

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



Análisis de la precisión de un modelo BIM LOD 400 para cuantificación de materiales, la identificación de colisiones y detallado de estructuras de concreto reforzado bajo normas ACI 318-14

Trabajo de graduación presentado por Jorge Andrés Romero Tesén para optar al grado académico de licenciado en Ingeniería Civil

Guatemala,
2025

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Análisis de la precisión de un modelo BIM LOD 400 para cuantificación de materiales, la identificación de colisiones y detallado de estructuras de concreto reforzado bajo normas ACI 318-14

Trabajo de graduación presentado por Jorge Andrés Romero Tesén para optar al grado académico de licenciado en Ingeniería Civil

Guatemala,
2025

Vo.Bo.:

(f) 
Arq. Marco Vinicio Sampuel Oliva

Tribunal Examinador:

(f) 
Ing. Otoniel Alejandro Echeverría Castellanos

(f) 
Ing. Danilo Antonio Rodríguez Ceron

(f) 
Arq. Marco Vinicio Sampuel Oliva

Fecha de aprobación: Guatemala, 8 de Enero de 2025.

PREFACIO

Primero que nada, quiero darle gracias a Dios por darme la dicha de vivir, por todo lo que me ha concedido y por darme la sabiduría para llegar hasta este punto de mi vida. Le agradezco también por brindarme fuerza cuando más la necesitaba y por ayudarme, en innumerables ocasiones a recordar lo que valgo.

A ti, Jesús, agradezco profundamente por ser mi guía y fortaleza en cada momento de este camino. A ti, María, mi más sincero agradecimiento por tu protección y consuelo como madre espiritual. En especial a las representaciones de las C.I. del Templo de la Escuela de Cristo, lugar que siempre ha sido mi segunda casa

A mi madre, Leonarda Tesén Chávez, quien desde que era muy pequeño creyó en mí y me motivó a seguir mis sueños. Hoy quiero decirle que he cumplido aquella promesa que algún día escuchó y estoy seguro que siempre supo que lo lograría.

A mi padre, Víctor Manuel Romero, a quien agradezco profundamente por enseñarme que lo único difícil es aquello que uno no se atreve a intentar.

A mi hermano, José Manuel Romero, quien ha estado a mi lado en cada momento de mi vida y sé que siempre seguirá acompañándome.

A mis tíos, José Guadalupe, Mercedes e Irene Tesen Chávez, a quienes considero mis padres. Gracias por apoyarme en cada paso de este proceso; sé que este logro no es solo mío, sino también de ustedes, porque sin su respaldo no habría llegado hasta acá.

A mis amigos de la universidad, Juan Carlos Lemus, Sergio Galindo, Anderson Santizo, José Revolorio y Andrés Gonzáles

Hay amigos que se convirtieron en una pieza fundamental en todo este proceso de la universidad, es por ello que quiero agradecerle a Gabriel Mazariegos, que desde que yo era muy pequeño creyó en mí, en mis habilidades y que me ha dado su ayuda cuando más lo necesitaba.

A mi asesor, Marco Sampuel por su ayuda incondicional, quien me guio en todo este proceso y me dio consejos para usarlos más allá del trabajo.

A mis profesores Otoniel Echeverria, Danilo Rodríguez, Hugo Pallais y quien inculcaron en mi grandes enseñanzas no solo del ámbito profesional, sino que de vida.

CONTENIDO

PREFACIO.....	VI
CONTENIDO.....	VII
LISTA DE ILUSTRACIONES	IX
LISTA DE CUADROS	X
RESUMEN	XI
ABSTRACT	XII
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. JUSTIFICACIÓN.....	2
III. OBJETIVOS.....	3
A. Objetivo general.....	3
B. Objetivos específicos	3
IV. ALCANCE	4
V. MARCO TEÓRICO	5
A. Metodología BIM	5
1. ¿Qué es el BIM?	5
2. Componentes claves del BIM.....	5
B. Metodología	6
C. Niveles de información LOI	7
D. Indicadores LOD.....	8
E. Alcance LOD 400	10
1. LOD 400 en cimentaciones.....	11
F. Estructuras de concreto reforzado, sistema constructivo más usado en Guatemala..	13
1. Concreto.....	13
2. Refuerzo de acero	14
3. Concreto reforzado.....	15
4. Ventajas del concreto reforzado.....	16
5. Desventajas del concreto reforzado.	16
6. Uso del concreto reforzado en Guatemala	17
7. Elementos estructurales más comunes usados en Guatemala	17
G. Detalles de refuerzo de elementos estructurales, según el capítulo 25 del ACI 318-14	18
1. Disposición y requisitos del refuerzo longitudinal	18
2. Refuerzo transversal y estribos	19
3. Requisitos de gancho y anclaje.....	19
4. Requisitos de superposición de barras de refuerzo	20
H. SOFTWARE.....	20
I. Extensiones BIM	22
1. Definición de extensiones en BIM.....	22
2. Tipos de Extensiones	22
J. Hardware.....	23
K. Compatibilidad.....	24
L. Apoyo multidisciplinario.....	25
M. Estándares BIM.....	26
1. IFC	26
N. Normas ISO 19650.....	27
O. Obra gris.....	27
1. Errores comunes en la construcción de obra gris:	28

2.	Impacto de los errores en la obra gris:.....	29
3.	Beneficios de tener un modelo LOD 400 para minimizar fallos estructurales	29
VI.	METODOLOGÍA.....	31
A.	Recopilación de información	31
B.	Diferentes formas de llevar el modelo	32
C.	Modelo para realizar	32
D.	Gestión avanzada de una construcción de concreto reforzado	32
E.	Apoyo multidisciplinario con diferentes ramas de la construcción	32
F.	Compatibilidad entre softwares	33
VII.	RESULTADOS	34
A.	Modelo BIM LOD 400 bajo normativas ACI 318-14	34
1.	Componentes estructurales	35
B.	Cuantificación de la estructura	43
1.	Cuantificación del acero de refuerzo	43
a)	Descripción de resultados de la cuantificación del acero de refuerzo	44
b)	Cuantificación del acero para la cimentación	45
c)	Cuantificación del acero en columna	45
d)	Cuantificación del acero en vigas	47
e)	Cuantificación del acero en losas.....	50
f)	Cuantificación del acero en muros.....	52
2.	Cuantificación del concreto	53
a)	Descripción de resultados de la cuantificación del concreto	53
b)	Cuantificación del concreto para la cimentación	54
c)	Cuantificación del concreto para las columnas.....	54
d)	Cuantificación del concreto para las vigas.....	57
e)	Cuantificación del concreto para las losas	60
f)	Cuantificación del concreto para los muros.....	60
C.	Apoyo a las diferentes diciplinas mediante el modelo.	62
1.	Coordinación entre estructura y arquitectura	62
2.	Coordinación entre Estructura y el modelo analítico.....	63
3.	Coordinación entre el modelo estructural e instalaciones.....	63
4.	Detección de colisiones y resolución en tiempo real gracias a la realidad aumentada	68
VIII.	CONCLUSIONES	69
IX.	RECOMENDACIONES	70
X.	BIBLIOGRAFÍA	71
XI.	ANEXOS.....	74

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Esquema descriptivo de BIM	5
Ilustración 2. Imagen realista a partir de un modelo de información del CIT UVG	7
Ilustración 3. Explicación grafica de las diferencias entre LOD y LOI.	8
Ilustración 4. Explicación grafica de las diferencias entre LOD y LOI	8
Ilustración 5. Explicación grafica de los niveles LOD en detalles estructurales de concreto reforzado	9
Ilustración 6. Representación gráfica los niveles LOD en cimentaciones.....	12
Ilustración 7. Representación gráfica los niveles LOD en columnas y viga	13
Ilustración 8. Mezcla de concreto.....	13
Ilustración 9. Varilla de acero de refuerzo.	14
Ilustración 10. Interfaz de Revit	21
Ilustración 11. Obra gris en fase de construcción.....	28
Ilustración 12. Colisión de drenaje con elemento estructural por mala planificación.	29
Ilustración 13. Planta de sótano.....	34
Ilustración 14: Planta de sótano.....	34
Ilustración 15. Planta típica nivel 1 al nivel 4	34
Ilustración 16. Isométrico de unión pilote, zapata y columna.	35
Ilustración 17. Detalle zapata combinada.....	36
Ilustración 18. Detalle zapata típica	36
Ilustración 19. Detalle vigas de amarre	37
Ilustración 20. Detalle pilotes.....	37
Ilustración 21. Isométrico unión viga columna	38
Ilustración 22. Isométrico detalle unión viga columna.....	38
Ilustración 23. Detalles de columnas.....	39
Ilustración 24. Detalles de vigas.....	39
Ilustración 25: Anclaje de muro a un marco viga columna y losa.....	40
Ilustración 26: Detalle de muro	40
Ilustración 27. Isométrico de losa tradicional.....	41
Ilustración 28. Anclaje de losa tradicional a un marco viga columna	41
Ilustración 29. Detalle de losa N1 - N3	42
Ilustración 30. Detalle de losa N4 - techo	42
Ilustración 31. Modelo de importación en Revit	62
Ilustración 32. Vista del modelo de concreto reforzado, analítico y arquitectónico	63
Ilustración 33. Conflicto de colisión entre una tubería drenaje en muro de concreto en estacionamiento.....	64
Ilustración 34. Conflicto entre tubería de drenaje pluvial en muro de concreto.....	65
Ilustración 35. Conflicto entre tubería de drenaje en muro de concreto en estacionamiento	65
Ilustración 36. Conflicto entre ubicación de registro pegado en muro de concreto	66
Ilustración 37. Colisión entre tubería de agua potable y columna.....	66
Ilustración 38. Colisión de drenaje en viga	67
Ilustración 39. Conflicto entre tubería de agua potable y muro de concreto	67
Ilustración 40. Colisión entre línea de drenaje y agua potable en vigas.....	68
Ilustración 41. Modelo en planta vista Revit.	74
Ilustración 42. Render del edificio	74
Ilustración 43. Elevación frontal	75
Ilustración 44. Elevación trasera	75
Ilustración 45. elevación lateral derecho	76
Ilustración 46. elevación lateral izquierdo.....	76

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Características de las varillas de acero de refuerzo	15
Cuadro 2. Geometría del gancho estándar para el desarrollo de barras corrugadas en tracción.....	19
Cuadro 3. Diámetro mínimo interior de doblado y geometría del gancho estándar para estribos, amarras y estribos cerrados de confinamiento	20
Cuadro 4. Tabla de cuantificación del acero de refuerzo en área de cimentación.....	45
Cuadro 5. Cuantificación del acero de refuerzo en columnas de nivel de cimentación a nivel 1.....	45
Cuadro 6. Cuantificación del acero de refuerzo en columnas de nivel 1 a nivel 2.....	46
Cuadro 7. Cuantificación del acero de refuerzo en columnas de nivel 3 a nivel 4.....	46
Cuadro 8. Cuantificación del acero de refuerzo en vigas de sótano	47
Cuadro 9. Cuantificación del acero de refuerzo en vigas de nivel 1	47
Cuadro 10. Cuantificación del acero de refuerzo en vigas de nivel 2.	48
Cuadro 11. Cuantificación del acero de refuerzo en vigas de nivel 3.	48
Cuadro 12. Cuantificación del acero de refuerzo en vigas de nivel 4	49
Cuadro 13. Cuantificación del acero de refuerzo en vigas de nivel de techo.....	49
Cuadro 14. Cuantificación del acero de refuerzo en losa de nivel de sótano	50
Cuadro 15. Cuantificación del acero de refuerzo en losa de nivel 1	50
Cuadro 16. Cuantificación del acero de refuerzo en losa de nivel 2	50
Cuadro 17. Cuantificación del acero de refuerzo en losa de nivel 3.	51
Cuadro 18. Cuantificación del acero de refuerzo en losa de nivel 4	51
Cuadro 19. Cuantificación del acero de refuerzo en losa de techo.....	51
Cuadro 20. Cuantificación del acero de muros de sótano a nivel 1.....	52
Cuadro 21. Cuantificación del acero de muros de nivel 1 y 2.....	52
Cuadro 22. Tabla de cuantificación del acero de muros de nivel 3 y 4.....	52
Cuadro 23. Cuantificación del concreto en cimentación	54
Cuadro 24. Cuantificación de concreto en columnas sótano.....	54
Cuadro 25. Cuantificación del concreto para columnas de nivel 1	55
Cuadro 26. Cuantificación del concreto para columnas de nivel 2	55
Cuadro 27. Cuantificación de concreto en columnas nivel 3	56
Cuadro 28. Cuantificación de concreto en columnas nivel 4	56
Cuadro 29. Cuantificación de concreto en vigas nivel sótano.....	57
Cuadro 30. Cuantificación de concreto en vigas nivel 2	57
Cuadro 31. Cuantificación de concreto en vigas nivel 2	58
Cuadro 32. Cuantificación de concreto en vigas nivel 3	58
Cuadro 33. Cuantificación de concreto en vigas nivel 4	59
Cuadro 34. Cuantificación de concreto en vigas de techo.....	59
Cuadro 35. Cuantificación de concreto en losas.....	60
Cuadro 36. Cuantificación de concreto en muros sótano	60
Cuadro 37. Cuantificación de concreto en muros nivel 1.....	60
Cuadro 38. Cuantificación de concreto en muros nivel 2.....	61
Cuadro 39. Cuantificación de concreto en muros nivel 3.....	61
Cuadro 40. Cuantificación de concreto en muros nivel 4.....	61

RESUMEN

Las construcciones en Guatemala han evolucionado con el paso del tiempo, incorporando innovaciones en diversos campos. Estos cambios se reflejan en múltiples aspectos, desde los materiales utilizados hasta el diseño arquitectónico y estructural. En el país, el crecimiento exponencial de la población ha impulsado la construcción de viviendas verticales, permitiendo crear espacios habitables con menor ocupación de terreno. El concreto reforzado es el principal material utilizado en estas edificaciones.

Dado que las edificaciones verticales son las más comunes actualmente, es necesario considerar numerosos aspectos antes de iniciar una construcción. Por ello, la implementación de nuevas metodologías de trabajo es fundamental en el ámbito de la construcción. La metodología *building information modeling* (BIM) ha impulsado el sector, proporcionando beneficios significativos al aplicarla, desde una mejor visualización hasta la posibilidad de simular la construcción con alto detalle (Autodesk, 2024).

Al implementar esta metodología en construcciones de concreto reforzado, se obtienen resultados más eficientes. Partiendo de un diseño arquitectónico, se inicia con la creación de un modelo que permita visualizar con claridad la idea estructural principal. Este modelo se convierte en el núcleo de todo el proceso, ya que permite desglosar aspectos fundamentales para la planificación de la estructura. Es indispensable que el modelo se realice con un *level of detail* (LOD) 400, lo que implica modelar la estructura completa, incluyendo el refuerzo de acero, tras el análisis estructural.

Con un modelo LOD 400 se obtienen múltiples beneficios, como la creación de un modelo analítico para importarlo a un software de estudio estructural, la cuantificación precisa de materiales y una planificación temporal eficiente (National Institute of Building Sciences, 2020). Un factor clave en la aprobación de proyectos es el aspecto económico; por tanto, una adecuada planificación de cada proceso en una edificación permite ahorrar en materiales, en planificación y en tiempo de construcción. La investigación concluye que, con un modelo detallado de concreto reforzado, se logran beneficios importantes en cualquier área de trabajo dentro de la construcción, incentivando a implementar este método por sus amplias ventajas (Volk, 2014).

ABSTRACT

Construction in Guatemala has evolved over time, generating innovations across various fields. Construction practices have changed in many aspects, from the materials used to architectural and structural design. In Guatemala, the exponential population growth has driven the development of vertical housing, allowing for habitable spaces that occupy less land area. Reinforced concrete is the primary material used in these buildings.

Since vertical buildings are the most common type of construction today, it is essential to consider numerous aspects before beginning a project. Therefore, implementing new work methodologies is crucial in the construction sector. The Building Information Modeling (BIM) methodology has advanced the industry, providing significant benefits, ranging from better visualization to the ability to simulate construction in high detail (Autodesk, 2024).

When applying this methodology to reinforced concrete buildings, more efficient results are achieved. Starting from an architectural design, the process begins with creating a model that clearly visualizes the main structural concept. This model becomes the core of the entire process, as it allows for the breakdown of key aspects needed for structural planning. It is essential that the model is created at Level of Detail (LOD) 400, meaning the entire structure is modeled, including steel reinforcement, following the structural analysis.

With an LOD 400 model, multiple benefits are obtained, such as creating an analytical model for import into structural analysis software, precise material quantification, and efficient time planning (National Institute of Building Sciences, 2020). A key factor in project approval is the economic aspect; therefore, proper planning of each stage in a building project allows for savings in materials, planning, and construction time. The research concludes that a detailed model of reinforced concrete structures provides important benefits in all areas of construction, encouraging the use of this method for its extensive advantages (Volk, 201

I. INTRODUCCIÓN

El avance tecnológico en la industria de la construcción ha permitido el desarrollo de metodologías innovadoras como el *building information modeling* (BIM), que ha transformado la forma en que se planifican y ejecutan los proyectos. Dentro de este contexto, el uso de modelos BIM en un *level of detail* (LOD 400) se ha vuelto fundamental para la correcta planificación y construcción de estructuras de concreto reforzado. Este nivel de detalle permite un alto grado de precisión en el modelado, ofreciendo un diseño tridimensional que incluye elementos críticos como el acero de refuerzo y el concreto, ajustándose a normativas técnicas como el código ACI 318-14 (American Concrete Institute, 2014).

Una de las principales ventajas de un modelo BIM LOD 400 ha sido la capacidad de cuantificar de manera exacta los materiales necesarios para la construcción, optimizando los recursos y minimizando los desperdicios. Según Eastman (2011), los modelos BIM en LOD 400 proporcionaron una representación precisa que incluye especificaciones completas de fabricación y construcción, lo cual permitió una planificación más eficiente y una reducción significativa en los costos asociados con errores de cálculo y sobrecostos imprevistos.

Además de la cuantificación precisa, el uso de BIM LOD 400 facilitó la identificación de colisiones entre disciplinas, como las interferencias entre elementos estructurales, instalaciones eléctricas, hidráulicas y mecánicas. Este análisis de colisiones resultó crucial para evitar errores durante la fase de construcción, que podrían haber generado retrasos y sobrecostos. (Azhar, 2012) subrayaron que la implementación de BIM redujo hasta un 75 % los problemas de coordinación entre disciplinas al detectar interferencias antes de que los trabajos de campo comenzaran, mejorando así la eficiencia y calidad del proyecto

La investigación analizó la precisión de los modelos BIM LOD 400 para la cuantificación de materiales y la identificación de colisiones en estructuras de concreto reforzadas bajo las normativas ACI 318-14.

II. JUSTIFICACIÓN

Guatemala es un país que ha tenido una buena evolución en sus construcciones. Es bien sabido que Guatemala es rica en cultura y por ende en la arquitectura que se puede ver día con día. En la actualidad, las edificaciones de viviendas se han inclinado a un tipo de arquitectura vertical debido a que esta posee muchas ventajas tales como múltiples viviendas en un área reducida de terreno.

El material que por excelencia se ha utilizado para este tipo de construcciones ha sido el concreto reforzado debido a sus múltiples beneficios que ofrece. Además, esta mezcla de materiales es la más utilizada en todo el país. El concreto reforzado en Guatemala ha sido de gran ayuda ya que la manera en que se fabrica es un método muy fácil de elaborar y con resultados muy satisfactorios.

Con respecto a la manera de cómo se realizan las construcciones en Guatemala en la actualidad se ha ido implementando la metodología BIM la cual trae con ella múltiples beneficios en diferentes áreas, estas pueden ser económicas, sociales y ambientales. La metodología BIM hoy abarca muchos campos y es por ello que el motivo de esta tesis quiere hablar sobre el modelado de estructuras de concreto reforzado a un nivel de detalle LOD 400.

En la actualidad sí se trabaja con metodología BIM en Guatemala, sin embargo, no se ha encontrado mucha información con respecto a las estructuras de concreto reforzado. El tener un modelo estructural de un edificio brinda múltiples beneficios que pueden ir desde una mejor visualización de la estructura hasta una cuantificación de materiales. También se pueden destacar beneficios en costos y presupuestos debido a que, al tener un modelo con un alto detalle en su estructura nos puede ayudar ahorrar tiempo y dinero (Asociación Guatemalteca de Constructores, 2024).

Tener un modelo estructural también puede ayudar a las áreas de diseño arquitectónico, de instalaciones sanitarias y eléctricas. Esto quiere decir que hablar de un modelo de estructuras no implica apoyo únicamente en el campo estructural de trabajo, sino que también puede beneficiar a muchas más áreas de trabajo.

Es importante explotar al máximo esta metodología, ya que, si se llega a trabajar de una manera fluida mezclando la tecnología y la innovación con las construcciones de concreto reforzado, se pueden llegar a obtener resultados eficaces.

III. OBJETIVOS

A. Objetivo general

Analizar la eficacia de implementar un modelo BIM en el nivel LOD 400 para la cuantificación, el alto nivel de detalle y la identificación de interferencias en el diseño de estructuras de concreto reforzado, incorporando tanto las normativas BIM como las regulaciones estructurales establecidas por el ACI 318-14.

B. Objetivos específicos

1. Modelar un edificio de concreto reforzado a nivel BIM LOD 400, ajustándose a las normativas internacionales como ACI 318-14.
2. Realizar la cuantificación automática de concreto y acero a partir del modelo BIM.
3. Utilizar el modelo BIM para evaluar las posibles colisiones entre los elementos estructurales y de instalaciones.
4. Obtener un nivel de detalle avanzado en los elementos estructurales, de manera que el personal ejecutor pueda comprender con mayor facilidad el diseño establecido por el ACI 318-14

IV. ALCANCE

- Este trabajo de graduación se centra en la eficiencia de utilizar un modelo BIM (*building information modeling*) en nivel de desarrollo LOD 400, en lugar de los métodos y modelos tradicionales que se emplean en muchos proyectos de construcción. El modelo permite una representación detallada de todos los elementos de la estructura, desde su planificación hasta su desarrollo en obra, lo que ofrece mayor precisión y eficiencia en cada fase del proyecto..
- Se logra un nivel avanzado de cuantificación de materiales como el concreto y el acero de refuerzo de toda la estructura. Este grado de precisión depende directamente del modelo BIM LOD 400, que permite obtener datos precisos y detallados sobre las cantidades y ubicaciones exactas de los materiales requeridos. Al optimizar la cuantificación, no solo se busca reducir el desperdicio de materiales, sino también facilitar la planificación de compras y la estimación de costos con un mayor grado de confiabilidad.
- Se obtiene un análisis de colisiones el cual no solo reduce la probabilidad de problemas durante la fase de construcción, sino que también permite una mejor coordinación entre las distintas disciplinas, lo cual contribuye a un proceso de construcción más eficiente y sin interrupciones.
- Se excluye la elaboración de planos de construcción mediante métodos y herramientas tradicionales, reduciendo así la posibilidad de errores human

V. MARCO TEÓRICO

A. Metodología BIM

1. ¿Qué es el BIM?

Building information modeling (BIM) es una metodología de trabajo colaborativa para la creación y gestión de proyectos de construcción a lo largo de su ciclo de vida. BIM implica la generación y gestión de datos digitales precisos y confiables relacionados con el diseño, construcción y operación de un edificio o infraestructura (Gomes, 2020).

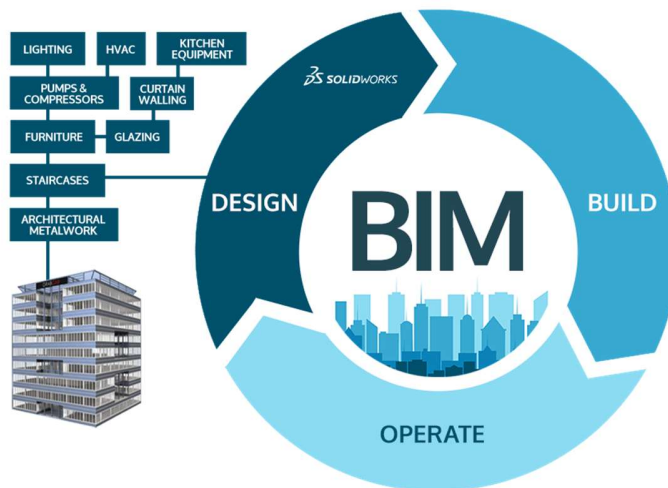


Ilustración 1. Esquema descriptivo de BIM

Fuente: Todo-3D.com, 2019

2. Componentes claves del BIM.

A continuación, se presentan los componentes clave del *building information modeling* (BIM), de acuerdo con Azhar (2014):

- **Modelo 3D:** el uso de modelos tridimensionales en BIM no solo se limita a la representación visual del proyecto, sino que también abarca la capacidad de realizar <simulaciones avanzadas. Estas simulaciones pueden incluir análisis de interferencias para detectar conflictos entre diferentes sistemas o componentes, evaluaciones de rendimiento energético para optimizar el consumo de energía del edificio, y análisis

estructurales para garantizar la integridad y seguridad de la construcción.

- **Datos Integrados:** con BIM, la integración de datos va más allá de la información sobre materiales, costos y plazos. También implica la capacidad de vincular datos geoespaciales, información de proveedores y fabricantes, regulaciones y estándares de construcción, y datos históricos de proyectos similares. Esta integración holística de datos proporciona una visión completa y actualizada del proyecto en todo momento, lo que facilita la toma de decisiones informadas y la gestión eficiente de recursos.
- **Colaboración:** la colaboración en BIM no se limita a compartir archivos de diseño. Se refiere a la capacidad de trabajar de manera conjunta y coordinada en un entorno digital compartido. Esto incluye herramientas de comunicación en tiempo real, como videoconferencias y chats integrados en el software BIM, así como la posibilidad de realizar revisiones y comentarios directamente en el modelo 3D. La colaboración efectiva en BIM mejora la comunicación entre los diferentes actores del proyecto, reduce los errores y acelera los procesos de diseño y construcción (National BIM standard, 2024).
- **Gestión del Ciclo de Vida:** BIM no se detiene en la fase de diseño o construcción, sino que abarca todo el ciclo de vida del edificio o infraestructura. Esto incluye la fase de operación y mantenimiento, donde BIM se utiliza para gestionar el mantenimiento preventivo, programar inspecciones y monitorear el rendimiento del edificio en términos de eficiencia energética y confort para los ocupantes. La capacidad de BIM para proporcionar información detallada y actualizada durante todo el ciclo de vida de un proyecto es fundamental para su éxito a largo plazo y su sostenibilidad.

B. Metodología

La metodología se refiere al conjunto de procedimientos, técnicas, reglas y principios que se utilizan para llevar a cabo una tarea, un proceso o una investigación de manera sistemática y organizada. En diversos campos, la metodología proporciona una estructura y un enfoque para abordar problemas, lograr objetivos y tomar decisiones basadas en un marco predefinido (Galeano, 2018).



Ilustración 2. Imagen realista a partir de un modelo de información del CIT UVG

Fuente: UVG, 2020

C. Niveles de información LOI

Los niveles de información (LOI) en el contexto de *building information modeling* (BIM) son una forma de categorizar y definir el detalle y la precisión de la información que se incluye en un modelo BIM en diferentes etapas del proyecto. Estos niveles se utilizan para estandarizar la cantidad y calidad de los datos que se deben proporcionar en cada fase del ciclo de vida del proyecto (Camilo, 2018).

Existen diferentes sistemas de niveles de información dependiendo de la región y la industria, pero generalmente se utilizan cuatro niveles principales:

- LOI 100: en este nivel, se proporciona información básica y conceptual del proyecto. Puede incluir información general sobre la ubicación, dimensiones aproximadas, uso previsto y otros datos de alto nivel que permiten comprender la idea general del proyecto.
- LOI 200: en este nivel, se agrega más detalle a la información básica del LOI 100. Se incluyen datos más específicos sobre la geometría del proyecto, como la distribución de espacios, formas generales de los elementos constructivos y relaciones espaciales básicas.
- LOI 300: en este nivel, se añade aún más detalle y precisión a la información del modelo. Se incluyen datos específicos sobre los materiales, sistemas y componentes del proyecto, así como información sobre costos, plazos y otras características que son relevantes para la toma de decisiones en la fase de diseño y construcción.
- LOI 400: este nivel representa el máximo detalle y precisión en la información del modelo. Se incluyen datos específicos y detallados sobre todos los aspectos del proyecto, desde la geometría exacta de los elementos constructivos hasta la información técnica detallada de los materiales y componentes. Este nivel es crucial para la planificación y ejecución precisa de la construcción, operación y

mantenimiento del proyecto.

Estos niveles de información ayudan a estandarizar la calidad y la cantidad de información en un modelo BIM, facilitando la comunicación entre los diferentes actores del proyecto y asegurando la coherencia y la integridad de los datos a lo largo de todo el ciclo de vida del proyecto.



Ilustración 3. Explicación gráfica de las diferencias entre LOD y LOI.

Fuente: BIM Café, 2023

D. Indicadores LOD

Los Indicadores LOD (niveles de desarrollo) en *building information modeling* (BIM) son un sistema de clasificación utilizado para definir y comunicar el nivel de detalle y desarrollo de los elementos y componentes en un modelo BIM a lo largo de las diferentes etapas de un proyecto de construcción (mheing, 2024).



Ilustración 4. Explicación gráfica de las diferencias entre LOD y LOI

Fuente: DataLaing, 2024

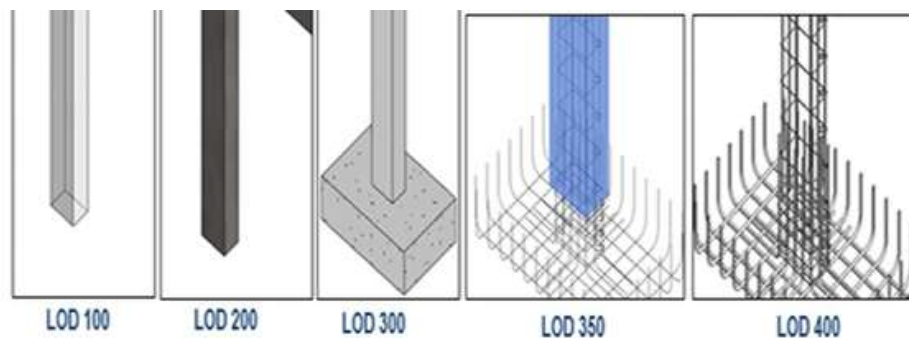


Ilustración 5. Explicación gráfica de los niveles LOD en detalles estructurales de concreto reforzado

Fuente: Eadic, 2015

Estos indicadores ayudan a establecer expectativas claras sobre el nivel de información y precisión que se espera en cada fase del proyecto y son fundamentales para la colaboración y la gestión eficaz de la información en un proyecto BIM. A continuación, se explican los niveles LOD más comunes en BIM (BuildSmart, 2024):

- LOD 100: en este nivel, se representa la geometría general del elemento con una forma básica. Se utiliza para definir la ubicación y la forma del elemento en el modelo, pero no se incluye información específica sobre dimensiones, materiales o detalles.
- LOD 200: aquí, se agrega información adicional sobre el elemento, como dimensiones generales y algunos detalles de diseño preliminares. Aunque todavía es de naturaleza conceptual, este proporciona una representación más precisa del elemento.
- LOD 300: incluye detalles más avanzados sobre la geometría, los materiales y las relaciones del elemento. Se utiliza para representar elementos en una etapa de diseño más avanzada, donde se han especificado los materiales y las dimensiones.
- LOD 350: en este nivel, se agregan detalles de construcción específicos, como conexiones y anclajes. Es útil para la coordinación entre disciplinas y para comprender cómo se ensamblan los elementos en el proyecto.
- LOD 400: es adecuado para la fase de construcción, ya que incluye detalles específicos de fabricación y construcción. Los elementos se representan con suficiente detalle para la fabricación y la construcción, lo que permite una ejecución precisa en el sitio.

- LOD 500: es el nivel más alto, se refiere a la información de operación y mantenimiento. Incluye datos sobre el ciclo de vida del elemento, como manuales de operación, mantenimiento y reemplazo.

E. Alcance LOD 400

El desarrollo LOD 400 es un nivel de detalle específico en el contexto de *building information modeling* (BIM). Aunque los niveles LOD generalmente se clasifican en intervalos de 100, el LOD 400 es una clasificación específica que a menudo se utiliza para representar elementos en una fase de diseño y construcción en la que se han especificado detalles específicos, incluyendo detalles de construcción y fabricación, pero con un enfoque en la fabricación digital y tecnologías avanzadas (mheing, 2024).

Aunque los detalles exactos pueden variar según las interpretaciones específicas y las necesidades del proyecto, el LOD 400 generalmente incluye información detallada sobre cómo se fabricarán los componentes y cómo se ensamblarán en el sitio. Esto puede implicar lo siguiente (Nuñez, 2015):

- Documentación para la fabricación: se proporciona documentación detallada para la fabricación, que incluye especificaciones precisas de materiales, dimensiones y métodos de fabricación. Esto es útil para la producción de componentes personalizados y precisos.
- Conexiones y anclajes: se incluyen detalles específicos sobre cómo se conectarán los elementos y cómo se anclarán al sitio. Esto es fundamental para garantizar la seguridad y la integridad del proyecto.
- Fabricación digital: a menudo implica el uso de tecnologías avanzadas, como la fabricación digital, que permite la producción precisa de componentes basada en modelos digitales. Esto puede incluir el uso de CNC (Control Numérico Computarizado) y otras tecnologías de producción avanzadas.
- Simulación de construcción: puede incluir simulaciones detalladas de cómo se ensamblarán los componentes en el sitio. Esto ayuda a prever y abordar posibles problemas de construcción antes de que ocurran en el mundo real.

1. LOD 400 en cimentaciones

El nivel de desarrollo (LOD) 400 en el contexto de cimentaciones se refiere a un nivel de detalle específico en la información de un modelo de información de construcción (BIM, por sus siglas en inglés). Este nivel se centra en proporcionar detalles precisos sobre los elementos estructurales y las conexiones de la cimentación en un proyecto de construcción. Algunos aspectos importantes del LOD 400 en cimentaciones incluyen:

- **Detalles de cimentación:** abarca la representación detallada de las cimentaciones, incluyendo la forma, dimensiones exactas, tipo de cimentación (como zapatas, pilotes, losas, etc.), y detalles de conexión con estructuras superiores como columnas y muros.
- **Conexiones:** se incluyen los detalles de las conexiones entre las cimentaciones y otros elementos estructurales, como la forma en que se unen las columnas a las zapatas o cómo se conectan los pilotes a las vigas de cimentación.
- **Material y propiedades:** se especifican los materiales utilizados en las cimentaciones, como el tipo de concreto, acero de refuerzo, material de relleno, etc. También se pueden incluir propiedades como resistencia, capacidad de carga, coeficientes de seguridad, entre otros.
- **Compatibilidad con otros elementos:** asegura la compatibilidad y alineación adecuada de las cimentaciones con otros elementos del proyecto, como estructuras superiores, redes de servicios, y elementos paisajísticos o de urbanización.

Este nivel proporciona un de detalle suficiente para el diseño, la planificación de la construcción, la gestión de costos y la coordinación entre diferentes disciplinas involucradas en el proyecto. Es especialmente importante para garantizar la integridad estructural y la eficiencia durante la fase de construcción.

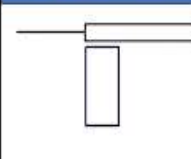
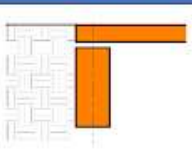
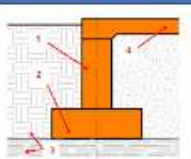
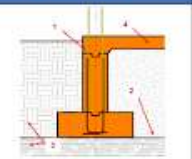
LOD 100	LOD 200	LOD 300	LOD 350	LOD 400
				
Elemento esquemático que no se distinguen por el tipo o material. Las dimensiones del elemento y sus ubicaciones son todavía flexibles.	Cimentación genérica. Puede tener o no una base. El suelo es modelado de forma genérica de acuerdo al reporte geotécnico.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Dimensiones generales de la cimentación. 2. Nivel de desplante de la cimentación. 3. Estratos geotécnicos de acuerdo al reporte geotécnico. 4. Elementos adjuntos de acuerdo a las dimensiones de proyecto. 5. La cimentación se modelará con ampliaciones de base cuando sea aplicable. 6. La profundidad de desplante se modelará de acuerdo al reporte geotécnico. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Juntas de cotado. 2. Nivel de desplante de la cimentación. 3. Estratos geotécnicos de acuerdo al reporte geotécnico. 4. Elementos adjuntos de acuerdo a las dimensiones de proyecto. 5. Choffanes. 6. Juntas de expansión. 7. Acero de refuerzo. 8. La profundidad de desplante se modelará de acuerdo al reporte geotécnico. 	Sin imagen provista. Añadir a los elementos de LOD 350 los siguientes: <ol style="list-style-type: none"> 1. Ganchos y traslapes en acero de refuerzo. 2. Choffanes. 3. Elementos de refuerzo para mampostería, si aplican. 4. Impermeabilización.

Ilustración 6. Representación gráfica los niveles LOD en cimentaciones

Fuente: BIM en México, 2019

2. LOD 400 en vigas y columnas de concreto

El nivel de desarrollo en el contexto de vigas y columnas dentro de un modelo de información de construcción (BIM) es crucial para proporcionar detalles precisos y completos sobre estos elementos estructurales. El LOD 400 beneficia específicamente a las vigas y columnas:

- **Detalles geométricos:** Incluye la representación detallada de las vigas y columnas, mostrando dimensiones exactas, forma, ubicación y alineación dentro del proyecto.
- **Conexiones:** Se detallan las conexiones entre las vigas, columnas y otros elementos estructurales, como losas, muros y cimentaciones. Esto incluye detalles de uniones, tipos de conexiones (soldadas, pernos, etc.) y refuerzos necesarios para la estabilidad estructural.
- **Material y propiedades:** Se especifican los materiales utilizados en las cimentaciones, como el tipo de concreto, acero de refuerzo, material de relleno, etc. También se pueden incluir propiedades como resistencia, capacidad de carga, coeficientes de seguridad, entre otros.
- **Compatibilidad y alineación:** Asegura la compatibilidad y alineación adecuada de las vigas y columnas con otros elementos del proyecto, como sistemas de cimentación, muros portantes, instalaciones mecánicas y eléctricas, etc.
- **Análisis y Diseño:** La información detallada es fundamental para realizar análisis estructurales y diseños precisos de las vigas y columnas. Esto incluye la evaluación de cargas, la determinación de dimensiones adecuadas, el cálculo de refuerzos y la verificación de la resistencia y estabilidad estructural.

El LOD 400 el LOD 400 en vigas y columnas proporciona un nivel de detalle que es esencial para el diseño estructural, la planificación de la construcción, la coordinación entre diferentes disciplinas y la gestión eficiente de proyectos de construcción, garantizando la integridad y seguridad de las estructuras.

LOD 100	LOD 200	LOD 300	LOD 350	LOD 400
				
Columna Genérica Las dimensiones o tamaño del elemento y su ubicación son fijas.	Columna genérica Tipo de concreto estructural Geometría aproximada de la columna Columna colocada en un eje estructural	Tamaños y ubicaciones específicas de los principales componentes estructurales de concreto modelados por una cuadrícula estructural de ejes definida con su orientación concreta Todos los aberturas de concreto incluidos en el elemento modelado con excepción de los elementos fabricados por la selección del fabricante	Anchura para posttensionado y su ubicación perimetral si se requiere por I.E.P. Acero de refuerzo si se requiere por I.E.P. típicamente en áreas congestionadas Juntas de colado y secuencias para ubicar frisos Juntas de soporte Ganchos de izada y varillas de anclaje Perforaciones para elementos de instalaciones Cualquier elemento de fijación perimetral	Todos los refuerzos, incluyendo los elementos de posttensionado dilatado y modelado Acabados

Ilustración 7. Representación gráfica los niveles LOD en columnas y viga

Fuente: BIM en México, 2019

F. Estructuras de concreto reforzado, sistema constructivo más usado en Guatemala

1. Concreto.

El concreto, también conocido como hormigón en algunos países, es un material de construcción ampliamente utilizado en la ingeniería y la construcción. Se compone de una mezcla de cemento, agua, áridos (como arena y grava) y aditivos, que se endurece con el tiempo para formar una sustancia sólida y duradera. El concreto se utiliza en una variedad de aplicaciones, desde la construcción de edificios y puentes hasta la pavimentación de carreteras (American Concrete Institute, 2014).



Ilustración 8. Mezcla de concreto

Fuente: Macromix, 2024

2. Refuerzo de acero

El acero de refuerzo, también conocido como armadura de refuerzo simplemente refuerzo, es un componente esencial en la construcción de estructuras de concreto armado. Consiste en barras o mallas de acero diseñadas específicamente para ser colocadas dentro del concreto antes de que se endurezca. El propósito principal del acero de refuerzo es proporcionar resistencia adicional a las estructuras de concreto, ya que el concreto por sí solo es fuerte en compresión pero relativamente débil en tensión. El acero de refuerzo ayuda a compensar esta debilidad y mejora la capacidad de la estructura para resistir fuerzas de tracción, flexión y corte.

El acero de refuerzo se utiliza en una variedad de aplicaciones de construcción, como en la fabricación de columnas, vigas, losas y cimientos, así como en estructuras de puentes y edificios. Su presencia en el concreto refuerza la estructura y contribuye a su durabilidad y capacidad para soportar cargas.

La colocación y el diseño del acero de refuerzo son tareas críticas en la construcción de estructuras de concreto, y deben seguir normas y códigos de construcción específicos para garantizar la seguridad y la resistencia de la estructura (American Concrete Institute, 2014)



Ilustración 9. Varilla de acero de refuerzo.

Fuente: Panel, 2024

VARILLA No.	Diametro nominal		Perimetro nominal en cm	Área nominal en cm ²	Peso en kg/cm	Piezas por toneladas	Traslape en cm
	in	Cm					
2	1/4	0.64	1.99	0.3167	0.247	337	25
2.5	5/16	0.79	2.49	0.4948	0.386	216	35
3	3/8	0.95	2.99	0.7126	0.5558	150	40
4	1/2	1.27	3.99	1.2668	0.9881	84	55
5	5/8	1.59	4.99	1.9793	1.5439	54	65
6	3/4	1.91	5.98	2.8502	2.2232	37	80
7	7/8	2.22	6.98	3.8795	3.026	28	90
8	1	2.54	7.98	5.0671	3.9523	21	110
9	1 1/8	2.86	8.98	6.413	5.0022	17	120
10	1 1/4	3.18	9.97	7.9173	6.1755	13	130
11	1 3/8	3.49	10.97	9.58	7.4724	11	140
12	1 1/2	3.81	11.97	11.4009	8.8927	9	155

Cuadro 1. Características de las varillas de acero de refuerzo

Fuente: Arqzon, 2024

3. Concreto reforzado.

El concreto reforzado es un tipo de material de construcción que combina concreto, que es fuerte en compresión, con acero de refuerzo, que proporciona resistencia adicional a la tracción. La combinación de estos dos materiales resulta en un material compuesto altamente resistente y duradero, adecuado para una amplia gama de aplicaciones de construcción.

En el concreto reforzado, se incorporan barras o mallas de acero estratégicamente dentro de la mezcla de concreto antes de que se endurezca. El acero actúa como una armadura que refuerza la capacidad del concreto para soportar cargas de tensión, flexión y corte. Esta combinación de concreto y acero de refuerzo se utiliza en la construcción de estructuras como edificios, puentes, presas, columnas, vigas, losas y otras aplicaciones donde se requiere resistencia y durabilidad.

El concreto reforzado se utiliza para superar las limitaciones del concreto simple, que es fuerte en compresión, pero relativamente débil en tensión. La inclusión del acero permite a las estructuras de concreto reforzado soportar cargas y tensiones que de otro modo serían inaceptables para el concreto simple.

La ingeniería y el diseño del concreto reforzado son críticos para garantizar la seguridad y la durabilidad de las estructuras, y se rigen por normas y códigos de construcción específicos en cada país. Estos estándares establecen pautas para la cantidad de acero de refuerzo, su colocación y la resistencia requerida en diversas aplicaciones (American Concrete Institute, 2014).

4. Ventajas del concreto reforzado.

- Durabilidad: Las estructuras de concreto reforzado tienden a ser duraderas y pueden soportar condiciones ambientales severas, como exposición al clima y ambientes corrosivos.
- Versatilidad: Puede utilizarse en una variedad de aplicaciones, desde edificios y puentes hasta represas y pavimentos.
- Bajo mantenimiento: Requiere un mantenimiento relativamente bajo a lo largo de su vida útil.
- Resistencia al fuego: El concreto reforzado tiene una buena resistencia al fuego, lo que lo hace adecuado para estructuras que deben cumplir con normativas de seguridad contra incendios.
- Efecto estético: El concreto reforzado puede adaptarse a una variedad de diseños arquitectónicos y proporciona una apariencia atractiva.

5. Desventajas del concreto reforzado.

- Peso: el concreto reforzado es más pesado en comparación con algunos otros materiales de construcción, lo que puede requerir cimientos y estructuras de soporte más robustas.
- Costos iniciales: el costo inicial de construcción de estructuras de concreto reforzado puede ser más alto en comparación con materiales como la madera o el acero simple.
- Dificultad de reparación: en caso de daños o corrosión del acero de refuerzo, las reparaciones pueden ser costosas y complicadas.
- Tiempo de fraguado: el concreto reforzado puede requerir un tiempo de fraguado más largo, lo que puede retrasar los plazos de construcción.
- Impacto ambiental: la producción de cemento, un componente clave del concreto, genera emisiones de dióxido de carbono, lo que contribuye al cambio climático.
- Sensibilidad a la fisuración: el concreto reforzado puede ser susceptible a la fisuración bajo ciertas condiciones, lo que puede afectar la integridad de la estructura a largo plazo.

6. Uso del concreto reforzado en Guatemala

El uso de concreto reforzado en Guatemala es bastante común y se ha aplicado en una variedad de proyectos de construcción a lo largo de su historia. Este material ha desempeñado un papel fundamental en el desarrollo de infraestructura y edificaciones en el país.

El concreto reforzado se ha utilizado en la construcción de rascacielos y edificaciones de grandes dimensiones en ciudades como Ciudad de Guatemala. Estos edificios utilizan estructuras de concreto reforzado para garantizar la resistencia necesaria contra las fuerzas sísmicas. Entre los más conocidos están:

- Puentes y carreteras: Guatemala cuenta con una red de carreteras y puentes que utilizan concreto reforzado para soportar cargas de tráfico y resistir las condiciones climáticas. Estas infraestructuras son esenciales para la conectividad y el transporte en el país.
- Represas y centrales hidroeléctricas: el concreto reforzado se ha empleado en la construcción de represas y centrales hidroeléctricas en Guatemala para aprovechar los recursos hídricos y generar energía eléctrica.
- Edificios comerciales y residenciales: en el sector de la construcción de viviendas y comercios, el concreto reforzado se utiliza para crear estructuras seguras y duraderas.
- Obras de restauración y conservación: también se ha utilizado concreto reforzado en proyectos de restauración y conservación de edificios históricos y estructuras patrimoniales en Guatemala.

Es importante señalar que Guatemala, al encontrarse en una región sísmicamente activa, pone un énfasis particular en la resistencia sísmica de las estructuras, y el concreto reforzado desempeña un papel crucial en este aspecto (Castillo, 2022).

7. Elementos estructurales más comunes usados en Guatemala

Los cimientos, columnas, vigas, losas, techos y muros de concreto son los principales elementos estructurales de una edificación. Cada uno cumple una función esencial: transmitir cargas, garantizar estabilidad y proteger los espacios, asegurando la seguridad y durabilidad de la construcción (AGIES, 2018).

- Cimientos: los cimientos son esenciales en cualquier estructura, ya que transfieren las cargas de la superestructura al suelo de manera segura y estable. Su correcto diseño garantiza la estabilidad y durabilidad de la edificación, considerando aspectos como la selección del tipo de cimiento según las condiciones del suelo y la distribución de las cargas.

- Columnas: las columnas son elementos verticales clave que soportan y transmiten cargas a los cimientos. El diseño de las columnas debe tener en cuenta la resistencia del material, la esbeltez y la disposición adecuada de las armaduras para garantizar su capacidad de soporte y estabilidad estructural.
- Vigas: las vigas son elementos horizontales que soportan cargas de flexión y las transmiten a las columnas o muros. El diseño de vigas considera la distribución de cargas, la resistencia a la flexión y cortante, así como la disposición de las armaduras, para evitar fallas estructurales.
- Losas: las losas son elementos planos que cubren áreas horizontales y transmiten las cargas a vigas o muros. En su diseño se deben analizar la resistencia al corte y a la flexión, y elegir los espesores y refuerzos adecuados para garantizar su estabilidad.
- Techos: los techos proporcionan protección al interior de la estructura. Es fundamental considerar su resistencia a cargas de viento, impermeabilización y técnicas de aislamiento para garantizar su funcionalidad y durabilidad a lo largo del tiempo.
- Muros de concreto: los muros de concreto son importantes para soportar cargas y dividir espacios. En el diseño de muros se deben evaluar su capacidad para resistir fuerzas sísmicas y cargas verticales, asegurando su estabilidad estructural y su capacidad de absorción de fuerzas laterales.

G. Detalles de refuerzo de elementos estructurales, según el capítulo 25 del ACI 318-14

El capítulo 25 del Código ACI 318-14 aborda los requisitos detallados para el diseño, disposición y detalles del refuerzo en elementos estructurales de concreto. Este capítulo es crucial, ya que asegura que las estructuras de concreto reforzado se comportan adecuadamente bajo las cargas a las que estarán sujetas, cumpliendo con las exigencias de seguridad y durabilidad que exige la norma (ACI 318-14).

1. Disposición y requisitos del refuerzo longitudinal

El refuerzo longitudinal en vigas, columnas y otros elementos estructurales debe cumplir con ciertos requisitos específicos de cantidad y distribución. En el caso de las vigas, el refuerzo debe colocarse de manera tal que asegure una adecuada resistencia a flexión y controle la fisuración por flexión. El ACI 318-14 establece que, para garantizar un comportamiento adecuado, las barras de refuerzo longitudinal deben estar debidamente ancladas en las zonas críticas de la estructura, como en los apoyos y en las uniones con columnas. Además, es fundamental que el espaciado entre las barras de refuerzo no sea excesivo, para evitar que se desarrollen fisuras amplias en el concreto y para asegurar que la transferencia de esfuerzos entre el concreto y el acero sea el adecuado.

La cantidad mínima de refuerzo debe calcularse en función de la resistencia requerida del elemento estructural, considerando la capacidad de diseño y los factores de seguridad apropiados. Esto es esencial para garantizar que las estructuras puedan soportar las cargas previstas sin un riesgo inminente de fallo de estructura.

2. Refuerzo transversal y estribos

El refuerzo transversal, que incluye los estribos y cercos, juega un papel esencial en el control de la resistencia al corte y en la prevención de fallos frágiles en vigas y columnas. El ACI 318-14 especifica que la disposición de los estribos debe realizarse de acuerdo con los esfuerzos de corte a los que estarán sometidos al elemento estructural. En particular, en zonas críticas como las cercanas a los apoyos y conexiones, se deben utilizar estribos cerrados para mejorar el confinamiento del concreto y evitar el pandeo.

El código establece que los estribos deben tener un espaciado máximo que no exceda los límites especificados para evitar el colapso por corte. Para elementos que requieren una mayor resistencia al corte, se deben emplear estribos adicionales, distribuidos de manera más densa, especialmente en las regiones donde los esfuerzos cortantes sean más críticos.

3. Requisitos de gancho y anclaje

El capítulo 25 del ACI 318-14 también trata los requisitos de anclaje del refuerzo, particularmente en lo que respecta a la longitud de desarrollo y los detalles de los ganchos. Los ganchos de refuerzo son necesarios para garantizar que las barras de acero estén correctamente ancladas en las zonas donde las fuerzas de corte y momento sean mayores. El código especifica los diámetros mínimos de curvatura y las longitudes de gancho para asegurar que el refuerzo no se deslice bajo cargas extremas, lo que podría comprometer la estabilidad de la estructura.

Tipo de gancho estándar	Diámetro de la barra	Diámetro interior mínimo de doblado, mm	Extensión recta ⁽¹⁾ ℓ_{ext} , mm	Tipo de gancho estándar
Gancho de 90 grados	No. 10 a No. 25	$6d_b$	$12d_b$	
	No. 29 a No. 36	$8d_b$		
	No. 43 y No. 57	$10d_b$		
Gancho de 180 grados	No. 10 a No. 25	$6d_b$	Mayor de $4d_b$ y 65 mm	
	No. 29 a No. 36	$8d_b$		
	No. 43 y No. 57	$10d_b$		

Cuadro 2. Geometría del gancho estándar para el desarrollo de barras corrugadas en tracción

Fuente: ACI 318-14, 2014

Tipo de gancho estándar	Diámetro de la barra	Diámetro interior mínimo de doblado, mm	Extensión recta ^[1] l_{ext} , mm	Tipo de gancho estándar
Gancho de 90 grados	No. 10 a No. 16	$4d_b$	Mayor de $6d_b$ y 75 mm	
	No. 19 a No. 25	$6d_b$	$12d_b$	
Gancho de 135 grados	No. 10 a No. 16	$4d_b$	Mayor de $6d_b$ y 75 mm	
	No. 19 a No. 25	$6d_b$		
Gancho de 180 grados	No. 10 a No. 16	$4d_b$	Mayor de $4d_b$ y 65 mm	
	No. 19 a No. 25	$6d_b$		

Cuadro 3. Diámetro mínimo interior de doblado y geometría del gancho estándar para estribos, amarras y estribos cerrados de confinamiento

Fuente: ACI 318-14, 2014

4. Requisitos de superposición de barras de refuerzo

Otro aspecto crucial tratado en el capítulo 25 es el solape o empalme de las barras de refuerzo, que se utiliza cuando la longitud de las barras individuales no es suficiente para cubrir el área necesaria. El ACI 318-14 proporciona directrices detalladas sobre las longitudes mínimas de solape en función del tipo de esfuerzo (tracción o compresión) al que están algunas barras. Estas longitudes están diseñadas para asegurar una transferencia adecuada de esfuerzos entre las barras empalmadas, evitando fallos por desliz.

H. SOFTWARE

El software BIM permite a los profesionales de la arquitectura, ingeniería y construcción crear modelos digitales tridimensionales de edificios e infraestructuras. Estos modelos contienen información detallada sobre todos los elementos del proyecto, desde paredes y ventanas hasta sistemas eléctricos y tuberías. Algunos ejemplos de software BIM populares son Autodesk Revit, ArchiCAD, Dlubal y Bentley MicroStation.

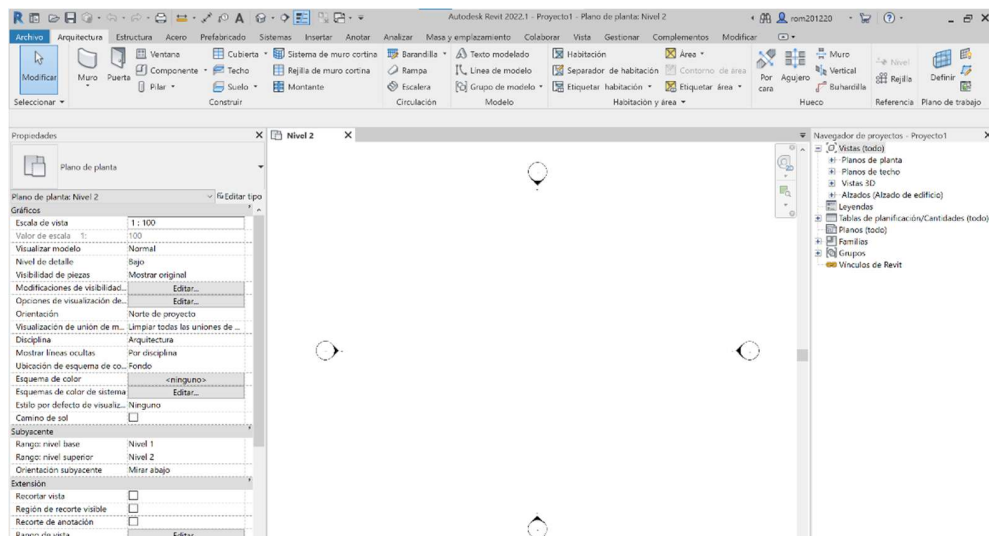


Ilustración 10. Interfaz de Revit

Fuente: Elaboración propia

- **Colaboración:** El software BIM facilita la colaboración entre diferentes disciplinas y equipos de proyecto. Los modelos BIM son compartibles y permiten a los diferentes profesionales trabajar en conjunto en un entorno digital. Esto reduce los errores y conflictos durante el diseño y la construcción.
- **Análisis y simulación:** también permiten realizar análisis y simulaciones avanzadas. Por ejemplo, se pueden llevar a cabo análisis de energía para evaluar la eficiencia energética de un edificio, análisis de flujo para optimizar la circulación en un edificio o análisis de estructuras para evaluar la resistencia de un edificio a las fuerzas sísmicas, entre otros.
- **Documentación:** los modelos BIM pueden utilizarse para generar automáticamente documentación de construcción, planos y listas de materiales, lo que agiliza el proceso de diseño y construcción.
- **Gestión de proyectos y activos:** después de la construcción, el software sigue siendo útil para la gestión de activos. Los modelos pueden enlazarse con sistemas de gestión de instalaciones (FM) para llevar un registro detallado de los activos y facilitar el mantenimiento a lo largo de su ciclo de vida.
- **Estándares y normativas:** el software BIM a menudo está diseñado para cumplir con estándares y normativas específicas de la industria, lo que garantiza que los proyectos cumplan con los requisitos regulatorios y de calidad.
- **Visualización.** son excelentes herramientas para la visualización de proyectos. Los modelos 3D generados por el software BIM permiten a los clientes y partes interesadas

ver cómo se verá el proyecto terminado antes de que comience la construcción.

I. Extensiones BIM

1. Definición de extensiones en BIM

Las extensiones en el contexto de *building information modeling* (BIM) se refieren a complementos o adiciones que amplían la funcionalidad estándar del software BIM. Según Eastman et al. (2011), las extensiones son "módulos de software adicionales que proporcionan funcionalidades especializadas para usuarios avanzados de BIM" (BuildSmart,2024).

2. Tipos de Extensiones:

- **Funcionales:** Estas extensiones agregan nuevas herramientas o funcionalidades al software BIM para realizar tareas específicas. Por ejemplo, herramientas de análisis energético, simulaciones estructurales avanzadas, entre otras (Eastman et al., 2011).
- **Formato:** Permiten la importación/exportación de diferentes formatos de archivo para mejorar la interoperabilidad entre diferentes plataformas y disciplinas en un proyecto BIM (Azhar, 2011).
- **Integración:** Facilitan la conexión y colaboración con otros sistemas y software utilizados en el ciclo de vida de un proyecto de construcción, como software de gestión de proyectos, sistemas de control de costos, entre otros (Azhar, 2011).

3. Beneficios de las extensiones:

- **Mayor Funcionalidad:** Brindan acceso a herramientas especializadas que no están disponibles en la versión estándar del software BIM, mejorando así la eficiencia y calidad del trabajo (Eastman et al., 2011).
- **Mejora de la Interoperabilidad:** Al permitir la importación/exportación de diferentes formatos y la integración con otros sistemas, las extensiones mejoran la colaboración y la coordinación en proyectos multidisciplinarios (Azhar, 2011).
- **Personalización del Entorno BIM:** Permiten a los usuarios personalizar su entorno BIM según sus necesidades específicas y los requisitos del proyecto en cuestión (Eastman et al., 2011).

J. Hardware

Aunque *building information modeling* (BIM) se centra en la creación y gestión de modelos digitales de información para proyectos de construcción e infraestructura, el hardware también desempeña un papel importante en su implementación. Aquí se explican algunos aspectos relacionados con el hardware en el contexto del BIM:

- **Requisitos de hardware:** los sistemas de software BIM suelen requerir un hardware adecuado para funcionar de manera eficiente. Esto incluye computadoras con suficiente capacidad de procesamiento, memoria RAM, tarjetas gráficas y almacenamiento para manejar los modelos BIM de manera efectiva. Los modelos BIM pueden llegar a ser muy complejos y detallados, por lo que el hardware debe estar a la altura para evitar retrasos y problemas de rendimiento.
- **Estaciones de trabajo de alto rendimiento:** en muchas empresas de arquitectura, ingeniería y construcción, se utilizan estaciones de trabajo de alto rendimiento para trabajar en proyectos BIM. Estas estaciones de trabajo están diseñadas específicamente para tareas de modelado 3D, renderización y análisis avanzado, lo que es esencial para proyectos complejos.
- **Dispositivos móviles:** BIM no se limita a las estaciones de trabajo de escritorio. Los dispositivos móviles como tabletas y smartphones también se utilizan para acceder a información en campo. Los profesionales de la construcción pueden llevar consigo modelos y documentación en tiempo real en el lugar de trabajo para facilitar la toma de decisiones y el control de calidad.
- **Dispositivos de captura de datos:** el hardware como escáneres láser, drones y cámaras 360 grados se utilizan para capturar datos del entorno y convertirlos en modelos BIM. Esto es especialmente útil en la fase de levantamiento y escaneo de edificios existentes para la renovación y el mantenimiento.
- **Realidad virtual y aumentada (RV/RA):** para la visualización avanzada y la colaboración en proyectos, se utilizan dispositivos de RV/RA. Esto permite a los equipos de proyecto experimentar modelos en un entorno tridimensional, lo que facilita la toma de decisiones y la comunicación.
- **Infraestructura de red:** la capacidad de compartir y colaborar en modelos BIM a través de una red eficiente es esencial. Esto implica tener una infraestructura de red sólida que permita la transferencia rápida de datos, especialmente cuando se trabaja en equipos distribuidos geográficamente.

K. Compatibilidad

La compatibilidad en el contexto de la metodología *building information modeling* (BIM) se refiere a la capacidad de diferentes softwares, hardware, formatos de datos y estándares para trabajar juntos de manera efectiva en un entorno. La compatibilidad es esencial para la colaboración eficaz en proyectos de construcción e infraestructura. Aquí se destacan varios aspectos de la compatibilidad en BIM:

- **Compatibilidad de software:** para que los equipos de proyecto colaboren de manera efectiva, es importante que los diferentes programas de software BIM sean compatibles entre sí. Esto implica la capacidad de importar, exportar modelos y datos de un software a otro sin pérdida de información o errores. Muchos programas BIM ofrecen formatos de intercambio estándar, como Industry Foundation Classes (IFC), que facilitan la interoperabilidad.
- **Interoperabilidad de hardware:** la elección del hardware adecuado es fundamental para garantizar la compatibilidad. Los equipos deben contar con hardware que cumpla con los requisitos de los software BIM utilizados y que sea capaz de manejar modelos 3D complejos de manera eficiente.
- **Formatos de datos estándar:** la adopción de formatos de datos estándar, como IFC, es esencial para la interoperabilidad en BIM. Estos formatos permiten que diferentes sistemas BIM compartan información de manera coherente, lo que facilita la colaboración entre múltiples disciplinas y software.
- **Normativas y estándares:** el cumplimiento de normativas y estándares en la industria de la construcción, como los desarrollados por BuildingSMART, es crucial para garantizar la compatibilidad en BIM. La adopción de estándares BIM comunes ayuda a unificar la representación y el intercambio de información en todo el sector.
- **Flujos de trabajo y procesos colaborativos:** la compatibilidad no se limita al software y el hardware, sino que también se refiere a la integración de flujos de trabajo y procesos colaborativos. Esto implica que los equipos de proyecto trabajen de manera coherente, siguiendo prácticas y protocolos definidos para la gestión de información.
- **Educación y capacitación:** la capacitación adecuada de los profesionales que trabajan con BIM es esencial para garantizar la compatibilidad. Los equipos deben comprender cómo utilizar las herramientas y los estándares de manera efectiva para evitar problemas de incompatibilidad.
- **Gestión de datos y documentación:** la implementación de sistemas de gestión de datos BIM y la documentación detallada de procesos y flujos de trabajo son fundamentales para mantener la compatibilidad a lo largo de todo el ciclo de vida de un proyecto.

L. Apoyo multidisciplinario

El apoyo multidisciplinario en el contexto de *building information modeling* (BIM) se refiere a la colaboración y coordinación entre profesionales de diferentes disciplinas involucrados en un proyecto de construcción que utilizan BIM como plataforma central para la gestión y el intercambio de información. Esto es esencial para abordar la complejidad inherente a proyectos de construcción e infraestructura, donde se requiere la contribución de diversos expertos para lograr un resultado exitoso. A continuación, se explican los aspectos clave del apoyo multidisciplinario en BIM:

- **Colaboración interdisciplinaria:** equipos de profesionales de diferentes disciplinas, como arquitectos, ingenieros estructurales, ingenieros MEP (mecánicos, eléctricos y plomería), diseñadores de paisajes y otros, trabajan en conjunto. permite la creación de un modelo digital 3D compartido en el que cada disciplina puede contribuir con sus propios aspectos de diseño y construcción.
- **Integración de información:** los equipos multidisciplinarios pueden integrar sus datos y modelos en un único entorno colaborativo. Esto permite una visión completa y precisa del proyecto y evita problemas de coordinación y errores en etapas posteriores.
- **Coordinación de diseños:** facilita la detección temprana de conflictos y discrepancias en los diseños de diferentes disciplinas. Los equipos pueden realizar análisis de interferencias y colisiones en el modelo para resolver problemas antes de la construcción física, lo que ahorra tiempo y costos.
- **Análisis y simulación:** las diferentes disciplinas pueden utilizar el modelo BIM para realizar análisis y simulaciones específicas de sus áreas. Por ejemplo, los ingenieros pueden realizar análisis de carga estructural, análisis de energía y simulaciones de flujo de aire, mientras que los arquitectos pueden centrarse en aspectos de diseño y estética.
- **Gestión de cambios y actualizaciones:** cuando se realizan cambios en un proyecto, BIM facilita la gestión de revisiones y actualizaciones en tiempo real. Todos los involucrados pueden acceder a la última versión del modelo, lo que mejora la coordinación y reduce el riesgo de errores.
- **Documentación unificada:** generar documentación unificada que abarca todos los aspectos del proyecto. Esto incluye planos, listas de materiales, especificaciones y documentación de construcción, que son coherentes en todas las disciplinas.
- **Comunicación eficaz:** el apoyo multidisciplinario en BIM fomenta una comunicación más efectiva entre los equipos, ya que todos trabajan con un conjunto de datos centralizado y una comprensión compartida del proyecto.
- **Reducción de costos y tiempos de construcción:** la colaboración multidisciplinaria en BIM puede conducir a una mayor eficiencia en el proceso de diseño y construcción, lo

que puede reducir costos y tiempos de construcción.

M. Estándares BIM

Los estándares BIM son un conjunto de normas y especificaciones que definen cómo se debe crear, almacenar y compartir la información BIM. Estos estándares son esenciales para garantizar la interoperabilidad entre diferentes software y disciplinas, y para asegurar la calidad y consistencia de la información. El *building information modeling* (BIM) es una metodología de trabajo colaborativa para la gestión de información de un proyecto de construcción a lo largo de su ciclo de vida. Esta metodología se basa en la creación y uso de un modelo digital de información del edificio (BIM), que contiene datos geométricos, paramétricos y funcionales de todos los elementos del proyecto.

El *Industry foundation classes* (IFC) es un formato de archivo abierto y estandarizado para el intercambio de información BIM entre diferentes software y disciplinas. Este formato permite a los diferentes participantes del proyecto compartir información de manera eficiente y sin problemas, lo que facilita la colaboración y mejora la calidad del proyecto.

Algunos de los estándares BIM más importantes son:

- IFC: Industry Foundation Classes (IFC)
- ISO 19650: Gestión de la información de la construcción - Organización y gestión de la información de la construcción - Principios y conceptos básicos
- PAS 1192: Especificaciones para la entrega de información de la construcción utilizando el formato IFC
- ANSI/ACSM A1100.100: Estándar para la representación digital de información de edificios - Modelo de información de edificios (BIM)

1. IFC

El IFC es un formato de archivo abierto y estandarizado para el intercambio de información BIM. Este formato está desarrollado por buildingSMART International, una organización sin fines de lucro que promueve el uso de BIM en la industria de la construcción.

El IFC permite a los diferentes participantes del proyecto compartir información de manera eficiente y sin problemas, lo que facilita la colaboración y mejora la calidad del proyecto. Algunos de los beneficios de usar IFC (BuildSmart, 2024):

- Interoperabilidad: IFC permite que diferentes software y disciplinas intercambien información sin problemas.

- Calidad de la información: IFC asegura que la información BIM sea precisa, consistente y completa.
- Colaboración: IFC facilita la colaboración entre diferentes participantes del proyecto.
- Eficiencia: IFC puede ahorrar tiempo y dinero al reducir el retrabajo y la duplicación de esfuerzos.

N. Normas ISO 19650

Las normas ISO establecen directrices internacionales para garantizar la interoperabilidad, colaboración eficiente y gestión adecuada de los datos a lo largo del ciclo de vida de un proyecto de construcción. La ISO 19650, en particular, es una de las más importantes y se centra en la organización y digitalización de la información de los edificios y obras de ingeniería civil mediante BIM. Esta serie de normas proporciona un marco estándar para la gestión de la información desde la fase de diseño hasta la construcción y operación, promoviendo un enfoque colaborativo que optimiza procesos y reduce errores (ISO, 2018).

La serie EN ISO 19650 se divide de la siguiente manera:

- ISO 19650-1: definir los principios para la gestión de la información durante el ciclo de vida del proyecto.
- ISO 19650-2: regula la gestión y desarrollo de la información en la fase de desarrollo del proyecto.
- ISO 19650-3: establece los procesos de uso y gestión de la información en la fase de operación.
- ISO 19650-4: cubre el intercambio de información BIM durante las fases de desarrollo y operación (actualmente en elaboración).
- ISO 19650-5: establece los requisitos de seguridad de la información.

O. Obra gris

La obra gris en el contexto de la construcción representa la etapa primordial y estructural de cualquier proyecto edificatorio. En este punto, se ejecutan las labores esenciales que establecen los cimientos sólidos sobre los cuales se erigirá la edificación completa. Estas tareas abarcan desde la preparación del terreno y la colocación de cimientos adecuados hasta la edificación de las estructuras de concreto que conformarán los muros, columnas y vigas principales del edificio.

Además de estas bases físicas, la obra gris también engloba la instalación inicial de sistemas cruciales para el funcionamiento futuro del edificio, como las redes eléctricas y de plomería. Estos sistemas, a menudo invisibles una vez que se completa la construcción, son

vitales para garantizar el correcto suministro de electricidad, agua potable y la disposición adecuada de aguas residuales en el edificio.

La importancia de la obra gris radica en que sienta las bases no solo físicas, sino también funcionales, de la edificación. Es en esta fase donde se definen aspectos clave como la resistencia estructural del edificio, su capacidad para soportar cargas, la distribución eficiente de espacios y la correcta ubicación de las instalaciones básicas. En resumen, la obra gris es la columna vertebral de cualquier construcción, proporcionando la infraestructura necesaria para que posteriormente se puedan realizar los acabados finales que le conferirán su aspecto estético y habitable definitivo.



Ilustración 11. Obra gris en fase de construcción

Fuente: Elaboración propia.

1. Errores comunes en la construcción de obra gris:

- Deficiencias en el diseño estructural: Una de las causas principales de problemas en la obra gris son errores en el diseño estructural, como dimensiones incorrectas de vigas y columnas, falta de refuerzo adecuado, o cálculos incorrectos de cargas. Esto puede llevar a problemas de estabilidad y seguridad estructural (Pujol, 2009).
- Fallas en la Ejecución de Cimientos: Los cimientos mal ejecutados pueden provocar asentamientos diferenciales, grietas en muros y losas, y problemas de nivelación en el edificio. Esto puede deberse a mala compactación del suelo, errores en el trazo de cimentación, o falta de control de calidad en la instalación (Romero, 2015).
- Inadecuada Instalación de Instalaciones Eléctricas y Sanitaria: Errores en la instalación de sistemas eléctricos y sanitarios pueden ocasionar problemas como cortocircuitos, fugas de agua, y falta de cumplimiento de normativas de seguridad. Es crucial seguir los estándares y normas de instalación para evitar estos problemas (Salazar, 2017).
- Falta de Impermeabilización adecuada: La falta de una adecuada impermeabilización en

techos, muros y cimientos puede resultar en filtraciones de agua, humedad, y daños estructurales por corrosión. Es importante utilizar materiales y técnicas de impermeabilización apropiadas para cada área (García, 2013).

- Ausencia de Aislamiento Térmico y Acústico: La falta de aislamiento térmico y acústico puede afectar el confort interior del edificio, aumentando los costos de energía y generando molestias para los ocupantes. Se deben emplear materiales adecuados y seguir las recomendaciones de diseño para garantizar un buen aislamiento (Hernández, 2016).

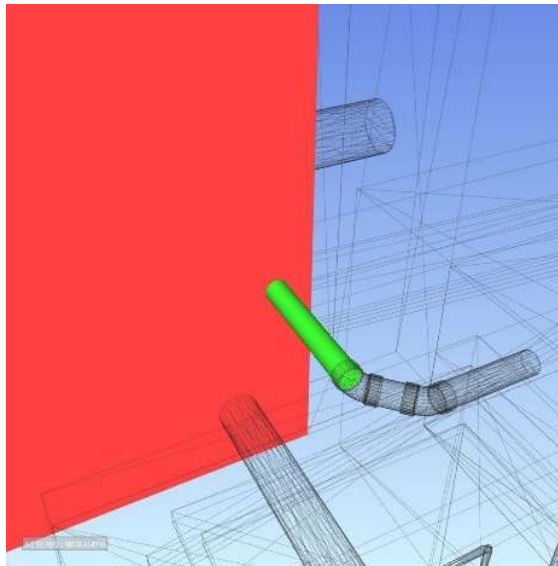


Ilustración 12. Colisión de drenaje con elemento estructural por mala planificación.

Fuente: Elaboración propia.

2. Impacto de los errores en la obra gris:

Los errores en la construcción de obra gris pueden tener un impacto significativo en términos de costos adicionales, retrasos en la entrega del proyecto, reclamaciones legales, y afectación a la reputación del constructor o desarrollador. Es fundamental identificar y corregir estos errores durante la etapa de obra gris para evitar problemas mayores en etapas posteriores.

3. Beneficios de tener un modelo LOD 400 para minimizar fallos estructurales

Para evitar errores en la construcción de obra gris, es crucial contar con un equipo de profesionales calificados, realizar un seguimiento riguroso de los planos y especificaciones técnicas, implementar controles de calidad y supervisión adecuados, y cumplir con las normativas

y estándares de construcción vigentes Además, Tener un modelo de información de construcción (BIM) con un nivel de desarrollo (LOD) 400 puede beneficiar significativamente la minimización de fallos estructurales en varios aspectos:

- Mayor detalle: el LOD 400 proporciona un nivel de detalle preciso en la representación de elementos estructurales como cimientos, columnas, vigas y losas. Esto permite una mejor comprensión de la geometría y las conexiones entre estos elementos, lo que ayuda a identificar posibles conflictos y errores en el diseño antes de la construcción física.
- Análisis más preciso: es posible realizar análisis estructurales más precisos y detallados. Se pueden evaluar cargas, tensiones, deformaciones y otros aspectos que afectan la estabilidad y resistencia de la estructura, lo que ayuda a detectar y corregir posibles fallos estructurales antes de la construcción real.
- Coordinación multidisciplinaria: facilita la coordinación entre diferentes disciplinas involucradas en el proyecto, como arquitectura, ingeniería estructural, instalaciones eléctricas y de plomería, entre otros. Esto permite detectar interferencias y conflictos entre sistemas antes de la construcción, minimizando fallos que podrían surgir debido a la falta de coordinación.
- Simulaciones y pruebas virtuales: es posible realizar simulaciones y pruebas virtuales de la estructura y sus componentes. Esto permite identificar posibles problemas de comportamiento estructural bajo diferentes condiciones de carga, eventos sísmicos u otras situaciones, lo que ayuda a prevenir fallos estructurales potenciales.
- Documentación detallada: permite la generación de documentación detallada y precisa, incluyendo planos de construcción, listas de materiales, especificaciones técnicas y detalles de conexiones. Una documentación completa y precisa contribuye a una ejecución de obra más controlada y reduce la probabilidad de fallos debido a interpretaciones erróneas o falta de información.

VI. METODOLOGÍA

En el diseño de la metodología de trabajo de esta tesis, se planteó la división del proceso en siete etapas fundamentales. Esta estructura se concibió con el objetivo de proporcionar una visión clara y sistemática del desarrollo de la investigación.

El proceso comenzó con una recopilación exhaustiva de información básica sobre el tema, a partir de la cual se abordaron progresivamente aspectos más específicos que conformaron el marco de investigación. Tras la investigación inicial, se estableció un enfoque en el modelo LOD 400, con el fin de definir el alcance y objetivos de la tesis. Luego de obtener información detallada sobre el modelo LOD 400, se presentaron pruebas de los beneficios que este modelo ofreció, los cuales abarcaron desde el apoyo multidisciplinario con otros campos de trabajo, como las instalaciones electromecánicas, hasta los beneficios en la cuantificación y ejecución de la edificación.

A. Recopilación de información

Para iniciar el estudio, se dio un paso crucial al abordar la recopilación de información actual sobre el tema en cuestión. Esta fase proporcionó una visión completa de la situación específica en el país en cuanto al uso de metodologías constructivas relacionadas con *building information modeling* (BIM). Además, constituyó una oportunidad para presentar datos esenciales que respaldaron la prominencia del concreto reforzado como el material preferido en la construcción de mega estructuras verticales en la actualidad.

Al explorar la adopción de metodologías constructivas basadas en BIM en el país, se buscó contextualizar el alcance y la aplicación de estas técnicas a nivel nacional. Esto permitió a los lectores comprender el estado actual de la industria de la construcción en relación con las prácticas avanzadas de modelado de información y su impacto en la eficiencia, precisión y sostenibilidad de los proyectos.

Las principales fuentes de investigación incluyeron artículos científicos y revistas especializadas en el ámbito del BIM, que proporcionaron beneficios sólidos en cuanto a la implementación y ventajas de un modelo BIM. Además, se recopiló información de profesionales del sector, ya que este tema no ha sido explorado exhaustivamente. Las entrevistas y documentos provenientes de estos profesionales fueron fundamentales para validar y enriquecer el tema de la tesis.

B. Diferentes formas de llevar el modelo

El enfoque del modelo de información se centró en el programa Revit 2022. Este software se destacó como uno de los programas más relevantes que trabajan bajo la metodología BIM. Además, es ampliamente utilizado en el sector de la construcción en la región, lo que justificó su selección como base para esta investigación.

C. Modelo para realizar

Se desarrolló el modelado de un edificio de cuatro niveles y un sótano, que incorporó los elementos estructurales más comunes en la región, tales como zapatas, cimientos corridos, columnas, vigas, losas tradicionales, muros y pilotes. El objetivo de este análisis fue demostrar la aplicabilidad de este proceso de modelado en diferentes tipos de construcciones, incluyendo viviendas unifamiliares, hospitales y cualquier otra estructura que utilizara estos elementos estructurales. De esta manera, se evidenció cómo las técnicas empleadas en el modelado de este edificio pueden adaptarse y optimizarse en otros contextos constructivos, permitiendo mejoras en términos de precisión, eficiencia y seguridad estructural.

D. Gestión avanzada de una construcción de concreto reforzado

En el siguiente punto de la metodología, se abordó la descripción de la gestión en la construcción de estructuras de concreto reforzado. Este paso fue crucial porque, al disponer de un modelo preciso, se abrió la puerta a una gestión eficiente de los procesos constructivos asociados. Esto permitió establecer una gestión integral y coherente de la edificación, abarcando todo el ciclo, desde la fase de diseño hasta la culminación de la construcción.

La gestión avanzada en construcción se basó en la capacidad de utilizar el modelo LOD 400 como un recurso para planificar, coordinar y supervisar las diversas etapas del proyecto. Esto implicó una mayor optimización de los recursos, una mayor eficiencia en la asignación de tareas y un control más preciso de los plazos y los costos. La información detallada y precisa contenida en el modelo permitió a los profesionales de la construcción tomar decisiones fundamentadas y proactivas, reduciendo los riesgos y mejorando la calidad general del proyecto.

E. Apoyo multidisciplinario con diferentes ramas de la construcción

El análisis se enfocó en los beneficios que un modelo LOD 400 aporta a diversas disciplinas en el ámbito de la construcción. Este enfoque no solo enriqueció la comprensión del valor de este modelo, sino que también demostró su versatilidad y su capacidad para apoyar a diferentes campos, como la arquitectura, las instalaciones eléctricas e hidrosanitarias. La información presentada estuvo respaldada por la perspectiva y experiencia de profesionales en cada una de

estas disciplinas de la construcción.

Al considerar el impacto de un modelo de alta precisión, los arquitectos, por ejemplo, pudieron aprovechar al máximo las capacidades de diseño avanzado que les permitieron crear edificios más funcionales y estéticamente atractivos sin comprometer la integridad estructural. Las instalaciones eléctricas e hidrosanitarias también se beneficiaron enormemente de un modelo LOD 400, ya que facilitó una planificación y coordinación más eficiente, evitando conflictos y optimizando la distribución de sistemas esenciales en el edificio.

F. Compatibilidad entre softwares

En la etapa final de la investigación, se subrayó la importancia crucial de la compatibilidad entre los diversos softwares empleados en el entorno BIM. La interoperabilidad entre estas herramientas resultó esencial para garantizar un flujo de trabajo eficiente y sin interrupciones. Una vez desarrollado el modelo a nivel de detalle LOD 400, fue indispensable que la información generada pudiera ser transferida y utilizada en otros programas de manera fluida, sin perder precisión ni calidad de los datos.

Esta compatibilidad facilitó el intercambio de información entre los distintos equipos y disciplinas que participaron en el proyecto, optimizando el proceso de gestión de materiales, planificación de tiempos y costos. De lo contrario, la falta de interoperabilidad podría haber derivado en errores, duplicación de trabajo y pérdida de información crítica, afectando el desarrollo y éxito del proyecto.

En un entorno de construcción cada vez más digitalizado y colaborativo, fue vital que los softwares dentro del ecosistema BIM fueran capaces de comunicarse y compartir información de manera eficaz. Esto no solo maximizó la eficiencia del equipo, sino que también mejoró la toma de decisiones en todas las fases del proyecto, desde el diseño conceptual hasta la construcción y mantenimiento del edificio. Por tanto, la investigación no solo resaltó la relevancia de contar con un modelo LOD 400, sino también la necesidad de que los diferentes programas utilizados trabajaran de manera armónica para garantizar resultados óptimos.

VII. RESULTADOS

A. Modelo BIM LOD 400 bajo normativas ACI 318-14

El modelado del edificio de concreto reforzado de 4 niveles y 1 sótano se desarrolló con un enfoque detallado utilizando un nivel de desarrollo (LOD) 400. Este nivel proporcionó un alto grado de precisión y contuvo suficiente información geométrica y de construcción para ser utilizado en las etapas de coordinación y ejecución. Las especificaciones de las conexiones, los detalles de las armaduras y las dimensiones exactas de los componentes fueron incluidas en el modelo.

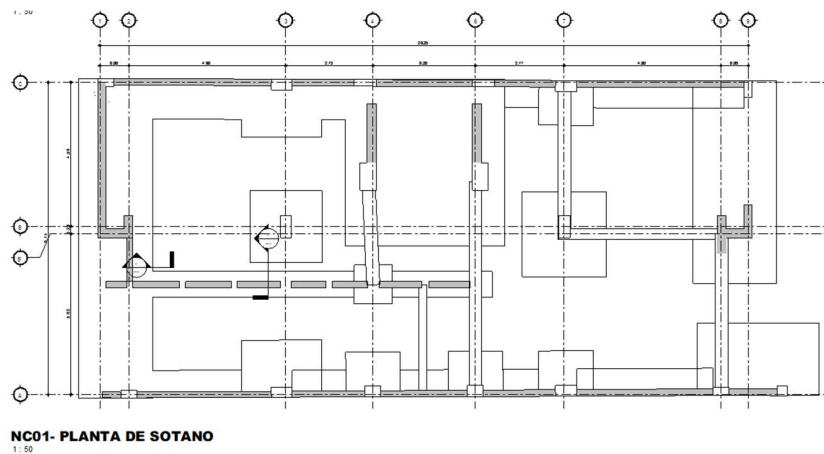


Ilustración 13. Planta de sótano

Fuente: Elaboración propia.

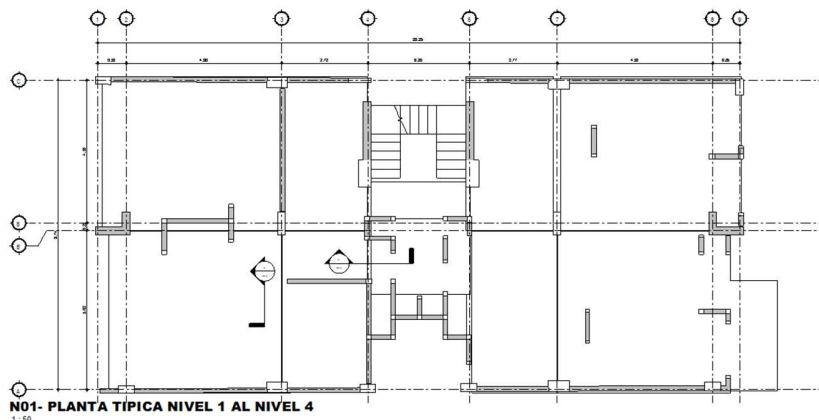


Ilustración 15. Planta típica nivel 1 al nivel 4

Fuente: Elaboración propia.

1. Componentes estructurales

- Pilotes, columnas y zapatas: las columnas han sido dimensionadas considerando tanto cargas verticales como horizontales, respetando los criterios de diseño sísmico y de gravedad. Las zapatas aisladas y corridas fueron diseñadas con refuerzos adecuados para resistir los esfuerzos de cortante y momento que se transmiten desde las columnas hacia el terreno.

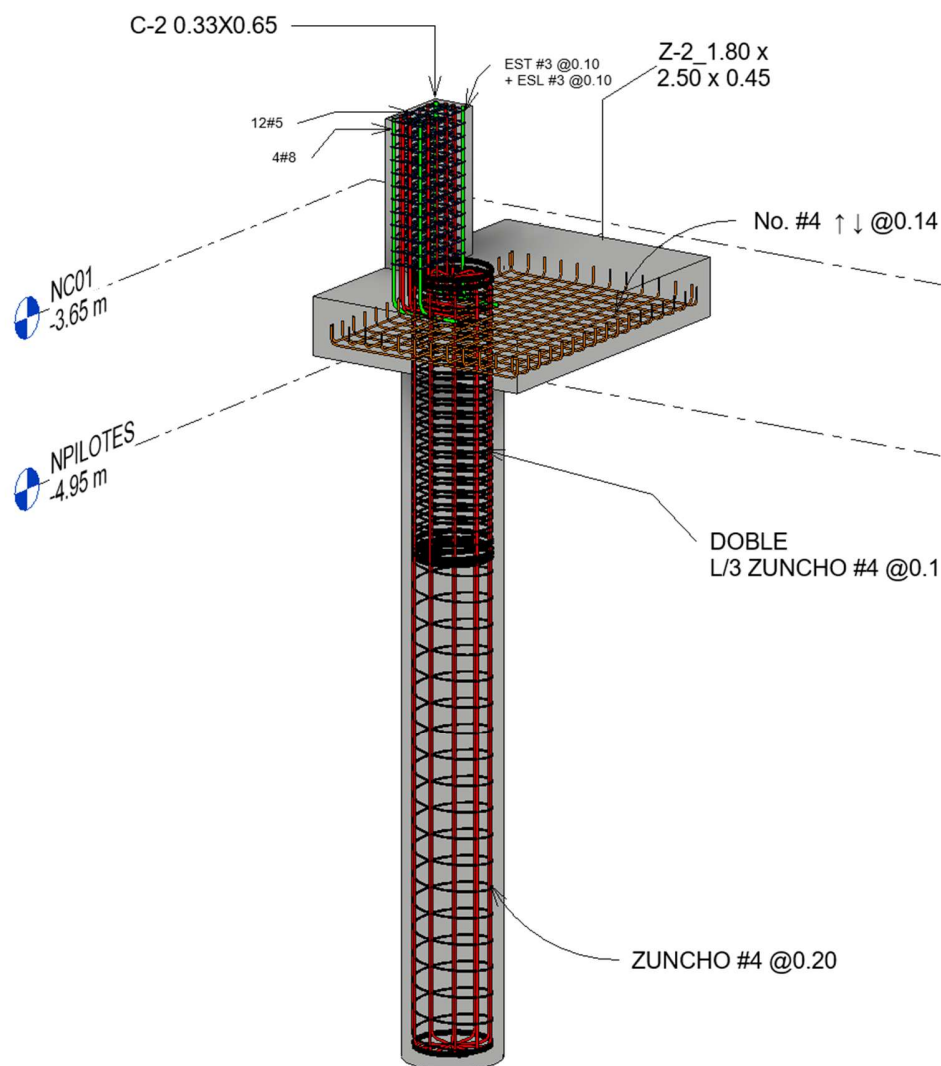
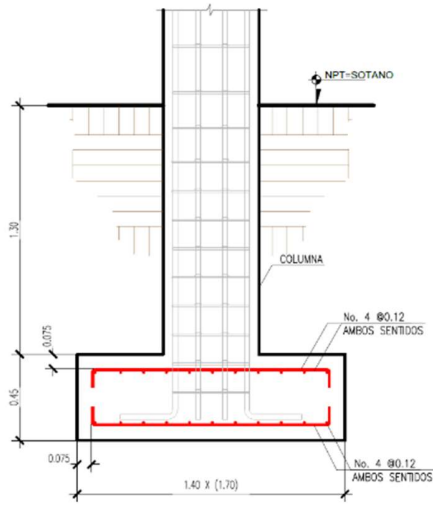


Ilustración 16. Isométrico de unión pilote, zapata y columna.

Fuente: Elaboración propia.

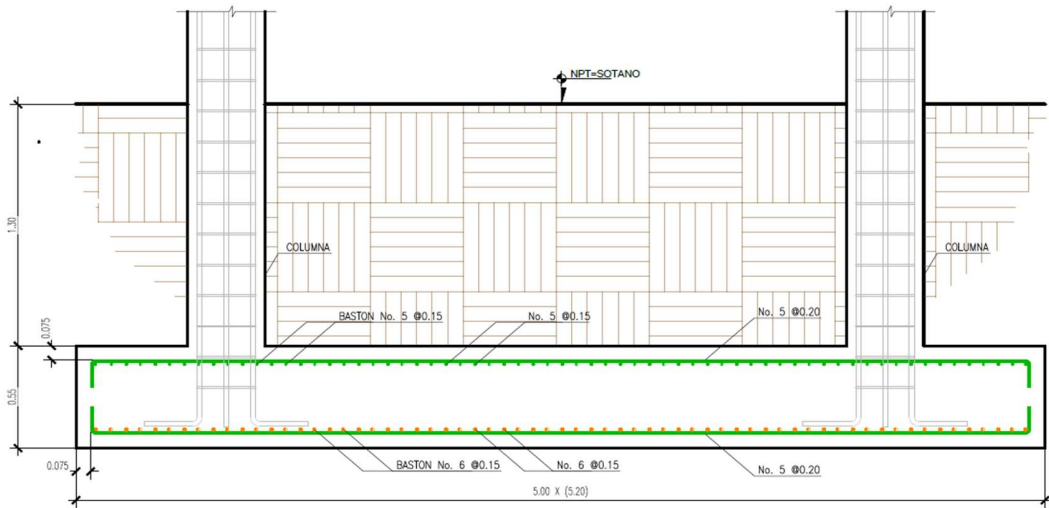


DET. ZAPATA Z-1

ESCALA 1:20

Ilustración 17. Detalle zapata típica

Fuente: Elaboración propia.



DET. ZAPATA Z-7

ESCALA 1:20

Ilustración 18. Detalle zapata combinada

Fuente: Elaboración propia.

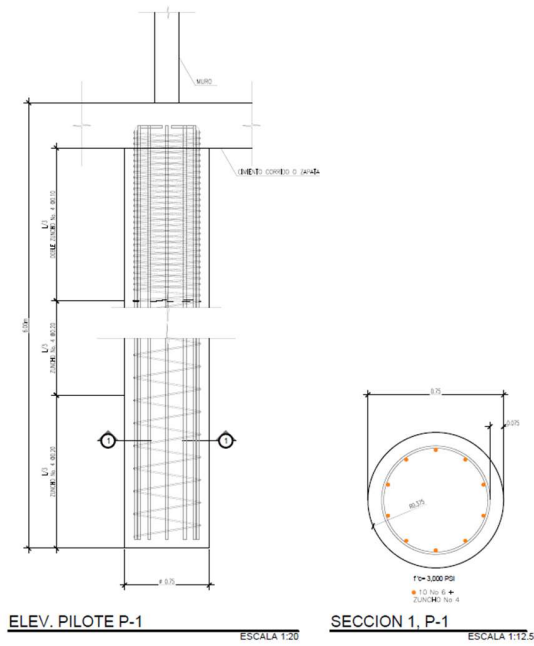


Ilustración 19. Detalle vigas de amarre

Fuente: Elaboración propia.

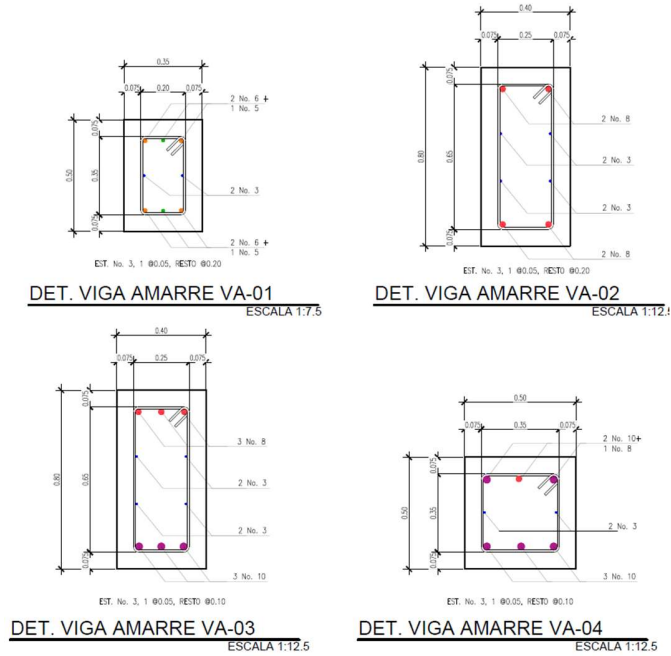


Ilustración 20. Detalle pilotes

Fuente: Elaboración propia

- Vigas y columnas: el sistema de vigas principales soporta las cargas provenientes de losas en el modelo LOD 400, se mostró las conexiones entre vigas y columnas, con los detalles completos de anclaje y refuerzo.

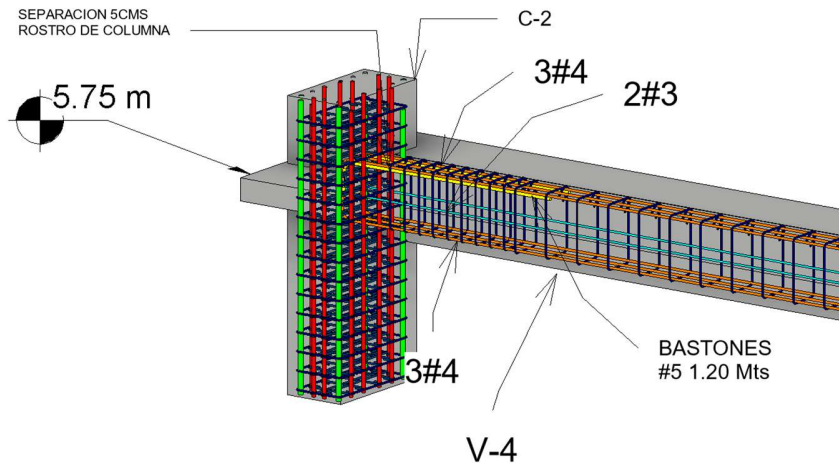


Ilustración 21. Isométrico unión viga columna

Fuente: Elaboración propia.

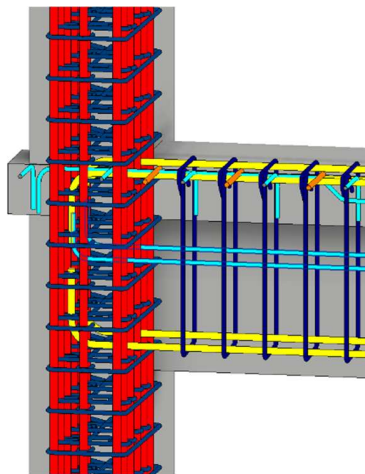


Ilustración 22. Isométrico detalle unión viga columna

Fuente: Elaboración propia.

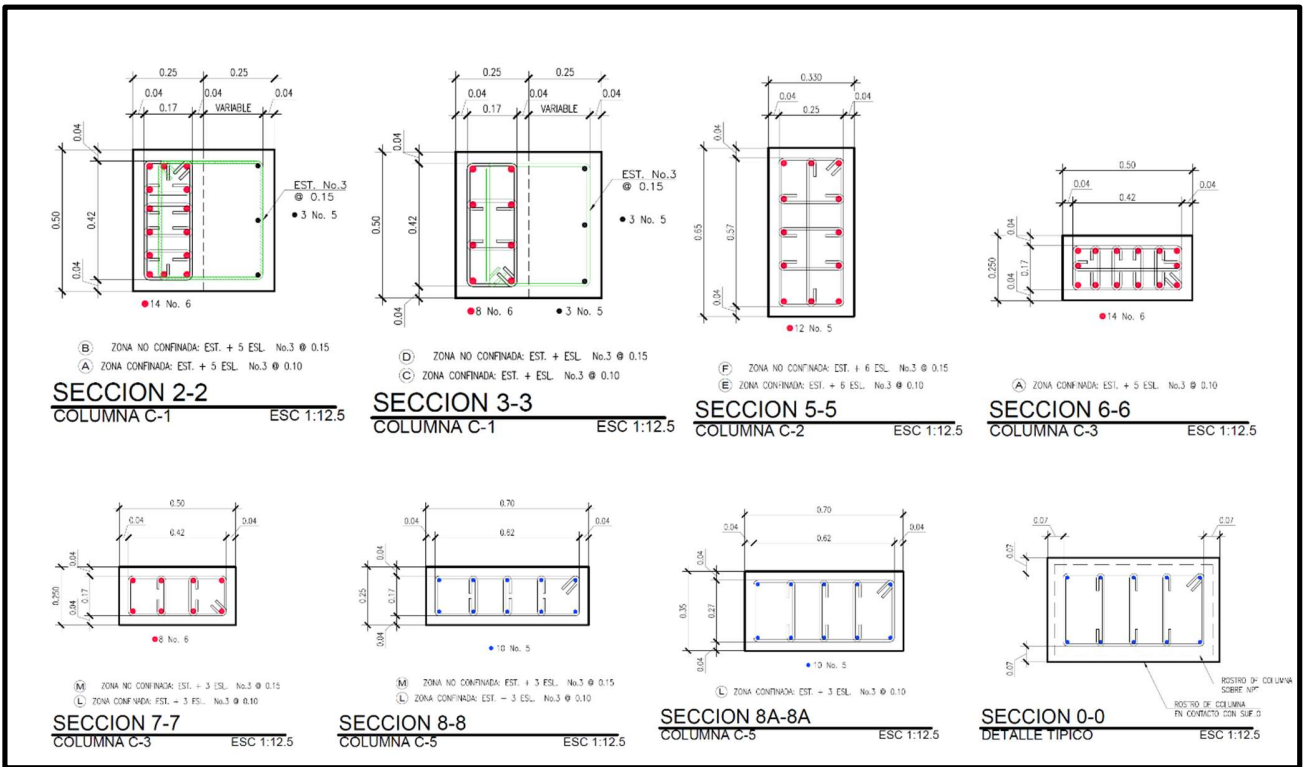


Ilustración 23. Detalles de columnas
Fuente elaboración propia

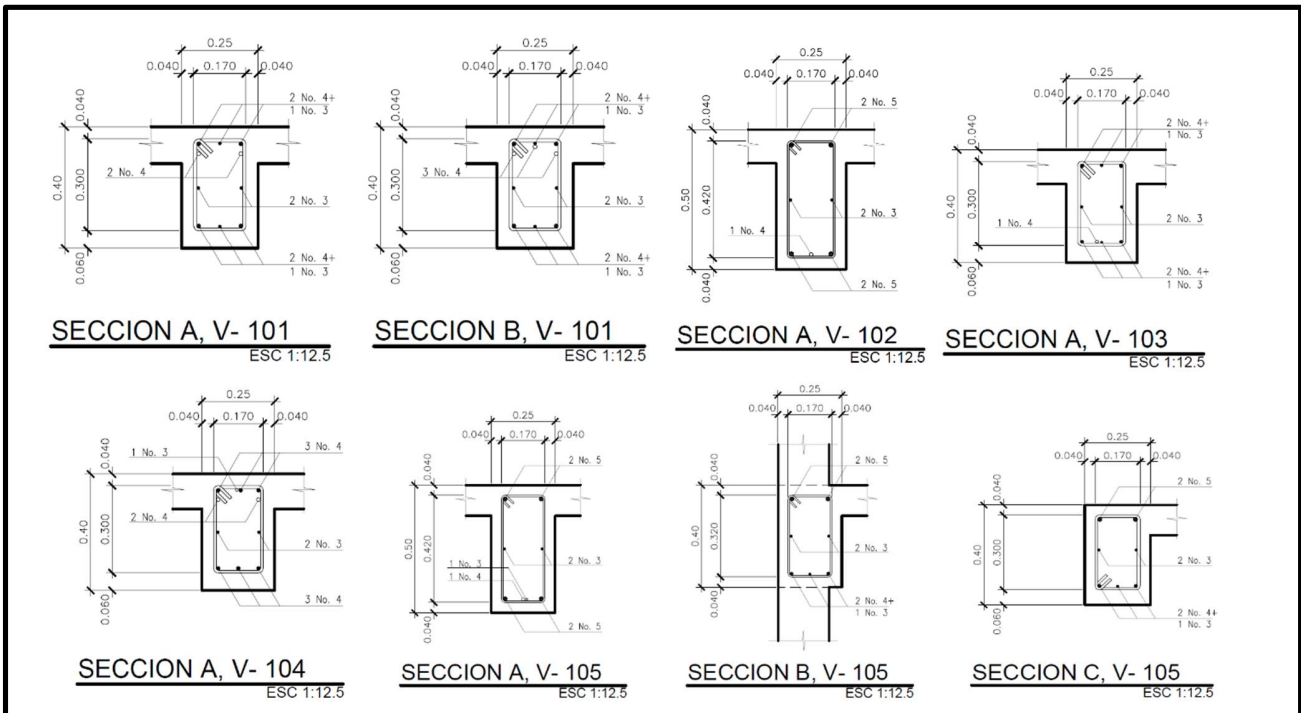


Ilustración 24. Detalles de vigas

Fuente: Elaboración propia

- Muros estructurales: los muros de concreto reforzados fueron modelados como elementos bidimensionales que trabajan en conjunto con los demás componentes estructurales. Se diseñaron como muros tradicionales que incluyen refuerzos verticales y horizontales, así como elementos de confinamiento.

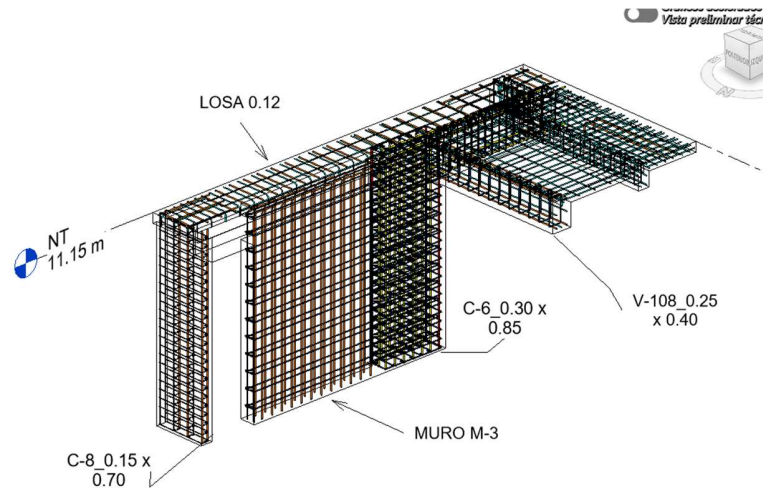


Ilustración 25: Anclaje de muro a un marco viga columna y losa

Fuente: Elaboración propia

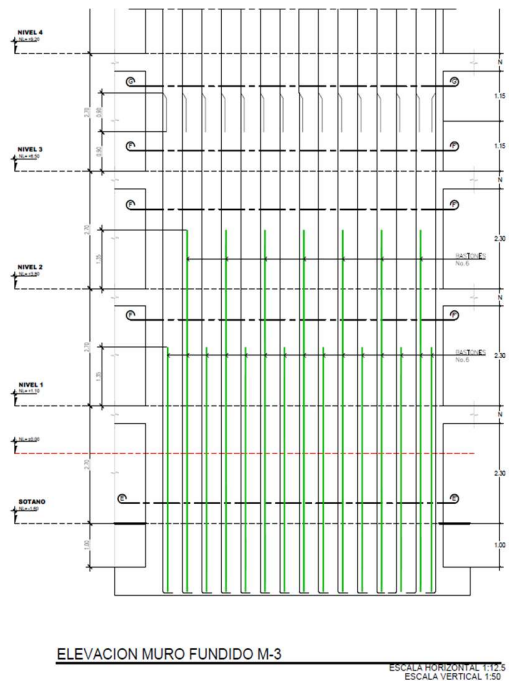


Ilustración 26: Detalle de muro

Fuente: Elaboración propia

- Losas: las losas de entrepisos fueron modeladas como elementos bidimensionales que trabajan en conjunto con las vigas. Se modelaron losas tradicionales las cuales cuentan: rieles, tensiones y bastones. Un tipo de losa muy común en Guatemala.

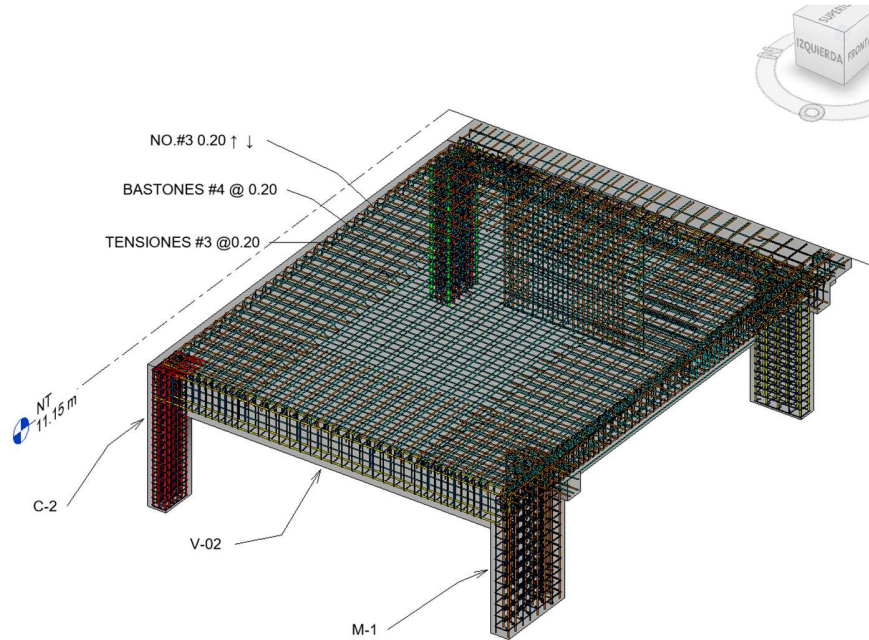


Ilustración 28. Anclaje de losa tradicional a un marco viga columna

Fuente: Elaboración propia.

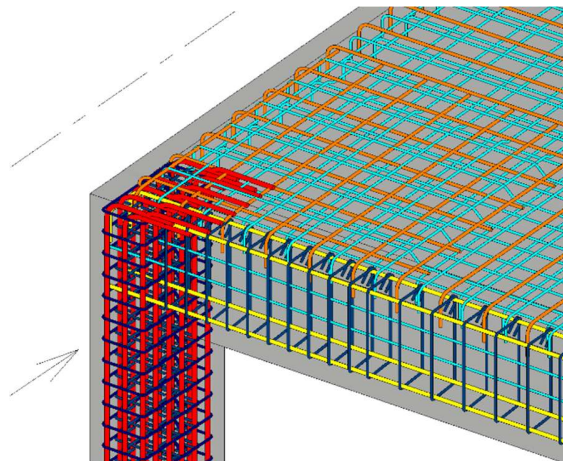


Ilustración 27. Isométrico de losa tradicional.

Fuente: Elaboración propia.

B. Cuantificación de la estructura.

Uno de los objetivos específicos realizados fue la cuantificación automática de concreto y acero a partir del modelo BIM mencionado anteriormente. Este objetivo aprovechó las capacidades avanzadas de las herramientas de modelado de información de edificaciones (BIM) para obtener, de manera precisa y eficiente, las cantidades de materiales necesarios en el proyecto, con un enfoque en los elementos estructurales.

La automatización de esta cuantificación, además de minimizar los errores humanos, optimizó el proceso de planificación y costos, asegurando que el diseño y la ejecución cumplieran con los requerimientos constructivos establecidos desde la fase de planificación hasta la ejecución.

La precisión en la cuantificación de materiales estuvo directamente relacionada con el nivel de detalle del modelo BIM. Para obtener una cuantificación más exacta, fue fundamental que el modelo respetara los mismos parámetros y especificaciones aplicados en la obra, asegurando que los resultados reflejaran de la manera más fiel posible las condiciones reales de construcción.

1. Cuantificación del acero de refuerzo

La cuantificación de acero mediante el modelo BIM con un nivel de desarrollo LOD 400 representó un avance significativo en la precisión y eficiencia del proceso de planificación y gestión de materiales en el proyecto de construcción. En comparación con métodos tradicionales de estimación de cantidades, que eran más propensos a errores y omisiones, el uso del modelo permitió una representación detallada de los componentes estructurales, incluyendo su geometría exacta, uniones y refuerzos necesarios, mejorando notablemente la exactitud en la cuantificación del acero.

En este caso particular, el modelo BIM desarrollado integró información detallada no solo sobre la forma y ubicación del acero, sino también sobre los tipos y tamaños específicos de las barras de refuerzo, lo cual resultó crucial para garantizar una planificación ajustada a las necesidades reales de la obra. Este nivel de detalle facilitó la generación automática de tablas de cantidades coherentes con las especificaciones del diseño, eliminando la posibilidad de inconsistencias que podrían surgir al manejar manualmente grandes volúmenes de información.

Además, la capacidad de aplicar filtros y parámetros en el modelo BIM organizó la cuantificación del acero de manera estructurada, permitiendo separar los requerimientos de cada nivel y del sótano. Esto resultó especialmente útil en un proyecto de múltiples fases, permitiendo ajustar la adquisición de materiales y coordinar la logística en función de las necesidades específicas de cada etapa de la construcción. Así, se logró un proceso de adquisición más eficiente, minimizando el riesgo de sobredimensionamiento o desabastecimiento de acero, lo que

podría haber afectado negativamente los costos y tiempos del proyecto.

Finalmente, es importante destacar que el uso del modelo BIM en LOD 400 no solo optimizó la cuantificación del acero, sino que también mejoró la coordinación entre los diferentes actores involucrados en el proyecto, tales como ingenieros estructurales, constructores y proveedores. Esto facilitó una toma de decisiones más informada y un control más riguroso sobre el uso de los recursos, garantizando la integridad estructural y contribuyendo al éxito general del proyecto.

a) Descripción de resultados de la cuantificación del acero de refuerzo.

En este apartado se presenta una tabla con los criterios más importantes considerados en el análisis y planificación de los recursos necesarios para la obra, asegurando mayor precisión y eficiencia en la planificación.

- Nombre: indica el nombre de la varilla haciendo énfasis al sistema (#2,#3,#4,#5,#6,#8 y #10). Con el cual aparece en el archivo BIM.
- Diámetro de varilla: este parámetro indica el diámetro de la varilla de acero, expresado en pulgadas y fracciones para facilitar su interpretación.
- Longitud total de la varilla: refleja la longitud total de uso de cada varilla, un dato fundamental para dimensionar la cantidad de acero que se requerirá en cada caso.
- Peso en kg : es común comprar las varillas de refuerzo en función de su peso, medido en kilogramos. Este parámetro resulta esencial para realizar los pedidos de materiales correctamente.
- Cantidad de varillas: este es el parámetro más importante, ya que proporciona el número exacto de varillas necesarias para el proyecto. Es relevante destacar que esta cantidad incluye los dobleces de los ganchos y el desarrollo de cada elemento estructural, garantizando así una mayor precisión en la cuantificación.

b) Cuantificación del acero para la cimentación

La cuantificación del acero en cimentación se incluyen el acero total en: zapatas, pilotes, cimiento corrido y vigas de amarre.

Cuantificación de acero para cimentación				
Nombre	Diámetro de varilla (plg)	Longitud total de varilla (Metros)	Peso (kg)	Cantidad varillas (6 mt)
Barra de armadura: #3	3/8	880	1571	147
Barra de armadura: #4	1/2	1662	1672	277
Barra de armadura: #5	5/8	1756	1131	293
Barra de armadura: #6	3/4	525	235	87
Barra de armadura: #8	1	81	30	13
Barra de armadura: #10	1 1/4	52	8	9

Cuadro 4. Tabla de cuantificación del acero de refuerzo en área de cimentación

Fuente: Elaboración propia.

c) Cuantificación del acero en columna

La cuantificación del acero en columnas se consideró la longitud estándar de las varillas, que es de 6 metros. Por esta razón, la cuantificación no se realizó por nivel individual, sino tomando en cuenta los niveles que cada varilla abarcaba en su totalidad.

Cuantificación de acero para columnas de cimentación a nivel 1				
Nombre	Diámetro de varilla (plg)	Longitud total de varilla (Metros)	Peso (kg)	Cantidad varillas (6 mt)
Barra de armadura: #2	1/4	168	672	28
Barra de armadura: #3	3/8	2440	4358	407
Barra de armadura: #4	1/2	95	96	16
Barra de armadura: #5	5/8	196	126	33
Barra de armadura: #6	3/4	684	306	114
Barra de armadura: #8	1	72	27	12

Cuadro 5 Cuantificación del acero de refuerzo en columnas de nivel de cimentación a nivel 1

Fuente: Elaboración propia.

Cuantificación de acero para columnas de nivel 1 y nivel 2				
Nombre	Diámetro de varilla (plg)	Longitud total de varilla (Metros)	Peso (kg)	Cantidad varillas (6 mt)
Barra de armadura: #2	1/4	205	819	34
Barra de armadura: #3	3/8	3033	5416	506
Barra de armadura: #4	1/2	95	96	16
Barra de armadura: #5	5/8	252	163	42
Barra de armadura: #6	3/4	914	409	152
Barra de armadura: #8	1	94	35	16

Cuadro 6. Cuantificación del acero de refuerzo en columnas de nivel 1 a nivel 2

Fuente: Elaboración propia.

Cuantificación de acero para columnas de nivel 3 y nivel 4				
Nombre	Diámetro de varilla (plg)	Longitud total de varilla (Metros)	Peso (kg)	Cantidad varillas (6 mt)
Barra de armadura: #2	1/4	206	823	34
Barra de armadura: #3	3/8	2731	4877	455
Barra de armadura: #4	1/2	94	94	16
Barra de armadura: #5	5/8	248	160	41
Barra de armadura: #6	3/4	752	336	125
Barra de armadura: #8	1	88	33	15

Cuadro 7. Cuantificación del acero de refuerzo en columnas de nivel 3 a nivel 4

Fuente: Elaboración propia.

d) Cuantificación del acero en vigas

La cuantificación del acero en vigas se ordenó por nivel de piso partiendo del nivel de sótano a nivel de techo.

Cuantificación de acero para vigas de sótano				
Nombre	Diámetro de varilla (plg)	Longitud total de varilla (Metros)	Peso (kg)	Cantidad varillas (6 mt)
Barra de armadura: #2	0.2	43	174	7
Barra de armadura: #3	0.38	794	1418	132
Barra de armadura: #4	0.5	231	233	39
Barra de armadura: #5	0.63	156	100	26

Cuadro 8. Cuantificación del acero de refuerzo en vigas de sótano

Fuente: Elaboración propia

Cuantificación de acero para vigas de nivel 1				
Nombre	Diámetro de varilla (plg)	Longitud total de varilla (Metros)	Peso (kg)	Cantidad varillas (6 mt)
Barra de armadura: #2	0.2	43	174	7
Barra de armadura: #3	0.38	825	78	138
Barra de armadura: #4	0.5	226	830	38
Barra de armadura: #5	0.63	146	145	24

Cuadro 9. Cuantificación del acero de refuerzo en vigas de nivel 1

Fuente: Elaboración propia.

Cuantificación de acero para vigas de nivel 2				
Nombre	Diámetro de varilla (plg)	Longitud total de varilla (Metros)	Peso (kg)	Cantidad varillas (6 mt)
Barra de armadura: #2	0.2	43	174	7
Barra de armadura: #3	0.38	796	78	133
Barra de armadura: #4	0.5	226	801	38
Barra de armadura: #5	0.63	144	146	24

Cuadro 10. Cuantificación del acero de refuerzo en vigas de nivel 2.

Fuente: Elaboración propia.

Cuantificación de acero para vigas de nivel 3				
Nombre	Diámetro de varilla (plg)	Longitud total de varilla (Metros)	Peso (kg)	Cantidad varillas (6 mt)
Barra de armadura: #2	0.2	43	174	7
Barra de armadura: #3	0.38	949	78	158
Barra de armadura: #4	0.5	340	955	57
Barra de armadura: #5	0.63	197	219	33

Cuadro 11 Cuantificación del acero de refuerzo en vigas de nivel 3.

Fuente: Elaboración propia.

Cuantificación de acero para vigas de nivel 4				
Nombre	Diámetro de varilla (plg)	Longitud total de varilla (Metros)	Peso (kg)	Cantidad varillas (6 mt)
Barra de armadura: #2	0.2	43	174	7
Barra de armadura: #3	0.38	814	78	136
Barra de armadura: #4	0.5	247	819	41
Barra de armadura: #5	0.63	148	159	25

Cuadro 12. Cuantificación del acero de refuerzo en vigas de nivel 4

Fuente: Elaboración propia.

Cuantificación de acero para vigas de nivel de techo				
Nombre	Diámetro de varilla (plg)	Longitud total de varilla (Metros)	Peso (kg)	Cantidad varillas (6 mt)
Barra de armadura: #2	0.2	43	174	7
Barra de armadura: #3	0.38	802	78	134
Barra de armadura: #4	0.5	226	807	38
Barra de armadura: #5	0.63	148	146	25

Cuadro 13. cuantificación del acero de refuerzo en vigas de nivel de techo

Fuente: Elaboración propia.

e) Cuantificación del acero en losas

La cuantificación del acero en losas se ordenó por nivel de piso partiendo del nivel de sótano a nivel de techo.

Cuantificación de acero para losa sótano				
Nombre	Diámetro de varilla (plg)	Longitud total de varilla (Metros)	Peso (kg)	Cantidad varillas (6 mt)
Barra de armadura: #3	3/8	2185.34	3902	364
Barra de armadura: #4	1/2	597.35	601	100

Cuadro 14. Cuantificación del acero de refuerzo en losa de nivel de sótano

Fuente: Elaboración propia.

Cuantificación de acero para losa nivel 1				
Nombre	Diámetro de varilla (plg)	Longitud total de varilla (Metros)	Peso (kg)	Cantidad varillas (6 mt)
Barra de armadura: #3	3/8	2627.71	4692	438
Barra de armadura: #4	1/2	861.17	866	144

Cuadro 15. Cuantificación del acero de refuerzo en losa de nivel 1

Fuente: Elaboración propia.

Cuantificación de acero para losa nivel 2				
Nombre	Diámetro de varilla (plg)	Longitud total de varilla (Metros)	Peso (kg)	Cantidad varillas (6 mt)
Barra de armadura: #3	3/8	2626.02	4689	438
Barra de armadura: #4	1/2	792.75	798	133

Cuadro 16. Cuantificación del acero de refuerzo en losa de nivel 2

Fuente: Elaboración propia.

Cuantificación de acero para losa nivel 3				
Nombre	Diámetro de varilla (plg)	Longitud total de varilla (Metros)	Peso (kg)	Cantidad varillas (6 mt)
Barra de armadura: #3	0.38	2626.02	4689	438
Barra de armadura: #4	0.5	797.03	802	133

Cuadro 17. Cuantificación del acero de refuerzo en losa de nivel 3.

Fuente: Elaboración propia.

Cuantificación de acero para losa nivel 4				
Nombre	Diámetro de varilla (plg)	Longitud total de varilla (Metros)	Peso (kg)	Cantidad varillas (6 mt)
Barra de armadura: #3	3/8	2626.02	4689	438
Barra de armadura: #4	1/2	797.03	802	133

Cuadro 18. Cuantificación del acero de refuerzo en losa de nivel 4

Fuente: Elaboración propia.

Cuantificación de acero para nivel de techo				
Nombre	Diámetro de varilla (plg)	Longitud total de varilla (Metros)	Peso (kg)	Cantidad varillas (6 mt)
Barra de armadura: #3	3/8	2626.02	4689	438
Barra de armadura: #4	1/2	797.03	802	133

Cuadro 19. Cuantificación del acero de refuerzo en losa techo

Fuente: Elaboración propia.

f) Cuantificación del acero en muros

La cuantificación del acero en muros se ordenó por el largo de varillas que pasan por cada piso partiendo del nivel de sótano a nivel de techo.

Cuantificación de acero para muros de sótano a nivel 1				
Nombre	Diámetro de varilla (plg)	Longitud total de varilla (Metros)	Peso (kg)	Cantidad varillas (6 mt)
Barra de armadura: #3	3/8	751	1341	125
Barra de armadura: #4	1/2	660	664	110
Barra de armadura: #5	5/8	19	12	3

Cuadro 20. Cuantificación del acero de muros de sótano a nivel 1

Fuente: Elaboración propia.

Cuantificación de acero para muros de nivel 1 y 2				
Nombre	Diámetro de varilla (plg)	Longitud total de varilla (Metros)	Peso (kg)	Cantidad varillas (6 mt)
Barra de armadura: #3	3/8	868	1550	145
Barra de armadura: #4	1/2	690	694	115
Barra de armadura: #5	5/8	25	16	4

Cuadro 21. Cuantificación del acero de muros de nivel 1 y 2

Fuente: Elaboración propia.

Cuantificación de acero para muros de nivel 3 y 4				
Nombre	Diámetro de varilla (plg)	Longitud total de varilla (Metros)	Peso (kg)	Cantidad varillas (6 mt)
Barra de armadura: #3	3/8	842	1504	140.356
Barra de armadura: #4	1/2	616	620	102.688
Barra de armadura: #5	5/8	25	16	4

Cuadro 22. Tabla de cuantificación del acero de muros de nivel 3 y 4.

Fuente: Elaboración propia

2. Cuantificación del concreto

La cuantificación del concreto mediante el modelo BIM con LOD 400 es un aspecto crucial no solo para la gestión eficiente de los recursos, sino también para la evaluación del impacto ambiental del proyecto, particularmente en términos de huella de carbono. El concreto es uno de los materiales de construcción más utilizados a nivel mundial, pero su producción está asociada a altos niveles de emisiones de CO₂ debido al proceso de fabricación del cemento, que es una de las fuentes más grandes de emisiones industriales de gases de efecto invernadero.

El uso de un modelo BIM de alto detalle permitió una cuantificación precisa del concreto, calculando exactamente los volúmenes necesarios para cada elemento estructural, como cimientos, columnas, vigas, losas y muros de sótano. Esta precisión fue fundamental para evitar el sobreconsumo de materiales, lo que no solo tiene implicaciones económicas, sino también ambientales. La sobreestimación de concreto puede llevar a la compra excesiva de material, lo que no solo incrementa los costos del proyecto, sino que también aumenta la cantidad de residuos y la energía requerida para su producción, transporte y colocación.

Por otro lado, una cuantificación subestimada puede causar retrasos en la obra debido a la falta de material, lo que también genera impactos negativos en términos de transporte adicional y consumo energético innecesario. El modelo BIM, al ofrecer un cálculo exacto del concreto necesario para cada etapa de la construcción, ayuda a optimizar la cadena de suministro, reduciendo estos impactos y promoviendo un uso más racional de los recursos.

Desde el punto de vista ambiental, la cuantificación exacta del concreto es clave para reducir la huella de carbono del proyecto. Al saber con exactitud cuánto concreto será necesario, es posible planificar estrategias para mitigar su impacto.

a) Descripción de resultados de la cuantificación del concreto

En este apartado se presenta una tabla con los criterios más importantes considerados en el análisis y planificación de los recursos necesarios para la obra, asegurando mayor precisión y eficiencia en la planificación.

- Nivel: indica el nivel de ubicación del elemento.
- Tipo: este parámetro indica el tipo de elemento estructural pudiendo ser columnas, vigas, pilotes entre otros.
- Volumen: este parámetro es el más importante de las tablas ya se dan los volúmenes de concreto de cada elemento.
- Recuento: este indica la cantidad de elementos que se encuentran el nivel, únicamente marca los que son iguales en su forma física.
- Longitud: este da la longitud lineal de cada elemento.

b) Cuantificación del concreto para la cimentación

La cuantificación del concreto en cimentación se incluye: zapatas, pilotes y cimiento corrido.

Cuantificación de concreto en cimentación				
Nivel	Tipo	Volumen	Recuento	Longitud
NC01	CC-1_0.35 x 0.80	2.64 m ³	1	11.11
NC01	CC-2_0.35 x 0.85	5.24 m ³	7	22.85 m
NC01	CC-3_0.35 x 1.25	2.05 m ³	3	9.85 m
NC01	CC-4_0.55 x 2.30	11.72 m ³	1	9.97 m
NC01	P-01_D=0.75	5.30 m ³	2	0.00 m
NC01	Z-1_1.40 x 1.70 x 0.45	4.28 m ³	4	6.80 m
NC01	Z-2_1.80 x 2.50 x 0.45	3.85 m ³	2	5.00 m
NC01	Z-3_2.25 x 2.25 x 0.55	2.78 m ³	1	2.25 m
NC01	Z-4_2.65 x 2.65 x 0.55	3.86 m ³	1	2.65 m
NC01	Z-5_2.25 x 3.80 x 0.45	3.85 m ³	1	3.80 m
NC01	Z-6_2.60 x 6.30 x 0.55	9.01 m ³	1	6.30 m
NC01	Z-7_5.00 x 5.20 x 0.55	14.30 m ³	1	5.20 m
NC01	Z-8_1.20 x 1.20 x 0.45	0.65 m ³	1	1.20 m
Total		69.54 m ³		

Cuadro 23. Cuantificación del concreto en cimentación

Fuente: Elaboración propia.

c) Cuantificación del concreto para las columnas

Cuantificación de concreto en columnas sótano				
Nivel base	Tipo	Volumen	Recuento	Longitud
NSOTANO	C-1_0.25 x 0.50	1.31 m ³	3	12.00 m
NSOTANO	C-2_0.33 x 0.65	3.27 m ³	4	16.00 m
NSOTANO	C-3_0.25 x 0.50	0.48 m ³	1	4.00 m
NSOTANO	C-5_0.35 x 0.70	1.88 m ³	2	8.00 m
NSOTANO	C-6_0.50 x 0.85	3.22 m ³	2	8.00 m
NSOTANO	C-7_0.35 x 0.50	1.38 m ³	2	8.00 m
NSOTANO	C-8_0.20 x 0.70	1.06 m ³	2	8.00 m
NSOTANO	C-9_0.30 x 0.30	0.35 m ³	1	4.00 m
Total		12.6m ³		

Cuadro 24. Cuantificación de concreto en columnas sótano

Fuente: Elaboración propia.

Cuantificación de concreto en columnas nivel 1				
Nivel base	Tipo	Volumen	Recuento	Longitud
N01	C-1_0.25 x 0.50	0.97 m ³	3	8.10 m
N01	C-2_0.33 x 0.65	2.22 m ³	4	10.80 m
N01	C-3_0.25 x 0.50	0.33 m ³	1	2.70 m
N01	C-5_0.25 x 0.70	0.92 m ³	2	5.40 m
N01	C-6_0.40 x 0.85	1.77 m ³	2	5.40 m
N01	C-7_0.25 x 0.50	0.66 m ³	2	5.40 m
N01	C-8_0.15 x 0.70	0.54 m ³	2	5.40 m
Total		7.41 m ³		

Cuadro 25. Cuantificación del concreto para columnas de nivel 1

Fuente: Elaboración propia.

Cuantificación de concreto en columnas nivel 2				
Nivel base	Tipo	Volumen	Recuento	Longitud
N02	C-1_0.25 x 0.50	0.98 m ³	3	8.10 m
N02	C-2_0.33 x 0.65	2.22 m ³	4	10.80 m
N02	C-3_0.25 x 0.50	0.33 m ³	1	2.70 m
N02	C-5_0.25 x 0.70	0.92 m ³	2	5.40 m
N02	C-6_0.30 x 0.85	1.33 m ³	2	5.40 m
N02	C-7_0.25 x 0.50	0.66 m ³	2	5.40 m
N02	C-8_0.15 x 0.70	0.54 m ³	2	5.40 m
Total		6.98 m ³		

Cuadro 26. Cuantificación del concreto para columnas de nivel 2

Fuente: Elaboración propia.

Cuantificación de concreto en columnas nivel 3				
Nivel base	Tipo	Volumen	Recuento	Longitud
N03	C-1_0.25 x 0.50	0.97 m ³	3	8.10 m
N03	C-2_0.33 x 0.65	2.22 m ³	4	10.80 m
N03	C-3_0.25 x 0.50	0.33 m ³	1	2.70 m
N03	C-5_0.25 x 0.70	0.92 m ³	2	5.40 m
N03	C-6_0.30 x 0.85	1.33 m ³	2	5.40 m
N03	C-7_0.25 x 0.50	0.66 m ³	2	5.40 m
N03	C-8_0.15 x 0.70	0.54 m ³	2	5.40 m
Total		6.97 m ³		

Cuadro 27. Cuantificación de concreto en columnas nivel 3

Fuente: Elaboración propia

Cuantificación de concreto en columnas nivel 4				
Nivel base	Tipo	Volumen	Recuento	Longitud
N04	C-1_0.25 x 0.50	0.97 m ³	3	8.10 m
N04	C-2_0.33 x 0.65	2.22 m ³	4	10.80 m
N04	C-3_0.25 x 0.50	0.33 m ³	1	2.70 m
N04	C-5_0.25 x 0.70	0.92 m ³	2	5.40 m
N04	C-6_0.30 x 0.85	1.33 m ³	2	5.40 m
N04	C-7_0.25 x 0.50	0.66 m ³	2	5.40 m
N04	C-8_0.15 x 0.70	0.54 m ³	2	5.40 m
Total		6.97 m ³		

Cuadro 28. Cuantificación de concreto en columnas nivel 4

Fuente: Elaboración propia.

d) Cuantificación del concreto para las vigas

Cuantificación de concreto en vigas nivel sótano				
Nivel base	Tipo	Volumen	Recuento	Longitud
NSOTANO	V-101_0.25 x 0.40	1.01 m ³	4	16.14 m
NSOTANO	V-102_0.25 x 0.50	0.00 m ³	1	4.57 m
NSOTANO	V-103_0.25 x 0.40	0.72 m ³	2	9.76 m
NSOTANO	V-104_0.25 x 0.40	1.39 m ³	4	18.09 m
NSOTANO	V-105_0.25 x 0.50	1.34 m ³	2	12.44 m
NSOTANO	V-106_0.25 x 0.50	0.35 m ³	1	4.25 m
NSOTANO	V-107_0.15 x 0.30	0.22 m ³	2	6.50 m
NSOTANO	V-109_0.20 x 0.30	0.18 m ³	1	3.25 m
NSOTANO	VA-01_0.35 x 0.50	0.51 m ³	1	4.93 m
NSOTANO	VA-02_0.40 x 0.80	1.00 m ³	1	4.45 m
NSOTANO	VA-03_0.40 x 0.80	1.86 m ³	2	9.87 m
NSOTANO	VA-04_0.40 x 0.80	0.83 m ³	1	4.92 m
Total		9.41m ³		

Cuadro 29. Cuantificación de concreto en vigas nivel sótano

Fuente: Elaboración propia

Cuantificación de concreto en vigas nivel 1				
Nivel base	Tipo	Volumen	Recuento	Longitud
N01	V-101_0.25 x 0.40	1.01 m ³	4	16.14 m
N01	V-102_0.25 x 0.50	0.00 m ³	1	4.57 m
N01	V-103_0.25 x 0.40	0.62 m ³	2	9.76 m
N01	V-104_0.25 x 0.40	1.30 m ³	4	18.09 m
N01	V-105_0.25 x 0.50	1.32 m ³	2	12.44 m
N01	V-106_0.25 x 0.50	0.35 m ³	1	4.25 m
N01	V-107_0.15 x 0.30	0.19 m ³	2	6.50 m
N01	V-108_0.25 x 0.40	0.25 m ³	1	3.25 m
N01	V-109_0.20 x 0.30	0.13 m ³	1	3.25 m
N01	VS-105_0.25 x 0.40	0.09 m ³	2	6.06 m
Total		5.26m ³		

Cuadro 30. Cuantificación de concreto en vigas nivel 2

Fuente: Elaboración propia.

Cuantificación de concreto en vigas nivel 2				
Nivel base	Tipo	Volumen	Recuento	Longitud
N02	V-101_0.25 x 0.40	1.02 m ³	4	16.11 m
N02	V-102_0.25 x 0.50	0.54 m ³	1	4.60 m
N02	V-103_0.25 x 0.40	0.66 m ³	2	9.76 m
N02	V-104_0.25 x 0.40	1.30 m ³	4	18.09 m
N02	V-105_0.25 x 0.40	0.09 m ³	2	5.89 m
N02	V-105_0.25 x 0.50	1.34 m ³	2	12.44 m
N02	V-106_0.25 x 0.50	0.43 m ³	1	4.28 m
N02	V-107_0.15 x 0.30	0.19 m ³	2	6.50 m
N02	V-108_0.25 x 0.40	0.25 m ³	1	3.25 m
N02	V-109_0.20 x 0.30	0.13 m ³	1	3.25 m
N02	V-110_0.15 x 0.20	0.02 m ³	1	0.70 m
Total		5.97m ³		

Cuadro 31. Cuantificación de concreto en vigas nivel 2

Fuente: Elaboración propia.

Cuantificación de concreto en vigas nivel 3				
Nivel base	Tipo	Volumen	Recuento	Longitud
N03	V-101_0.25 x 0.40	1.02 m ³	4	16.11 m
N03	V-102_0.25 x 0.50	0.54 m ³	2	9.17 m
N03	V-103_0.25 x 0.40	0.66 m ³	2	9.76 m
N03	V-104_0.25 x 0.40	1.30 m ³	4	18.09 m
N03	V-105_0.25 x 0.40	0.12 m ³	2	5.89 m
N03	V-105_0.25 x 0.50	1.33 m ³	2	12.44 m
N03	V-106_0.25 x 0.50	0.43 m ³	1	4.28 m
N03	V-107_0.15 x 0.30	0.19 m ³	2	6.50 m
N03	V-108_0.25 x 0.40	0.25 m ³	1	3.25 m
N03	V-109_0.20 x 0.30	0.13 m ³	1	3.25 m
N03	V-110_0.15 x 0.20	0.02 m ³	1	0.70 m
Total		5.99m ³		

Cuadro 32. Cuantificación de concreto en vigas nivel 3

Fuente: Elaboración propia.

Cuantificación de concreto en vigas nivel 4				
Nivel base	Tipo	Volumen	Recuento	Longitud
N04	V-101_0.25 x 0.40	1.02 m ³	4	16.11 m
N04	V-102_0.25 x 0.50	0.54 m ³	1	4.60 m
N04	V-103_0.25 x 0.40	0.66 m ³	2	9.76 m
N04	V-104_0.25 x 0.40	1.30 m ³	4	18.09 m
N04	V-105_0.25 x 0.40	0.14 m ³	2	5.89 m
N04	V-105_0.25 x 0.50	1.33 m ³	2	12.44 m
N04	V-106_0.25 x 0.50	0.43 m ³	1	4.28 m
N04	V-107_0.15 x 0.30	0.19 m ³	2	6.50 m
N04	V-108_0.25 x 0.40	0.25 m ³	1	3.25 m
N04	V-109_0.20 x 0.30	0.13 m ³	1	3.25 m
N04	V-110_0.15 x 0.20	0.02 m ³	1	0.70 m
Total		6.01m ³		

Cuadro 33. Cuantificación de concreto en vigas nivel 4

Fuente: Elaboración propia.

Cuantificación de concreto en vigas nivel de techo				
Nivel base	Tipo	Volumen	Recuento	Longitud
NT	V-101_0.25 x 0.40	1.02 m ³	4	16.11 m
NT	V-102_0.25 x 0.50	0.54 m ³	1	4.60 m
NT	V-103_0.25 x 0.40	0.66 m ³	2	9.76 m
NT	V-104_0.25 x 0.40	1.30 m ³	4	18.09 m
NT	V-105_0.25 x 0.50	1.33 m ³	2	12.44 m
NT	V-106_0.25 x 0.50	0.43 m ³	1	4.28 m
NT	V-107_0.15 x 0.30	0.19 m ³	2	6.50 m
NT	V-108_0.25 x 0.40	0.00 m ³	1	3.25 m
NT	V-109_0.20 x 0.30	0.13 m ³	1	3.25 m
NT	V-405_0.25 x 0.40	0.14 m ³	2	5.88 m
NT	V-408_0.25 x 0.40	0.25 m ³	1	3.25 m
NT	V-410_0.15 x 0.20	0.02 m ³	1	0.70 m
Total		6.01m ³		

Cuadro 34. Cuantificación de concreto en vigas de techo

Fuente: Elaboración propia.

e) Cuantificación del concreto para las losas

Cuantificación de concreto en losas			
Nivel base	Tipo	Volumen	Recuento
NSOTANO	00_Losa_0.12	17.65 m ³	9
N01	00_Losa_0.12	21.95 m ³	12
N02	00_Losa_0.12	21.33 m ³	12
N03	00_Losa_0.12	21.33 m ³	12
N04	00_Losa_0.12	21.33 m ³	12
NTECHO	00_Losa_0.12	23.23 m ³	12
Total		126.81 m ³	

Cuadro 35. Cuantificación de concreto en losas

Fuente: Elaboración propia.

f) Cuantificación del concreto para los muros

Cuantificación de concreto en muros sótano				
Nivel base	Tipo	Volumen	Recuento	Longitud
Nsotano	M-1_MuroDeConcreto_0.25	4.55 m ³	1	4.70 m
Nsotano	M-1_MuroDeConcreto_0.30	1.80 m ³	2	1.37 m
Nsotano	M-2_MuroDeConcreto_0.25	0.75 m ³	1	0.90 m
Nsotano	M-2_MuroDeConcreto_0.30	2.28 m ³	2	1.99 m
Nsotano	M-3_MuroDeConcreto_0.30	4.42 m ³	2	3.68 m
Total		13.8 m ³	242	286.70 m

Cuadro 36. Cuantificación de concreto en muros sótano

Fuente: Elaboración propia.

Cuantificación de concreto en muros nivel 1				
Nivel base	Tipo	Volumen	Recuento	Longitud
N01	M-1_MuroDeConcreto_0.25	1.05 m ³	2	1.55 m
N01	M-2_MuroDeConcreto_0.25	1.04 m ³	2	1.54 m
N01	M-3_MuroDeConcreto_0.25	2.48 m ³	2	3.68 m
Total		4.57 m ³		

Cuadro 37. Cuantificación de concreto en muros nivel 1

Fuente: Elaboración propia.

Cuantificación de concreto en muros nivel 2				
Nivel base	Tipo	Volumen	Recuento	Longitud
N01	M-1_MuroDeConcreto_0.25	1.05 m ³	2	1.55 m
N01	M-2_MuroDeConcreto_0.25	1.04 m ³	2	1.54 m
N01	M-3_MuroDeConcreto_0.25	2.48 m ³	2	3.68 m
Total		4.57 m ³		

Cuadro 38. Cuantificación de concreto en muros nivel 2

Fuente: Elaboración propia.

Cuantificación de concreto en muros nivel 3				
Nivel base	Tipo	Volumen	Recuento	Longitud
N01	M-1_MuroDeConcreto_0.25	1.05 m ³	2	1.55 m
N01	M-2_MuroDeConcreto_0.25	1.04 m ³	2	1.54 m
N01	M-3_MuroDeConcreto_0.25	2.48 m ³	2	3.68 m
Total		4.57 m ³		

Cuadro 39. Cuantificación de concreto en muros nivel 3

Fuente: Elaboración propia.

Cuantificación de concreto en muros nivel 4,				
Nivel base	Tipo	Volumen	Recuento	Longitud
N01	M-1_MuroDeConcreto_0.25	1.05 m ³	2	1.55 m
N01	M-2_MuroDeConcreto_0.25	1.04 m ³	2	1.54 m
N01	M-3_MuroDeConcreto_0.25	2.48 m ³	2	3.68 m
Total		4.57 m ³		

Cuadro 40. Cuantificación de concreto en muros nivel 4

Fuente: Elaboración propia.

C. Apoyo a las diferentes disciplinas mediante el modelo.

La investigación utilizó un modelo BIM (*building information modeling*) con un Nivel de desarrollo (LOD) 400 en concreto reforzado, lo que llevó a una integración efectiva entre diversas disciplinas de construcción, tales como electricidad, fontanería, mecánica y arquitectura. Este modelo detallado facilitó la coordinación y la detección temprana de conflictos, además de haberse implementado en programas de realidad aumentada (AR) para mejorar la visualización y la toma de decisiones en el sitio de construcción. Esta herramienta resultó especialmente útil al vincular las plantillas de las distintas disciplinas en Revit, asegurando una ejecución más eficiente y precisa.

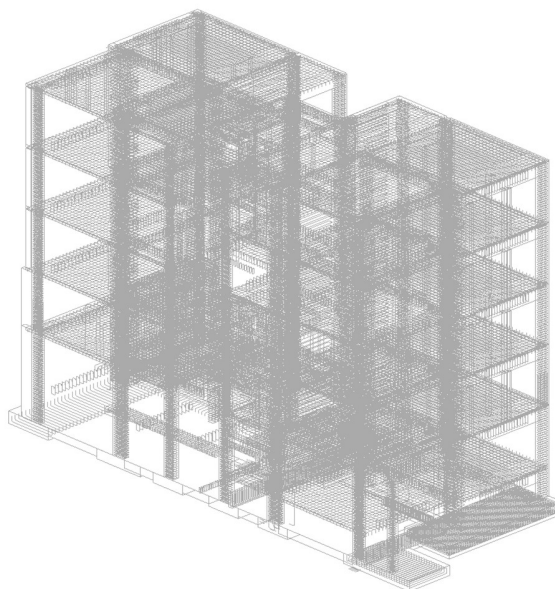


Ilustración 31. Modelo de importación en Revit

Fuente: Elaboración propia.

1. Coordinación entre estructura y arquitectura

El modelo estructural detallado de concreto reforzado, vinculado con la plantilla de arquitectura en Revit, ha facilitado una coordinación fluida entre ambas disciplinas. Esta vinculación asegura que cualquier modificación en la estructura o la arquitectura se refleja en tiempo real en ambos modelos, evitando inconsistencias.

2. Coordinación entre Estructura y el modelo analítico

La herramienta de software también generó un modelo analítico, lo que resultó esencial para llevar a cabo diversos tipos de análisis estructural. Este modelo analítico representó una simplificación matemática de la estructura física, útil para realizar simulaciones de comportamiento estructural bajo distintas condiciones de carga, analizar la respuesta sísmica y evaluar la resistencia de los elementos estructurales. Al integrarse con el modelo BIM LOD 400, se logró correlacionar el diseño físico detallado con el análisis estructural, optimizando el rendimiento y la seguridad del edificio en todas las etapas del proyecto.

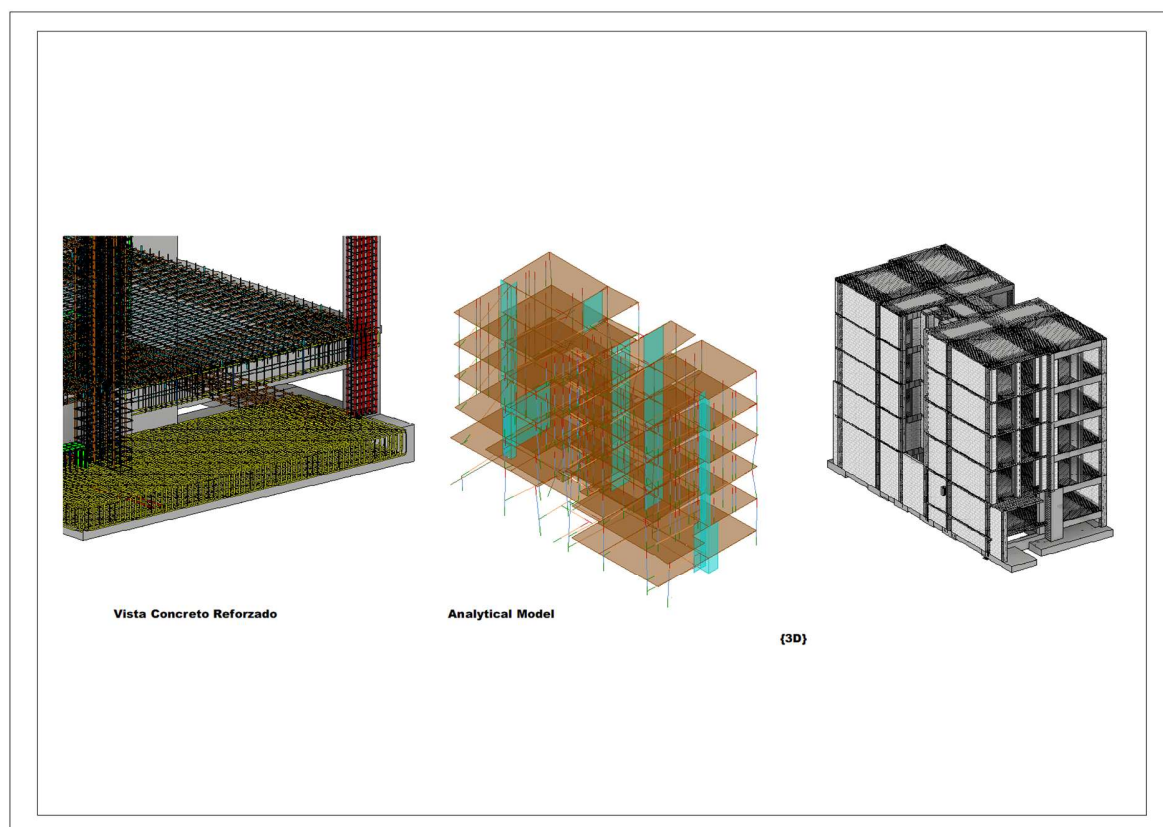


Ilustración 32. Vista del modelo de concreto reforzado, analítico y arquitectónico

Fuente: Elaboración propia.

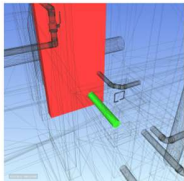
3. Coordinación entre el modelo estructural e instalaciones

A continuación, se presenta un análisis detallado de las colisiones detectadas en la categoría de instalaciones hidrosanitarias, las cuales fueron identificadas mediante el uso del software

Revit. Este proceso de detección de conflictos fue realizado después de crear un modelo BIM completo del proyecto y transferirlo al entorno de la disciplina de instalaciones.

El análisis de colisiones en instalaciones hidrosanitarias es un paso crucial para identificar problemas de interferencia entre elementos como tuberías de agua, drenaje, sistemas de ventilación y otras instalaciones, que puedan afectar el rendimiento y seguridad de la infraestructura. Gracias al modelo BIM, es posible anticiparse a conflictos potenciales entre estas instalaciones y otros elementos constructivos, evitando costosas modificaciones y retrasos durante la fase de construcción.

Como resultado, se logró optimizar la disposición de las instalaciones hidrosanitarias, mejorando su accesibilidad para mantenimiento y reduciendo la probabilidad de daños por interferencias. Este análisis demuestra cómo el uso de modelos BIM en la fase de diseño y planificación de instalaciones hidrosanitarias puede mejorar significativamente la eficiencia, seguridad y sostenibilidad de los proyectos de construcción.



Nombre	Conflicto4
Distancia	-0.137m
Descripción	Estático
Estado	Nuevo
Punto de conflicto	770336.696m, 1622435.042m, 1469.288m
Fecha de creación	2024/4/23 19:02

Elemento 1

ID de elemento	577675
Capa	NC01
Elemento Nombre	Concrete Masonry Units
Elemento Archivo de origen	STR_AZ5_FC_PP_V4_RVT21_19-04-24.rvt
Element ID Valor	

Elemento 2

ID de elemento	2332386
Capa	Estacionamiento
Elemento Nombre	CORRUGADO
Elemento Archivo de origen	V01_IHS_GRAVITA ZONA 05.rvt
Element ID Valor	

Activar Windows

Ve a Configuración para activar Windows

Ilustración 33. Conflicto de colisión entre una tubería drenaje en muro de concreto en estacionamiento

Fuente: Elaboración propia.



Nombre	Conflicto5
Distancia	-0.103m
Descripción	Estático
Estado	Nuevo
Punto de conflicto	770344.708m, 1622431.283m, 1472.459m
Fecha de creación	2024/4/23 19:02

Elemento 1

ID de elemento	612011
Capa	NC01
Elemento Nombre	Concrete Masonry Units
Elemento Archivo de origen	STR_AZ5_FC_PP_V4_RVT21_19-04-24.rvt
Element ID Valor	

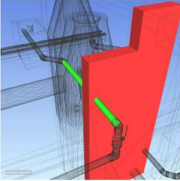
Elemento 2

ID de elemento	3080664
Capa	Nivel 2
Elemento Nombre	PVC Sanitario Blanco
Elemento Archivo de origen	V01_IHS_GRAVITA ZONA 05.rvt
Element ID Valor	

Activar Windows
Ve a Configuración para activar Windows

Ilustración 34. Conflicto entre tubería de drenaje pluvial en muro de concreto

Fuente: Elaboración propia.



Nombre	Conflicto6
Distancia	-0.099m
Descripción	Estático
Estado	Nuevo
Punto de conflicto	770336.207m, 1622434.188m, 1471.475m
Fecha de creación	2024/4/23 19:02

Elemento 1

ID de elemento	577675
Capa	NC01
Elemento Nombre	Concrete Masonry Units
Elemento Archivo de origen	STR_AZ5_FC_PP_V4_RVT21_19-04-24.rvt
Element ID Valor	

Elemento 2

ID de elemento	3176151
Capa	Estacionamiento
Elemento Nombre	PVC Agua Potable
Elemento Archivo de origen	V01_IHS_GRAVITA ZONA 05.rvt
Element ID Valor	

Ilustración 35. Conflicto entre tubería de drenaje en muro de concreto en estacionamiento

Fuente: Elaboración propia.

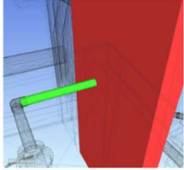
	Nombre	Conflicto7
	Distancia	-0.094m
	Descripción	Estático
	Estado	Nuevo
	Punto de conflicto	770336.790m, 1622433.656m, 1470.869m
	Fecha de creación	2024/4/23 19:02
Elemento 1		
ID de elemento	611358	
Capa	NC01	
Elemento Nombre	Concrete Masonry Units	
Elemento Archivo de origen	STR_AZ5_FC_PP_V4_RVT21_19-04-24.rvt	
Element ID Valor		
Elemento 2		
ID de elemento	2870529	
Capa	Estacionamiento	
Elemento Nombre	PVC Agua Potable	
Elemento Archivo de origen	V01_IHS_GRAVITA ZONA 05.rvt	
Element ID Valor		

Ilustración 36. Conflicto entre ubicación de registro pegado en muro de concreto

Fuente: Elaboración propia.

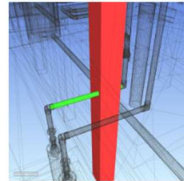
	Nombre	Conflicto14
	Distancia	-0.037m
	Descripción	Estático
	Estado	Nuevo
	Punto de conflicto	770342.178m, 1622431.898m, 1470.345m
	Fecha de creación	2024/4/23 19:02
Elemento 1		
ID de elemento	612431	
Capa	NC01	
Elemento Nombre	Concrete, Precast Smooth, Light Grey, Wall Height	
Elemento Archivo de origen	STR_AZ5_FC_PP_V4_RVT21_19-04-24.rvt	
Element ID Valor		
Elemento 2		
ID de elemento	2881720	
Capa	Estacionamiento	
Elemento Nombre	Hierro Galvanizado	
Elemento Archivo de origen	V01_IHS_GRAVITA ZONA 05.rvt	
Element ID Valor		

Ilustración 37. Colisión entre tubería de agua potable y columna

Fuente: Elaboración propia.

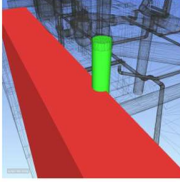
	Nombre	Conflicto16
	Distancia	-0.034m
	Descripción	Estático
	Estado	Nuevo
	Punto de conflicto	770349.526m, 1622426.135m, 1472.831m
	Fecha de creación	2024/4/23 19:02
	Elemento 1	
ID de elemento	577597	
Capa	NC01	
Elemento Nombre	Concrete Masonry Units	
Elemento Archivo de origen	STR_AZ5_FC_PP_V4_RVT21_19-04-24.rvt	
Element ID Valor		
Elemento 2		
ID de elemento	2613652	
Capa	Estacionamiento	
Elemento Nombre	PVC Sanitario Blanco	
Elemento Archivo de origen	V01_IHS_GRAVITA ZONA 05.rvt	
Element ID Valor		

Ilustración 38. Colisión de drenaje en viga

Fuente: Elaboración propia.

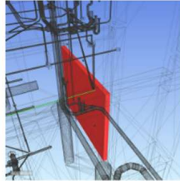
	Nombre	Conflicto17
	Distancia	-0.030m
	Descripción	Estático
	Estado	Nuevo
	Punto de conflicto	770341.586m, 1622438.718m, 1472.530m
	Fecha de creación	2024/4/23 19:02
	Elemento 1	
ID de elemento	577541	
Capa	NC01	
Elemento Nombre	Concrete Masonry Units	
Elemento Archivo de origen	STR_AZ5_FC_PP_V4_RVT21_19-04-24.rvt	
Element ID Valor		
Elemento 2		
ID de elemento	2407717	
Capa	Estacionamiento	
Elemento Nombre	PVC Agua Potable	
Elemento Archivo de origen	V01_IHS_GRAVITA ZONA 05.rvt	
Element ID Valor		

Ilustración 39. Conflicto entre tubería de agua potable y muro de concreto

Fuente: Elaboración propia.

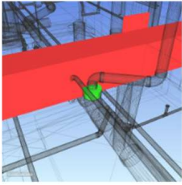
	Nombre	Conflicto22
	Distancia	-0.018m
	Descripción	Estático
	Estado	Nuevo
	Punto de conflicto	770346.963m, 1622431.534m, 1472.569m
	Fecha de creación	2024/4/23 19:02
	Elemento 1	
ID de elemento	575973	
Capa	N01	
Elemento Nombre	Concrete, Precast Smooth, Light Grey, Wall Height	
Elemento Archivo de origen	STR_AZ5_FC_PP_V4_RVT21_19-04-24.rvt	
Element ID Valor		
Elemento 2		
ID de elemento	3121913	
Capa	Estacionamiento	
Elemento Nombre	PVC Sanitario Blanco	
Elemento Archivo de origen	V01_IHS_GRAVITA ZONA 05.rvt	
Element ID Valor		

Ilustración 40. Colisión entre línea de drenaje y agua potable en vigas

Fuente: Elaboración propia.

4. Detección de colisiones y resolución en tiempo real gracias a la realidad aumentada

Una de las principales ventajas del uso del modelo BIM LOD 400 es su integración en realidad aumentada ha sido la capacidad de detectar y resolver colisiones entre las distintas disciplinas antes y durante la fase de construcción. La vinculación de los modelos de arquitectura, estructura, electricidad, fontanería y HVAC ha permitido identificar y corregir conflictos.

Gracias a la realidad aumentada, se pueden visualizar en tiempo real estos conflictos en el sitio, lo que facilita la comunicación entre los diferentes equipos de trabajo y permite resolver problemas de manera inmediata. Esto ha mejorado la eficiencia general del proyecto y reducido los tiempos de ejecución.

VIII. CONCLUSIONES

1. El modelo BIM LOD 400 permitió que el nivel de detalle facilitara una visualización más precisa y detallada en comparación con los métodos tradicionales. Esto ayudó a reducir errores en la interpretación de los planos y optimizó el diseño general de la estructura de concreto reforzado.
2. El modelo permitió una cuantificación automática del acero de refuerzo y del concreto, generando resultados más precisos y confiables. Este proceso minimizó el error humano y mejoró el control de costos y materiales, lo que resultó en una planificación más eficiente.
3. La integración de disciplinas como arquitectura, plomería y electricidad mediante el modelo BIM LOD 400 demuestra que este nivel de detalle cumple eficazmente con el objetivo de mejorar la coordinación y reducir interferencias en el diseño. Al optimizar el espacio para los distintos sistemas y facilitar una planificación más precisa, se evidencia que el uso de BIM LOD 400 es fundamental para lograr proyectos mejor organizados, eficientes y alineados con las metas de calidad y control establecidos desde la etapa de diseño.
4. El uso del modelo BIM LOD 400 en estructuras de concreto reforzado generó múltiples beneficios, entre ellos la reducción de conflictos, una coordinación interdisciplinaria más efectiva, una planificación más precisa y un proceso constructivo más eficiente. Este nivel de detalle contribuye a garantizar una obra futura de mayor calidad y control, minimizando el riesgo de errores, retrasos y costos adicionales durante la ejecución.

IX. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda continuar utilizando el modelo BIM LOD 400 en proyectos de acero y mampostería, ya que su capacidad de ofrecer una visualización detallada y precisa ayuda a minimizar errores en la interpretación de planos, mejorando así la eficiencia del diseño y construcción.
2. Se sugiere implementar el modelo BIM en todas las fases del proyecto. Este nivel de detalle permite un seguimiento exhaustivo y preciso de cada elemento, lo que garantiza una gestión eficiente y controlada tanto en la etapa de diseño y planificación como en la ejecución y post construcción. Además, facilita la coordinación entre los diferentes equipos involucrados, reduciendo errores y optimizando tiempos y costos.
3. Se recomienda ampliar el apartado de gestión de proyectos, ya que la metodología BIM abarca una gran cantidad de procesos, herramientas y dinámicas colaborativas que requieren una mayor profundidad en su explicación. El uso adecuado de BIM no solo permite una gestión más integral del ciclo de vida del proyecto, sino también una mejora significativa en la toma de decisiones, la identificación temprana de conflictos y la optimización.
4. La capacitación constante en el uso de la metodología BIM es de suma importancia, ya que su correcta implementación demanda habilidades técnicas actualizadas y conocimiento de las mejores prácticas en el sector. Además, es fundamental que las personas encargadas del proyecto sepan trabajar bajo este enfoque colaborativo y digital. Esto incluye la capacidad de interpretar modelos 3D, gestionar datos integrados y adaptarse a un entorno donde la comunicación fluida y la coordinación entre disciplinas son esenciales para el éxito del proyecto.
5. Se recomienda a los universitarios dar importancia al uso de BIM en cualquier ámbito de la construcción, ya que puede aplicarse a estructuras de concreto, acero, madera, conexiones con pernos y otros sistemas, mejorando la comprensión y la eficiencia en los proyectos
6. Se recomienda que todo modelo BIM se realice siempre conforme a normas y reglamentos vigentes, garantizando precisión, seguridad y coherencia en el diseño y la información generada.

X. BIBLIOGRAFÍA

- Arqzon, 2024. *Varilla corrugada de acero peso, medidas y características*. <https://arqzon.com.mx/2023/06/12/varilla-corrugada-de-acero-peso-medidas-y-caracteristicas/>
- Asociación Guatemalteca de Constructores, 2020. *Bim en la actualidad*: <https://www.construguate.com/agcc/>
- Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica (AGIES). (2018). *Manual de Diseño Estructural para Edificaciones en Guatemala*. AGIES.
- Autodesk, 2024. *Diseño y construcción con BIM*. <https://www.autodesk.com/es/solutions/bim>
- Azhar, S. (2011). Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry. *Leadership and Management in Engineering*, 11(3), 241-252. <https://www.asee.org/publications/journals>.
- BIM café, 2020. LOD Y LOI en bim. <https://bimcafe.in/blog/lod-and-loi-in-bim.php>.
- Bim en mexico, 2019. *Qué es el Level of Development (LOD) y Cómo se Interpreta*. <https://bimenmexico.blogspot.com/2020/04/que-es-el-level-of-development-lod-y.html>
- BuildSmart, 2024 21 de Marzo. *Extensiones*. <https://www.buildingsmart.es/recursos/pildoras-bim/>
- BuildSmart, 2024 21 de Marzo. *Usabilidad de los modelos de diseño en fase de obra*. <https://www.buildingsmart.es/recursos/pildoras-bim/>
- BuildSmart, 2024. IFC. <https://www.buildingsmart.org/standards/bsi-standards/industry-foundation-classes/>.
- Castillo, R. (2022). *El concreto reforzado y su importancia en la infraestructura de Guatemala*. Editorial Ingeniería y Construcción.
- Cristina Camilo, Julio 2018. *Normalización de LOD-LOI*. <https://msistudio.com/normalizacion-de-lod-loi/>
- DataLaing, 2024. *Servicios BIM 6D Ambiente*. <https://datalaing.com/site/servicios-de-fontaneria-bim/>

- Eadic, 2015. LOD. Level of Development: Nivel de desarrollo. <https://eadic.com/blog/entrada/lod-level-development-nivel-de-desarrollo/>
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors. John Wiley & Sons.
- Galeano, J. (2018). *Fundamentos de la metodología en la investigación científica*. Editorial Académica.
- García, L. (2013). Manual de impermeabilización en la construcción. Ediciones Díaz de Santos.
- Gómez, J. (2020). "Introducción al Building Information Modeling (BIM): Principios y Aplicaciones". Editorial Técnica BIM.
- Hernández, R. (2016). Aislamiento térmico y acústico en la construcción. Editorial Paraninfo.
- Instituto Americano del Hormigón (2014). *Requisitos del código de construcción para hormigón estructural* (ACI 318-14).
- Instituto Nacional de Ciencias de la Construcción. (2020). *Estándar BIM Nacional de Estados Unidos*, versión 3
- ISO . (2018). *ISO 19650: Organización y digitalización de la información en edificios y obras de ingeniería civil, incluida la modelización de información de la construcción (BIM)*.
- Macromix, 2024. *Concreto para Lanzado* <https://www.macromix.com.gt/concretos-especiales>
- Mheing, 2024. *Niveles de definición BIM – LOD – Levels of definition*. <https://mheing.com/niveles-de-detalle-bim/>
- Morea Nuñez, J.M. & Zaragoza Angulo, J.M. (2015) *Guía práctica para la implantación de entornos BIM en despachos de arquitectura técnica*. Madrid: Editorial Fe d'erratas
- National BIM standard, 2024. *BIM USE DEFINITION (BUD) STANDARD*. <https://www.nibs.org/nbims/v4/bud>
- Núñez Moscoso, J. P. (Año de publicación). *Construcción II: Obra Gris*. Editorial.
- Panel, 2024. *Datos importantes del acero de refuerzo*. <https://alambre.com.mx/articulos/datos-importantes-del-acero-de-refuerzo/>

- Pujol, J. (2009). Errores comunes en la construcción de estructuras. Editorial Reverte.
- Romero, A. (2015). Manual de cimentaciones y estructuras de concreto. Limusa.
- Salazar, M. (2017). Instalaciones eléctricas y sanitarias en edificaciones. Editorial Alfaomega.
- Todo-3D.com, 2019. *El BIM y su necesidad en la actualidad*. <https://todo-3d.com/la-necesidad-de-la-metodologia-bim/?v=7ee12bda8e7f>
- Universidad del valle de Guatemala,2019. *Los números que destacan la construcción del CIT de UVG*. <https://noticias.uvg.edu.gt/cifras-numeros-centro-innovacion-tecnologia-cit-uvg-valle/>
- Volk, R., Stengel, J., y Schultmann, F. (2014). *Modelado de información de construcción (BIM) para edificios existentes: revisión de la literatura y necesidades futuras. Automatización en la construcción*.

XI. ANEXOS

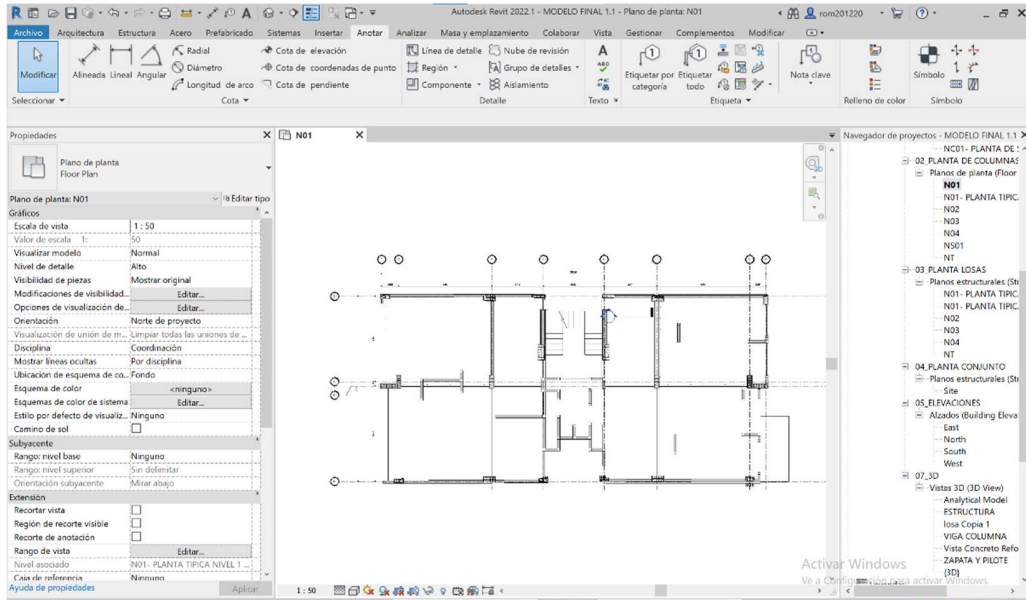


Ilustración 41. Modelo en planta vista Revit.

Fuente: Elaboración propia..

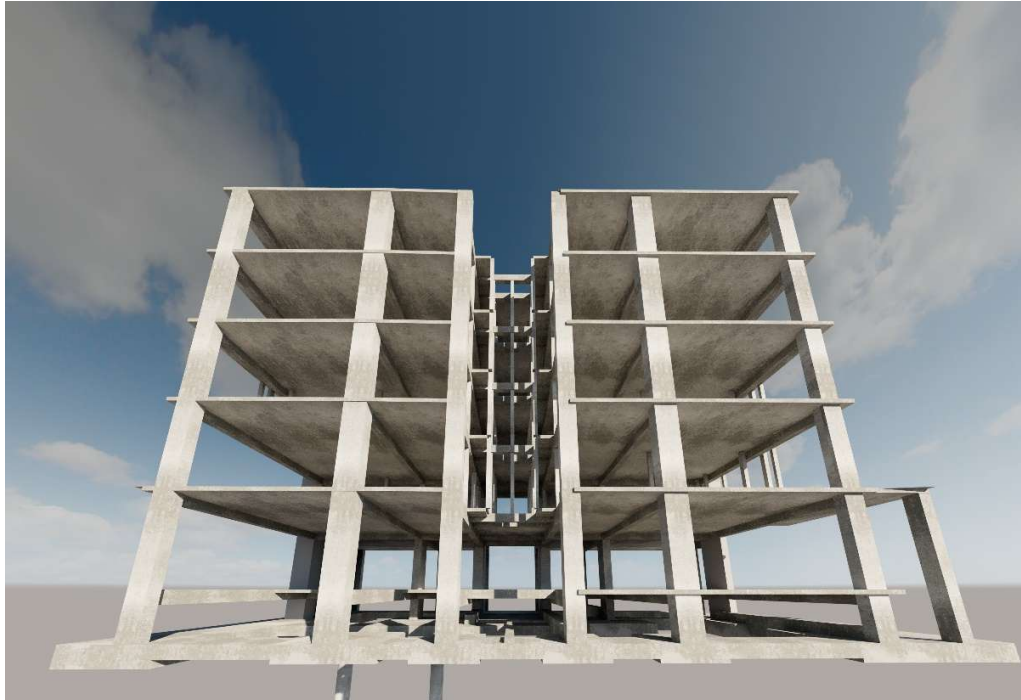


Ilustración 42. Render del edificio

Fuente: Elaboración propia.

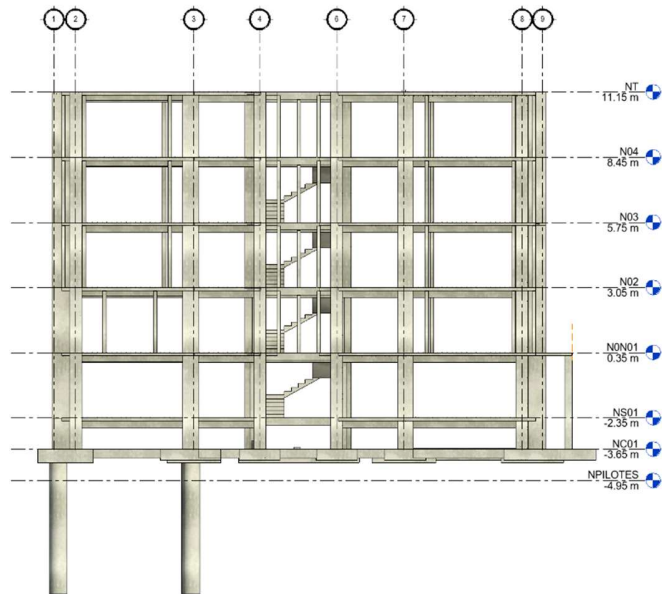


Ilustración 43. Elevación frontal

Fuente: Elaboración propia.

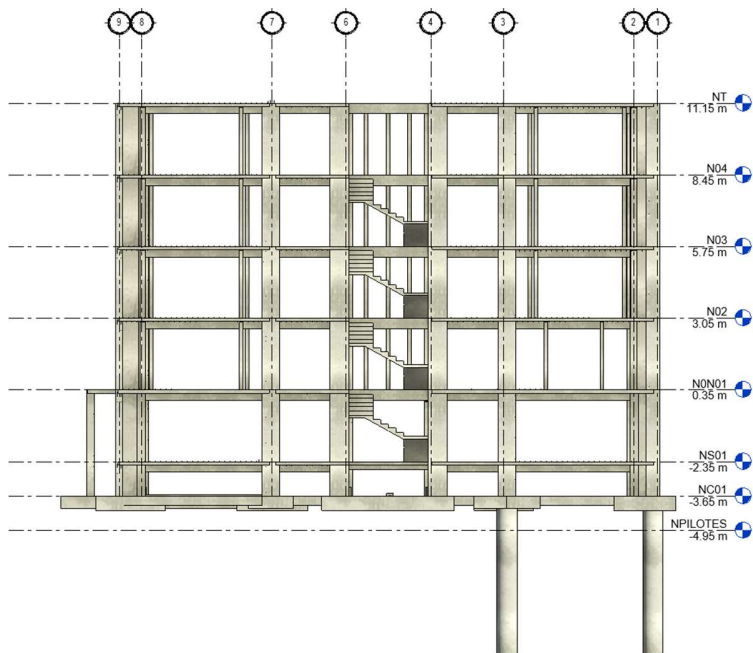


Ilustración 44. Elevación trasera

Fuente: Elaboración propia.

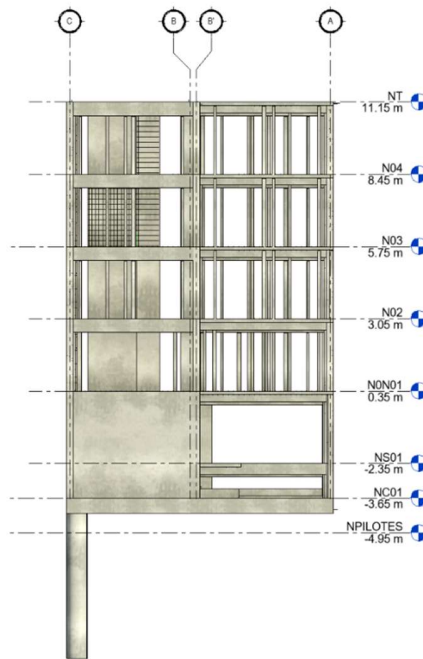


Ilustración 46. elevación lateral izquierdo

Fuente: Elaboración propia.

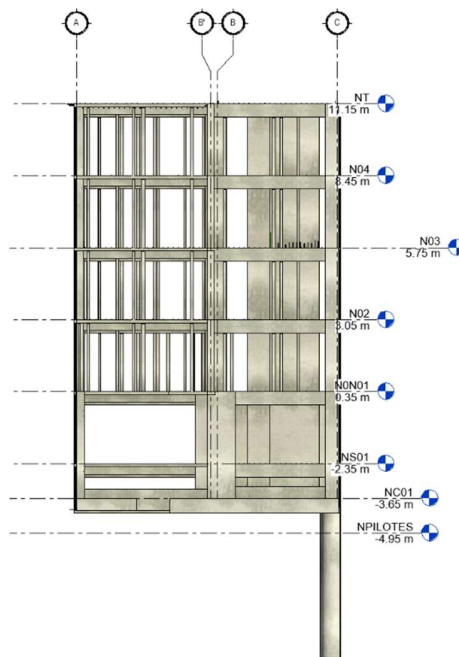


Ilustración 45. elevación lateral derecho

Fuente: Elaboración propia.