

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE HÁBITAT, INFRAESTRUCTURA Y CREATIVIDAD**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**



**ROL DE LÍDER ESTRUCTURAL BIM EN LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA  
BIM 3D, 4D Y 5D PARA LA PLANIFICACIÓN DE TIEMPOS Y COSTOS EN DOS  
VIVIENDAS UNIFAMILIARES DEL PROYECTO MAGNOLIA EN TUMBACO.**

**AUTOR:**

**Ramiro Mateo Tamayo León**

**TUTOR:**

**Edwin Patricio Castro Merino**

**QUITO DM, ENERO DE 2026**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco profundamente a mis padres por brindarme la oportunidad de estudiar una carrera tan hermosa, como lo es Ingeniería civil. Gracias por su paciencia, pues sé que no ha sido nada fácil para ustedes, y también por el apoyo constante y por nunca abandonarme en el proceso. Su confianza y sacrificio fueron fundamentales para alcanzar este objetivo.

Le agradezco a mi hermano por su paciencia, por haber sido exigente conmigo, pues su firmeza contribuyó de manera característica a mi formación personal y académica.

Finalmente, agradezco a todos mis docentes de Ingeniería Civil, quienes a lo largo de estos años compartieron sus conocimientos y experiencias que aportaron de manera decisiva en mi formación académica y profesional.

## **DEDICATORIA**

Dedico completamente el trabajo a mis padres, quienes son el pilar fundamental de mi vida, pues si bien representa un logro personal, es un orgullo ofrecerles el fruto de mi esfuerzo como parte del camino que me permite alcanzar el título profesional. Esto es en agradecimiento por su apoyo, sacrificio y amor incondicional.

“Ser más para servir mejor”

## **Resumen**

El uso integral de la metodología BIM en Ecuador aún experimenta una lenta implementación, hecho que motiva a evaluar su eficiencia en el marco de un proyecto de construcción. En ese sentido, el presente estudio estuvo enfocado en aplicar BMI 3D, 4D y 5D para contrastar las ventajas que ofrecen dos sistemas constructivos, el de hormigón armado y el mixto hormigón-acero, con respecto a dos viviendas unifamiliares del Conjunto Magnolia ubicado en Tumbaco. La integración del modelo tridimensional con la planificación temporal (4D) y el cálculo de costos (5D) dio cabida a un análisis comparativo del rendimiento en cuanto a costos asociados y tiempo de ejecución, permitiendo al mismo tiempo detectar beneficios que respaldan la elección del sistema estructural más eficiente en términos funcionales, técnicos, económicos y estéticos. El proceso se llevó a cabo a partir del rol como líder estructural BIM, encargado de verificar que los componentes estructurales sean funcionales, seguros e íntegros y cumplan con los estándares de calidad y las regulaciones vigentes. Los resultados demostraron así que el sistema mixto es la opción ideal para culminar en menor tiempo, en 91.7 días, mientras que el sistema de hormigón exige de aproximadamente 95.2 días.

Palabras clave: BIM, optimización, colaboración.

## **Abstract**

The comprehensive use of BIM methodology in Ecuador is still experiencing slow implementation, a fact that motivates us to evaluate its efficiency within the framework of a construction project. In this regard, this study focused on applying 3D, 4D, and 5D BIM to compare the advantages offered by two construction systems, reinforced concrete and mixed concrete-steel, with respect to two single-family homes in the Magnolia Complex located in Tumbaco. The integration of the three-dimensional model with time planning (4D) and cost calculation (5D) allowed for a comparative analysis of performance in terms of associated costs and execution time, while also identifying benefits that support the choice of the most efficient structural system in functional, technical, economic, and aesthetic terms. The process was carried out based on the role of BIM structural leader, responsible for verifying that the structural components are functional, safe, and sound, and comply with quality standards and current regulations. The results showed that the mixed system is the ideal option for completion in less time, in 91.7 days, while the concrete system requires approximately 95.2 days.

Keywords: BIM, optimization, collaboration.

## Índice

1. Capítulo 1: Introducción .....	1
1.1. Planteamiento del Problema .....	1
1.2. Justificación e Importancia.....	1
1.3. Objetivos.....	3
1.3.1. Objetivo General.....	3
1.3.2. Objetivos Específicos .....	4
1.4. Alcance .....	4
2. Capítulo 2: Fundamentación Teórica .....	6
2.1. Antecedentes.....	6
2.2. Investigaciones Sobre Normativas BIM.....	8
2.3. Metodología BIM y sus Dimensiones .....	9
2.4. Metodología BIM ISO 19650.....	10
2.5. Estándares y Lineamientos .....	12
2.5.1. Nivel de Desarrollo e Información LOD/LOI.....	13
2.5.2. Nomenclaturas BIM .....	14
2.6. Roles y Estructura Organizacional .....	15
2.6.1. Rol del Líder Estructural .....	17
2.6.2. Flujo de trabajo de Líder estructural.....	18
3. Capítulo 3: Metodología .....	20
3.1. Enfoque Metodológico y Tipo de Estudio.....	20
3.2. Descripción del Proyecto.....	20
3.3. Documentos de Gestión BIM .....	22
3.4. EIR: Requerimientos de Información del Cliente .....	22
3.4.1. Desarrollo EIR.....	22
3.5. BEP: Plan de Ejecución BIM .....	23
3.5.1. Información del Proyecto .....	23
3.5.2. Hitos Relevantes .....	24
3.5.3. Organigrama del Equipo de Trabajo .....	24
3.5.4. Nivel de detalle por elementos Estructurales (LOD).....	25
3.6. Insumo y Supuestos de Trabajo.....	26
3.6.1. Insumos de Trabajo .....	26

3.6.2.	Supuestos de Trabajo.....	27
3.7.	Criterios de Comparación de Tiempo y Costo .....	27
4.	Capítulo 4: Modelado Estructural 3D y Gestión de Proyectos en Navisworks .....	29
4.1.	Modelado Estructural 3D en Revit .....	29
4.1.1.	Flujo de Trabajo del Modelador Estructural .....	29
4.1.2.	Modelado en Revit .....	30
4.1.3.	Auditoria con el Uso del Model Checker de Revit.....	36
4.2.	Coordinación Básica y Detección de Interferencias.....	38
4.2.1.	Resolución de Conflictos Interdisciplinarios.....	41
4.2.2.	Elaboración de Entregables del Proyecto .....	42
4.3.	Planificación 4D con MS Project y Navisworks TimeLiner de la disciplina Estructural.....	42
4.3.1.	Creación de EDT .....	43
4.3.2.	Estimación de Duración de Tareas .....	44
4.3.3.	Creación de Diagrama Gantt .....	46
4.3.4.	Programación en Navisworks.....	46
4.4.	Presupuesto 5D: Extracción de Cantidades.....	48
4.4.1.	Exportación a Presto .....	48
4.4.2.	Programación de Rubros en Presto.....	49
4.4.3.	Asignación de Unidades y Precios Unitarios .....	50
4.4.4.	Generación del Presupuesto Estructural .....	50
5.	Análisis de Resultados .....	52
5.1.	Resultados de Tiempos y Costos.....	52
5.1.1.	Resultados de Costos .....	52
5.1.2.	Resultados de Tiempos.....	53
6.	Conclusiones y Recomendaciones .....	55
6.1.	Conclusiones.....	55
6.2.	Recomendaciones .....	56
7.	Bibliografía .....	57
8.	Anexos.....	59

## Índice de Ilustraciones

Ilustración 1. Países que se exige la implementación de la metodología BIM .....	2
Ilustración 2. Mercado regional de la construcción.....	3
Ilustración 3. Proyecto Magnolia.....	4
Ilustración 4. Aplicación de la metodología BIM 3D, 4D y 5D.....	5
Ilustración 5. Ubicación del proyecto.....	6
Ilustración 6. Vista general del Conjunto Magnolia.....	6
Ilustración 7. Estructura del equipo BIM del Proyecto Magnolia.....	7
Ilustración 9. Trayectoria de uso BIM por país <i>Nota</i> . Tomado de Lacaze (2020).....	8
Ilustración 10. Dimensiones BIM <i>Nota</i> . Tomado de Orifsa (s.f.).....	10
Ilustración 11. Introducción a la Serie EN-ISO 19650.....	11
Ilustración 12. Intercambio IFC-BIM.....	12
Ilustración 13. Flujo BIM .....	13
Ilustración 14. Nivel de LOD .....	13
Ilustración 15. Principios de nomenclaturas BIM .....	15
Ilustración 16. Guía sobre las convenciones de nomenclatura BIM <i>Nota</i> . Tomado de El Maqousi (2025) .....	15
Ilustración 17. Roles BIM .....	16
Ilustración 18. Estructura del equipo BIM del Proyecto Magnolia.....	17
Ilustración 19. Flujo del líder estructural <i>Nota</i> . Elaboración propia .....	19
Ilustración 21. Plano de planta baja general del proyecto a desarrollar .....	21
Ilustración 22. Agenda de EIR <i>Nota</i> . Elaboración propia .....	23
Ilustración 23. Organigrama del proyecto .....	25
Ilustración 24. Proceso de realización de trabajo .....	26
Ilustración 25. Flujo de trabajo del modelador estructural <i>Nota</i> . Elaboración propia.....	29
Ilustración 26. Protocolo de modelado de elementos .....	31
Ilustración 27. Modelado de cimentación Revit <i>Nota</i> Elaboración propia.....	32
Ilustración 28. Isometría general del proyecto <i>Nota</i> . Elaboración propia .....	33
Ilustración 29. Isometría de acero de refuerzo casa tipo C.....	34
Ilustración 30. Modelo 3D del sistema estructural mixto <i>Nota</i> . Elaboración propia .....	35
Ilustración 31. Modelo 3D de estructura mixta <i>Nota</i> . Elaboración propia.....	35
Ilustración 32. Isométrico de acero de refuerzo <i>Nota</i> . creación propia.....	36

Ilustración 33. Configuración de reglas dentro del Model Checker <i>Nota</i> . Elaboración propia .....	37
Ilustración 34. Resultados del Model Checker del modelo de estructura mixta <i>Nota</i> . Elaboración propia.....	37
Ilustración 35. Resultados del Model Checker del modelo de estructura de hormigón armado. <i>Nota</i> . Elaboración propia .....	38
Ilustración 36. Carpetas por disciplinas en Revit: hormigón armado <i>Nota</i> . Elaboración propia .....	39
Ilustración 37. Carpetas por disciplinas en Revit: sistema mixto <i>Nota</i> . Elaboración propia .....	39
Ilustración 38. Configuración de conjuntos <i>Nota</i> . Elaboración propia .....	40
Ilustración 39. Pruebas realizadas en Clash detective en Navisworks sobre el sistema estructural hormigón armado <i>Nota</i> . Elaboración propia .....	41
Ilustración 40. Pruebas realizadas en Clash detective en Navisworks sobre el sistema estructural mixto <i>Nota</i> . Elaboración propia.....	41
Ilustración 39. Modelos federados y auditados <i>Nota</i> . Elaboración propia.....	42
Ilustración 42. Flujo de planificación del líder estructural <i>Nota</i> . Creación Propia .....	43
Ilustración 43. Estructura de desglose del trabajo <i>Nota</i> . Elaboración propia.....	44
Ilustración 42. Estimación de tiempos en actividades estructurales <i>Nota</i> . Elaboración propia .....	45
Ilustración 45. Diagrama Gantt de sistema estructural Hormigón Armado <i>Nota</i> . Elaboración propia .....	46
Ilustración 46. Enlace de elemento a la programación de obra <i>Nota</i> . Elaboración propia..	47
Ilustración 47. Enlace de elementos a la programación <i>Nota</i> . Elaboración propia .....	47
Ilustración 48. Cuantificación de costos 5D <i>Nota</i> . Elaboración propia.....	48
Ilustración 49. Exportación de elementos a través de Cost-it <i>Nota</i> . Elaboración propia ....	49
Ilustración 50. Valores exportados de Presto a Revit <i>Nota</i> . Elaboración propia.....	49
Ilustración 51. Corrección de estructura del Presupuesto <i>Nota</i> . Elaboración propia .....	49
Ilustración 52. Presupuesto hormigón Armado <i>Nota</i> . Elaboración propia.....	50
Ilustración 53. Generación de APU de replantillo de zapata <i>Nota</i> . Elaboración propia .....	50
Ilustración 54. Presupuesto de sistema de Hormigón Armado <i>Nota</i> . Elaboración propia ..	51
Ilustración 55. Presupuesto estimado hormigón armado <i>Nota</i> . Elaboración propia .....	52
Ilustración 56. Presupuesto estimado Estructura Mixta <i>Nota</i> . Elaboración propia .....	52

Ilustración 57. Cronograma estimado de Hormigón Armado *Nota*. Elaboración propia .... 53  
Ilustración 58. Cronograma estimado estructura Mixta *Nota*. Elaboración propia..... 54

## Índice de Tablas

Tabla 1. Niveles de LOD.....	13
Tabla 2. Características del proyecto.....	21
Tabla 3. Información del proyecto .....	24
Tabla 4. Hitos del proyecto .....	24
Tabla 5. LOD recomendado por la Penn State University para cada uso BIM.....	25
Tabla 6: Anexos Nota: Elaboración Propia .....	59

## **1. Capítulo 1: Introducción**

### **1.1. Planteamiento del Problema**

El estudio se centra en la falta de un procedimiento claro, documentado y replicable que de paso a utilizar la metodología Building Information Modeling (BIM) en 3D, 4D y 5D para obtener y comparar de forma confiable los tiempos de ejecución y los costos de construcción de diferentes sistemas estructurales en proyectos de vivienda en Ecuador. Hasta el momento, los modelos estructurales están sustentados en mayor medida en la modelación geométrica 3D y no incorporan sistemáticamente la planificación temporal 4D ni con el cálculo de costos 5D, lo que disminuye la posibilidad de examinar y cotejar opciones estructurales basadas en información objetiva, evaluar la relación con el coste, el tiempo y la eficiencia constructiva, así como adoptar decisiones estructurales en el entorno BIM.

La adopción de esta metodología es muy escasa y parcial en el país, enfocándose en procesos gráficos debido a la ausencia de normas estandarizadas, guías técnicas y formación especializada, lo que desemboca en modelos incompletos, escasa interoperabilidad entre plataformas y una gestión fragmentada de información. Por el contrario, a nivel internacional sí existe mayor conocimiento sobre el tema y se ha demostrado que la integración de las dimensiones fortalece la planificación, reduce la carga de trabajo y mejora la toma de decisiones. Esta brecha metodológica en Ecuador impide aprovechar estas ventajas y dificulta la comparación técnica y económica de alternativas constructivas estructurales.

He ahí la importancia de profundizar en esta problemática dado que, por ejemplo, al comparar un sistema de hormigón armado y uno mixto de hormigón-acero se demuestra la falta de un procedimiento estructurado que permita vincular modelos, cronogramas y presupuestos desde la disciplina estructural. Sin duda, esta limitación impide obtener resultados verificables y reproducibles que sustenten la selección de la alternativa más eficiente para el proyecto.

### **1.2. Justificación e Importancia**

La relevancia de la investigación radica en que no existe hasta el momento en el país un método registrado y replicable para integrar exitosamente BIM 3D, 4D y 5D con el propósito de establecer costos fehacientes y fechas de construcción precisas. Este escenario constituye un obstáculo para contrastar con objetividad las diferentes opciones estructurales, hecho que incide de manera adversa en la eficiencia de la construcción y disminuye el acceso a información verificable.

Hay que tomar en cuenta que la adopción integral de BIM es clave para impulsar la transformación digital del sector de la construcción, pues garantiza la eficiencia, la sostenibilidad y la trazabilidad durante todo el ciclo de vida de un proyecto (Eastman et al., 2020). Sin embargo, lamentablemente, la aplicación en Ecuador aún permanece en fase de desarrollo, marcada por limitaciones en términos de capacitación, estandarización y uso avanzado de sus dimensiones, lo que imposibilita la implementación integral en los proyectos (Caballero y Sánchez, 2025), a diferencia de otros países en donde su incorporación está en marcha (Ilustración 1) y utilizan en mayor porcentaje el BIM (Ilustración 2):

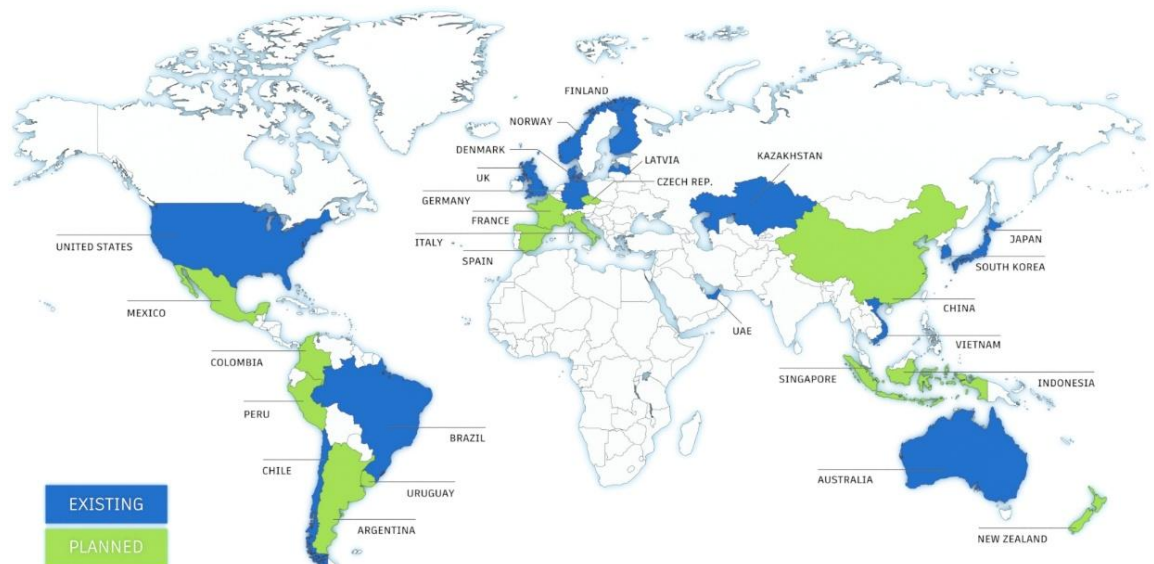


Ilustración 1. Países que se exige la implementación de la metodología BIM

*Nota.* Tomado de Autodesk (s.f.-a)



Ilustración 2. Mercado regional de la construcción

*Nota.* Tomado de Lacaze (2020)

Como se observa, Ecuador no figura entre los países que implementan obligatoriamente BIM y/o planifican hacerlo, a tal punto que se emplea apenas en 2.8 %, lo que refleja su escaso uso en esta industria y la necesidad de generar metodologías que impulsen la integración progresiva en las fases técnicas y estructurales.

Desde el punto de vista académico y metodológico, la investigación es relevante en vista de que propone un procedimiento sistemático para obtener tiempos y costos directamente del modelo estructural BIM sin realizar nuevos cálculos. Este proceso responde a un vacío evidente en la literatura y en la práctica profesional, pues no existen protocolos que integren fases 3D, 4D y 5D en proyectos de vivienda unifamiliar en Ecuador. A fin de cuentas, la madurez de esta metodología en América Latina depende de los flujos de trabajo estandarizados y de la interoperabilidad entre plataforma más que del acceso tecnológico (Xu et al., 2024).

### 1.3. Objetivos

#### 1.3.1. Objetivo General

Aplicar la metodología BIM 3D, 4D y 5D desde el rol de líder estructural BIM para obtener y comparar los tiempos de ejecución y costos de construcción de los sistemas estructurales con hormigón armado y mixto hormigón-acero de las dos viviendas unifamiliares concernientes al proyecto Conjunto Magnolia en Tumbaco, sin abordar aspectos arquitectónicos ni instalaciones MEP.

### 1.3.2. Objetivos Específicos

- Modelar con BIM 3D los sistemas estructurales de dos viviendas en hormigón armado y hormigón-acero e incorporar parámetros estructurales para el cálculo preciso de cantidades.
- Coordinar y validar los modelos estructurales mediante Autodesk Navisworks, garantizando la consistencia de la información geométrica y de los atributos como base para las etapas de planificación y presupuestación.
- Vincular los modelos 3D con los cronogramas 4D, utilizando MS Project y Navisworks TimeLiner para determinar y comparar la duración total de ejecución de cada alternativa estructural.
- Generar presupuestos estructurales 5D al vincular las cantidades extraídas del modelo con el programa Presto.
- Analizar comparativamente los resultados de tiempos y costos obtenidos en las dos alternativas estructurales e identificar las ventajas constructivas y económicas para determinar la opción más eficiente.

### 1.4. Alcance

El presente trabajo se enfoca en la aplicación de la metodología BIM en sus dimensiones 3D, 4D y 5D en el ámbito estructural con el fin de obtener y comparar los tiempos de ejecución y los costos de construcción de dos viviendas unifamiliares del Proyecto Magnolia, ubicado en Tumbaco (Ilustración 3). Para cada vivienda se evalúan dos alternativas estructurales, hormigón armado y sistema mixto hormigón-acero, con la finalidad de analizar la influencia del sistema en la eficiencia constructiva.



Ilustración 3. Proyecto Magnolia

*Nota.* Tomado de Uribe Schwarzkopf (2025)

El estudio contempla el desarrollo de modelos estructurales 3D con la parametrización necesaria para la extracción casi precisa de cantidades, así como su coordinación básica en Autodesk Navisworks para asegurar la coherencia geométrica y la consistencia de la información. Posteriormente, se realiza la planificación 4D al vincular el modelo con cronogramas elaborados en MS Project y sincronizados en Navisworks Timeliner, de tal modo que sea posible determinar la duración total de ejecución de cada alternativa.

A continuación, se lleva a cabo la presupuestación 5D a partir de cantidades extraídas del modelo e integrándolas con Presto para obtener costos desglosados por partidas estructurales. El resultado es una comparación objetiva y verificable de las dos opciones que aportan criterios para la toma de decisiones en proyectos residenciales de pequeña escala y plantean una metodología replicable en el contexto ecuatoriano.

Por la naturaleza del proyecto, el alcance se limita exclusivamente al sistema estructural, es decir la planificación temporal (4D) y presupuestación (5D) derivadas del modelo estructural 3D, bajo la responsabilidad del líder estructural BIM como integrador de la información constructiva (Ilustración 4).

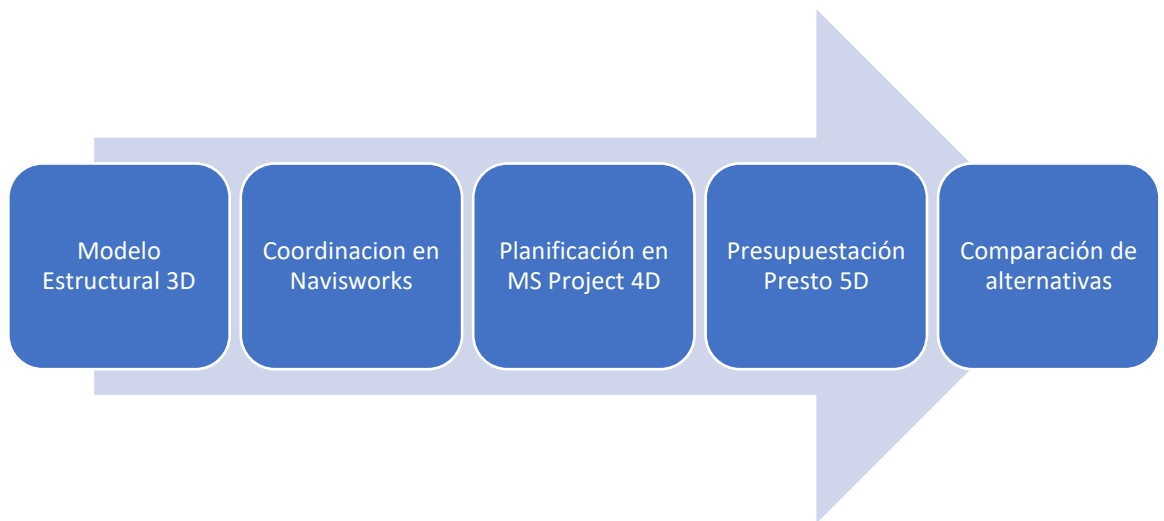


Ilustración 4. Aplicación de la metodología BIM 3D, 4D y 5D

*Nota.* Elaboración propia

Cabe destacar que la propuesta no incluye el diseño arquitectónico, el cálculo estructural, el modelado MEP, la ejecución de obra, el análisis 6D (sostenibilidad) ni 7D (operación y mantenimiento).

## 2. Capítulo 2: Fundamentación Teórica

### 2.1. Antecedentes

IDECON es una empresa dedicada a desarrollar el modelo 3D, la programación 4D y el presupuesto 5D bajo la metodología BIM con el propósito de integrar las distintas disciplinas técnicas involucradas en el proyecto Conjunto Magnolia en Tumbaco (Ilustración 5 y 6), conformado por dos viviendas unifamiliares. Para la ejecución se conformó un equipo multidisciplinario de dos profesionales asignados según sus competencias y roles específicos dentro de la estructura organizacional.



Ilustración 5. Ubicación del proyecto.

*Nota.* Tomado de Google (s.f.)



Ilustración 6. Vista general del Conjunto Magnolia.

*Nota.* Tomado de Uribe Schwarzkopf (2025)

La estructura de la Ilustración 7 fue establecida por el gerente BIM, Ing. Gustavo Ávila, de la cual se desprenden las funciones, las responsabilidades y los flujos de comunicación para garantizar el desarrollo coordinado del proyecto:

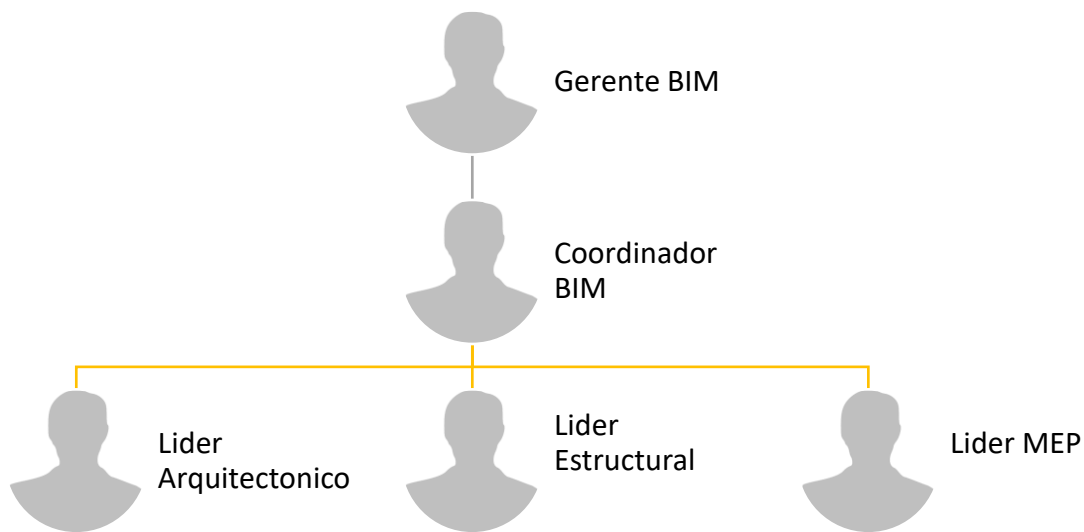


Ilustración 7. Estructura del equipo BIM del Proyecto Magnolia

*Nota.* Elaboración propia.

El proceso de implementación comenzó tras definir los requerimientos de información del cliente, EIR por sus siglas en inglés de *Employer's Information Requirements*, documento que especifica las necesidades del propietario, los entregables esperados y el alcance de cada disciplina técnica. Posteriormente se elaboró el plan de ejecución BIM (BEP) que establece los lineamientos para el desarrollo del proyecto, los procedimientos de coordinación, los hitos de entrega y la planificación general de la ejecución.

En cuanto a la concepción del proyecto, el Conjunto Magnolia fue originalmente planteado por la constructora Uribe Schwarzkopf, encargada de desarrollar el diseño base. No obstante, los dos lotes fueron después vendidos a IDECON, que asumió la responsabilidad de gestionar integralmente el modelo BIM de las viviendas. Como parte de las condiciones iniciales se estableció que la fachada debía mantenerse conforme al diseño original, mientras que la superestructura podía modificarse de acuerdo con las necesidades técnicas y preferencias del cliente.

Por supuesto, este cambio implicó que Uribe Schwarzkopf facilite la documentación de base del proyecto como, por ejemplo, los planos en DWG, algunos datos en PDF y los modelos en REVIT de las casas. Si bien los archivos no consistían en una representación exacta del proyecto a construir, contaban con referentes estructurales y arquitectónicos de viviendas semejantes que estuvieron sustentadas en un modelo estructural BIM y su vinculación con las fases posteriores 4D y 5D.

## 2.2. Investigaciones Sobre Normativas BIM

Las transformaciones tecnológicas y los proyectos que conllevan mayor complejidad infraestructural impulsan un inevitable cambio en el sector de la construcción que exige mayor coordinación, eficiencia y sostenibilidad. Es en este entorno cuando el modelo BIM constituye un recurso esencial debido a que aglutina en un mismo espacio digital los datos técnicos, temporales y financieros (Lacaze, 2020).

Esta metodología despliega nuevas opciones de planificación y ejecución de las obras al plantear un trabajo multidisciplinario que potencia la productividad y optimiza todos los recursos desde los primeros peldaños. En la región del Caribe y Latinoamérica, la implementación de este enfoque ha sido paulatina (Ilustración 9), pero con distintos procesos de avance: mientras que México, Brasil y Chile cuentan con estrategias propias y parámetros claros de regulación, Argentina, Colombia y Perú progresan en políticas públicas encaminadas en estandarizar e interoperar los datos (Corporación Andina de Fomento [CAF], 2020; Lacaze, 2020).

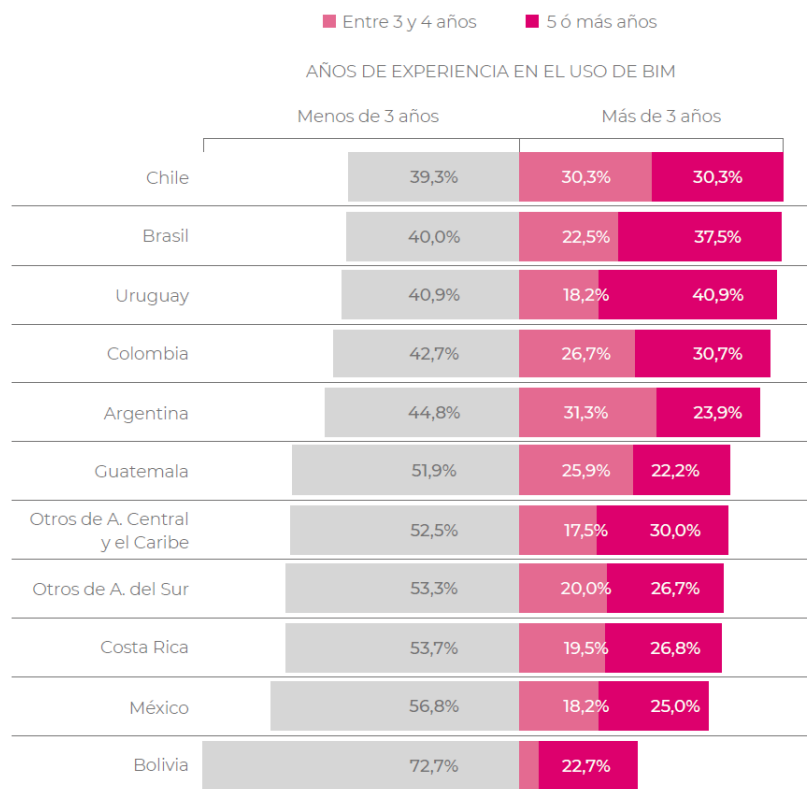


Ilustración 8. Trayectoria de uso BIM por país

Nota. Tomado de Lacaze (2020)

Ahora bien, entre las normativas de mayor realce se encuentra la ISO 19650 (International Organization for Standardization [ISO], 2018), la cual establece los

parámetros para organizar, digitalizar y administrar los datos durante cada etapa del proyecto. También, la ISO 16739-1:2008, que consiste en un estándar enfocado en asegurar la compatibilidad para trabajar con varias plataformas virtuales. Además, el BIM Forum (2024) establece lineamientos estándar que indican el grado de desarrollo de los recursos que se modelan. De ahí que resulta un error pretender concebir al BIM como un programa, cuando en realidad es una metodología de gestión integral en la que intervienen diversos usuarios, recursos tecnológicos y procesos en el marco de un criterio de cooperación e interoperabilidad.

### **2.3. Metodología BIM y sus Dimensiones**

BIM constituye una transformación significativa en términos de desarrollo, diseño y gestión de los proyectos debido a que se distancia de las propuestas tradicionales sustentadas en planos bidimensionales para estructurar un modelo digital paramétrico que aglutina datos geométricos, técnicos, temporales y financieros en un mismo espacio virtual de colaboración. De ese modo, todos los integrantes (arquitectos, ingenieros, constructores, entre otros) que tienen acceso a la información pueden administrarla a medida que avanzan en cada una de las fases, lo que garantiza que los datos siempre son transparentes y coordinados (Eastman et al., 2020).

Como se mencionó en líneas previas, la ISO 19650 (ISO, 2018) es el estándar en el que se asienta el desarrollo de esta metodología, en vista de que proporciona los parámetros para organizar, digitalizar y gestionar las fases del proyecto y constituye al mismo tiempo un campo de acción para estructurar, validar y engranar la información. De esa manera, todos los actores pueden comprender e integrar los modelos, independientemente de la plataforma y/o programa usado para su desarrollo (Ilustración 10).

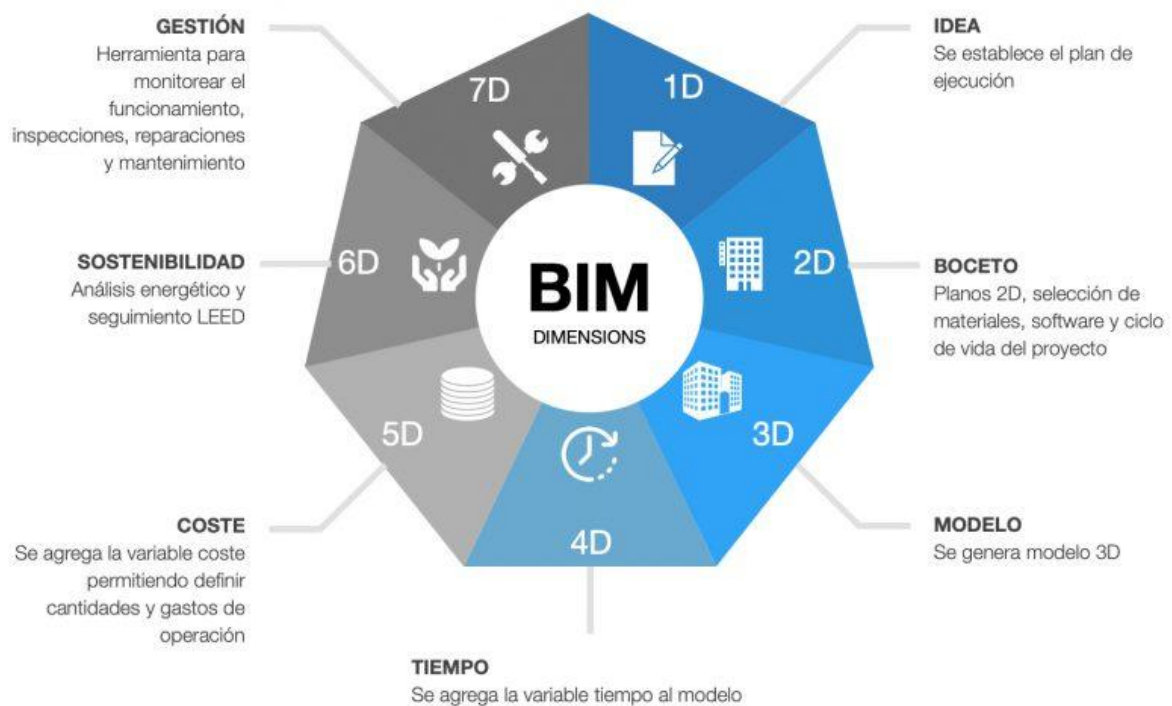


Ilustración 9. Dimensiones BIM

*Nota.* Tomado de Orifsa (s.f.)

En términos técnicos, la dimensión 3D se utiliza para generar la geometría y los elementos constructivos con suma minuciosidad y exactitud. En cambio, la 4D es empleada para simular secuencias constructivas y planificar con facilidad el cronograma de toda la obra. Por último, la 5D consiste en datos financieros y de presupuesto relacionados con los valores tomados del modelo sobre costos directos e indirectos, de tal manera que es posible estimar con precisión la incidencia económica y mantener un control oportuno de cada decisión (BIM Forum, 2024).

Finalmente, el valor de la metodología recae en que permite integrar datos multidimensionales en un proceso sistemático y coherente, lo que ayuda a detectar oportunamente las interferencias y los errores para que toda decisión esté bien sustentada. En la ingeniería estructural, el BIM es clave para desarrollar modelos analíticos coordinados, conocer la cantidad exacta de material a requerir y contrastar opciones estructurales según el tiempo y los costos, consolidándose así como un camino estratégico para la optimización de los procesos de construcción.

#### **2.4. Metodología BIM ISO 19650**

La EN ISO 19650 (Ilustración 11) es el estándar que determina las buenas prácticas para gestionar correctamente los datos de los proyectos que utilicen BIM. Al establecer

parámetros, procesos y obligaciones por parte del cliente, el contratista y el equipo de trabajo, se garantiza una gestión ordenada, trazable y colaborativa en cada etapa (Autodesk, s.f.-c). Por ende, su implementación es clave para promover la consistencia al generar, revisar y transferir la información del modelo con el fin de que todos los actores trabajen bajo una misma estructura metodológica.



Ilustración 10. Introducción a la Serie EN-ISO 19650

*Nota.* Tomado de BuildingSMART Spain (s.f.)

Además, en vista de que BIM es cada vez más utilizado a nivel mundial, ha sido necesario plantear lineamientos estándar para denominar a los archivos, los planos y, en general, los elementos digitales que forman parte del proyecto, lo que evita confusiones, ambigüedades e inconsistencias que harían sumamente difícil la interdisciplinariedad del modelo. De ahí que BuildingSMART Spain (s.f.) sea la entidad encargada de socializar los parámetros abiertos y crear un manual enfocado en la nomenclatura, garantizando de ese modo la interoperabilidad y el trabajo en equipo (Ilustración 12).

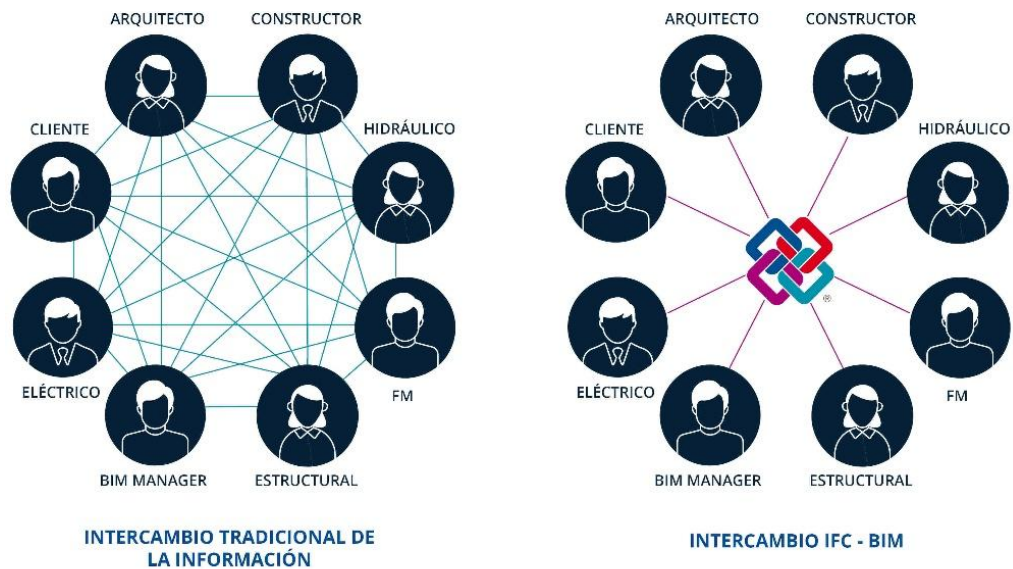


Ilustración 11. Intercambio IFC-BIM

*Nota.* Tomado de Inesa Tech (2021)

Este esquema, en el campo de la ingeniería estructural, es clave para asegurar que los modelos basados en 3D, 4D y 5D mantengan una misma nomenclatura, puedan darse seguimiento a cada uno de los procesos y sean compatibles entre todos los programas. Por ende, la ISO 19650 y las guías de BuildingSMART son las bases que sostienen la adecuada administración de los datos, por lo que adoptar esta metodología resulta en última instancia el motor que impulsa el cambio hacia la digitalidad de la construcción en un entorno virtual colaborativo y lo suficientemente flexible para adaptarse con eficiencia y sostenibilidad a las demandas de la modernidad.

## 2.5. Estándares y Lineamientos

Estos dos factores son los responsables de que los datos generados en un proyecto mantengan coherencia, trazabilidad, interoperabilidad y estructura para que el trabajo en equipo mantenga altos niveles de eficiencia. Por ende, para efectos del presente trabajo se toma en cuenta la ISO 19650, las sugerencias de BuildingSMART y las buenas prácticas que ya utilizan algunas compañías en Ecuador encaminadas a modelar y coordinar en BIM. Es así como se asegura la calidad del modelo, la optimización de los flujos y la posibilidad de integrar 3D, 4D y 5D (Ilustración 13).



Ilustración 12. Flujo BIM

Nota: Tomado de Pinnacle Infotech (2025)

### 2.5.1. Nivel de Desarrollo e Información LOD/LOI

El *level of development*, LOD, y el *level of information*, LOI, consisten en el grado de desarrollo y de información de los elementos, respectivamente, y en conjunto determinan el avance que se requiere alcanzar en función de la etapa del proyecto. En cuanto al LOD, incluye dos dimensiones conjuntas: 1) el contenido gráfico, es decir la geometría del elemento en el modelo, y 2) el contenido no gráfico, compuesto por datos y atributos asociados al elemento (EADIC, 2015). La Ilustración 14 presenta una explicación visual para mayor entendimiento:

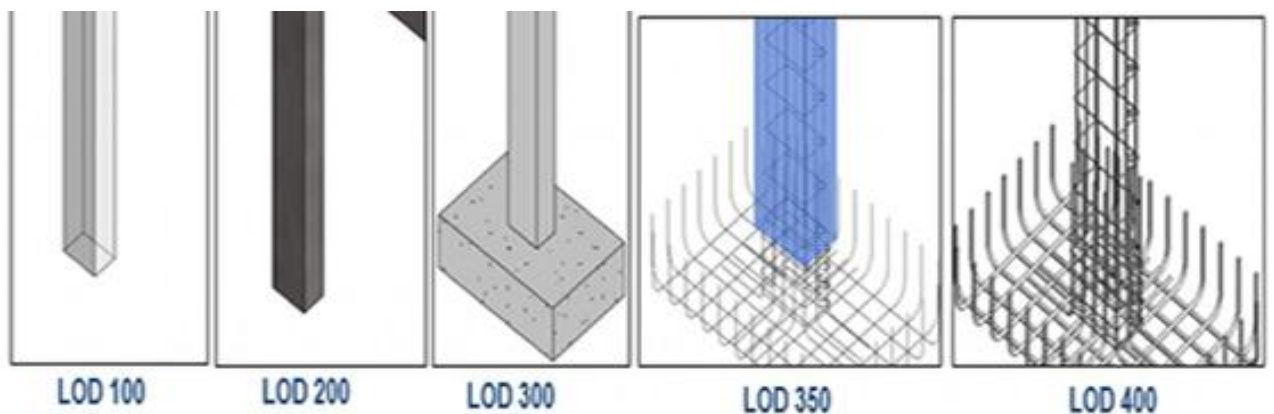


Ilustración 13. Nivel de LOD

Nota. Tomado de EADIC (2015)

Por otro lado, cada uno de los LOD corresponden a la siguiente información:

Tabla 1. Niveles de LOD

<b>Nivel</b>	<b>Denominación</b>	<b>Descripción técnica</b>
LOD 100	Diseño conceptual	Constituye una representación de los elementos, pero limitada a la forma, el volumen y la ubicación aproximada. Tampoco hay detalle sobre las medidas ni las características técnicas, por lo que su uso está enfocado en socializar el propósito del diseño y considerar opciones tentativas.
LOD 200	Diseño esquemático	Sus elementos incluyen datos sobre dimensión, forma y ubicación relativa. El fin es estudiar las relaciones espaciales, así como las interferencias y estimaciones de las cantidades, constituyéndose así en la base para tomar decisiones.
LOD 300	Diseño detallado	Establece con exactitud aspectos geométricos, localización y dimensiones exactas, además de parámetros técnicos de los componentes. Es ideal para coordinar interdisciplinariamente y generar planos.
LOD 350	Documentación constructiva	Incorpora datos relacionados a las interfaces de los sistemas, ensamblajes y elementos secundarios. Agiliza el trabajo conjunto entre áreas y sustenta el desarrollo de detalles y documentos técnicos.
LOD 400	Fabricación y montaje	Incluye datos necesarios para prefabricar, fabricar y montar elementos como, por ejemplo, conexiones, tolerancias y secuencias constructivas. Por esa razón, es utilizado por fabricantes y contratistas expertos.
LOD 500	Modelo conforme a obra (As-Built)	Consiste en las condiciones finales del proyecto e incluye datos verificados en obra. Se lo emplea para operar, mantener y gestionar el activo a lo largo del tiempo.

*Nota.* Tomado de Autodesk (s.f.-b)

### 2.5.2. Nomenclaturas BIM

Esta nomenclatura consiste en una estructura de denominaciones estandarizadas aplicables a los archivos, los elementos, los planos, entre otros aspectos que forman parte del proyecto. Su objetivo es mantener control sobre los datos, mitigar ambigüedades, potenciar la trazabilidad y estimular la interoperabilidad entre Revit, Presto, Navisworks y otras plataformas (Autodesk, s.f.-a; RIB Spain, 2025). En términos generales, este tipo de sistemas tienen que cumplir con los tres principios detallados en la Ilustración 15:

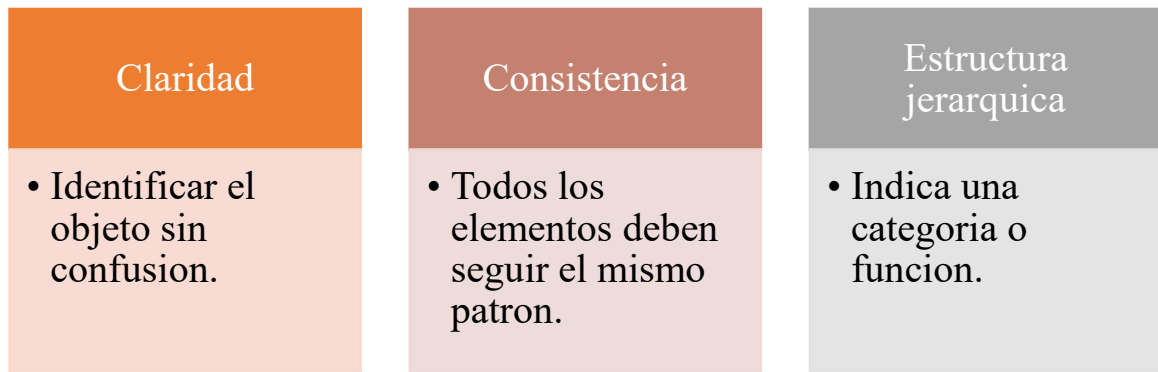


Ilustración 14. Principios de nomenclaturas BIM

*Nota.* Tomado de BuildingSmart (2020)

La nomenclatura es crítica en BIM debido a que una inadecuada organización de archivos y elementos genera errores de coordinación, duplicación de información, pérdida de versiones y fallas en la comunicación interdisciplinaria. En ese sentido, es importante tomar en cuenta lo que establece la ISO 19650 (Ilustración 16).

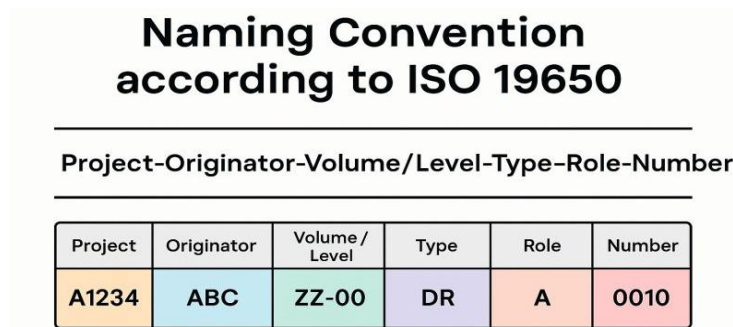


Ilustración 15. Guía sobre las convenciones de nomenclatura BIM

*Nota.* Tomado de El Maqousi (2025)

## 2.6. Roles y Estructura Organizacional

BIM se desarrolla dentro de un entorno colaborativo en el que la información se produce, comparte y gestiona de forma coordinada entre las distintas disciplinas. Este enfoque requiere una estructura organizacional claramente definida, con roles y responsabilidades de cada miembro delimitadas para garantizar la coherencia de los procesos y la comunicación efectiva (ISO, 2018). Un ejemplo se expone en la Ilustración 17:

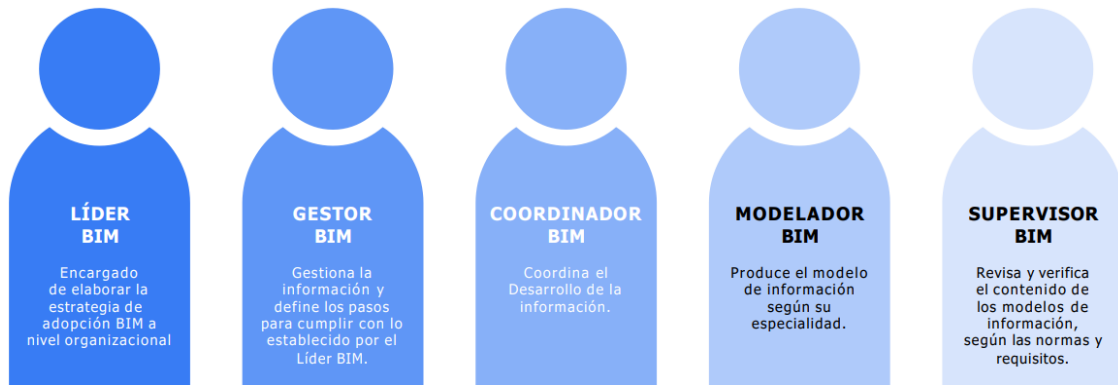


Ilustración 16. Roles BIM

*Nota.* Tomado de Ricalde (2024)

En función de la ISO 1950, la adecuada administración de los datos en el marco del modelo BIM requiere garantizar la trazabilidad de los datos e identificar con precisión a los responsables, siendo los siguientes: gerente BIM, encargado de establecer las metas de implementación y monitorear que se cumplan con los estándares; coordinador BIM, cuyo rol consiste en dirigir las interacciones entre las diversas áreas y corroborar que los modelos digitales sean consistentes; líderes de disciplina, como arquitectura, estructuras y MEP, que son los responsables de desarrollar técnicamente los modelos e integrarlos en el proyecto (Eastman et al., 2020).

Las actividades que ocurren a lo largo del esquema son formalizadas por medio de documentos normativos, por ejemplo, el BEP y los EIR, de los cuales se establecen los entregables, los rangos de revisión y los flujos de comunicación de los equipos. Asimismo, son trascendentales para garantizar que el modelo sea coherente y de calidad, puesto que indican los procedimientos que lideran el trabajo en equipo y garantizan que todos los involucrados se desenvuelvan bajo una misma metodología. De ahí que Succar y Kassem (2021) destaquen que esta disposición de jerarquías es la base para lograr la madurez del modelo. En el caso del proyecto Conjunto Magnolia, el esquema es el siguiente (Ilustración 18):

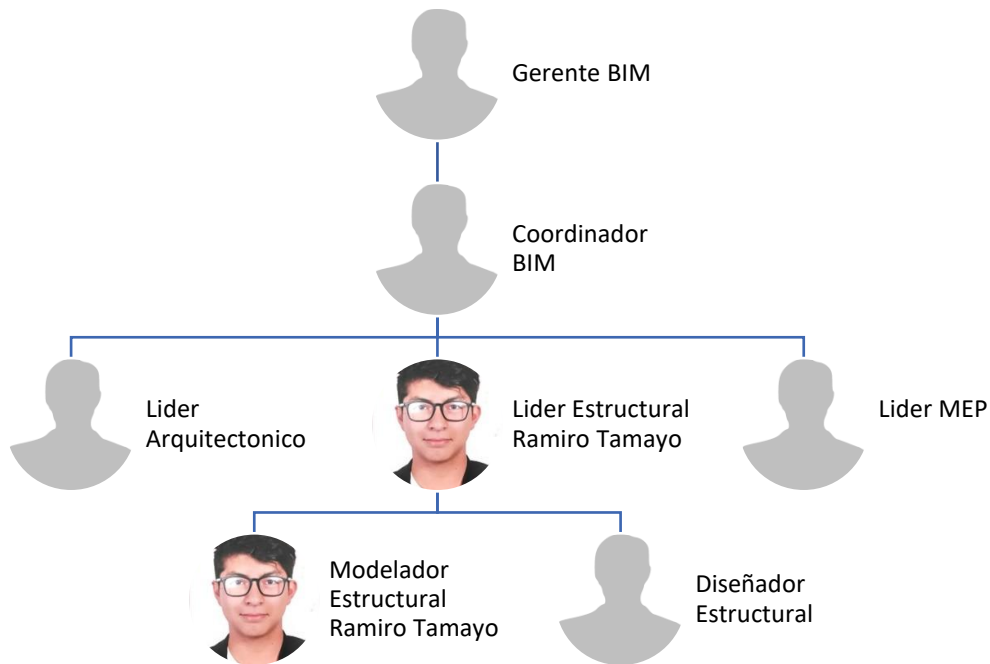


Ilustración 17. Estructura del equipo BIM del Proyecto Magnolia

*Nota.* Elaboración propia

El organigrama incentiva una cultura de colaboración interdisciplinaria puesto que persigue la mejora continua, la coordinación y la transparencia de los datos, los cuales son administrados en el entorno común de datos (CDE) que funge como biblioteca de los archivos técnicos y asegura que sean siempre fehacientes, actualizados y de fácil acceso para los integrantes. En el proyecto Conjunto Magnolia, IDECON tomó en cuenta estas bases para definir su sistema de organización BIM, asignando así roles claros con miras a garantizar una dinámica de trabajo ordenada, colaborativa y encaminada a integrar los modelos estructurales 3D con las dimensiones 4D y 5D para controlar los tiempos y los costos.

### 2.6.1. Rol del Líder Estructural

Este cargo tiene un rol clave para la administración técnica y la coordinación de los datos vinculados con el área estructural. Su meta consiste en asegurar que el modelo se ejecute con exactitud, sea coherente y compatible con las otras áreas del proyecto, de tal modo que contribuya a cumplir los objetivos en términos presupuestarios, de planificación y diseño. En el marco de la ISO 19650 (ISO, 2018), este nivel jerárquico es operativo de gestión de datos, cuya responsabilidad radica en controlar la calidad y el seguimiento de la información, así como su interconexión entre los modelos estructurales y todo el escenario digital.

El líder estructural, al ser el vínculo entre la coordinación y los modeladores de la propuesta, debe monitorear la dimensión 3D de los componentes estructurales y la exactitud geométrica, así como corroborar los datos técnicos con el fin de que estén alineados al LOD establecido en el BEP. También, trabaja muy de cerca con las cabezas de arquitectura y MEP, pues verifica las interferencias y encamina a una adecuada integración de la estructura en el modelo, de tal modo que mitiga posibles conflictos y disminuye los tiempos de corrección (ISO, 2018).

Metodológicamente, este cargo también incide en las dimensiones 4D y 5D. En la primera, se encarga de coordinar el enlace del modelo estructural y los cronogramas de trabajo al simular secuencias constructivas con TimeLiner en Navisworks o MS Project que aporten a evidenciar las actividades críticas y potenciar la programación del recurso. En la segunda, su tarea consiste en monitorear la filtración automática de los valores desde el modelo y su nexos con los programas de presupuesto, por ejemplo, Presto, con la finalidad de lograr costos actualizados y comparativos entre los distintos sistemas. Este proceso de fusión es el responsable de que el modelo estructural sea ideal para el análisis integral y sumamente útil inclusive para gestionar financiera y técnicamente el proyecto.

Al respecto, Succar y Kassem (2021) resaltan que una implementación BIM exitosa puede alcanzarse solo si los líderes tienen la habilidad necesaria para gestionar los datos y garantizar la coherencia de los modelos en el CDE. En este caso, el líder estructural es responsable de validar los entregables de su área, desarrolla reportes y registrar las versiones del modelo, asegurando así su trazabilidad. Y claro, en todo momento ha de impulsar el trabajo interdisciplinario para que los datos estructurales sean comprendidos y aprovechados por todos los involucrados.

En el Conjunto Magnolia, el líder estructural se encargó de encabezar la aplicación BIM 3D, 4D y 5D para contrastar los sistemas estructurales de las dos viviendas. De ese modo, fue posible instaurar modelos coordinados y parametrizados que sentaron las bases para planificar y presupuestar. Ello demuestra que su cargo no está limitado a producir modelos, sino a gestionar, coordinar y optimizar bajo una visión integral que persigue como fin la calidad, el tiempo y los costos esperados.

### **2.6.2. Flujo de trabajo de Líder estructural**

El líder estructural BIM en el proyecto Conjunto Magnolia implementó y controló el modelo estructural, cumpliendo todos los estándares, y facilitó la información actualizada y

detallada al coordinador BIM para garantizar la eficacia y coherencia en la colaboración de las diferentes disciplinas y equipos de trabajo. El flujo se detalla en la Ilustración 19:

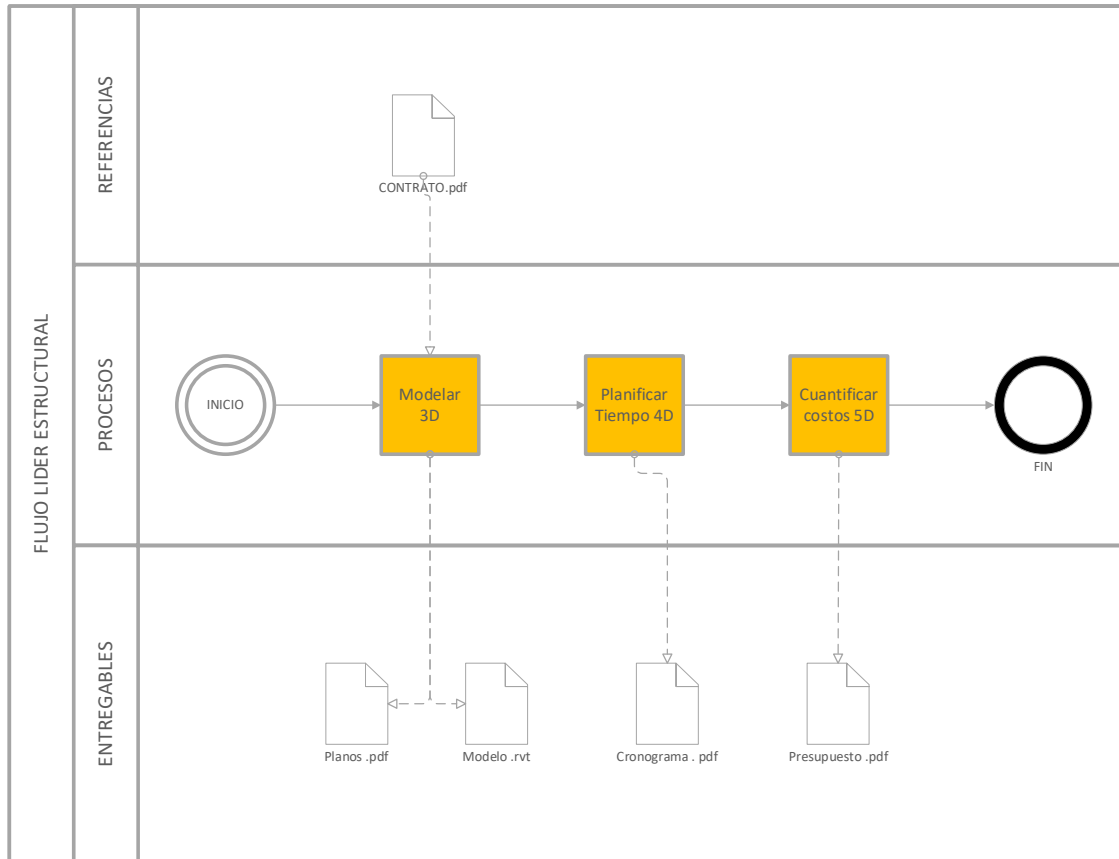


Ilustración 18. Flujo del líder estructural

*Nota.* Elaboración propia

Este esquema permite diferenciar con claridad las principales actividades que tiene a cargo el líder estructural, en función de la entrega establecida por el BEP.

### **3. Capítulo 3: Metodología**

La metodología empleada se fundamentó en la aplicación progresiva de BIM 3D, 4D y 5D para realizar una comparativa de los sistemas estructurales en las viviendas tipo C y C1 del proyecto Conjunto Magnolia. El proceso se desarrolló mediante lineamientos establecidos en los documentos de gestión BIM, el flujo de modelado estructural y una serie de criterios comparativos que permiten obtener resultados verificables en tiempo y costo.

#### **3.1. Enfoque Metodológico y Tipo de Estudio**

El trabajo respondió a un enfoque cuantitativo debido a que los resultados se fundamentan en la obtención de datos numéricos derivados del modelo 3D, la planificación 4D y la estimación económica 5D. En ese sentido, hay que tomar en cuenta que BIM permite obtener información precisa y coherente para evaluar alternativas estructurales bajo condiciones equivalentes, configurándose así en un método confiable para estudios comparativos. Además, mejora la gestión de la información, incrementa la precisión de los modelos y facilita la toma de decisiones durante el ciclo de vida del proyecto (Eastman et al., 2020; ISO, 2018)

Asimismo, el trabajo fue descriptivo-comparativo porque especifica el desempeño constructivo de dos alternativas estructurales y luego las compara bajo criterios homogéneos de tiempo y costo. Vale acotar que para sustentar la estructura de análisis se adoptó un diseño no experimental y de corte transversal, pues no hubo manipulación de variables debido a que el proceso estuvo limitado a observar los escenarios digitales que representan la realidad. Finalmente, dada la naturaleza del proyecto, también fue de carácter aplicado al requerir el uso de herramientas profesionales como Revit, Navisworks, MS Project y Presto.

#### **3.2. Descripción del Proyecto**

A continuación, la Ilustración 20 y 21 detallan la ubicación y la planta baja del proyecto, respectivamente:

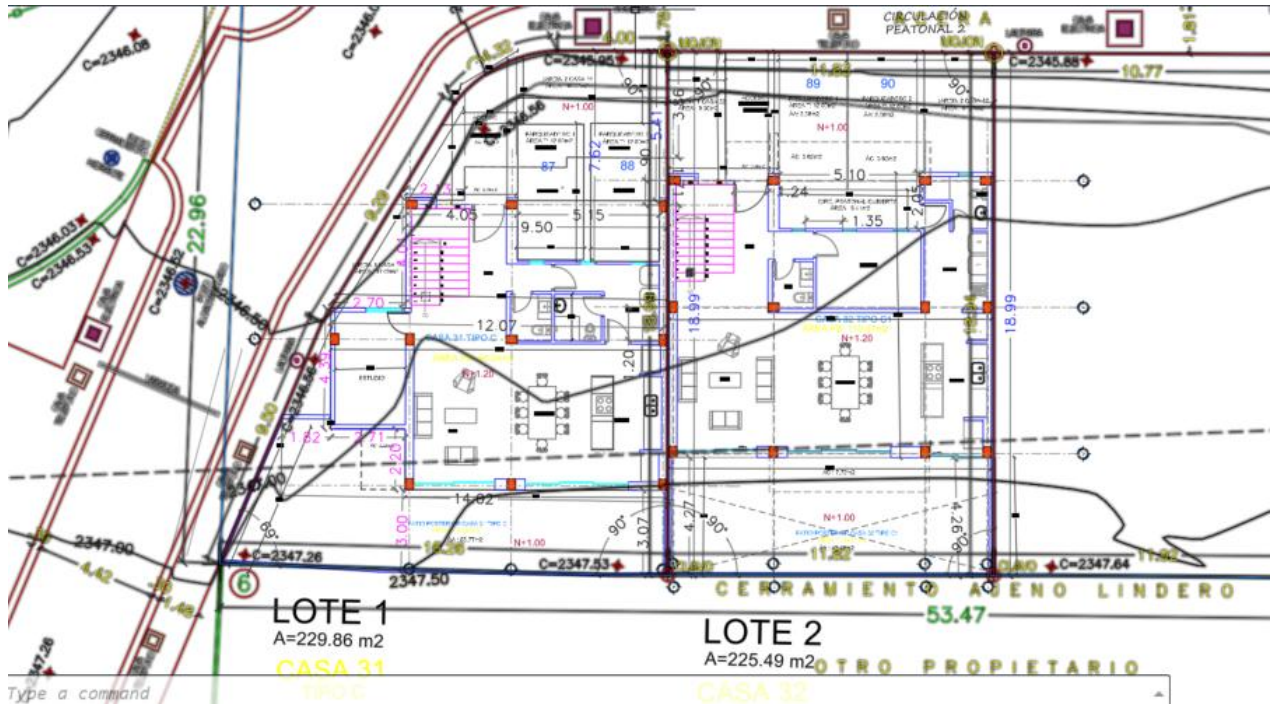


Ilustración 19. Plano de planta baja general del proyecto a desarrollar

*Nota.* Plano proporcionado por Torre fuerte (s.f.)

El Conjunto Magnolia se ubica en una zona residencial en crecimiento caracterizada por un entorno natural y el desarrollo urbano planificado. El terreno, con una superficie aproximada de 446 m<sup>2</sup>, se encuentra en el sector de Tumbaco identificado por el código geográfico QHGG+RW2, Quito 170184, que corresponde a un lote de propiedad de IDECON destinado a la construcción de dos viviendas unifamiliares.

El proyecto forma parte de un conjunto habitacional previamente concebido por Uribe Schwarzkopf, aunque las viviendas a ejecutar fueron rediseñadas estructuralmente por IDECON bajo los lineamientos y requerimientos del cliente y en función de dos tipologías: casa tipo C, con un área aproximada de 232 m<sup>2</sup>; casa tipo C1, con un área aproximada de 259 m<sup>2</sup> (ver Tabla 2). Ambas edificaciones se proyectan como unidades independientes destinadas a uso residencial unifamiliar y constituyen el caso de estudio para la aplicación de la metodología BIM en sus dimensiones 3D, 4D y 5D.

Tabla 2. Características del proyecto

Característica	Información
Ubicación	Tumbaco, Quito
Superficie del terreno	446 m <sup>2</sup>

<b>Casa Tipo C – Área</b>	231.24 m <sup>2</sup>
<b>Casa Tipo C1 – Área</b>	258.97 m <sup>2</sup>
<b>Constructora original</b>	Uribe & Schwarzkopf
<b>Diseño estructural actual</b>	IDECON
<b>Uso</b>	Vivienda unifamiliar

---

*Nota.* Creación propia

En ese sentido, el propósito consiste en comparar los tiempos de ejecución y los costos de construcción entre las dos alternativas estructurales: el sistema de hormigón armado y el sistema mixto compuesto por pórticos de hormigón, vigas secundarias de acero y losa colaborante. Este análisis permite evaluar la eficiencia en costo y tiempo de cada propuesta.

### **3.3. Documentos de Gestión BIM**

La metodología BIM exige incorporar documentos de gestión que establezcan claramente los requerimientos de información, los flujos de trabajo y las responsabilidades de cada integrante. Para efectos del estudio, los principales documentos utilizados sobre los EIR y el BEP responden a los lineamientos de la norma ISO 19650 y están adaptados a las características específicas del proyecto con el fin de garantizar la coherencia del modelado, la correcta coordinación entre disciplinas y la trazabilidad de la información (estructura, planificación y análisis de costos) generada en las etapas de diseño.

### **3.4. EIR: Requerimientos de Información del Cliente**

Los EIR fue el documento base para la implementación del BIM, pues permitió definir de manera más estructurada las necesidades de información del cliente en las distintas etapas de desarrollo del proyecto, estableciendo los lineamientos técnicos, organizativos y de gestión que deben cumplirse durante el modelado estructural. Su desarrollo consideró el alcance académico (Anexo 1) y las características específicas del proyecto, limitando su aplicación a la disciplina estructural y a los usos BIM definidos para el análisis comparativo de tiempo y costo.

#### **3.4.1. Desarrollo EIR**

Para el desarrollo de los EIR se establecieron los puntos claves de la Ilustración 22 para dar cumplimiento efectivo a las necesidades y el alcance del proyecto:

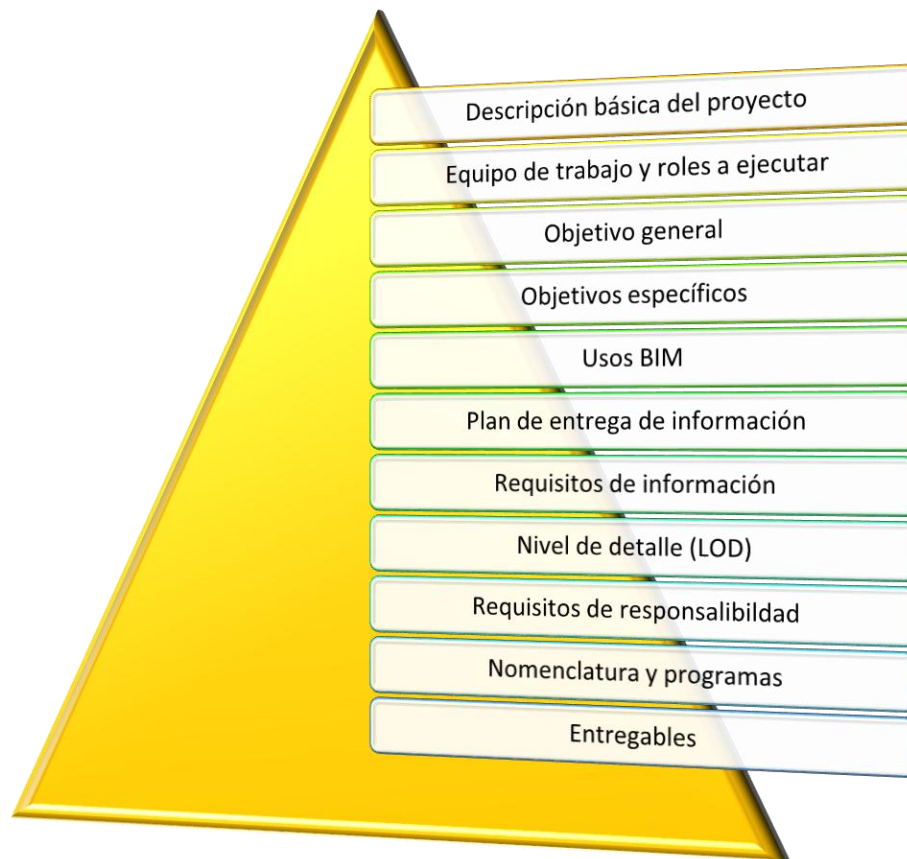


Ilustración 20. Agenda de EIR

*Nota.* Elaboración propia

Durante este proceso se tuvo presente que Uribe Schwarzkopf entregó a IDECON los levantamientos del terreno y las ubicaciones con los planos estructurales y arquitectónicos. En función de ello fue posible determinar la aplicación y el alcance del BIM, cuya propuesta para el presente trabajo estuvo a cargo del equipo del área estructural.

### **3.5. BEP: Plan de Ejecución BIM**

El BEP está alineado con las necesidades y los objetivos estipulados en los EIR. Para realizar el documento debe tomarse en cuenta las buenas prácticas y el cumplimiento de la norma ISO 19650; en este caso en particular se tuvo presente el plan BIM Perú. En general, el BEP contiene los requisitos de información del cliente con relación a los procesos, los flujos de trabajo y las actividades establecidas para la entrega correcta del proyecto (Anexo 2).

#### **3.5.1. Información del Proyecto**

La Tabla 3 detalla la información exacta del proyecto:

Tabla 3. Información del proyecto

<b>Promotor</b>	<b>IDECON</b>
Nombre de proyecto	Conjunto Magnolia
Ubicación de proyecto	Ruta viva S/N, Barrio Anton Tolagasi, Sector Tumbaco, Quito.
Descripción breve del proyecto	Conjunto habitacional de varias casas. Se toma en cuenta solo dos de ellas con sus respectivos parqueaderos.
Superficie del terreno	446 m <sup>2</sup>
Área casa tipo C	231.24 m <sup>2</sup>
Área casa tipo C1	258.97 m <sup>2</sup>
Número de predio	3696729

*Nota.* Elaboración propia

### 3.5.2. Hitos Relevantes

La Tabla 4 detalla los datos:

Tabla 4. Hitos del proyecto

<b>No.</b>	<b>Hito</b>	<b>Formato</b>	<b>Responsable</b>
1	EIR	.pdf	Gerente BIM
2	BEP	.pdf	Gerente BIM
3	Modelo Arquitectónico	.rtv	Líder de arquitectura
4	Modelo Estructural	.rtv	Líder estructural
5	Coordinación de interferencias	.nwd	Coordinador BIM
6	Planos Estructurales	.pdf	Líder Estructural
7	Simulación Constructiva	.nwd	Coordinador BIM
8	Presupuesto Estructural	.presto	Líder estructural

*Nota.* Creación propia

### 3.5.3. Organigrama del Equipo de Trabajo

Como parte de la estructura de trabajo y el equipo que conforma IDECON se planificó la contratación de dos profesionales y un estudiante, de tal modo que el organigrama fue el siguiente (Ilustración 23):

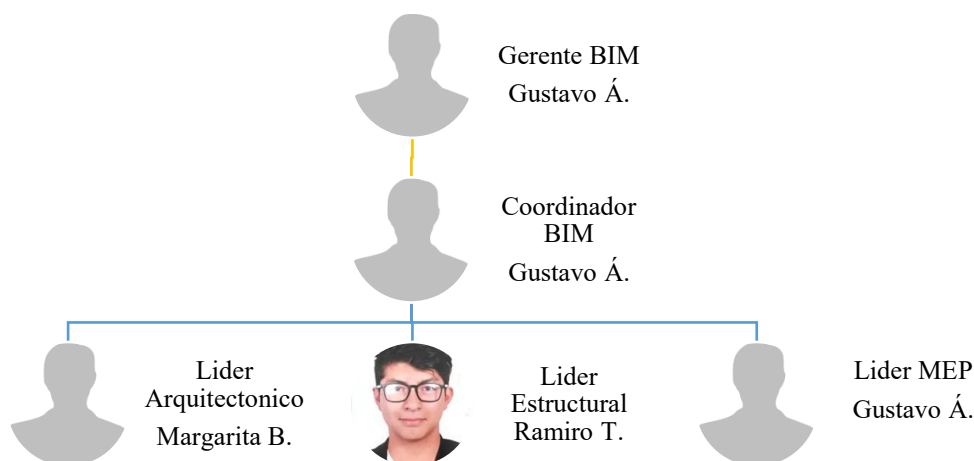


Ilustración 21. Organigrama del proyecto

*Nota.* Elaboración propia

### 3.5.4. Nivel de detalle por elementos Estructurales (LOD)

La Tabla 5 presenta el LOD recomendado por Penn State University:

Tabla 5. LOD recomendado por la Penn State University para cada uso BIM

Usos BIM	Descripción	LOD
1 Obtención de documentación	Documentos gráficos y no gráficos para comprender con claridad el proyecto para su construcción.	200
2 Modelado 3D	Desarrollo del modelo estructural, tomando en cuenta las necesidades del proyecto.	300
3 Modelado 4D	Planificación de la fase de construcción de la especialidad de estructura.	300-350
4 Revisión de modelos	Revisión de los modelos de arquitectura vs. estructura.	300
5 Estimación de costos	Calcular los valores de la obra mediante un modelo 3D que sea la base para elaborar un presupuesto aproximado.	200-300

*Nota.* Elaboración propia

Para efectos del proyecto y del uso adecuado del BIM se determinaron dos niveles de desarrollo:

- LOD 300: la estructura de hormigón armado y mixta se representan con geometría precisa, definiendo correctamente sus dimensiones, forma, posición y orientación. El nivel incorpora las características principales de los perfiles de acero, así como las conexiones estructurales y los elementos de hormigón.
- LOD 350: se desarrolla un mayor grado de detalle del modelo estructural, incorporando información específica sobre las conexiones, los sistemas de ensamblaje y los elementos de refuerzo necesarios, lo que permite una coordinación constructiva más avanzada.

### 3.6. Insumo y Supuestos de Trabajo

#### 3.6.1. Insumos de Trabajo

Los insumos constituyen la base técnica, normativa y tecnológica utilizada para el desarrollo del modelado estructural y la aplicación de la metodología BIM con el fin de garantizar la coherencia, la trazabilidad y la confiabilidad de la información:

##### **Insumos técnicos**

- Planos arquitectónicos base utilizados como referencia para la generación del modelo estructural.
- Criterios estructurales definidos en función del sistema estructural de hormigón armado y el sistema mixto de hormigón-acero.
- Información geométrica preliminar de niveles, ejes y dimensiones generales del proyecto.
- Especificaciones de materiales estructurales.

##### **Insumos normativos**

- Lineamientos BIM basados en la ISO 19650 y aplicados al intercambio y la gestión del modelo estructural.
- Criterios de niveles de LOD y LOI establecidos en función del proyecto.
- EIR y BEP elaborados por el proyecto.

##### **Insumos tecnológicos**

- Autodesk REVIT: utilizado para el modelado 3D estructural.
- Autodesk Navisworks: empleado para la coordinación y revisión del modelo.
- Microsoft Project: herramienta de apoyo para la planificación 4D.
- Presto: apoyo para la estimación de costos y cantidades 5D (Ilustración 24).



Ilustración 22. Proceso de realización de trabajo

*Nota.* Elaboración propia

### **3.6.2. Supuestos de Trabajo**

Se establecieron los siguientes supuestos que delimitaron el alcance y las condiciones para la ejecución de la propuesta:

- La información arquitectónica es correcta, suficiente para el desarrollo del modelo estructural y sin necesidad de efectuar modificaciones significativas durante el proceso.
- El modelado BIM responde únicamente a la disciplina estructural y no interviene ni modifica los modelos de otras especialidades.
- Los criterios de diseño estructural cumplen con la normativa vigente en Ecuador. No toman en cuenta condiciones excepcionales o sin contemplar en la normativa.
- El nivel de desarrollo del modelo estructural alcanza hasta el LOD 350, que es suficiente para la coordinación y el análisis del proyecto.
- La coordinación BIM está limitada a la detección de interferencias geométricas y a la revisión de consistencia del modelo.
- Los datos utilizados para la planificación 4D y la estimación 5D se basan en información referencial y son únicamente con fines académicos y comparativos.
- No se contemplan cambios en las condiciones del terreno ni estudios geotécnicos adicionales.
- Los resultados obtenidos representan un escenario controlado y no sustituyen un proyecto ejecutivo real.

### **3.7. Criterios de Comparación de Tiempo y Costo**

Los criterios para comparar el desempeño de tiempo (4D) y costo (5D) entre los sistemas estructurales fueron los pilares para evaluar objetivamente las ventajas y limitaciones de cada uno:

- Duración total de ejecución estructural: medida en días calendario desde el inicio hasta la finalización de la estructura.
- Secuencia constructiva: toma en cuenta el orden lógico de ejecución de los elementos estructurales.
- Simulación 4D: permite visualizar el proceso constructivo y verificar la coherencia temporal del modelo.
- Nivel de detalle del modelo: busca representar las actividades estructurales principales.

- Condiciones estándar de trabajo: se asumen jornadas laborales normales y sin considerar retrasos externos.

Este proceso estuvo sustentado en la planificación y simulación de las actividades constructivas asociadas a la estructura del proyecto, integrando el modelo BIM con la programación de obra.

#### 4. Capítulo 4: Modelado Estructural 3D y Gestión de Proyectos en Navisworks

El capítulo describe el proceso aplicado para el modelo estructural 3D, la coordinación y detección básica de interferencias, la planificación 4D mediante la integración con cronogramas de obra y la gestión de costos 5D a partir de la extracción de cantidades. El desarrollo se enfocó en la disciplina estructural de dos alternativas de viviendas unifamiliares con el fin de comparar su desempeño en términos de tiempo y costo bajo un entorno BIM integrado.

##### 4.1. Modelado Estructural 3D en Revit

##### 4.1.1. Flujo de Trabajo del Modelador Estructural

Para la entrega del modelo estructural de los dos métodos, el líder estructural desarrolló el flujo de trabajo para su modelador, que es una guía para comprender el proceso a seguir (Ilustración 25):

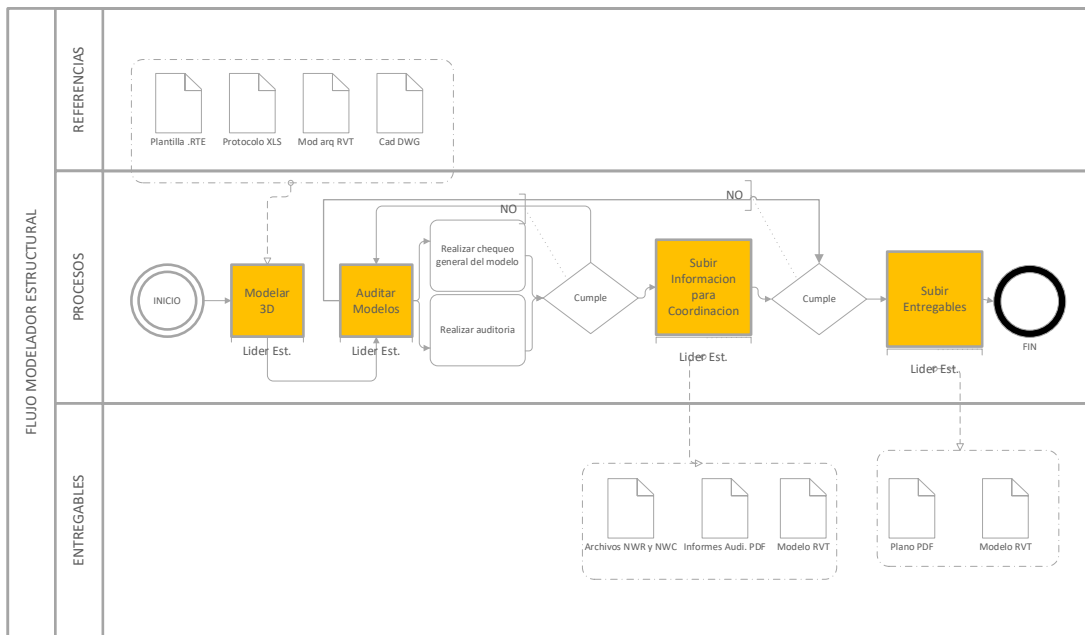


Ilustración 23. Flujo de trabajo del modelador estructural

*Nota.* Elaboración propia

El flujo de trabajo se sustentó en una secuencia sistemática de actividades orientadas al modelado estructural, sobre la base de información previamente coordinada y validada, y conforme a criterios técnicos y metodológicos propios del uso de BIM en proyectos estructurales de edificación. El modelado requirió emplear plantillas específicas para estandarizar el formato de navegador de proyectos, los criterios de modelado estructural, los parámetros de información, así como los estándares y las normativas aplicables. Además, se estableció el LOD correspondiente a cada elemento estructural, asegurando que el grado de

detalle geométrico y la información asociada sean coherentes con el uso de BIM 3D, 4D y 5D.

En cuanto al desarrollo del modelo estructural, se tomó de referencia al modelo arquitectónico tridimensional que sirvió de base para la correcta definición de los niveles ejes de la propuesta. Asimismo, fue necesario utilizar información de implantación en formato DWG de CAD como soporte de la ubicación general del proyecto y de verificación geométrica.

#### **4.1.2. Modelado en Revit**

El modelado de los sistemas estructurales en Revit exigió definir previamente los elementos estructurales, considerando aquellos necesarios para representar adecuadamente el sistema constructivo de las viviendas:

- Replanchillos
- Zapatas
- Cabezales
- Vigas de cimentación
- Contrapisos
- Columnas
- Vigas
- Losas de entrepiso
- Componentes estructurales especiales para zonas específicas del proyecto

Cada uno fue modelado conforme a los criterios establecidos en el protocolo de modelado estructural (Ilustración 26), el cual define las características geométricas y la información asociada a los componentes y plantea las directrices para la nomenclatura de los elementos, garantizando así uniformidad y claridad en la identificación dentro del entorno BIM. Por supuesto, para obtener la volumetría del elemento, el LOD y la unidad de medición se necesita que todos estén claramente definidos y clasificados.

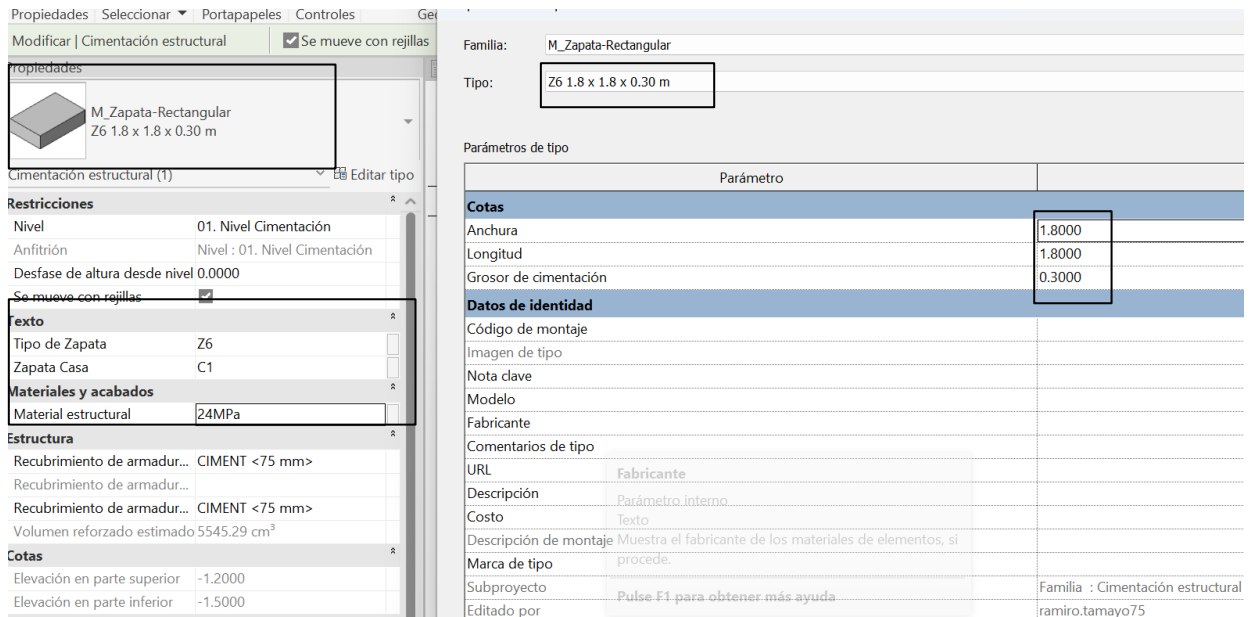


Ilustración 24. Protocolo de modelado de elementos

*Nota.* Elaboración propia

Para realizar el modelado estructural en Revit se procedió a cargar la plantilla de trabajo para estructuras, vincular el archivo CAD de las plantas arquitectónicas por nivel y georreferenciar el proyecto definiendo su norte. El siguiente paso consistió en establecer los niveles requeridos y, posteriormente, trazar los ejes longitudinales y transversales en la planta de cimentación (Ilustración 27). Una vez establecidas las rejillas, se modelaron las zapatas con los modelos nativos ya incrustados en Revit, los cuales fueron duplicados, renombrados y redimensionados dependiendo el protocolo. Este proceso es el mismo para todos los elementos, creando así parámetros que ayudan a tener un mejor entendimiento de la localización, el nivel y el material estructural.

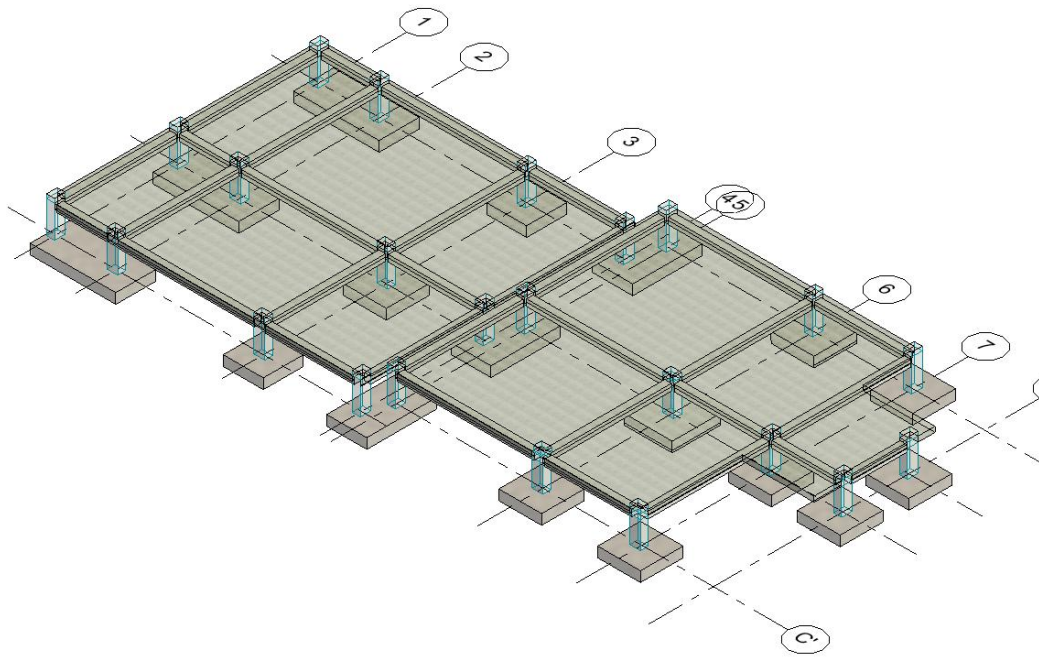


Ilustración 25. Modelado de cimentación Revit

*Nota* Elaboración propia

Bajo el mismo procedimiento fueron generadas las losas y columnas de todo el proyecto: a diferencia de una losa maciza, se crearon los nervios con sus propiedades y una loseta de 5 cm. De ese modo, la propuesta es más realista y puede cuantificarse mejor el hormigón y el acero de refuerzo (ver Ilustración 28).

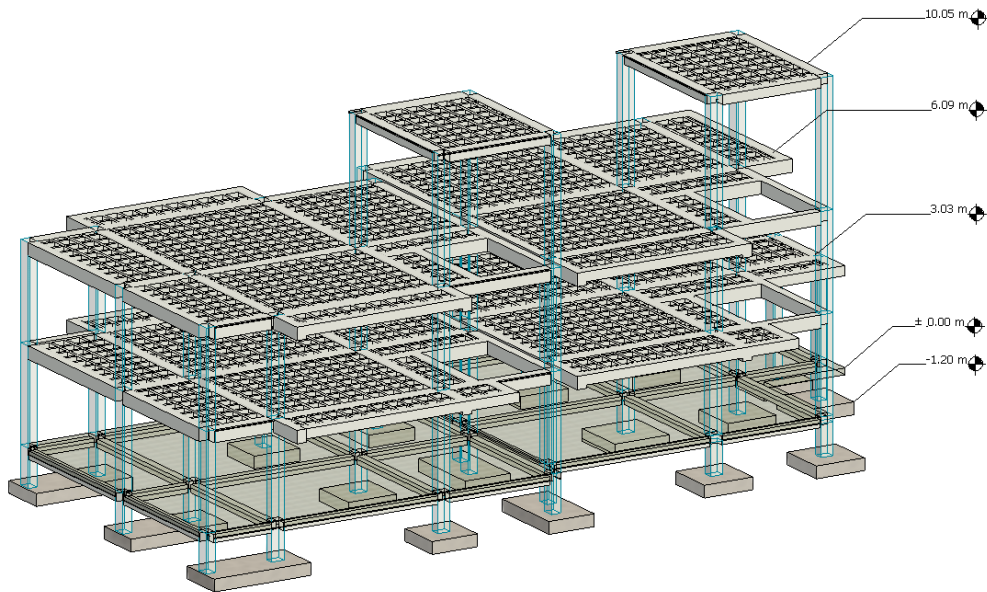


Ilustración 26. Isometría general del proyecto

*Nota.* Elaboración propia

En vista de que el proyecto consideró un LOD de 300-350 para levantar los costos, se realizó el acero de refuerzo para todos sus elementos y el modelado de acuerdo con los planos estructurales obtenidos, el cual fue desarrollado mediante las familias nativas de Revit, pero cambiando las solicitudes de parámetros y nombres (ver ilustración 29).

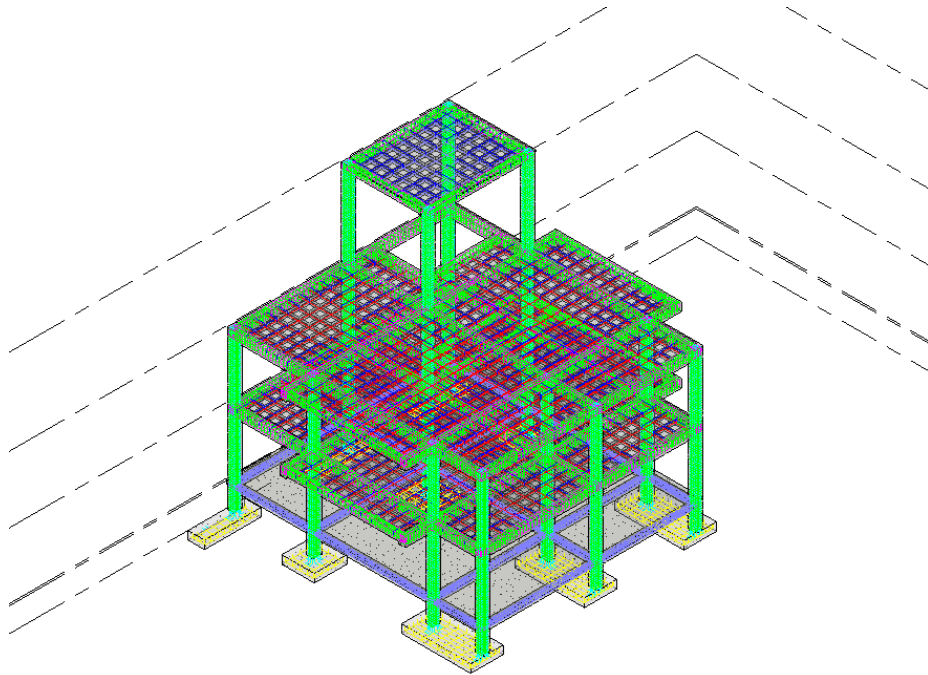


Ilustración 27. Isometría de acero de refuerzo casa tipo C

*Nota.* Elaboración propia

El modelado del sistema estructural mixto empleó el modelo base de hormigón armado, agregando aquí placas de anclaje, vigas secundarias metálicas, deck metálico o losa colaborante y pernos de corte. Para el deck metálico se creó una familia paramétrica con el fin de que sea más real con el hormigón a utilizar, pues la base es una losa de Novacero 55 y el suelo de hormigón in-situ (ver Ilustración 30 y 31).

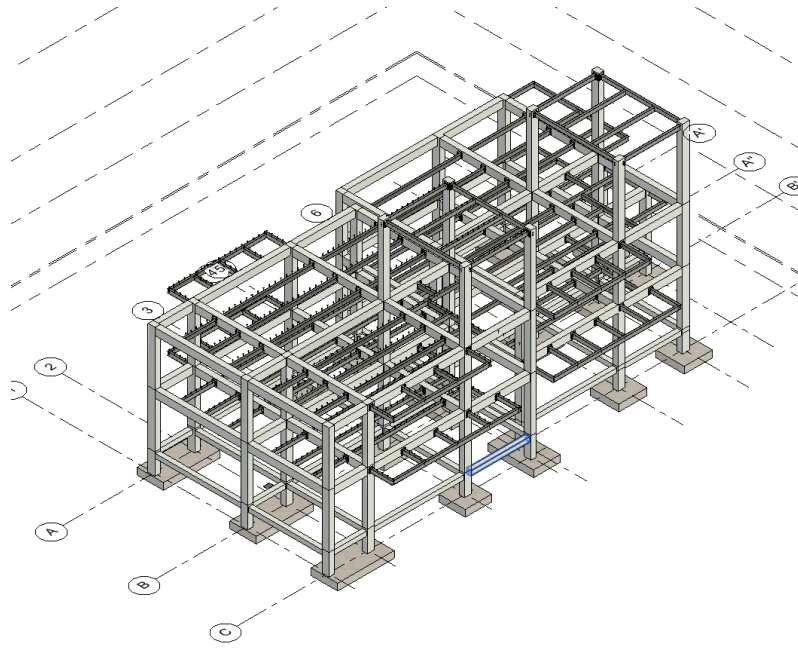


Ilustración 28. Modelo 3D del sistema estructural mixto

*Nota.* Elaboración propia

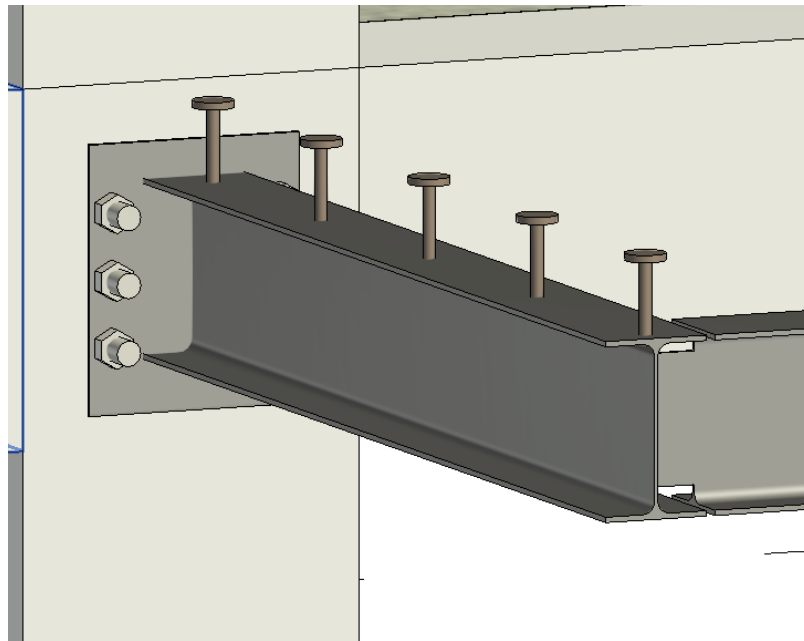


Ilustración 29. Modelo 3D de estructura mixta

*Nota.* Elaboración propia

Por supuesto, en el sistema estructural mixto también era necesario conocer los costos de la estructura y crear el armado de refuerzo, pues fue totalmente diferente en vigas y columnas por el hecho de contar con placas de anclaje (Ilustración 32).

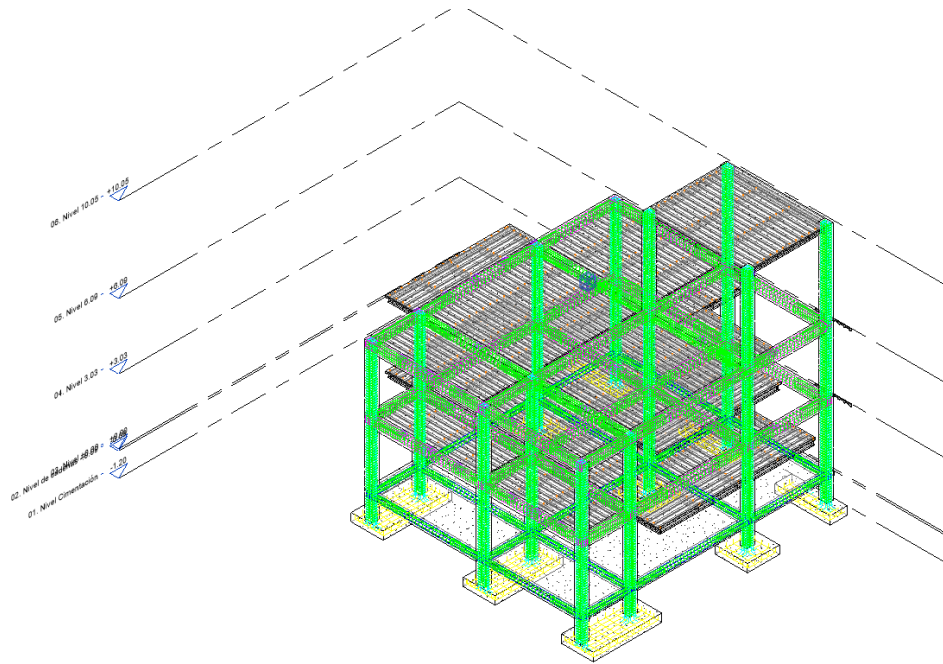


Ilustración 30. Isométrico de acero de refuerzo

*Nota.* creación propia

Finalmente, la elaboración de todo lo expuesto implicó crear nuevos filtros para visualizar las placas de anclaje, pues no había ningún filtro, de tal modo que cualquier persona que revise el archivo lo pueda apreciar adecuadamente.

#### **4.1.3. Auditoria con el Uso del Model Checker de Revit**

Revit dispone de herramientas orientadas a la interoperabilidad y el control de calidad como, por ejemplo, el módulo Autodesk Model Checker que permite evaluar el estado general del proyecto, analizar el desempeño del modelo y comprobar que las advertencias generadas durante el proceso de modelado hayan sido correctamente atendidas. Asimismo, facilita la identificación de posibles errores de modelado, verifica que el archivo se haya depurado adecuadamente, posibilita la revisión de elementos duplicados, la detección de interferencias internas dentro de la disciplina estructural y la comprobación del cumplimiento de los estándares de las normativas previamente definidas. De igual manera, contribuye a validar la consistencia y exactitud de la información incorporada, asegurando que los datos geométricos y alfanuméricos sean coherentes.

Esta verificación sistemática mitiga la presencia de errores comunes que podrían afectar las etapas posteriores del proyecto, especialmente durante la ejecución de obra. La Ilustración 33, 34 y 35 presentan las configuraciones de cada modelo en función de las reglas asociadas a las mejores prácticas de modelado en Revit:

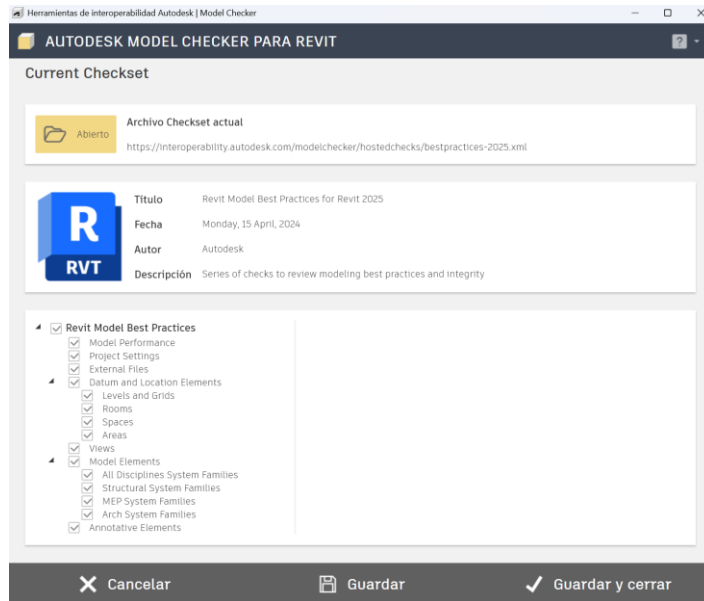


Ilustración 31. Configuración de reglas dentro del Model Checker

*Nota.* Elaboración propia

Aquí, los archivos se presentan en un informe descargable sobre el porcentaje de salud del modelo, el número de chequeos realizados, cantidad de fallas ejecutadas y no ejecutadas.

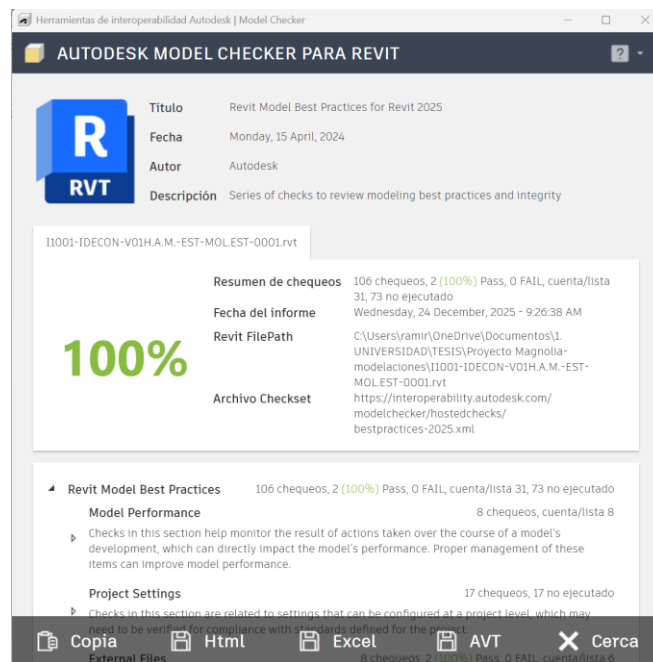


Ilustración 32. Resultados del Model Checker del modelo de estructura mixta

*Nota.* Elaboración propia

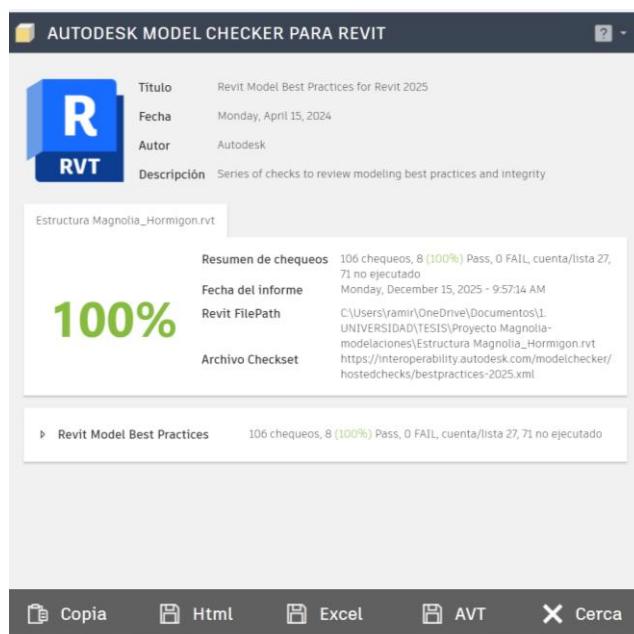


Ilustración 33. Resultados del Model Checker del modelo de estructura de hormigón armado.

*Nota.* Elaboración propia

## 4.2. Coordinación Básica y Detección de Interferencias

La revisión de las posibles interferencias entre los elementos de la estructura fue realizada mediante Autodesk Navisworks, pues permite llevar a cabo pruebas entre elementos y da a conocer la detección de cualquier conflicto, además que otorga una visualización integrada del modelo. Es importante tomar en cuenta que se requiere exportar los modelos en formato Navisworks Cache (NWC) con la información necesaria.

Entonces, para garantizar una exportación adecuada del modelo, el archivo de Revit debe contar con una vista tridimensional específica, denominada NAVIS, ubicada dentro de una carpeta de coordinación en el navegador de proyectos. La vista se configura para mostrar los elementos estructurales necesarios para el análisis de las interferencias y así asegurar que el modelo sea preciso, funcional y coherente (Ilustración 36 y 37).

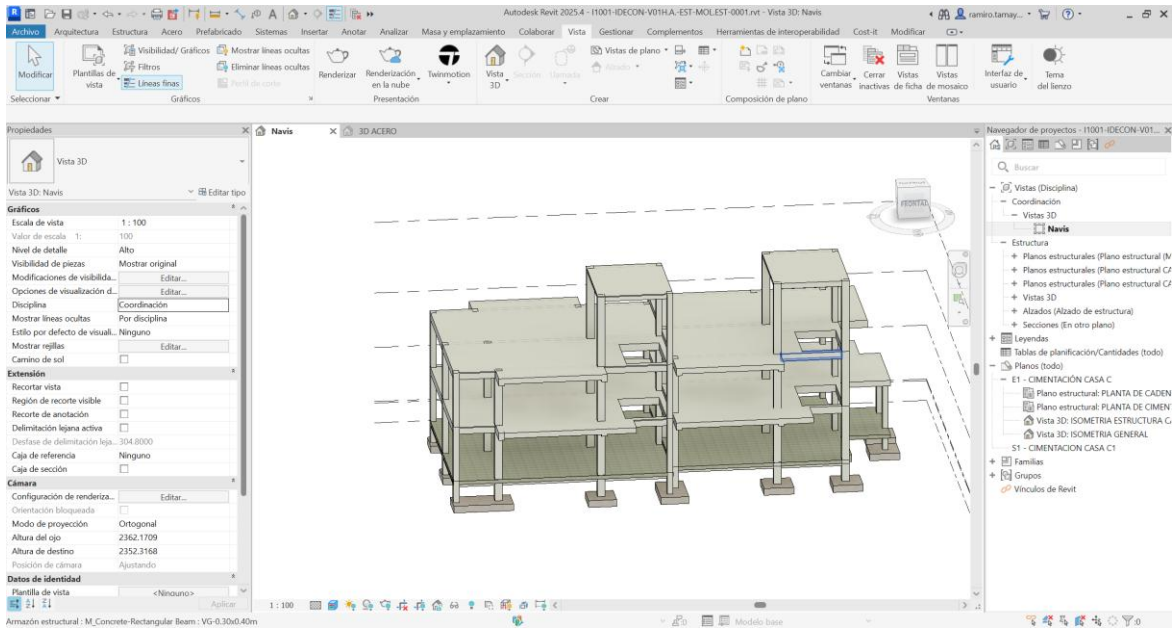


Ilustración 34. Carpetas por disciplinas en Revit: hormigón armado

*Nota.* Elaboración propia

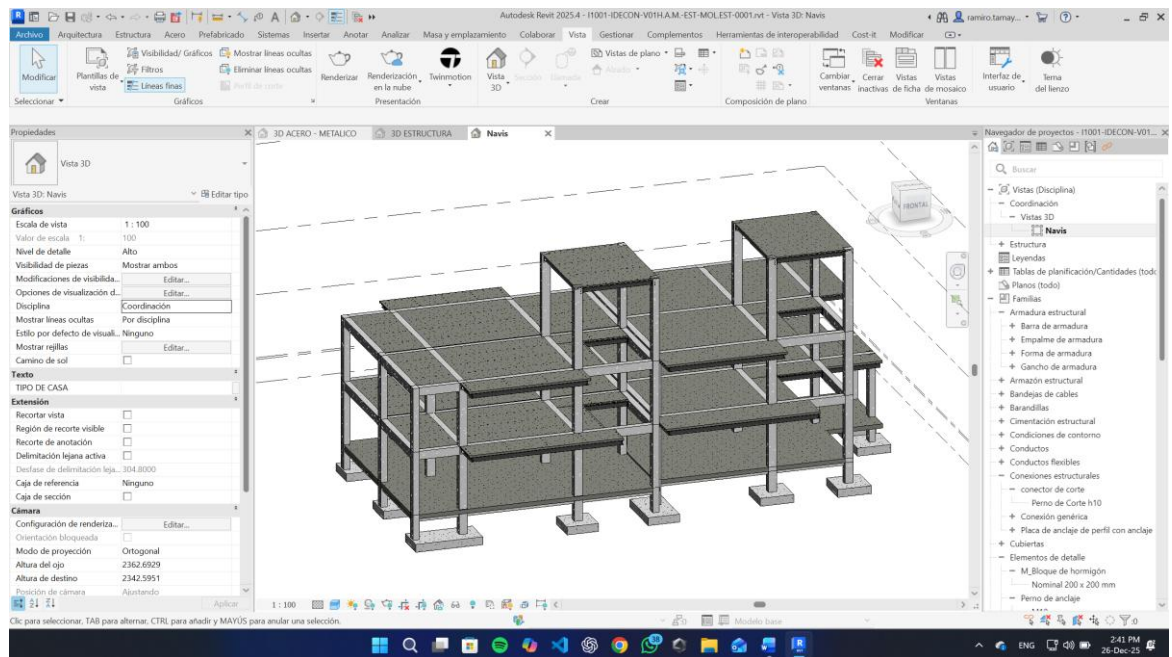


Ilustración 35. Carpetas por disciplinas en Revit: sistema mixto

*Nota.* Elaboración propia

Una vez importado el archivo NWC en Navisworks se procede a crear conjuntos de búsqueda que agrupan los elementos del modelo según su tipología estructural y que son definidos conforme a la matriz de interferencia establecida para el proceso de coordinación. Ello permite una organización clara y sistemática de los elementos que serán evaluados durante las pruebas de colisión (Ilustración 38).

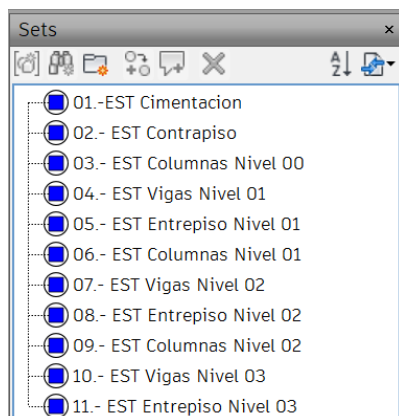


Ilustración 36. Configuración de conjuntos

*Nota.* Elaboración propia

Una vez culminados estos pasos se creó la matriz para efectuar las posibles interferencias de los elementos estructurales. Las pruebas fueron realizadas con Clash Detective, configurando cada una para evidenciar los conflictos de los elementos previamente definidos; en caso de identificarse colisiones de elementos, tienen que corregirse en Revit para luego volver a exportar y verificar en Navisworks. Este camino es importante para asegurar que el modelo estructural no tenga interferencia alguna previo a entregarlo a la coordinación del proyecto de forma definitiva.

En cuanto a las pruebas de interferencias ejecutadas, se enfocaron exclusivamente en los elementos estructurales efectivamente modelados:

#### **Sistema estructural hormigón armado**

- Columnas vs. vigas
- Columnas vs. losas alivianadas
- Vigas vs. losas alivianadas

#### **Sistema estructural mixto**

- Columnas vs. vigas metálicas
- Vigas metálicas vs. losa colaborante
- Vigas principales vs. vigas metálicas (ver Ilustración 39 y 40)

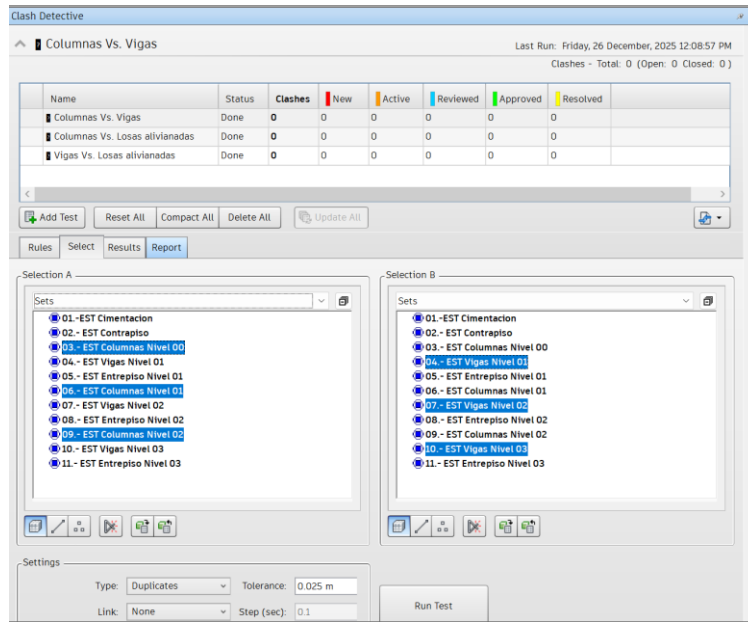


Ilustración 37. Pruebas realizadas en Clash detective en Navisworks sobre el sistema estructural hormigón armado

*Nota.* Elaboración propia

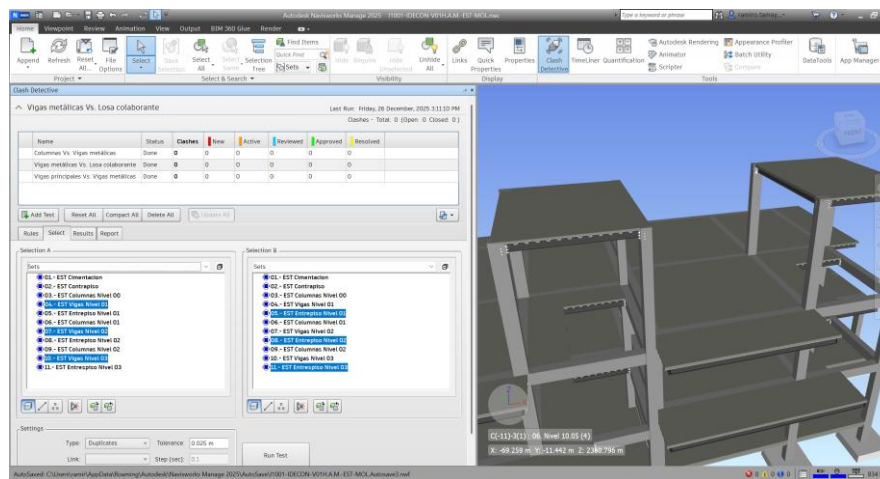


Ilustración 38. Pruebas realizadas en Clash detective en Navisworks sobre el sistema estructural mixto

*Nota.* Elaboración propia

#### 4.2.1. Resolución de Conflictos Interdisciplinarios

El archivo auditado se comparte con el equipo de coordinación para llevar a cabo pruebas entre las distintas disciplinas involucradas. En el caso del presente proyecto, las revisiones no evidenciaron interferencias ni colisiones entre los elementos modelados, por lo que no fue necesario generar observaciones correctivas. Sin embargo, en caso de identificarse conflictos tendrían que haberse documentados en un informe de transmisión detallado, procediendo posteriormente a la corrección de los elementos y a una nueva auditoria del modelo previo a la emisión de un informe actualizado con las modificaciones realizadas.

#### 4.2.2. Elaboración de Entregables del Proyecto

Una vez que el proyecto ha sido revisado y validado en su totalidad se procedió a cargar los planos en PDF y el modelo en RVT en la carpeta de OneDrive, garantizando de ese modo que los archivos estén correctamente organizados e identificados, los planos detallados del proyecto se encuentran en el Anexo 3. A continuación, la Ilustración 41 muestra el modelo auditado y terminado, así como los planos de detalle del proyecto:

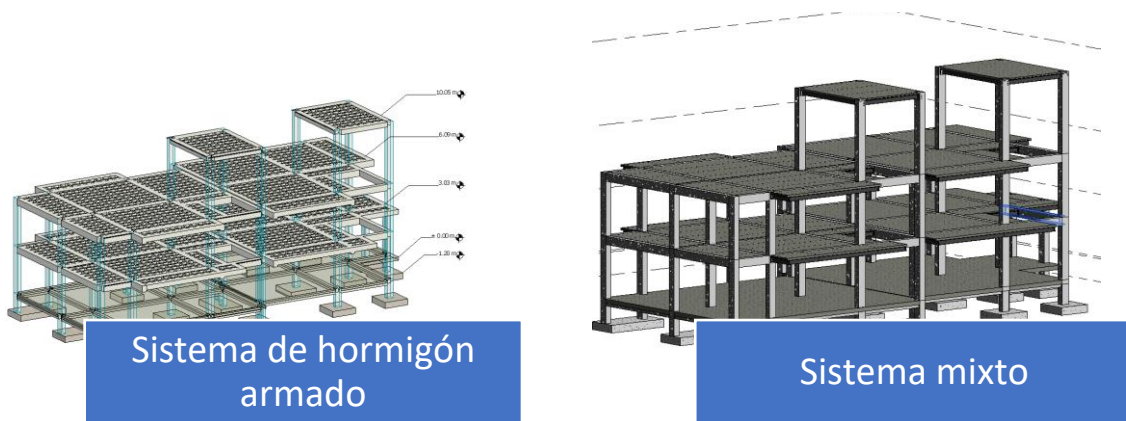


Ilustración 39. Modelos federados y auditados

*Nota.* Elaboración propia

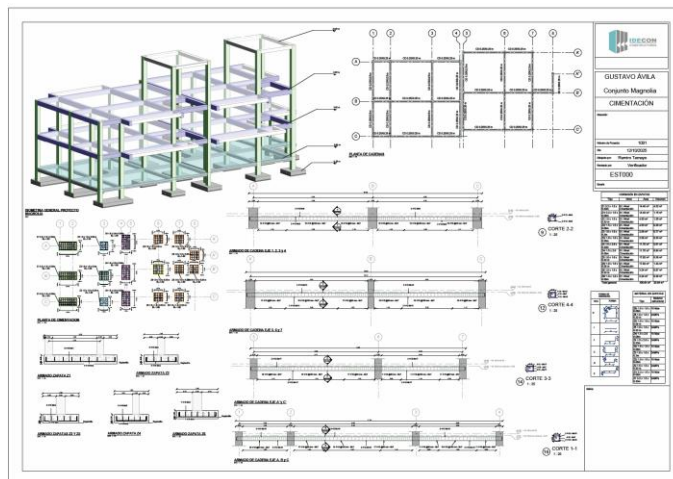


Ilustración 40: Planos estructurales de los sistemas constructivos

*Nota:* Elaboración Propia

#### 4.3. Planificación 4D con MS Project y Navisworks TimeLiner de la disciplina Estructural

El líder estructural fue el encargado de la programación y organización de los rubros que conforman el modelo estructural del proyecto. Bajo este propósito se desarrolló un esquema de desglose de trabajo (EDT) que permitió identificar las actividades necesarias, así como establecer sus relaciones lógicas y dependencias (Ilustración 42). Los pasos siguientes consistieron en determinar la duración estimada de cada tarea y elaborar un cronograma tipo Gantt para facilitar la visualización ordenada de la secuencia constructiva y los tiempos de ejecución.

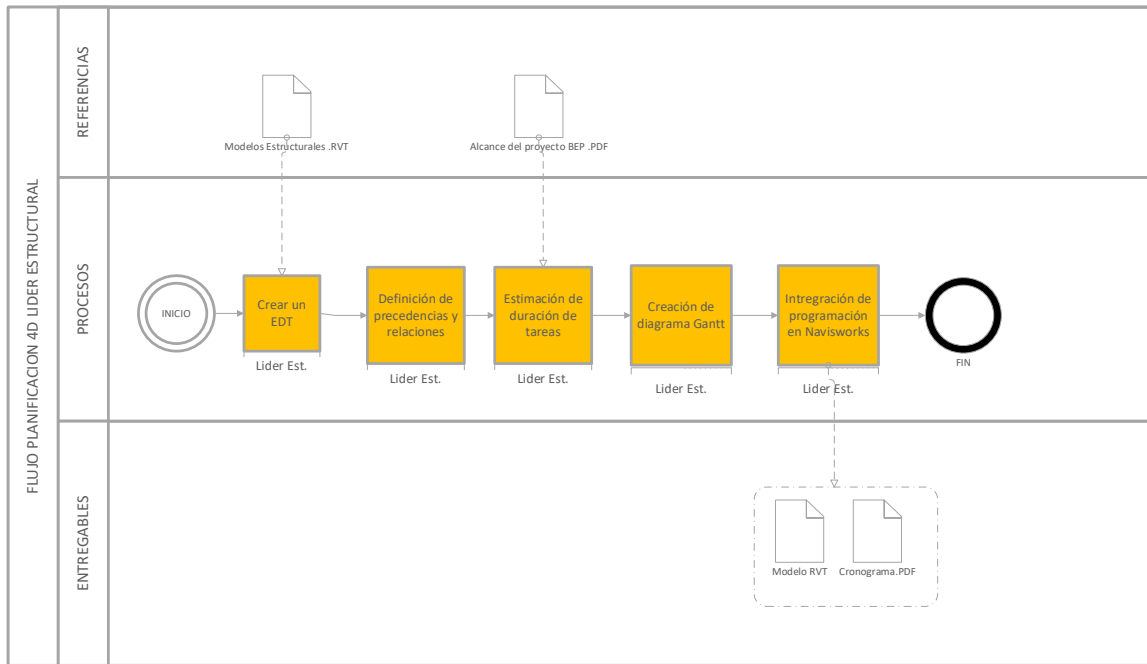


Ilustración 41. Flujo de planificación del líder estructural

*Nota.* Creación Propia

Como parte del proceso, el modelo estructural se vinculó a Navisworks para dar paso a la integración 4D, la verificación de la coherencia temporal del proyecto y el control de la coordinación. El desarrollo de estas actividades consideró como insumos principales al modelo estructural y al alcance definido en el BEP, generándose de esta forma un cronograma que respalda la planificación 4D.

#### 4.3.1. Creación de EDT

El EDT es una herramienta ampliamente utilizada en la gestión de proyectos con el fin de organizar el alcance mediante la subdivisión en componentes jerárquicos y controlables. Esta metodología potencia la planificación, el control y la ejecución de las actividades al proporcionar una visión sistemática y estructurada de los trabajos que conforman el proyecto (Project Management Institute [PMI], 2025) y constituye la base para la programación del cronograma y la asignación eficiente de recursos.

En el presente estudio, el alcance estuvo dado en función una cantidad limitada de rubros principales que fueron organizados en categorías: cimentación, columnas de la losa de entrepiso y para cerchas, cerchas cubiertas, vigas principales y secundaras, estructura para graderíos, frisos exteriores y pantallas estructurales. De cada elemento se derivaron actividades específicas para la ejecución con el fin de garantizar la coherencia de la planificación y alinear la secuencia constructiva. Eastman et al. (2020) destacan que este esquema agiliza en fases posteriores la integración del cronograma en concordancia con el modelo BIM 4D y con las buenas prácticas recomendadas (Ilustración 41).



Ilustración 42. Estructura de desglose del trabajo

Nota. Elaboración propia

### 4.3.2. Estimación de Duración de Tareas

Tras definir las actividades del proyecto y las relaciones de precedencia se procedió a estimar la duración de cada tarea para conocer el tiempo total de ejecución de la obra (Ilustración 43). De acuerdo con la guía del PMI (2025), la estimación puede apoyarse tanto en la experiencia del equipo técnico como en el juicio de expertos, especialmente cuando se trata de proyectos con características similares o con información histórica disponible. Y en contextos con incertidumbre en los tiempos de ejecución es recomendable emplear técnicas de estimación probabilística, como el método PERT que toma en cuenta tres escenarios de duración: optimista (O), más probable (M) y pesimista (P); de esa manera, se obtiene un tiempo esperado más realista para cada actividad

Task Mode	WBS	Task Name	Duration
	1.7.2	FIN DE FASE	0 days
	<b>1.8</b>	<b>▲ VIGAS NIVEL 01 CASA C</b>	<b>7 days</b>
	1.8.1	Armado y fundición de vigas nivel 01	7 days
	1.8.2	FIN DE FASE	0 days
	<b>1.9</b>	<b>▲ LOSA NIVEL 01 CASA C1</b>	<b>15 days</b>
	1.9.1	Armado y fundición de escalera nivel 00 al nivel 01	3 days
	1.9.2	Armado y fundición de losa alivianada nivel 01	14 days
	1.9.3	FIN DE FASE	0 days
	<b>1.10</b>	<b>▲ LOSA NIVEL 01 CASA C</b>	<b>15.8 days</b>
	1.10.1	Armado y fundición de escalera nivel 00 al nivel 01	3 days
	1.10.2	Armado y fundición de losa alivianada nivel 01	14 days
	1.10.3	FIN DE FASE	0 days
	<b>1.11</b>	<b>▲ COLUMNAS NIVEL 01 CASA C1</b>	<b>14 days</b>
	1.11.1	Armado y fundición de columnas nivel 01	14 days
	1.11.2	FIN DE FASE	0 days
	<b>1.12</b>	<b>▲ COLUMNAS NIVEL 01 CASA C</b>	<b>14 days</b>
	1.12.1	Armado y fundición de columnas nivel 01	14 days
	1.12.2	FIN DE FASE	0 days
	<b>1.13</b>	<b>▲ VIGAS NIVEL 02 CASA C1</b>	<b>7 days</b>
	1.13.1	Armado y fundición de vigas nivel 02	7 days
	1.13.2	FIN DE FASE	0 days
	<b>1.14</b>	<b>▲ VIGAS NIVEL 02 CASA C</b>	<b>7 days</b>
	1.14.1	Fundición de vigas nivel 02	7 days
	1.14.2	FIN DE FASE	0 days

Ilustración 43. Estimación de tiempos en actividades estructurales

*Nota.* Elaboración propia

En cuanto al cálculo del tiempo estimado responde a una media ponderada, como lo indica la siguiente ecuación, la cual otorga mayor peso al tiempo más probable, reduce la influencia de los valores extremos y proporciona una estimación más realista para la planificación y el control del cronograma (PMI, 2025):

$$Tiempo\ Estimado\ (TE) = \frac{O + 4M + P}{6}$$

Adicionalmente, la guía PMI (2025) destaca la importancia de considerar factores externos e internos que pueden afectar la duración de las actividades, tales como la ubicación del proyecto, la logística de materiales, las condiciones climáticas y la disponibilidad y experiencia de la mano de obra. De igual manera, es aconsejable incorporar reservas de contingencia asociadas a riesgos identificados con el fin de reducir el impacto de imprevistos durante la ejecución de la obra. El cronograma detallado del proyecto se presenta en el Anexo 3, donde se evidencian las duraciones, secuencias y relaciones entre actividades.

### 4.3.3. Creación de Diagrama Gantt

Una vez efectuados el EDT, las precedencias y las estimaciones de las tareas se elaboró un diagrama Gantt en Ms Project que es exportable a Navisworks para facilitar la integración de la programación BIM y generar una simulación constructiva. Este proceso proporciona una secuencia lógica para identificar posibles errores en la programación (Ilustración 45).

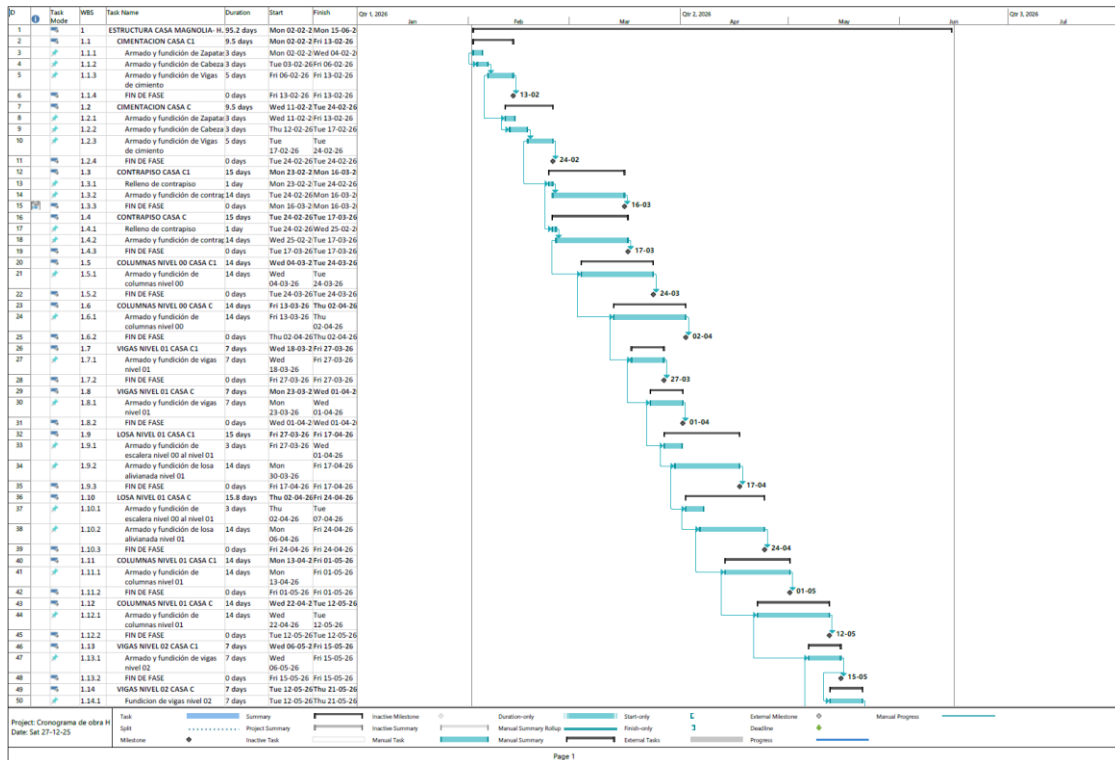


Ilustración 44. Diagrama Gantt de sistema estructural Hormigón Armado

Nota. Elaboración propia

### 4.3.4. Programación en Navisworks

El módulo TimeLiner de Navisworks es clave para integrar cronogramas que provienen de diferentes plataformas y entablar una conexión entre el modelo BIM y la planificación temporal del proyecto: en la sección dedicada a los orígenes de datos se puede importar información generada en Microsoft Project, lo que permite establecer una conexión directa entre el ambiente de simulación y la programación (Ilustración 46).

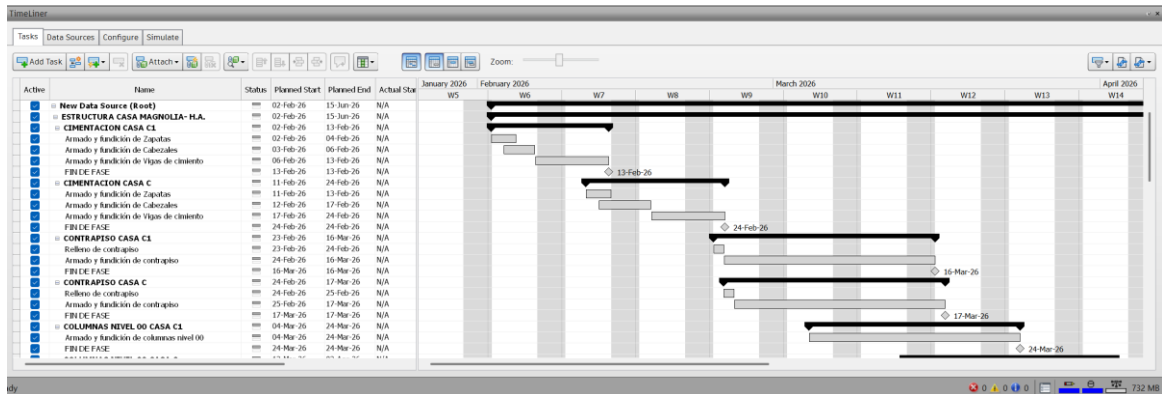


Ilustración 45. Enlace de elemento a la programación de obra

Nota. Elaboración propia

Al incorporar el cronograma en Navisworks, la información vinculada a las fechas de inicio y fin de las actividades se transfiere de manera automática para formar parte de los componentes de TimeLiner. En ese sentido, para establecer la relación de los componentes del modelo y las actividades del cronograma se emplean conjuntos de búsqueda que son ideales para aglutinar elementos en función de lineamientos previamente definidos. Asimismo, es fundamental clasificar adecuadamente las actividades según su naturaleza (temporal o constructiva), lo que asegura que la simulación mantenga coherencia (Ilustración 47).

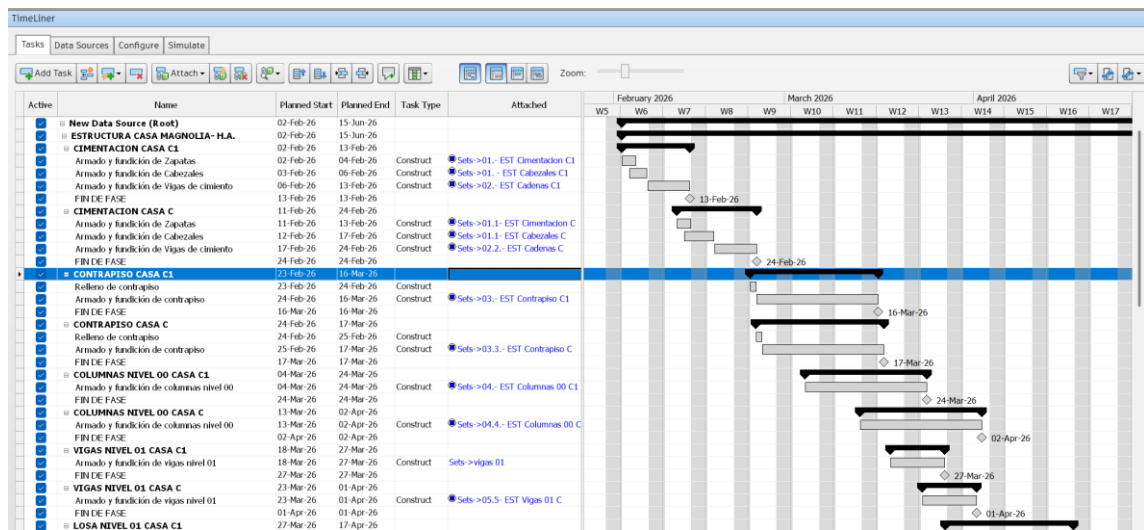


Ilustración 46. Enlace de elementos a la programación

Nota. Elaboración propia

Finalmente, una vez que se determina la relación entre el modelo y la programación es posible realizar la simulación 4D, lo que torna más ágil identificar visualmente la secuencia y detectar potenciales incongruencias o fallos en el proceso lógico de ejecución.

#### 4.4. Presupuesto 5D: Extracción de Cantidades

Una función clave del líder estructural es cuantificar y controlar los costos en 5D, lo que implica contar con datos fehacientes en el modelo y que la información generada en 4D sea correcta; asimismo, se requiere acudir a una base de datos validada que detalle el análisis de los precios unitarios para asegurar la precisión de los resultados. Por lo tanto, es necesario plantear un flujo de trabajo que integre el modelo, la programación y los costos con el propósito de encaminar el proyecto bajo una adecuada gestión económica (ver Ilustración 48).

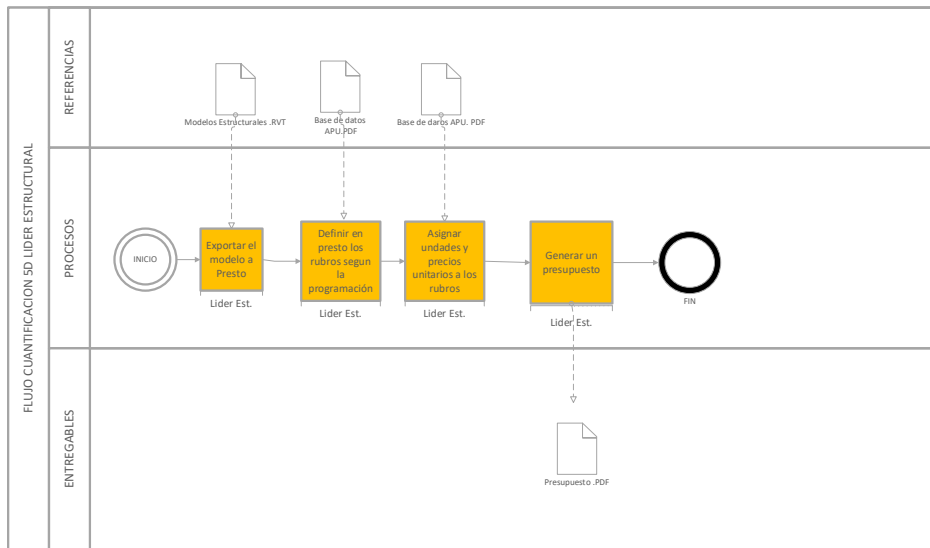


Ilustración 47. Cuantificación de costos 5D

*Nota.* Elaboración propia

En esta dimensión, el líder estructural exportó el modelo a Presto, definió los rubros conforme a las programaciones y el LOD de cada elemento. A continuación, asignó las unidades de medición correspondientes a los elementos en conjunto con el análisis de precios unitarios. Finalmente, generó el presupuesto del proyecto estructural.

##### 4.4.1. Exportación a Presto

La exportación a Presto requirió el plugin *Cost-it* para transferir todos los datos volumétricos y elegir los elementos a tomar en cuenta para el presupuesto de la obra (Ilustración 49).

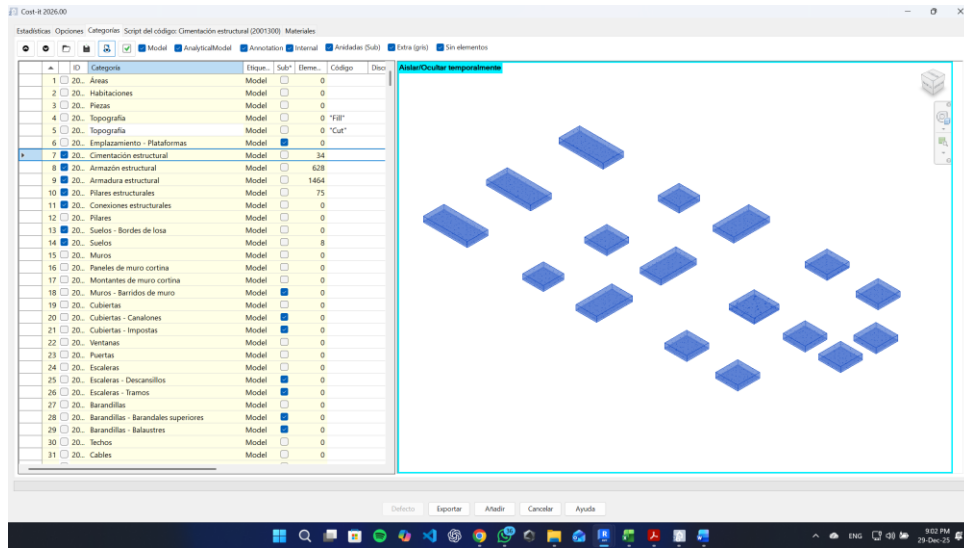


Ilustración 48. Exportación de elementos a través de Cost-it

Nota. Elaboración propia

#### 4.4.2. Programación de Rubros en Presto

Una vez que la información está cargada en Presto (Ilustración 50 y 51) se asignó la programación de obra de manera estructurada con la información 4D, agrupando las tareas de zapatas, cabezales y cadenas bajo el nombre *Cimentación estructural*. Este paso ayudó a visualizar el presupuesto bajo una secuencia lógica de construcción.

I1001-IDECON-V01HA.-EST-MOL 2025-12-30 14-00-51.EST-0001						
CódigoK	NatC*	Resumen	CanPres	Ud	Pres	ImpPres*
Revit		Conjunto Magnolia	1			
1 2001300	⚙️	Cimentación estructural	1		0	0
2 2001320	⚙️	Armazón estructural	1		0	0
3 2009000	⚙️	Armadura estructural	1		0	0
4 2001330	⚙️	Pilares estructurales	1		0	0
5 2000032	⚙️	Suelos	1		0	0

Ilustración 49. Valores exportados de Presto a Revit

Nota. Elaboración propia

Revit						
Revit	📁	Conjunto Magnolia	1	127,835.11	USD	127,835...
▷ 01.	⚙️	Cimentación estructural	1	6,155.91	USD	6,155.91
▷ 02.	⚙️	CONTRAPISO	1	8,193.26	USD	8,193.26
▷ 03.	⚙️	Pilares estructurales	1	4,074.87	USD	4,074.87
▷ 04.	⚙️	Armazón estructural	1	8,404.67	USD	8,404.67
▷ 05.	⚙️	Armadura estructural	1	34,029.53	USD	34,029.53
▷ 06.	⚙️	Suelos	1	65,068.97	USD	65,068.97
▷ 07.	⚙️	Escaleras	1	1,907.90	USD	1,907.90

Ilustración 50. Corrección de estructura del Presupuesto

Nota. Elaboración propia

### 4.4.3. Asignación de Unidades y Precios Unitarios

En Presto se asignaron los recursos a los rubros (materiales, mano de obra y equipos) para llevar a cabo un análisis de precios unitarios de cada uno, definir las unidades de medida y el tipo de moneda para el presupuesto (Ilustración 52).

Revit		Conjunto Magnolia	1	127,835.11	USD	127,835...
01.		Cimentación estructural	1	6,155.91	USD	6,155.91
02.		CONTRAPISO	1	8,193.26	USD	8,193.26
03.		Pilares estructurales	1	4,074.87	USD	4,074.87
04.		Armazón estructural	1	8,404.67	USD	8,404.67
05.		Armadura estructural	1	34,029.53	USD	34,029.53
06.		Suelos	1	65,068.97	USD	65,068.97
07.		Escaleras	1	1,907.90	USD	1,907.90

Ilustración 51. Presupuesto hormigón Armado

Nota. Elaboración propia

### 4.4.4. Generación del Presupuesto Estructural

El presupuesto se estructuró a partir de la planificación ordenada de los rubros, las cantidades y volumetrías obtenidas mediante Presto, la vinculación de datos de BIM y los costos incorporados desde una base de datos de análisis de precios unitarios, que en este caso fue obtenida de la Cámara de la Industria de la Construcción (CAMICON) y complementada con información actualizada de distintos proveedores, lo que garantizó la coherencia y la confiabilidad de los costos (Ilustración 53 y 54). El presupuesto detallado del proyecto se presenta en el Anexo 5.

Código	NatC*	Resumen	CanPres	Ud	Pres	Divisa	ImpPres*
Revit		Conjunto Magnolia	1		127,835.11	USD	127,835...
01.		Cimentación estructural	1		6,155.91	USD	6,155.91
01.01.		Hormigón en replantillo f'c = 180 kg/cm2	1.00	m3	462.26	USD	462.26
392463		M_Zapata-Rectangular - Z1r 3.2 x 1.5 x 0.08m	1.14	m3	107.75		122.84
MAQ...		HERRAMIENTA MENOR 5%	1.260	%	1.00	USD	1.26
MAQ...		CONCRETERA 1 SACO	0.650	u	4.11	USD	2.67
MAO...		PEON E.O. E2	3.900	h	4.23	USD	16.50
MAO...		ALBAÑIL E.O. D2	1.300	h	4.28	USD	5.56
MAO...		MAESTRO MAYOR E.O. C1	0.650	h	4.75	USD	3.09
MAT...		CEMENTO PORTLAND	335.000	kg	0.16	USD	53.60
MAT...		ARENA	0.650	m3	17.87	USD	11.62
MAT...		RIPIO TRITURADO 3/4"	0.950	m3	14.00	USD	13.30
MAT...		AGUA	0.240	m3	0.62	USD	0.15

Ilustración 52. Generación de APU de replantillo de zapata

Nota. Elaboración propia

Conjunto Magnolia				CanPres	Pres	Ud	Divisa	ImpPres*
Código	NatC*	Resumen						
Revit		Conjunto Magnolia		1	127,835.11		USD	127,83...
1 01.	...	Cimentación estructural		1	6,155.91		USD	6,155.91
2 02.		CONTRAPISO		1	8,193.26		USD	8,193.26
3 03.		Pilares estructurales		1	4,074.87		USD	4,074.87
4 04.		Armazón estructural		1	8,404.67		USD	8,404.67
5 05.		Armadura estructural		1	34,029.53		USD	34,029.53
6 06.		Suelos		1	65,068.97		USD	65,068.97
7 07.		Escaleras		1	1,907.90		USD	1,907.90

Ilustración 53. Presupuesto de sistema de Hormigón Armado

*Nota.* Elaboración propia

## 5. Análisis de Resultados

El capítulo presenta los resultados obtenidos a partir de la aplicación de la metodología BIM 3D, 4D y 5D. El análisis se enfoca en la evaluación de los tiempos de ejecución, los costos asociados y la comparación entre alternativas estructurales, así como en los resultados de ambas viviendas. Los datos provienen del modelado estructural, la planificación temporal y la estimación de costos.

### 5.1. Resultados de Tiempos y Costos

La información de tiempo y costo se obtuvo a partir de la vinculación del modelo estructural con el cronograma de obra (4D) y el presupuesto (5D): el primero permitió identificar la duración total del proyecto estructural, la secuencia constructiva de los principales rubros y las actividades críticas; el segundo se elaboró con base en las cantidades extraídas directamente del modelo BIM y de los análisis de precios unitarios utilizados sobre la base de la CAMICON.

#### 5.1.1. Resultados de Costos

El análisis de presupuestos obtenido de Presto para ambos sistemas constructivos se desglosa en la Ilustración 55 y 56:

Conjunto Magnolia							
Código	NatC*	Resumen	CanPres	Pres Ud	Divisa	ImpPres*	
Revit		Conjunto Magnolia	1	127,835.11	USD	127,83...	
1 01.	...	Cimentación estructural	1	6,155.91	USD	6,155.91	
2 02.		CONTRAPISO	1	8,193.26	USD	8,193.26	
3 03.		Pilares estructurales	1	4,074.87	USD	4,074.87	
4 04.		Armazón estructural	1	8,404.67	USD	8,404.67	
5 05.		Armadura estructural	1	34,029.53	USD	34,029.53	
6 06.		Suelos	1	65,068.97	USD	65,068.97	
7 07.		Escaleras	1	1,907.90	USD	1,907.90	

Ilustración 54. Presupuesto estimado hormigón armado

*Nota.* Elaboración propia

Código	NatC*	Resumen	CanPres	Pres Ud	Divisa	ImpPres*	
Revit		Conjunto Magnolia	1	119,146.72		119,14...	
1 01.	...	Cimentación estructural	1	6,155.91		6,155.91	
2 02.		CONTRAPISO	1	8,193.26		8,193.26	
3 03.		Pilares estructurales	1	4,074.87		4,074.87	
4 04.		Armazón estructural	1	6,227.97		6,227.97	
5 05.		Armadura estructural	1	22,649.31		22,649.31	
6 06.		Conexiones estructurales	1	4,533.59		4,533.59	
7 07.		Suelos	1	65,403.91		65,403.91	
8 08.		Escaleras	1	1,907.90		1,907.90	

Ilustración 55. Presupuesto estimado Estructura Mixta

*Nota.* Elaboración propia

En términos económicos, el sistema constructivo mixto presenta el comportamiento más favorable con un costo estructural de USD 119 146.72 para las dos viviendas, considerando un valor referencial individual aproximado de USD 250 000, con un costo

estructural del sistema mixto equivalente a USD 59 573.36 por vivienda, lo que representa aproximadamente el 23.83 % del valor total de cada vivienda. En cambio, el sistema constructivo de hormigón armado registra un costo estructural de USD 127 835.11 para ambas viviendas, correspondiente a USD 63 917.56 por cada una, lo que equivale a cerca del 25,57 % del valor total por casa. En definitiva, el sistema constructivo mixto reduce significativamente el costo estructural, convirtiéndose en la alternativa económicamente más favorable para el proyecto.

### 5.1.2. Resultados de Tiempos

En cuanto a los tiempos de ejecución, el análisis del cronograma estructural permitió determinar la duración total de cada alternativa. En ese sentido, el sistema constructivo mixto conlleva una duración de 88.2 días para la ejecución estructural del conjunto de las dos viviendas, mientras que el sistema constructivo de hormigón armado requiere de 95.2 días (ver Ilustración 57 y 58).

Task Mode	WBS	Task Name	Duration	Start	Finish	Predecessors	Reso
1	1	ESTRUCTURA CASA MAGNOLIA- H.A.	95.2 days	Mon 02-02-26	Mon 15-06-26		
2	1.1	CIMENTACION CASA C1	9.5 days	Mon 02-02-26	Fri 13-02-26		
7	1.2	CIMENTACION CASA C	9.5 days	Wed 11-02-26	Tue 24-02-26		
12	1.3	CONTRAPISO CASA C1	15 days	Mon 23-02-26	Mon 16-03-26		
16	1.4	CONTRAPISO CASA C	15 days	Tue 24-02-26	Tue 17-03-26		
20	1.5	COLUMNAS NIVEL 00 CASA C1	14 days	Wed 04-03-26	Tue 24-03-26		
23	1.6	COLUMNAS NIVEL 00 CASA C	14 days	Fri 13-03-26	Thu 02-04-26		
26	1.7	VIGAS NIVEL 01 CASA C1	7 days	Wed 18-03-26	Fri 27-03-26		
29	1.8	VIGAS NIVEL 01 CASA C	7 days	Mon 23-03-26	Wed 01-04-26		
32	1.9	LOSA NIVEL 01 CASA C1	15 days	Fri 27-03-26	Fri 17-04-26		
36	1.10	LOSA NIVEL 01 CASA C	15.8 days	Thu 02-04-26	Fri 24-04-26		
40	1.11	COLUMNAS NIVEL 01 CASA C1	14 days	Mon 13-04-26	Fri 01-05-26		
43	1.12	COLUMNAS NIVEL 01 CASA C	14 days	Wed 22-04-26	Tue 12-05-26		
46	1.13	VIGAS NIVEL 02 CASA C1	7 days	Wed 06-05-26	Fri 15-05-26		
49	1.14	VIGAS NIVEL 02 CASA C	7 days	Tue 12-05-26	Thu 21-05-26		
52	1.15	LOSA NIVEL 02 CASA C1	15 days	Fri 08-05-26	Fri 29-05-26		
56	1.16	LOSA NIVEL 02 CASA C	15 days	Mon 11-05-26	Mon 01-06-26		
60	1.17	COLUMNAS NIVEL 02 CASA C1	14 days	Wed 20-05-26	Tue 09-06-26		
63	1.18	COLUMNAS NIVEL 02 CASA C	14 days	Fri 15-05-26	Thu 04-06-26		
66	1.19	VIGAS NIVEL 03 CASA C1	4 days	Thu 21-05-26	Wed 27-05-26		
69	1.20	VIGAS NIVEL 03 CASA C	4 days	Mon 25-05-26	Fri 29-05-26		

Ilustración 56. Cronograma estimado de Hormigón Armado

Nota. Elaboración propia

	<b>1</b>	<b>ESTRUCTURA CASA MAGNOLIA- H.A.M</b>	<b>88.2 days</b>	<b>Mon 02-02-26</b>	<b>Thu 04-06-26</b>		
	<b>1.1</b>	<b>CIMENTACION CASA C1</b>	<b>9.5 days</b>	<b>Mon 02-02-26</b>	<b>Fri 13-02-26</b>		
	1.1.1	Armado y fundición de Zapatas	3 days	Mon 02-02-26	Wed 04-02-26		
	1.1.2	Armado y fundición de Cabezales	3 days	Tue 03-02-26	Fri 06-02-26	3SS+50%	
	1.1.3	Armado y fundición de Vigas de cimiento	5 days	Fri 06-02-26	Fri 13-02-26	4	
	1.1.4	FIN DE FASE	0 days	Fri 13-02-26	Fri 13-02-26	5	
	<b>1.2</b>	<b>CIMENTACION CASA C</b>	<b>9.5 days</b>	<b>Wed 11-02-26</b>	<b>Tue 24-02-26</b>		
	1.2.1	Armado y fundición de Zapatas	3 days	Wed 11-02-26	Fri 13-02-26	5SS+50%	
	1.2.2	Armado y fundición de Cabezales	3 days	Thu 12-02-26	Tue 17-02-26	8SS+50%	
	1.2.3	Armado y fundición de Vigas de cimiento	5 days	Tue 17-02-26	Tue 24-02-26	9	
	1.2.4	FIN DE FASE	0 days	Tue 24-02-26	Tue 24-02-26	10	
	<b>1.3</b>	<b>CONTRAPISO CASA C1</b>	<b>15 days</b>	<b>Mon 23-02-26</b>	<b>Mon 16-03-26</b>		
	1.3.1	Relleno de contrapiso	1 day	Mon 23-02-26	Tue 24-02-26	10SS+75%	
	1.3.2	Armado y fundición de contrapiso	14 days	Tue 24-02-26	Mon 16-03-26	13	
		1.3.3	FIN DE FASE	0 days	Mon 16-03-26	Mon 16-03-26	14
	<b>1.4</b>	<b>CONTRAPISO CASA C</b>	<b>15 days</b>	<b>Tue 24-02-26</b>	<b>Tue 17-03-26</b>		
	1.4.1	Relleno de contrapiso	1 day	Tue 24-02-26	Wed 25-02-26	13SS+90%	
	1.4.2	Armado y fundición de contrapiso	14 days	Wed 25-02-26	Tue 17-03-26	17	
	1.4.3	FIN DE FASE	0 days	Tue 17-03-26	Tue 17-03-26	18	
	<b>1.5</b>	<b>COLUMNAS NIVEL 00 CASA C1</b>	<b>14 days</b>	<b>Wed 04-03-26</b>	<b>Tue 24-03-26</b>		

Ilustración 57. Cronograma estimado estructura Mixta

*Nota.* Elaboración propia

La diferencia en los tiempos de ejecución se explica principalmente por la reducción de actividades asociadas a vaciados y tiempos de curados del hormigón, así como por la posibilidad de ejecutar procesos de montaje más eficientes. Finalmente, hay que tomar en cuenta que el sistema tradicional de hormigón armado requiere mayores tiempos de ejecución debido a la secuencia constructiva propia del material.

## 6. Conclusiones y Recomendaciones

### 6.1. Conclusiones

- Utilizando la metodología BIM 3D, 4D y 5D con el rol de líder estructural, se obtuvo una comparación en la planificación y de coste de sistemas constructivos de hormigón armado y mixto, hormigón-acero, de las dos viviendas unifamiliares del proyecto del conjunto magnolia en Tumbaco sin abordar aspectos arquitectónicos ni instalaciones MEP.
- Se realizó con Revit el modelo tridimensional de los sistemas estructurales de hormigón armado y mixto, incorporando los parámetros estructurales dando como resultado un modelado de nivel de detalle 300 y 350 para la obtención de cantidades precisas y utilizando el plug-in Model Checker dando la confiabilidad de la información, que fue utilizada en etapas posteriores de planificación y costos.
- Se validó los modelos de sistema de hormigón armado y sistema mixto con el software Navisworks con el módulo de clash detective, dando como resultado la no existencia de interferencias con el modelado arquitectónico, garantizando la consistencia de la información geométrica y de los atributos como base para las etapas de planificación y presupuestación.
- Se vinculó los cronogramas con el modelo 3D, usando Microsoft Project y el módulo TimeLiner de Navisworks, en el cual permitió simular el proceso constructivo lógico de cada alternativa estructural dando como resultado el tiempo de hormigón armado con 95.2 días y en cuanto al sistema mixto 88.2 días, estos resultados son producto del uso de la fórmula del método PERT en cada actividad del cronograma.
- Se generó los presupuestos estructurales 5D a partir de las cantidades extraídas del modelo BIM y su vinculación con el software Presto permitió obtener costos detallados del diseño estructural dando los costos del sistema hormigón armado USD 153 402.13 y del sistema mixto USD 142 976.06. Esta fase demostró que la integración BIM reduce la dependencia de mediciones manuales y disminuye el riesgo de errores en la estimación presupuestaria.
- En cuanto al análisis comparativo de tiempo hay una diferencia de 7 días más para el sistema de hormigón armado y en cuanto a costos, la diferencia en este es de USD 10 426.07 más. Por lo tanto, el sistema mixto es más beneficioso en términos de reducción de plazos de ejecución y de costos.

## 6.2. Recomendaciones

- Es recomendable que el modelado estructural se realice con un nivel de desarrollo adecuado (LOD) y con una correcta parametrización de los elementos estructurales, de manera que garantice la extracción confiable de cantidades, especialmente cuando los modelos son utilizados como base para presupuestos y cronogramas.
- Se recomienda que futuros proyectos de vivienda unifamiliar adopten BIM 3D, 4D y 5D desde las etapas iniciales del diseño estructural con el fin de mejorar la planificación de tiempos y la estimación de costos y reducir la incertidumbre propia de los métodos tradicionales de gestión de proyectos.
- Se sugiere fortalecer la coordinación BIM estructural mediante el uso de Autodesk Navisworks tanto para detectar interferencias geométricas y para validar atributos y datos no gráficos, asegurando la consistencia de la información a lo largo del ciclo de vida del proyecto.
- Se recomienda integrar sistemáticamente los modelos BIM con herramientas de planificación, como Microsoft Project y el módulo TimeLiner, con el objetivo de analizar distintos escenarios constructivos y optimizar la secuencia de actividades según el sistema estructural seleccionado.
- Para la etapa de estimación de costos se aconseja utilizar Preso u otras herramientas especializadas vinculadas directamente a los modelos BIM, pues ayudan a actualizar los presupuestos de forma dinámica ante cambios en el diseño estructural y facilitan el control económico del proyecto.
- Se recomienda que futuras investigaciones amplíen su campo de estudio e incorporen otras variables de análisis, como impacto ambiental, seguridad en obra, productividad de la mano de obra o riesgos constructivos, con el fin de tener una evaluación más integral de las alternativas estructurales.

## 7. Bibliografía

- Autodesk. (s.f.-a). *¿Cuáles son las ventajas de BIM?*  
<https://www.autodesk.com/es/solutions/bim/benefits-of-bim>
- Autodesk. (s.f.-b). *Levels of Development (LOD) in BIM: Enabling coordination and collaboration.* <https://www.autodesk.com/solutions/bim-levels-of-development>
- Autodesk. (s.f.-c). *AU 2025: The Design & Make Conference.*  
<https://www.autodesk.com/autodesk-university/>
- BIM Forum. (31 de diciembre de 2024). *Level of Development (LOD) Specification.*  
<https://bimforum.org/lod/>
- BuildingSMART Spain. (s.f.). *Serie de normas ISO 19650.*  
<https://www.buildingsmart.es/recursos/en-iso-19650/>
- Caballero, M. y Sánchez, J. (2025). Implementación de la metodología BIM en proyectos de construcción de infraestructura civil en Ecuador. *Revista Tsáchila de Estudios y Desarrollo*, 4(2), 45-58.  
<https://www.tsachila.edu.ec/ojs/index.php/TSEDE/article/download/243/171>
- Corporación Andina de Fomento [CAF]. (2020). *Guía de implementación BIM en América Latina.*
- EADIC. (11 de agosto de 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. y Liston, K. (2020). *BIM Handbook.* John Wiley & Sons.
- El Maqousi, O. (2025). *ISO 19650 Naming Conventions: A practical activity.* LinkedIn.  
[https://www.linkedin.com/posts/omnia-el-maqousi-a4131a27a\\_iso-19650-naming-conventions-a-practical-activity-7334166291127099392-eYYz](https://www.linkedin.com/posts/omnia-el-maqousi-a4131a27a_iso-19650-naming-conventions-a-practical-activity-7334166291127099392-eYYz)
- Google. (s.f.). [Magnolia-Urbe Schwarzkopf]. Recuperado el 10 de diciembre de 2025 de  
[https://www.google.com/maps/place/Magnolia+-+Urbe+Schwarzkopf/@-0.223118,-78.4180944,17.5z/data=!4m6!3m5!1s0x91d5972eb58db027:0xbb38d15401aa7267!8m2!3d-0.2229848!4d-78.417742!16s%2Fg%2F11h5126y6m?entry=tту&g\\_ep=EgoyMDI1MTEwOC4wI KXMDS0ASAFQAw%3D%3D](https://www.google.com/maps/place/Magnolia+-+Urbe+Schwarzkopf/@-0.223118,-78.4180944,17.5z/data=!4m6!3m5!1s0x91d5972eb58db027:0xbb38d15401aa7267!8m2!3d-0.2229848!4d-78.417742!16s%2Fg%2F11h5126y6m?entry=tту&g_ep=EgoyMDI1MTEwOC4wI KXMDS0ASAFQAw%3D%3D)

- Inesa Tech. (7 de julio de 2021). *Implementación BIM en arquitectura: 5 claves para el éxito*. <https://www.inesa-tech.com/blog/implementacion-bim-arquitectura-claves-exito/>
- International Organization for Standardization [ISO]. (2018). *ISO 19650-1:2018*. <https://www.iso.org/standard/68078.html>
- Lacaze, L. (2020). *Encuesta BIM: América Latina y el Caribe 2020*. Banco Interamericano de Desarrollo. <http://dx.doi.org/10.18235/0003023>
- Orfisa. (s.f.). *Dimensiones BIM*. <https://www.orfisaikc.com/dimensiones-bim/>
- Pinnacle Infotech. (17 de julio de 2025). *Implementing BIM Workflow: Challenges, Tools, and a Walkthrough of the Process*. <https://pinnacleinfotech.com/bim-workflow/>
- Project Management Institute [PMI]. (2025). *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos*. (3<sup>ra</sup> ed.). PMI. [https://topodata.com/wp-content/uploads/2019/10/GUIA\\_PMBok.pdf](https://topodata.com/wp-content/uploads/2019/10/GUIA_PMBok.pdf)
- Project Management Institute [PMI]. (2025). *PMBOK Guide*. (8<sup>va</sup> ed.). PMI. <https://www.pmi.org/standards/pmbok>
- RIB Spain. (2025). *Presto: software de presupuestos, mediciones y control de obra*. <https://www.ribspain.com/presto>
- Ricalde, L. (14 de junio de 2024). *Roles BIM según los distintos países de LATAM*. LinkedIn. <https://es.linkedin.com/pulse/roles-bim-seg%C3%BAAn-los-distintos-pa%C3%ADses-de-latam-konstruedu-cmsze>
- Succar, B. y Kassem, M. (2021). *Building Information Modeling: Frameworks, maturity and organizational structures in digital construction*. Elsevier.
- Torrefuerte. (s.f.). *Ingeniería Estructural*. <https://torrefuerte.ec/>
- Uribe Schwarzkopf. (2025). *Magnolia*. <https://www.uribeswarzkopf.com/en/properties/magnolia>
- Xu, Y., Martínez, A. y Silva, F. (2024). Global BIM maturity and its relationship with economic development and organizational culture. *Journal of Construction Engineering and Management*, 150(3).

## 8. Anexos

Cuadro de anexos:

Anexo	Archivo
Anexo 1.	EIR
Anexo 2.	BEP
Anexo 3.	Planos estructurales Hormigón Armado
Anexo 4.	Planos estructurales sistema Mixto
Anexo 5.	Cronograma Estructura Hormigón Armado
Anexo 6.	Cronograma Estructura sistema mixto
Anexo 5.	Análisis de costos Estructura Hormigón Armado
Anexo 6.	Análisis de costos Estructura Mixta

*Tabla 6: Anexos*  
*Nota: Elaboración Propia*