, dimensiones, forma, ubicación y orientación con detalle completo. (Editeca, 2021, p. 8)

Podríamos estar este nivel de desarrollo durante el proceso de ejecución de la Obra donde irán surgiendo modificaciones o necesidades de definición del proyecto, como detalles constructivos.

LOD400 – Fabricación. Se tiene un nivel de detalle en el modelo superior a LOD350, y suficiente para producir dibujos y planos de taller, y fabricar/instalar el elemento en su totalidad. En el modelo se muestra la forma de instalar el elemento, con todos los accesorios y piezas requeridos.

#### 2.9.8.1.5 LOD 500.

Este nivel de desarrollo se identifica normalmente con el nivel de proceso constructivo finalizado “as built”. Acumula toda la información de los anteriores. El criterio válido será definido por la propiedad y las normativas correspondientes. (Editeca, 2021, p. 12)

LOD500 – As Built. Se cumplen los requerimientos de LOD400, y además el elemento se encuentra construido, se midió en campo y cualquier cambio respecto a lo indicado por el modelo fue subsanado. El modelo refleja de manera precisa lo que existe construido en la realidad.

En general los modelos que son útiles para construcción y presupuestos detallados tienen elementos en LOD300 o LOD350. La estructura y elementos arquitectónicos generales usan LOD300, y los detalles arquitectónicos específicos usan LOD350. Los sistemas electromecánicos generalmente se trabajan en LOD350 para construcción, por la necesidad que hay de ver interferencias con la estructura. Ciertos elementos muy específicos, por ejemplo, transiciones especiales en ductos o tuberías, o sistemas estructurales muy críticos, puede haber necesidad de realizarlos en LOD400, para que exista total claridad respecto a su fabricación y a la manera en que van a instalarse en el proyecto. (MundoBIM, 2018, p. 7)

En proyectos muy especializados, por ejemplo, plantas de energía o plantas industriales donde se vuelve muy crítica la eficiencia y seguridad de los sistemas, puede requerirse un uso extensivo de LOD400.

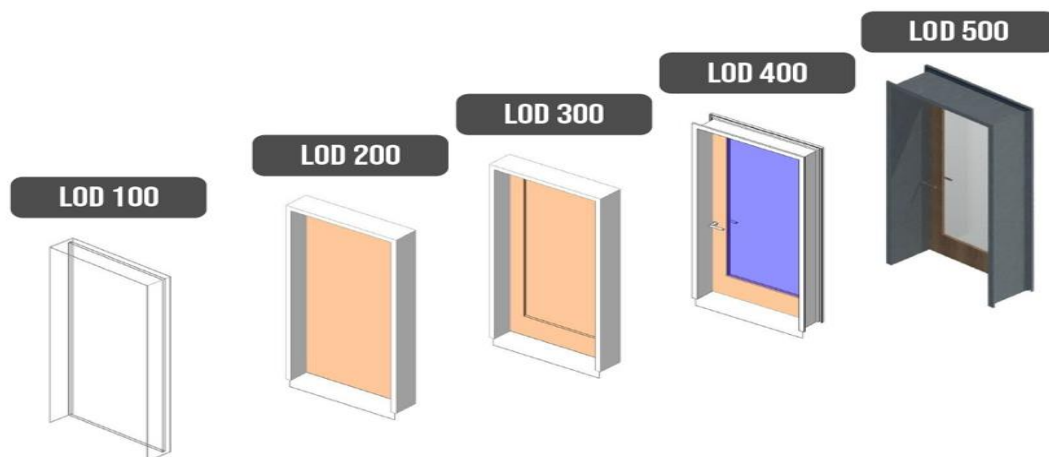
El objetivo principal del LOD es informar a los actores del proyecto de la información de cada objeto que se puede utilizar.

La función de los niveles de desarrollo es definir los niveles de información de los elementos modelados en cada sistema constructivo, por lo que pueden ser útiles para reducir los posibles conflictos derivados de interpretaciones contractuales.

No existe «un modelo LOD300» o «un modelo LOD350». El LOD se aplica por separado, a partes del modelo, según sea necesario. Puede que un modelo constructivo venga con estructura y arquitectura en LOD300, y electromecánico en LOD350. O si es un proyecto de acero, puede que la estructura de acero se realice LOD400, y el resto LOD300. O puede que todo el modelo se maneje en LOD300, excepto las placas y anclajes de los soportes sísmicos, que deben ser LOD400. En cada caso hay que definir esas particularidades. (MundoBIM, 2018, p. 9)

Los LOD definidos por AIA y por Bimforum son esos que aparecen arriba: 100, 200, 300, 350, 400, 500. Si se ponen a inventar LOD adicionales, van a estar creando áreas grises, que no están en la especificación, y que van a generar confusiones y subjetividades. Quédense con los LOD de la especificación, y evítense problemas.

Generalmente en los proyectos donde hay BIM, se utiliza un documento adicional que se llama el «plan de ejecución BIM» (BIM Execution Plan, BXP o BEP). El BXP es el documento a donde se define cómo hacer el modelo, y se dice en qué LOD tiene que ir cada parte del modelo. También el BIM Execution Plan nos dice quiénes son los responsables de producir y entregar cada parte del modelo, cuándo, y con qué nivel de LOD. (MundoBIM, 2018, p. 10)



*Figura 11: Ejemplo Nivel de desarrollo*

*Fuente: MundoBIM*

Para determinar cuáles son esas especificaciones, se ha creado un concepto llamado Nivel de Desarrollo (LOD, Level of Development). ¿Qué es el LOD? El LOD es básicamente una especificación técnica, que dice qué se modela y con qué nivel de detalle. Se tienen varios niveles LOD, generalmente numerados de 100 hasta 500. Conforme se sube en la escala, aumenta la cantidad de cosas que hay que modelar, y el nivel de detalle del modelado.

Por ejemplo, un modelo LOD 50 puede ser algo muy básico. Geometría de paredes, buques de puertas y ventanas con dimensiones estándar, y planos correspondientes a techos con la inclinación aproximada. Si pasamos a LOD 100 puede que ya tengamos que dar dimensiones reales a los buques, incorporar representaciones simbólicas de las puertas y ventanas, y dar los espesores correctos y forma adecuada a la cubierta de techos. Y podemos seguir subiendo hasta, digamos, un LOD500 donde tengamos representaciones fieles con medidas reales de apagadores, tomacorrientes, muebles, luces, y cuanto otro componente exista en la estructura. (MundoBIM, 2018, p. 11)

Cuando uno habla de «alto detalle» generalmente significa que la geometría del elemento refleja bien la geometría real. Pero no necesariamente significa que el elemento BIM contenga más información que la geometría. Y en BIM, un buen componente es 50% geometría, y 50% información no geométrica.


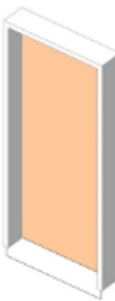
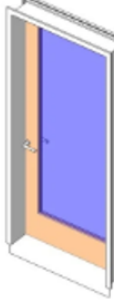
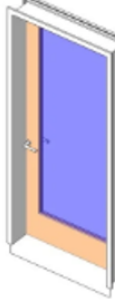

“Development” (desarrollo) es un término mucho más integral, que abarca geometría, información no geométrica, materiales, etc. Por eso es mejor hablar de “Level of Development”.

Generalmente cuando hablamos de un trabajo de modelado, el nivel LOD viene como parte del contrato. El cliente tiene que decirnos qué es lo que quiere, y con qué nivel de detalle lo quiere. (MundoBIM, 2018, p. 13)

#### 2.9.8.2 Nivel de detalle LOD

El nivel de detalle corresponde a la evolución lineal de la cantidad de información de un proceso constructivo. El nivel de detalle es un modelo de información de un proceso constructivo. El nivel de detalle de un modelo de información siempre aumenta a medida que avanza el desarrollo del proyecto. Debido a que se trata únicamente de una medida de cantidad, la suposición subyacente

es que toda la información proporcionada es relevante para el proyecto y por lo tanto se puede confiar con certeza.

LOD 100	LOD 200	LOD 300/350	LOD 400	LOD 500
				
Concept phase	Conceptual design	Tender project	Construction state project	As built project

*Figura 12: Nivel de detalle*

*Fuente: Seed, 2018*

## 2.10 DETECCIÓN DE INTERFERENCIAS

La detección de interferencias o “clash detection” se basa en la comparación de dos o más modelos entre sí para detectar conflictos de colisiones físicas, choques de elementos, interferencias en el uso o accesibilidad a objetos, a nivel estático o dinámico (elementos que se mueven). La teoría de los “clash detection” siempre nos muestra imágenes de elementos aislados atravesados de manera central, pero la realidad es que al confrontar modelos el número de interferencias puede ser de cientos o incluso miles, y de múltiples naturalezas. (Barco Moreno, 2018, pág. 380).

Según (Barco Moreno, 2018, pág. 382), hay diferentes tipos de interferencias que dependen del programa que se use, del enfoque del técnico que analice y del proceso que se describa en el BEP. Podríamos agruparlas en:

- Auto interferencia:
  - Conflicto de duplicación: la geometría del objeto A es la misma que la del objeto B, y está ubicada a una distancia de entre cero y la tolerancia establecida. Una tolerancia

de cero haría que solo se detectaran elementos de geometría duplicados que ocupen la misma posición.

- Solapes: parte de la geometría del objeto A esta embebida en el objeto B, y está ubicada a una distancia de entre cero y la tolerancia establecida. Es una variación del objeto duplicado y se basa en que son objetos de la misma categoría constructiva.
- Choques: para este tipo de interferencias es necesario establecer una tolerancia, que normalmente los programas las consideran radiales a los objetos. En programas como Solibri se pueden configurar reglas más complejas de colisiones de choque.
  - Estático: la geometría del objeto A interseca la del objeto B a una distancia superior a la tolerancia establecida. Pueden existir análisis más conservadores o menos. En el caso de estos conflictos, la gravedad depende de la intersección entre los dos elementos, que se suele registrar como una distancia negativa. Cuanto mayor es la distancia, más grave es el conflicto.
  - Dinámico: parte de la base anterior, pero añadiendo el movimiento lógico de los objetos, como apertura de puertas, elementos móviles, apertura de máquinas, etc.
- De uso y mantenimiento: son las debidas al uso propio de los elementos como puertas que se abren, a simulaciones de evacuación, de tráfico, de funcionamiento y accesibilidad (distancias mínimas en cuartos de máquinas, distancias mínimas entre conductos). En estos casos el objeto A puede intersecar con el objeto B, pero se encuentra a una distancia inferior a la tolerancia establecida. La gravedad depende de en qué medida invada un elemento la distancia requerida alrededor de otro elemento.
- De normativa: son las debidas a la aplicación de una normativa específica del proyecto en un país concreto.
- De construcción: comparación de modelos para establecer una coherencia constructiva.

Por ejemplo, si por estrategia de modelado se establece que los pilares existan en el modelo de arquitectura y en el de estructuras, que en los dos modelos sean iguales.

### **2.10.1 Software de Interferencia (Autodesk Navisworks)**

Según (Barco Moreno, 2018, pág. 389), el Software de interferencias Autodesk Navisworks Manage es uno de los programas más utilizados en el Mercado AEC (Architecture, Engineering and Construction), ya que Autodesk lo incluye como parte de sus paquetes Collection o Suite, que

suelen tener los equipos que utilizan Revit y porque añade numerosas funcionalidades a la gestión de modelos. El sistema de interferencias se llama Clash Detective.

## MARCO APLICATIVO

### 3.1 Características del proyecto

#### 3.1.1 Ubicación

La obra se halla destinada a un centro de comunicaciones en el departamento de Pando. Se ubicada en la”, Urbanización Hugo Zabala de la ciudad de Cobija

La obra comprende Implementación de la metodología BIM para la detección de interferencias al vincular el diseño.



*Figura 13: Terreno*

*Fuente: Elaboración propia, 2023*

Se realizaron estudio topográfico (ver anexo A), también estudio geotécnico (ver anexo B).

#### 3.1.2 Infraestructura

La edificación tiene el fin de servicios en telecomunicaciones, el centro de comunicaciones es el organismo encargado de recibir, transmitir, procesar y entregar mensajes oficiales en un cuartel general; con seguridad, rapidez y exactitud. Oficinas por lo que consta de oficinas tipo, estacionamientos, baños, depósitos, así como todo lo referente a la administración y apoyo de la misma. La configuración arquitectónica base tiene las siguientes características.

### 3.1.3 Disciplinas y especialidades de diseño

El centro de comunicaciones se centra en la implementación de la metodología BIM aplicada solo al componente estructural del proyecto.

## 3.2 Desarrollo

### 3.2.1 Área técnica

#### 3.2.1.1 Plataforma de programas

El propósito de esta sección es comunicar los programas que se utilizó, así como sus versiones, considerando la compatibilidad como esencial para el desarrollo.

Las plataformas y versiones base que se utilizaron para la implementación de la metodología BIM en el edificio de comunicaciones de la ciudad de Cobija fueron:

- Autodesk Revit v.2022
- Cype Cad Professional v. 2018
- Navisworks v.2022
- Microsoft Project Profesional v.2019
- Microsoft Excel Profesional v.2019

#### 3.2.1.2 Formatos de intercambio de archivos

El propósito de este punto es definir los formatos que se usaron para la interoperabilidad de información y los entregables de la implementación de la metodología BIM.

Nativo de cada plataforma

Formato de archivo común – Archivos IFC (2x3)

- Archivos PDF
- Archivos DWF
- Archivos Sp

### 3.3 PROTOCOLO BIM

#### 3.3.1 Ingeniería Estructural

La ingeniería estructural es la encargada de definir los elementos estructurales que, vinculados entre sí, permiten dar resistencia y transmitir las cargas de un edificio a los apoyos manteniendo el espacio arquitectónico sin sufrir deformaciones. Dentro de esta ingeniería los diferentes elementos estructurales del edificio de telecomunicaciones fueron organizados de la siguiente manera:

- Zapatas combinadas
- Zapatas aisladas
- Pantallas
- Columnas
- Vigas
- Losas
- Escaleras

Se utilizó estructuras de hormigón, que es la especialidad estructural estándar en el medio, que incluye la información de las armaduras de refuerzo (acero y estribos).

##### *3.3.1.1. Alcance.*

La presente verificación manual del cálculo comprende el diseño de los elementos estructural. Incluye su modelación estructural en un programa de elementos finitos y el diseño estructural de las losas, vigas, pilares, muros y fundaciones que componen la estructura principal de soporte formada por hormigón armado. (Ver Anexo C)

##### *3.3.1.2. Normas de calculo*

- NB 1225001-1, Hormigón estructural
- ACI 318M-14
- (ASTM) AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS
- ACI 211.

### 3.3.1.3. Materiales

A menos que se especifique lo contrario, se utiliza:

a) Hormigón

Con una resistencia característica a los 28 días igual a  $f_c=25$  Mpa (resistencia promedio igual a 250 Kg/cm<sup>2</sup>), con un contenido de cemento de 364 kg/m<sup>3</sup>, mezclado en sitio.

b) Acero

Semiduro, corrugado, de alta adherencia, con una fatiga de fluencia, real o aparente al 0.2% de 500 Mpa (resistencia igual a 5000 kg/cm<sup>2</sup>), tipo AH 500.

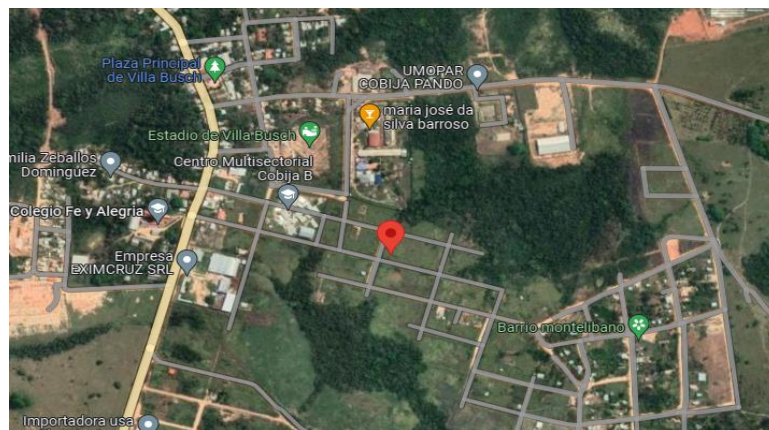
### 3.3.1.4. Nivel de control

El control de calidad del aprovisionamiento y depósito de materiales, direcciones y ejecución de la obra supuesto: Nivel de control: medio

### 3.3.1.5. Fatiga admisible del suelo

El diseño de fundaciones considera una fatiga admisible del suelo de 1.20 kg/cm<sup>2</sup>, valor obtenido de acuerdo a ensayos realizado en suelos con características similares al mismo sitio del proyecto.

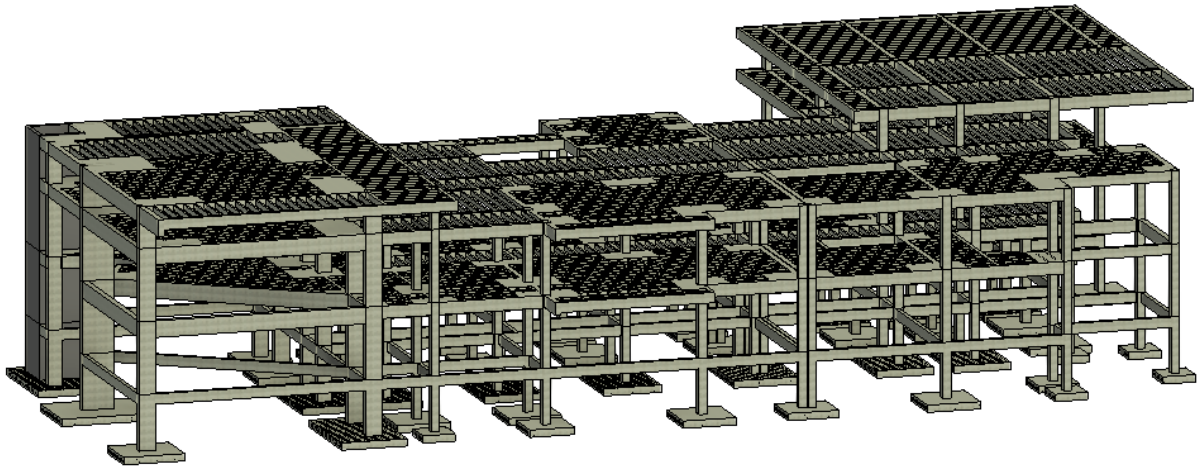
### 3.3.1.6. Ubicación de la construcción



*Figura 14: Ubicación*

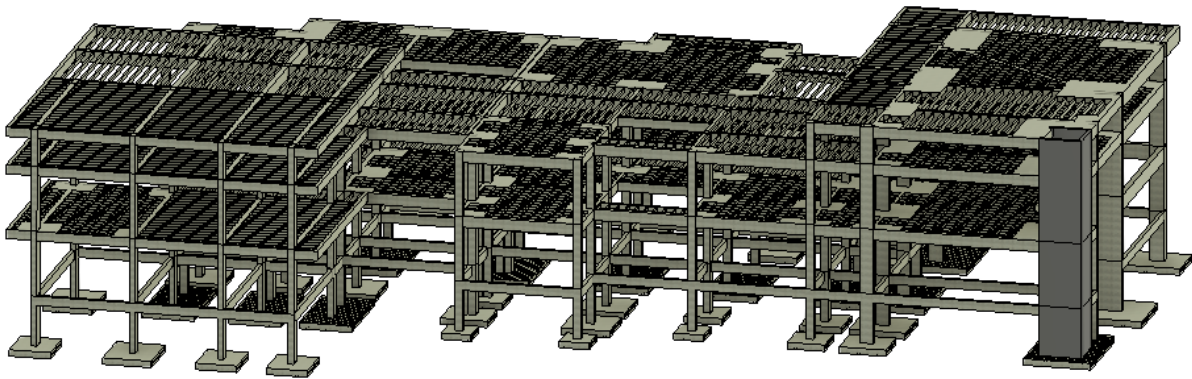
*Fuente: Google earth, 2023*

3.3.1.7. Vistas del modelo estructural



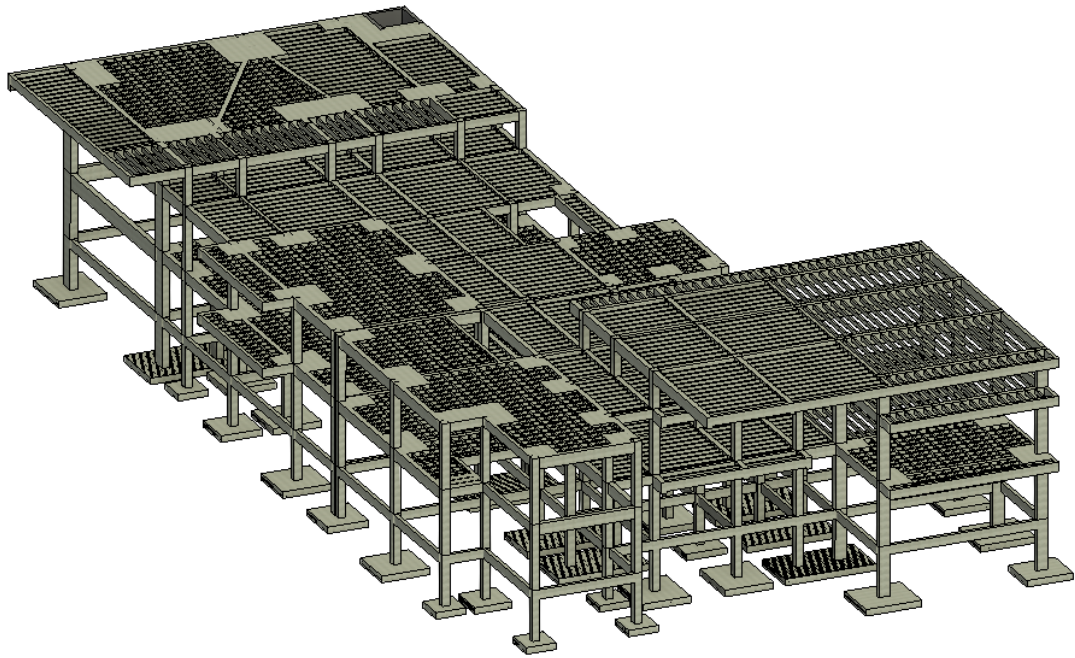
*Figura 15: Estructura principal vista frontal*

*Fuente: Elaboración propia, 2023*



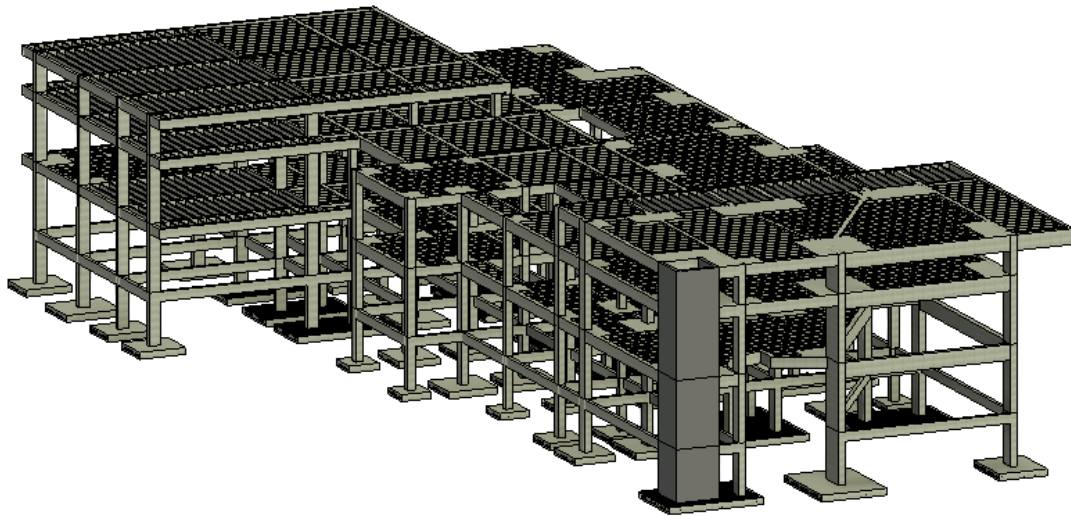
*Figura 21: Estructura principal vista posterior*

*Fuente: Elaboración propia, 2023*



*Figura 16: Estructura principal vista derecha*

*Fuente: Elaboración propia, 2023*



*Figura 17: Estructura principal vista izquierda*

*Fuente: Elaboración propia, 2023*

### 3.3.1.8. Acciones adoptadas en el cálculo

Se hará referencia a los diferentes tipos de carga considerados e la estructura de hormigón armado.

#### a) Acciones Peso Propio

El peso propio de los elementos estructurales de hormigón armado es calculado de forma automática por el programa, donde el programa toma en cuenta las dimensiones de los elementos y el peso específico definido de los materiales.

#### b) Acciones de Carga Muerta (CM)

A diferencia de cargar el peso propio, esta carga refiere a todas las cargas o elementos complementarios a la estructura, mismos que fueros considerados de acuerdo al tipo de ambiente done se consideró una carga muerta distribuida para todos los ambientes.

$$P_{tab} = 152 \text{ kg/m}^2$$

$$P_{Contrapiso} = 2400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0.05 \text{ m} = 120 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Revoque Cielo Falso} = 1250 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} + 0.04\text{m} = 50 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Revestimiento} - \text{acabado} = 30 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$(\text{Carga Permanente no estructural}) D.N.E. = 381.85 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

Se aplica al modelo como carga uniformemente distribuida (0.38 T/m<sup>2</sup>), en grupo de cargas “CM” de 3.8 KN/m<sup>2</sup> igual a 380 Kg/m<sup>2</sup>.

#### c) Sobrecarga de Uso o Carga Viva (CV).

Se considero una carga viva uniformemente distribuida para todos los ambientes para departamentos de 2.00 KN/m<sup>2</sup> igual a 200 Kg/m<sup>2</sup>

### *3.3.1.9. Modelo Estructural*

Se realizó el modelo estructural en el cual se definieron las propiedades de los materiales y la geometría estructural en la cual se asignaron las diferentes cargas que actúan sobre la estructura y combinaciones para el control de deformaciones y posterior diseño de cada elemento estructural.

El método utilizado por el programa CYPE CAD Professional v. 2018. Para calcular las estructuras es elementos Finitos. Este método consiste en ensamblar el comportamiento de cada elemento (vigas, columnas y losas) en una matriz global que representa el comportamiento de la estructura. Esta matriz se llama matriz de rigidez.

Cada uno de los elementos que compone el método tridimensional, es definido con todas las características que los asemejan al elemento de la estructura real, tales como: tipo de material, sección, rigidez, etc.; y con todas las solicitaciones que asemejan la situación funcionamiento a la que estará sujeto, tales como: cargas propias y externas. Tipos de apoyos, solicitaciones especiales como temperatura, clima u otras que se presentan.

Todas las solicitaciones particulares en cada elemento, son transmitidas a través de sus apoyos a los elementos siguientes que los sostiene. Finalmente, todas las solicitaciones van descendiendo hasta el nivel de las fundaciones, donde en base a las características del suelo presente, se verifica la cimentación.

### *3.3.1.10. Conclusiones y Recomendaciones*

De acuerdo a los resultados obtenidos del cálculo estructural se concluye que la estructura cumple con todas las comprobaciones estipuladas por las normativas ya mencionadas, considerando que la misma tiene un buen funcionamiento con las dimensiones y detalles de armaduras indicadas en el plano estructural.

La propiedad objeto de estudio, se encuentra ubicada Urbanización Hugo Zabala de la ciudad de Cobija.

### 3.4 Plan de ejecución BIM “BEP”

El plan de ejecución BIM (BEP) es el plan detallado que define la ejecución y organización del proyecto Edificio de Telecomunicaciones Cobija, aplicando la metodología BIM.

En el presente Proyecto de grado se definieron los objetivos, metas y límites en el capítulo I que están involucrados netamente al proceso de implementación de la metodología BIM. GEGEEGEG

Este BEP no contempla el BIM como entregable, su objetivo es definir procedimientos de la metodología y la detección de interferencias al vincular el diseño estructural, con la finalidad de alcanzar los objetivos propios del proyecto de grado.

#### 3.4.1 Gestión del proyecto BIM

##### 3.4.1.1 Información del proyecto

*Tabla 2: Información del proyecto*

Nombre del proyecto	Edificio de Telecomunicaciones Cobija
Promotor	
Dirección del proyecto / ubicación	Urbanización Hugo Zabala
Breve descripción del proyecto	Edificio de uso exclusivo para las oficinas de Telecomunicaciones en la ciudad de Cobija Pando.
Alcance del proyecto	Simulación de detección de interferencias al vincular el diseño estructural.
Información adicional	Proyecto académico UAP

*Fuente: elaboración propia, 2023*

##### 3.4.1.2 Usos de la metodología BIM en el proyecto

La implementación de la metodología BIM se basa en los objetivos del proyecto; es por ese motivo que se realizó una tabla con el nivel de prioridad de cada objetivo, la implementación BIM que se realizó y el programa que se ejecutó para cumplir con dichas metas del proyecto de grado.

Tabla 3: Usos de implementación BIM

PRIORIDAD	DESCRIPCIÓN DE LA META	USOS BIM	PROGRAMA
Alta	Modelo tridimensional del edificio y generación de documentos del edificio	Diseñar y analizar la construcción del proyecto con el fin de mejorar la planificación.	Revit v.2022
Media	Cuantificaciones, generación de cantidades de los elementos estructurales.	Revisión del modelo Cuantificaciones en línea Obtención de volúmenes.	Revit v.2022
Alta	Cronograma de obra mejora de la calidad y reducción del tiempo empleado en las fases de obra.	Optimización de la planificación del proyecto. VDC	Microsoft Project v.2019
Alta	Simulación 4D, análisis previos de la construcción	Planificar de manera eficiente mostrando la secuencia constructiva de la obra. Simulación virtual de la construcción.	Navisworks v.2022

Fuente: Elaboración propia, 2023

### 3.5. Cronograma del proyecto

El proyecto considera los siguientes hitos como determinantes para el alcance de los objetivos propuestos. Las fechas y entregables específicos estuvieron de acuerdo al cumplimiento de los resultados.

#### 3.5.1. Cronograma del proyecto BEP

Tabla 4: Cronograma a desarrollar del proyecto

HITO DEL PROYECTO	DESCRIPCIÓN	INICIO	FIN
Modelación	Generación del modelo tridimensional estructural del edificio de telecomunicaciones con los detalles constructivos de la armadura.	01 mayo 2023	31 mayo 2023

Cómpu tos métricos	Obtención de diversos reportes cuantificaciones, geometría de los elementos estructurales en general	01 junio 2023	15 junio 2023
Planificación de la construcción	Estimación de los recursos para cada actividad y su duración en el tiempo de ejecución	16 junio 2023	26 junio 2023

*Fuente: Elaboración propia, 2023*

### 3.6. Nivel de desarrollo LOD

En esta tabla se asignó las responsabilidades en relación a los MEA (Model Elements Author) y el nivel de desarrollo LOD para cada elemento del modelo a lo largo de las fases del proyecto.

*Tabla 5: Nivel de desarrollo LOD estructural del edificio d telecomunicaciones en Cobija*

Entregables por fase	Diseño Conceptual		Desarrollo conceptual		Documentos para construcción		Fabricación		Operación	
	LOD	MEA	LOD	MEA	LOD	MEA	LOD	MEA	LOD	MEA
Elementos del modelo										
Losa de cimentación			100		300		400		500	
Columnas	100		200		300		400		500	
Escaleras	100		200		300		400		500	
Losas	100		200		300		400		500	
Vigas	100		200		300		400		500	
Muros	100		100		300		400		500	

*Fuente: Elaboración propia, 2023*

*Tabla 6: Descripción Color*

Disciplina MEA	Color
Arquitectura	
Ing. Estructural	

*Fuente: Elaboración propia, 2023}*

### **3.7. Modelo tridimensional del Edificio de telecomunicaciones**

#### **3.7.1. Consideraciones generales para la modelación paramétrica**

Se desarrolló el modelo de información desde los archivos recibidos de un cálculo estructural que previamente fue realizado en dos dimensiones por el programa CYPE CAD v. 2018 para el edificio de telecomunicaciones, lo cual se obedeció al detalle tanto para la ubicación, geometría y materiales del elemento y de la armadura de refuerzo tomando en cuenta las consideraciones especificaciones en dichos planos para obtener cómputos métricos más precisos posteriormente.

Se utilizó de apoyo para la modelización del edificio de telecomunicaciones, el Manual de detallado para elementos de hormigón armado, para los detalles constructivos de la armadura de refuerzo y los encuentros para la detección de interferencias al vincular el diseño estructural entre elementos estructurales.

#### **3.7.2 Elaboración del modelo paramétrico**

Se realizó el modelo estructural utilizando el programa que trabaja SOBRE TRES DIMENSIONES Y EN TIEMPO REAL Revit v.2022 de la familia de Autodesk. Este programa cuenta con la capacidad de importar los formatos de archivos DWG, es por eso que se usó como plantillas para la modelación de los elementos y objetivos del proyecto, los planos 2D de la edificación obtenidos de los diseños hechos previamente con la metodología tradicional, como lo menciona en Nivel 1 de madurez de un modelo BIM.

El presente proyecto de grado se enfocó a la dimensión estructural, (o Structural Analysis Default ESPESP), del programa, para la detección de interferencias al vincular el diseño estructural.

La modelación fue siguiendo el orden constructivo de una edificación ya que el programa utilizado exige que algunos elementos estructurales sean añadidos después de otros.

Inicialmente se modeló en tercera dimensión las cimentaciones que en este caso está constituida por Zapatas combinadas y Zapatas aisladas que se encuentra a una altura de -2.00 (nivel fundación) de la acera +0,00.

Fuente: Elaboración propia en Revit v.2022.

- Después se modeló las columnas y vigas, respetando sus ubicaciones y dimensiones con el fin de que los cortes y la altura especificada en los planos arquitectónicos coincidieran con el modelo.
- Una vez parametrizados estos elementos se continuó con las losas de hormigón armado. Tomando en cuenta que son losas alivianadas, también se hizo la modelación de las viguetas in situ con las características especificadas en los planos.
- Por último, las rampas de escaleras fueron modeladas siguiendo los detalles de los planos de referencia.

### 3.7.3 Cálculos métricos

El modelo BIM permite determinar cálculos métricos al mismo tiempo que se va parametrizando.

El cálculo de los cálculos métricos a través de la metodología BIM se obtuvo a partir del modelo paramétrico estructural del edificio de telecomunicaciones con la herramienta Tablas de planificación del programa Revit v.2022. La estructura de los elementos permite agrupar la información en función de las necesidades objetivas. En este caso se utilizaron los campos de:

- Nivel para determinar la ubicación del elemento
- Tipo: se refiere a la nomenclatura que fue asignada para cada elemento, para que estos sean identificados fácilmente.
- Volumen del hormigón armado en m<sup>3</sup>.
- Volumen de acero en m<sup>3</sup>.

Luego fueron exportadas las tablas de planificación de los cálculos métricos a una plantilla de cálculo del programa Excel v. 2019 de la familia Microsoft, para desarrollar el análisis de los cálculos métricos con las herramientas de esta plantilla.

### 3.8 DISEÑO POR ESPECIALIDADES

#### 3.8.1 Elaboración del modelo BIM estructuras (3D)

El modelado tridimensional de la especialidad de estructuras se realizó a partir de las plantillas que Autodesk Revit Structure 2022.

Primeramente, antes de iniciar el modelado de estructuras, los planos de archivo DWG Cad ya estando definido correctamente para poder iniciar el modelo 3D con Autodesk Revit 2022.

Se modela la cimentación conformada por zapatas, cimientos corridos y sobrecimientos. La estructura misma, conformada por columnas, escaleras, vigas y losas aligeradas. Para el modelo de estructuras, no se tendrá en cuenta la albañilería, ya que no desempeñan ninguna función estructural, sino más bien arquitectónica.

El modelo de estructuras se realiza en un LOD 300, ya que el modelo representa un sistema estructural, con elementos que contienen información y geometría precisa.

##### 3.8.1.1 Modelado de cimentaciones:

El procedimiento de modelado se inicia colocando los ejes en el cual en Revit se encuentra como rejilla, una vez colocado se inicia con el modelado de cimentación en el cual modelamos las zapatas, cimientos corridos, sobrecimientos y también se considera la colocación de columnas teniendo en cuenta el tipo y material de estructuras de cada elemento estructural.

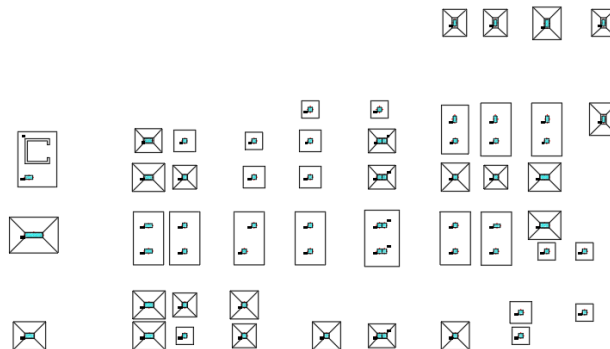


Figura 18: Visualización del modelado de las cimentaciones

FUENTE: Elaboración Propia, 2023

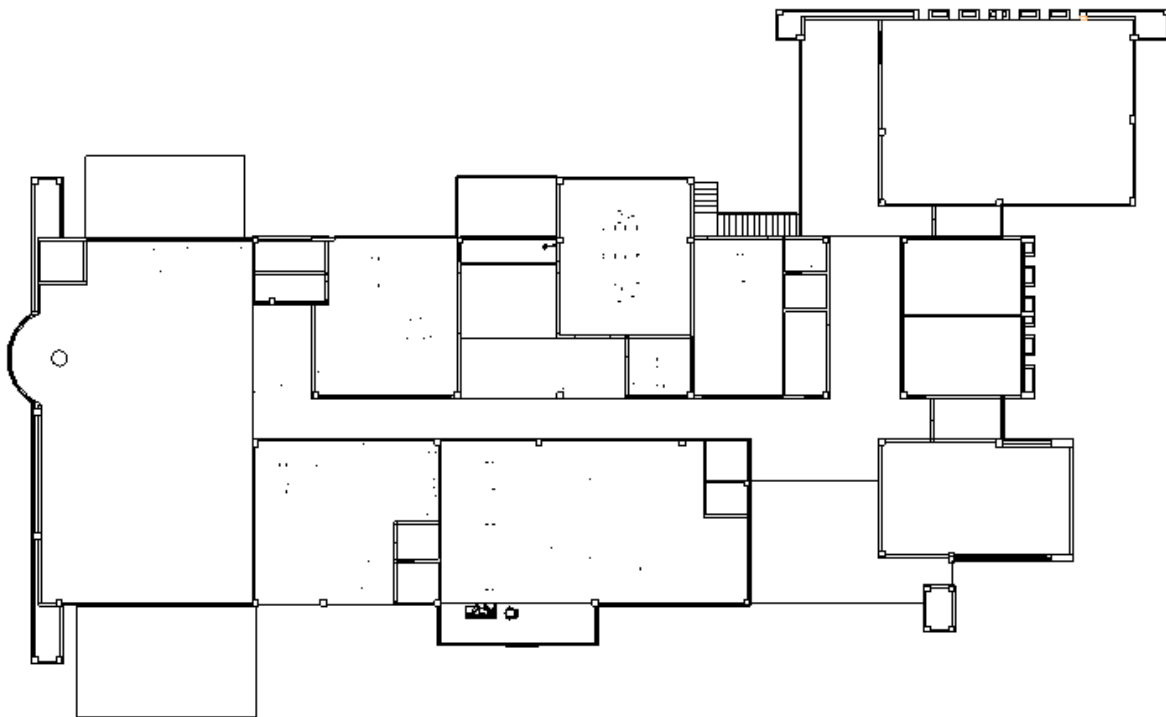
### 3.8.1.2 Modelado de columnas y vigas:

El modelado de columnas se inicia junto con la cimentación, definido desde el nivel EST\_1ER nivel con un desfase de base -0.50m y va hasta el nivel superior EST\_ TECHO-1.

El modelado de vigas se inicia teniendo listo todas las columnas del primer nivel para empezar a ubicarlas según el proyecto y dejando los encuentros para los nudos, teniendo en cuenta el tipo y material, una vez ya establecidos las columnas y vigas en el modelo 3D ubicamos los nudos. (Ver anexo F: Lista de planos)

### 3.8.1.3 Modelado de losas

Para el modelado de la losa, principalmente todas las vigas del techo aligerado tanto principales como secundarias una vez ya culminadas, corregidas para iniciar la colocación de las viguetas (según la dirección de la luz), ladrillos y vaciado de losa.



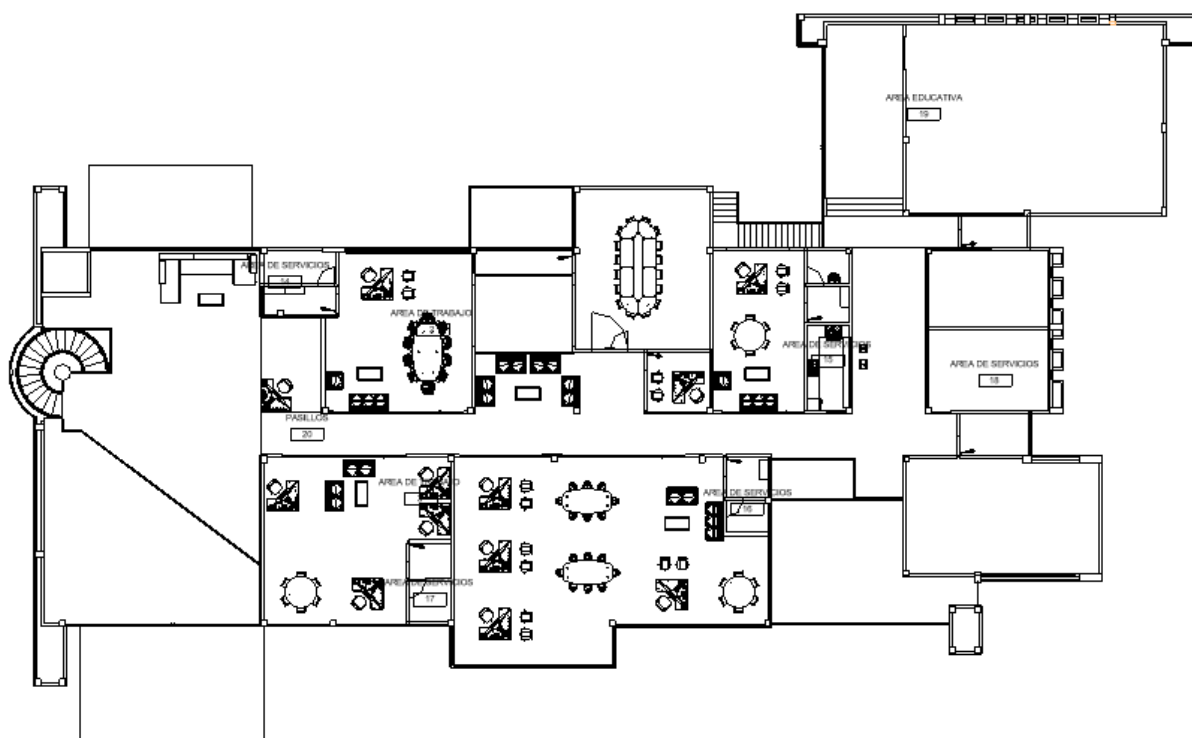
*Figura 19: Visualización del modelado de losas*

*FUENTE: Elaboración Propia, 2023*

### 3.8.2 Elaboración del modelo BIM arquitectura (3D)

El proceso de modelado en la especialidad de Arquitectura se realizó a partir de la vinculación del archivo del modelado de estructuras hacia la plantilla arquitectónica donde será proyectada la distribución.

Se modela los elementos arquitectónicos, como son muros, pisos, puertas, ventanas; y para dar mayor realce al modelo, se insertará al modelo los elementos que conforman el mobiliario, como son muebles de sala, camas, mesas de noche, mesas de comedor, etc. (Ver anexo F: Lista de planos)



*Figura 20: Modelado de elementos arquitectónicos*

*Fuente: Elaboración Propia, 2023*

#### 3.8.2.1 Modelado de muros

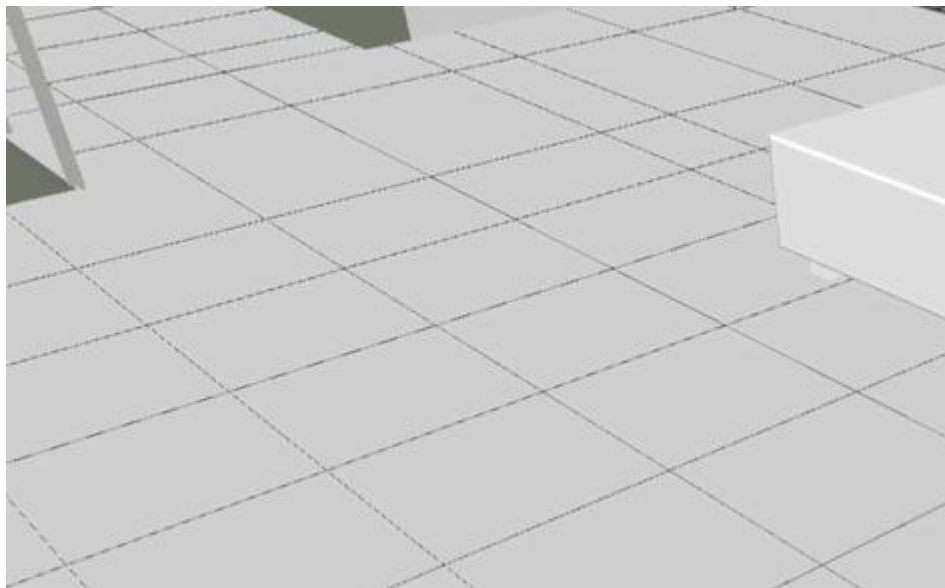
Teniendo la estructura vinculada se procederá a modelar los muros de toda la distribución con la familia Muro básico: A\_Arquitectura\_Muro\_Tarrejeo.

Los muros en 3D se modelan con el comando (WA), y se colocaran de acuerdo a lo establecido en el proyecto. (Ver anexo F: Lista de planos)

#### 3.8.2.2 Modelado de pisos

Con ayuda del comando (SB) podremos establecer el ancho del piso y el nivel donde será colocado, así como distintas características que son editables según los requerimientos.

Se modelo teniendo en cuenta el tipo, material y el área.



*Figura 21: Visualización del modelado de pisos.*

*Fuente: Elaboración Propia, 2023*

#### 3.8.2.3 Modelado de puertas y ventanas

Se modelo con la familia de puertas y ventanas, con el comando (DR) para puerta y el comando (WN) para ventanas teniendo en cuenta sus dimensiones.

#### 3.8.2.4 Modelado de escaleras

Se modelo con la familia escalera considerando su paso, contrapaso, dimensiones y el área donde será proyectada.

Culminando el modelado de los elementos arquitectónicos se procederá a la colocación de todo el mobiliario.

### **3.9 RESULTADOS DE INTERFERENCIAS**

#### **3.9.1 Detección de interferencias con Navisworks 2022**

En esta investigación se identificó interferencias usando la metodología BIM mediante la herramienta Navisworks Manage 2022.

Para la aplicación de esta herramienta en nuestro caso de estudio, se exportan los modelos BIM-3D de las disciplinas de Estructuras, Arquitectura, Instalaciones Sanitarias y Eléctricas, de Autodesk Revit al software Navisworks Manage 2022.

Una vez exportados los modelos BIM, se realizó la importación de los archivos de cada especialidad al software Navisworks para proceder con el análisis de interferencias, el cual se realiza mediante una función del software denominada “Clash detective”. Esta función consiste en confrontar los tipos de elementos, o modelos en sí. Por ejemplo, comparar la disciplina de Estructuras (EST) con Instalaciones Sanitarias (IISS), (Figura 27).

Navisworks Manage 2022 es un programa de Autodesk que permite un mayor control sobre el proyecto constructivo y además integra a los elementos con información constructiva, esto favorece el trabajo y la evaluación del modelado; en la presente investigación usaremos esta plataforma para obtener el reporte de interferencias:

El proceso de detección se realiza en primer lugar, exportando los modelos BIM y luego se importa los archivos de cada especialidad del modelado al software Navisworks Manage 2022.

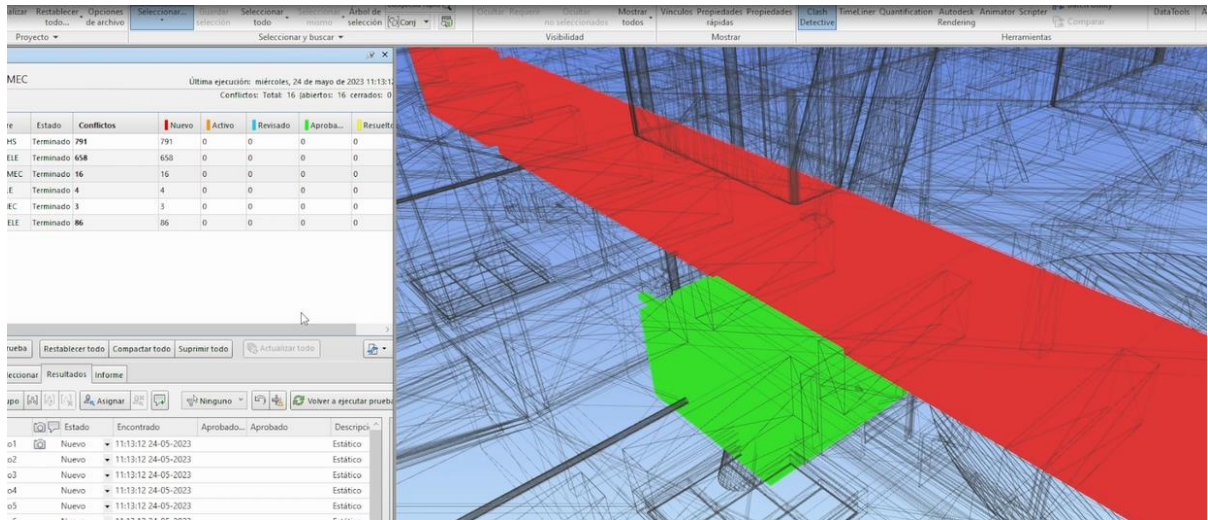


Figura 22: Exportación del proyecto a la plataforma Navisworks Manage 2022.

Fuente: Elaboración propia, 2023

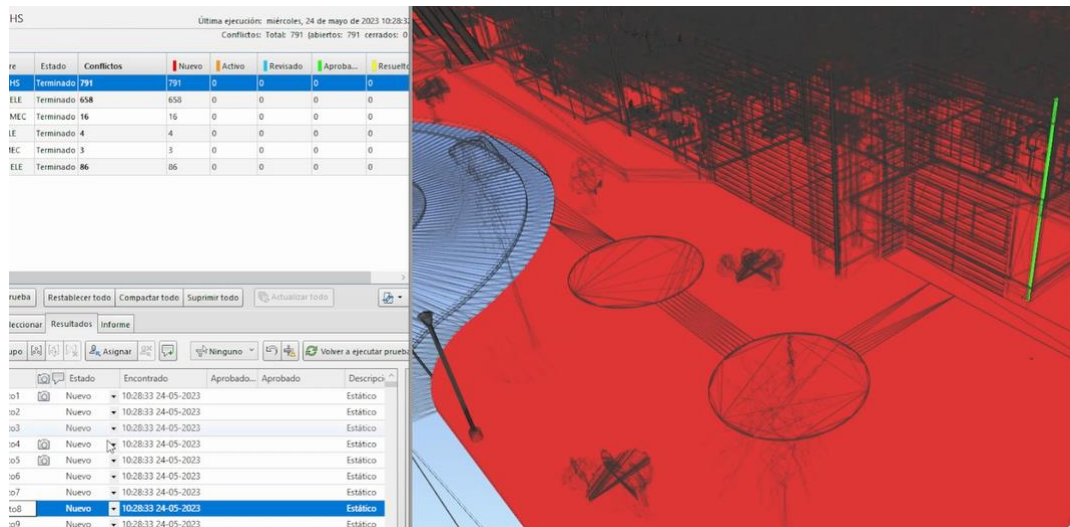
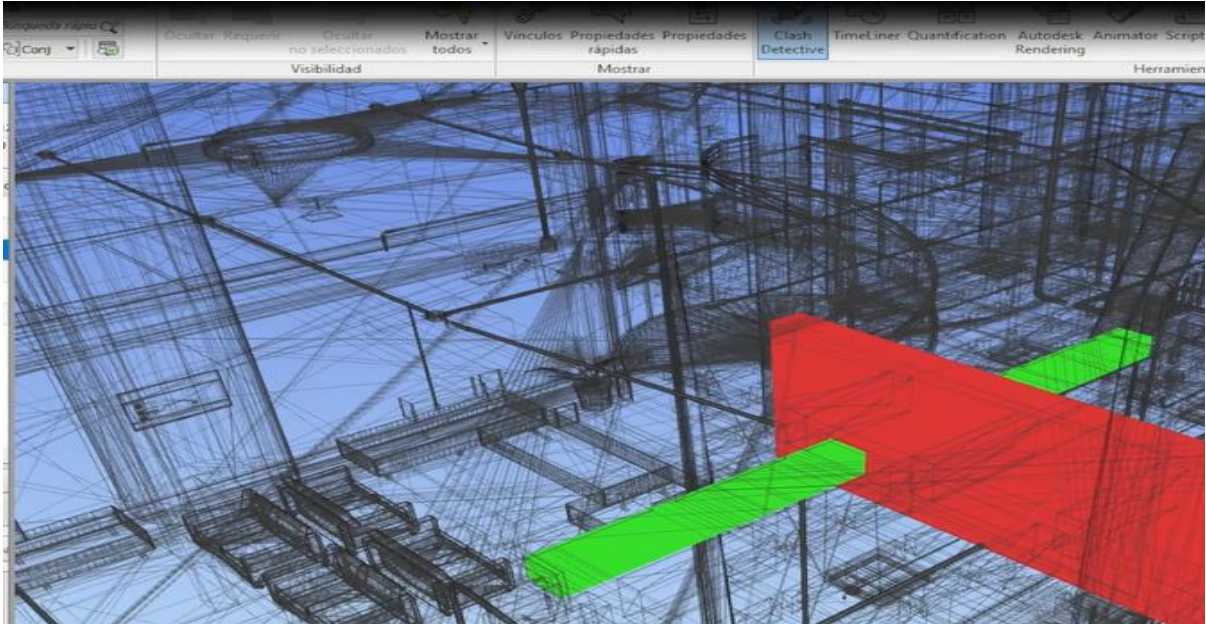


Figura 23: Importación del proyecto a la plataforma Navisworks Manage 2022

Fuente: Elaboración propia, 2023

Navisworks permite evaluar interferencias entre especialidades con el comando “Clash Detective”, en dicha opción se nos permitirá modificar algunos parámetros para determinar los campos o especialidades que deseamos evaluar, editar los ítems generados y el formato del reporte que mejor nos convenga.



*Figura 30: Comando Clash Detective en la plataforma Navisworks*

*Fuente: Elaboración propia, 2023*

A continuación, se detallan los resultados que se obtuvieron en el análisis de interferencias.

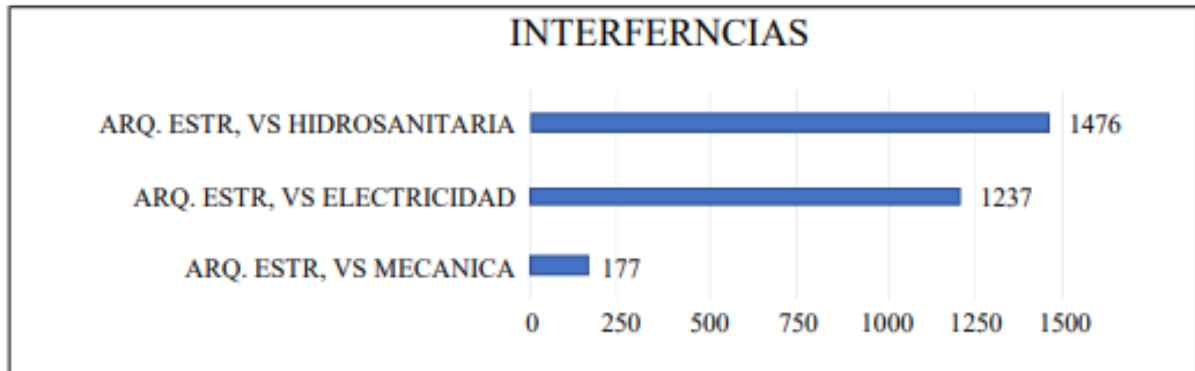
*Tabla 7: Número de interferencias identificados con BIM.*

Categoría	Interferencias	Porcentaje %
Arq. Estr. vs Hidrosanitaria	1476	51,07
Arq. Estr. vs Electricidad	1237	42,80
Arq. Estr. vs Mecánica	177	6.12
Total	2890	100,00

*Fuente: Elaboración propia, 2023*

De la Tabla, observamos que se pudieron identificar mil cuatrocientos setenta y seis (1476) interferencias, en Arquitectura con Hidrosanitaria gracias a la metodología BIM, mil doscientos treinta y siete(1237) de ellos fueron encontradas en el modelado 3D de Arquitectura con

Electricidad. Ciento setenta y siete (177) interferencias, en Arquitectura con Mecánica. En total. El grupo de mayor número de interferencias son ochocientos se tiene en Arquitectura vs Hidrosanitaria (1476).




*Figura 24: Gráfico de Barras de Interferencias con BIM.*

*Fuente: Elaboración propia, 2023*

En la Figura, podemos observar que el 51,07% de Interferencias pertenecen a las áreas de Arquitectura vs Hidrosanitaria, un 42,80% de Interferencias pertenecen a las áreas de Arquitectura vs Electricidad, 6.12% de Interferencias pertenecen a las áreas de Arquitectura vs Mecánica.

A continuación, se muestran los resultados de algunas interferencias:

**3.9.2 Arquitectura vs Hidrosanitaria**

	Nombre	Conflicto7
	Distancia	-0.119m
	Descripción	Estático
	Estado	Nuevo
	Punto de conflicto	799498.526m, 8075239.613m, 2563.000m
	Fecha de creación	2023/5/24 14:28
<b>Elemento 1</b>		
ID de elemento	3575	
Capa	Emplazamiento	
Ruta	Archivo ->Archivo ->1 ARQ ESTRUCTURA.ifc ->0001 ->Default ->Telecomunicaciones ->Emplazamiento ->IfcSlab ->Suelo:Césped 0.25 M ->Suelo:Césped 0.25 M:1101371 ->Teren-trawa218	
Elemento Nombre	Teren-trawa218	
Elemento Tipo	Sólido	
<b>Elemento 2</b>		
ID de elemento	7228	
Capa	Losa 682	
Ruta	Archivo ->Archivo ->2 HIDRO SANITARIA.ifc ->0001 ->Default ->IFCBUILDING ->Losa 682 ->IfcPipeSegment ->Tipos de tubería:PVC - SERIE 40 ->Tipos de tubería:PVC - SERIE 40:951275	
Elemento Nombre	Tipos de tubería:PVC - SERIE 40:951275	
Elemento Tipo	IfcPipeSegment: Tipos de tubería:PVC - SERIE 40	

*Figura 25: Conflicto 7 Arquitectura con Hidrosanitaria*

*Fuente: Elaboración propia, 2023*

3.9.3 Arquitectura vs Electricidad

	Nombre	Conflicto5
	Distancia	-0.088m
	Descripción	Estático
	Estado	Nuevo
	Punto de conflicto	799473.397m, 8075231.612m, 2569.622m
	Fecha de creación	2023/5/24 15:10
	<b>Elemento 1</b>	
ID de elemento	10504	
Capa	Losa 682	
Ruta	Archivo ->Archivo ->1 ARQ. ESTRUCTURA.ifc ->0001 ->Default ->Telecomunicaciones ->Losa 682 ->IfcSlab ->Suelo:LOSA 200 MM ->Suelo:LOSA 200 MM:424902	
Elemento Nombre	Suelo:LOSA 200 MM:424902	
Elemento Tipo	IfcSlab: Suelo:LOSA 200 MM	
<b>Elemento 2</b>		
ID de elemento	2826	
Capa	WIP 02 Planta Alta	
Ruta	Archivo ->Archivo ->3 ELECTRICO.ifc ->Project Number ->Default ->IFCBUILDING ->WIP 02 Planta Alta ->IfcLightFixture ->Luminaria:60x60(2 Lamp) - 220V ->Luminaria:60x60(2 Lamp) - 220V:1012036 ->Luminaria-60x60(2 Lamp) - 220V ->Luminaria-60x60(2 Lamp) - 220V	
Elemento Nombre	Luminaria-60x60(2 Lamp) - 220V	
Elemento Tipo	Compuesto	

Figura 26: Conflicto 5 Arquitectura vs Electricidad

Fuente: Elaboración propia, 2023



*Figura 27: Ubicación conflicto 5 Arquitectura vs Electricidad*

*Fuente: Elaboración propia, 2023*

3.9.4 Arquitectura vs Mecánica

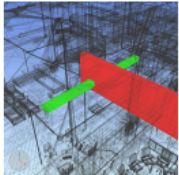
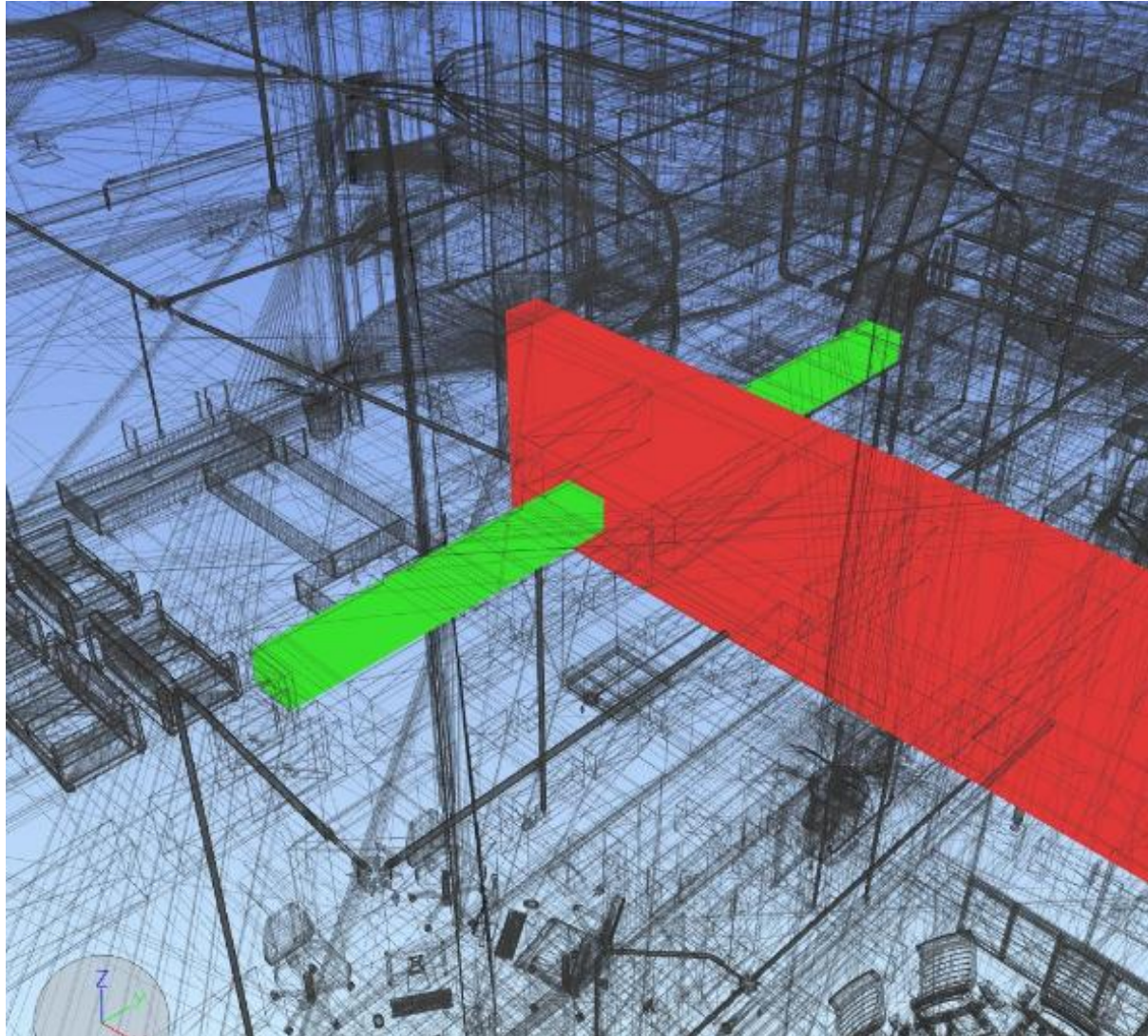
	Nombre	Conflicto1
	Distancia	-0.183m
	Descripción	Estático
	Estado	Nuevo
	Punto de conflicto	799458.669m, 8075235.039m, 2569.926m
	Fecha de creación	2023/5/24 15:13
<b>Elemento 1</b>		
ID de elemento	10598	
Capa	Cubierta 1	
Ruta	Archivo ->Archivo ->1 ARQ ESTRUCTURA.ifc ->0001 ->Default ->Telecomunicaciones ->Cubierta 1 ->IfcBeam ->H°A°_Viga rectangular:170 x 950 mm ->H°A°_Viga rectangular:170 x 950 mm:368129	
Elemento Nombre	H°A°_Viga rectangular:170 x 950 mm:368129	
Elemento Tipo	IfcBeam: H°A°_Viga rectangular:170 x 950 mm	
<b>Elemento 2</b>		
ID de elemento	4335	
Capa	WIP 02 Planta Alta	
Ruta	Archivo ->Archivo ->4 MECANICA.ifc ->Project Number ->Default ->IFCBUILDING ->WIP 02 Planta Alta ->IfcDuctSegment ->Conducto rectangular:CONDUCTO DE SUMINISTRO DE AIRE ->Conducto rectangular:CONDUCTO DE SUMINISTRO DE AIRE:1005747	
Elemento Nombre	Conducto rectangular:CONDUCTO DE SUMINISTRO DE AIRE:1005747	
Elemento Tipo	IfcDuctSegment: Conducto rectangular:CONDUCTO DE SUMINISTRO DE AIRE	

Figura 28: Conflicto 1 Arquitectura con Mecánica

Fuente: Elaboración propia, 2023



*Figura 29: Ubicación conflicto 1 Arquitectura con Mecánica*

*Fuente: Elaboración propia, 2023*

Las Interferencias detectadas, son en todas las combinaciones analizadas, lo que conlleva hacer para un nuevo proyecto, es dar soluciones a cada una de estos conflictos encontrados, en algunos es bastante obvio y no requiere de mucha imaginación hacer ello, pero en otros casos requiere de elevar piso, por ejemplo, para que luminaria no colisione con vigas, es un trabajo de hormiga pero que si tiene solución. Con ello se demuestra la importancia de llevar a cabo un estudio BIM para la planificación de la construcción

## **Conclusiones**

La implementación de la metodología BIM en el diseño y modelado estructural de un centro de telecomunicaciones en Cobija demuestra ser crucial para detectar interferencias entre especialidades, proporcionando una coordinación efectiva, reducción de conflictos durante la construcción y asegurando la eficiencia operativa del centro mediante la integración sinérgica de información multidisciplinaria.

La sistematización de los conceptos teóricos de la metodología BIM para la realización del proyecto de grado del centro de telecomunicaciones en Cobija ofrece una base sólida y estructurada para la planificación, diseño y ejecución del proyecto, facilitando la integración de diversas disciplinas, mejorando la eficiencia en la gestión de información y asegurando un enfoque avanzado y tecnológicamente sólido en el desarrollo del centro de telecomunicaciones.

La adopción de la metodología BIM ofrece beneficios sustanciales en términos de eficiencia, colaboración y precisión en comparación con los métodos tradicionales de construcción. Su implementación permite una gestión integral de la información, reducción de errores y optimización de recursos, mejorando significativamente el ciclo de vida del proyecto y la toma de decisiones en la industria de la construcción.

Se concluye que el REVIT es una herramienta potente y significa una pieza fundamental para realizar un modelo BIM, ya que permite modelar un proyecto a partir elementos parametrizados conocidos como familias, las cuales contienen información que va desde dimensiones, resistencia,

propiedades físicas, costo, partida y muchos más, incluso se pueden crear parámetros nuevos que sean requeridos

Al determinar la influencia de la detección de interferencias en la integración multidisciplinaria mediante la aplicación de la metodología BIM y herramientas como Revit y Navisworks en el diseño estructural de un centro de telecomunicaciones, se evidencia una mejora significativa en la coordinación entre disciplinas, la prevención de conflictos durante la construcción y la optimización general del proyecto, destacando la eficacia de este enfoque integrado en la industria de la construcción.

## **Recomendaciones**

La transición para la implementación de la metodología BIM es un aspecto fundamental para muchos profesionales, o empresas de arquitectura y construcción, ya que, en algunos países ya es obligatorio el uso de la metodología BIM, mientras que en otros lo será dentro de muy poco tiempo. Hasta el momento la tecnología usada para este tipo de proyectos es conocida como CAD, y a diferencia de éste, la metodología BIM incluye modelos 3D, que facilitan tanto el proceso de construcción como la coordinación de todas las fases de dicho proyecto.

Actualmente algunas universidades dictan cursos de Revit o ArchiCAD pero solo enfocados en el diseño, pero es necesario que enseñen a coordinar disciplinas y a diseñar tal cual se construye en la realidad, y llegar más allá como detectar interferencias, realizar simulaciones, que sean profesionales capaces de abordar retos tecnológicos y que tengan la capacidad de realizar diseño colaborativo con bases afianzadas en conceptos claros.

El mayor aporte que se puede dejar con este proyecto de grado, es demostrar y recomendar que la metodología de trabajo BIM simboliza el futuro de la industria de la construcción y que en las próximas décadas Bolivia deberá acogerse a ella.

Se recomienda usar softwares especializados que preferiblemente que sean de los mismos desarrolladores para así lograr una interoperabilidad entre los programas haciendo más fluido los procesos que conlleva la metodología BIM.

Se recomienda desarrollar los modelos de las distintas especialidades por separado es decir confederado, para luego integrarlo en el software de revisión Revit y Navisworks y se pueda gestionar la información y las interferencias de manera más eficiente.

## Referencias Bibliográficas

BIM Forum Chile. (2017). GUÍA INICIAL PARA IMPLEMENTAR BIM EN LAS ORGANIZACIONES. Santiago de Chile: Corporación de Desarrollo Tecnológico.

Castro, J. (2021). Importancia de la tecnología en las empresas. México.

Giménez, M. (2015). BIM o Modelado de Información de Construcción. México.

Montan, J. (2016). EVALUACIÓN DE BIM EN EL DESARROLLO DE LA PREINVERSIÓN EN PROYECTOS DE INVERSIÓN PÚBLICA. Bolivia.

Osorio, D. (2015). *Errores en la Gestión de Proyectos*. Mexico.

Robles, J. D. (2020). *BIM en el mundo: el Building Information Modeling está revolucionando el sector AEC*. Madrid España.

Farfán, Edwin y CHAVIL, Jorge. Análisis y evaluación de la implementación de la metodología BIM en empresas peruanas. Tesis (Ingeniería Civil). Lima: Universidad Privada de Ciencias Aplicadas, 2016. 14pp. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10757/621662>

Vera, Carmen. Aplicación de la metodología BIM a un proyecto de construcción de un corredor de transporte para un complejo industrial. Modelo BIM 5D costes. Trabajo Fin de Master (Ingeniería de caminos, canales y puertos). España: Universidad de Sevilla, 2018. 1 pp. Disponible en: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/71274/fichero/TFM-1274-VERA.pdf>

Espinoza, Raúl. Implementación de la tecnología BIM para mejorar la habilitación e instalación de acero en las construcciones de concreto – Lima 2018. Tesis (Ingeniería Civil). Lima: Universidad Cesar Vallejo, 2018. 2pp. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/34705>

Borja, José. Aplicación de Metodología BIM, en el Ciclo de Vida de Estructuras Industriales para Instalaciones Mecánicas. Tesis de Máster (Ingeniería Estructural). Barcelona: Escola de Camins, 2017. 3 pp. Disponible en: <http://hdl.handle.net/2117/116805>

- Equipar, (2022). La industria de la construcción crecerá a nivel mundial en 2022. Revista EQUIPAR. <https://www.revistaequipar.com/noticia/la-industria-de-la-construccion-crecera-a-nivel-mundial-en-2022>
- Díaz, P. (2017). Evolución en los materiales de construcción: vivienda. Centro Urbano. <https://centrourbano.com/reportajes/evolucion-los-materiales-construccion-vivienda/#:~:text=Originalmente%2C%20la%20construcci%C3%B3n%20se%20desarrollaba,uso%20de%20polvo%20mezclado%20con>
- Ferrufino, Eliana (2022), El mercado inmobiliario cierra el 2022 con crecimiento y consolidación. Construmarket. <https://construmarket.com.bo/inmobiliaria/el-mercado-inmobiliario-cierra-el-2022-con-crecimiento-y-consolidacion/#:~:text=En%20un%20balance%20del%20mercado,a%20comparaci%C3%B3n%20de%20otras%20gestiones>.
- Hinojosa, Josué, (2022), Construcción crece 3% y pide mayor inversión pública y obras de. (2022, Diciembre 27). Los Tiempos. <https://www.lostiempos.com/actualidad/pais/20221227/construccion-crece-3-pide-mayor-inversion-publica-obras-impacto/#:~:text=Seg%C3%BAn%20datos%20del%20Instituto%20Nacional,con%20similar%20periodo%20de%202021>.
- BuiltSoft (2022), Conceptos básicos de diseño y análisis estructural, (Obtenido el 24 mayo, 2023) de: <https://www.buildsoft.eu/es/blog/conceptos-basicos-de-diseno-y-analisis-estructural/#:~:text=El%20dise%C3%B1o%20estructural%20es%20el,la%20rigidez%20de%20la%20estructura>.
- Italo Q, (2023), ¿Qué es el diseño estructural?, (Obtenido el 24 mayo, 2023) de: <https://arcux.net/blog/que-es-el-diseno-estructural/>
- Structuralia, (2021), 5 software utilizados para el diseño y cálculo de estructuras, (Obtenido el 24 mayo, 2023) de: <https://blog.structuralia.com/5-software-utilizados-para-el-diseno-y-calculo-de-estructuras-en-edificacion-y-obra-civil>

- IDOM (2023), Centro de Telecomunicaciones y Tecnologías de la Información, ?, (Obtenido el 24 mayo, 2023) de: <https://www.idom.com/proyecto/centro-de-telecomunicaciones-y-tecnologias-de-la-informacion/>
- AUTODESK, (2018), What is BIM?, (Obtenido el 24 mayo, 2023) de: <http://www.autodesk.com/solutions/bim/overview>
- Saldias (2010), Estimación de los beneficios de realizar una Coordinación Digital de Proyectos con Tecnologías BIM. Tesis (Ingeniería Civil), Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Santiago, Chile.
- Sacks R. K. L. (2010), Interacción of Lean and Building Information Modelling in Construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, 136(9), págs.. 968-980.
- DATAEDRO (2017). Definición BIM, Dataedro, 2018 (Obtenido el 24 mayo, 2023) de: <http://www.dataedro.com/index.php/es/acercadelbim/20-definicion>
- Martínez P. G. (2009), Integración conceptual Green Lean en el diseño, planificación y construcción de proyectos. *Revista ingeniería de Construcción*.
- Eastman C. T. (2011), *BIM Handbook: A guide Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*. EEUU: Jhon Wiley & Sons.
- Romcy N.C. (2014) *Desenvolvimiento de aplicativo en ambiente BIM, segundo principio da coordenacao Modular. Ambiente construido*.
- Fischer M. (2006), Formalizing Construction Knowledge for concurrent Performance Based Desing. In Smith I.F.S. Ed. *Intelligent Computing in Engineering and Architecture*. EG-ICE2006. Berlin, Heidelberg.
- Salazar (2017), *Impacto económico del uso del BIM en el desarrollo de proyectos de construcción en la ciudad de Manizales*. Tesis (Magister en Construcción), Universidad Nacional de Colombia, Manizales, Colombia.

- Yan H. (2008), Benefits and barriers of building information modeling. In 12th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering 2008.
- Bonifaz, J. L., Urrunaga, R., Aguirre, J., & Urquino, C. (2015). Un plan para salir de la pobreza: Plan Nacional de Infraestructura 2016 - 2025 (Asociación). Lima: Asociación para el Fomento de la Infraestructura Nacional (AFIN).
- CAPECO (5 de mayo de 2018). Visión y compromiso de CAPECO con la construcción responsable. Construcción e Industria (342).
- Aliaga (2012), Implementación y Metodología para la elaboración de modelos BIM, para su aplicación en proyectos industriales multidisciplinares. Tesis (Ingeniería Civil), Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Santiago, Chile.
- Fischer, M., Reed, D., Khanzode, A., & Ashcraft, H. (2014). A simple framework for integrated project delivery. In 22nd Annual Conference of the International Group for Lean Construction: Understanding and Improving Project Based Production, IGLC 2014 (pp. 1319–1330). Oslo, Norway
- Implementación de BIM en Bolivia, según Hugo Condori, BIM Manager y Zigurat Ambassador Bolivia. Disponible en: <https://www.e-zigurat.com/blog/es/metodologia-bim-en-bolivia/>

# ANEXOS