



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

EVALUACIÓN MEDIANTE LA METODOLOGÍA BIM DEL EDIFICIO
ADMINISTRATIVO DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE
CUENCA A PARTIR DEL NIVEL +0.00 M

Trabajo de titulación previo a la obtención del
título de Ingeniero Civil

AUTORES: JOFFRE ANDRÉS RAMON CARCHI

TATIANA GABRIELA CISNEROS SOLÓRZANO

TUTOR: ING. JONNATHAN DARÍO SANTOS BENÍTEZ, MSc.

Cuenca - Ecuador

2025

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Nosotros, Joffre Andrés Ramon Carchi con documento de identificación N° 0105698187
y Tatiana Gabriela Cisneros Solórzano con documento de identificación N° 0106237480;
manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de
lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de
manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

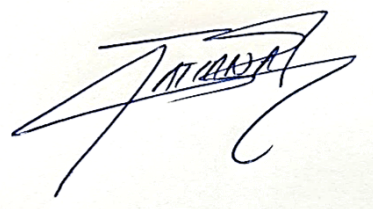
Cuenca, 01 de agosto del 2025

Atentamente,



Joffre Andrés Ramon Carchi

0105698187



Tatiana Gabriela Cisneros Solórzano

0106237480

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL
TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA
SALESIANA**

Nosotros, Joffre Andrés Ramon Carchi con documento de identificación N° 0105698187 y Tatiana Gabriela Solórzano Cisneros con documento de identificación N° 0106237480, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del proyecto técnico: “Evaluación mediante la metodología BIM del edificio administrativo de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca a partir del nivel +0.00 m”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Civil, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

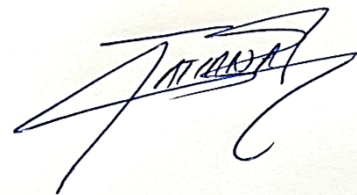
Cuenca, 01 de agosto del 2025

Atentamente,



Joffre Andrés Ramon Carchi

0105698187



Tatiana Gabriela Cisneros Solórzano

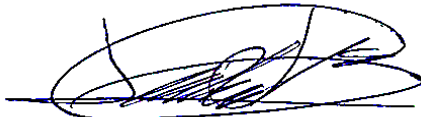
0106237480

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Jonnathan Darío Santos Benítez con documento de identificación N° 0105088058, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: EVALUACIÓN MEDIANTE LA METODOLOGÍA BIM DEL EDIFICIO ADMINISTRATIVO DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA A PARTIR DEL NIVEL +0.00 m, realizado por Joffre Andrés Ramon Carchi con documento de identificación N° 0105698187 y por Tatiana Gabriela Cisneros Solórzano con documento de identificación N° 0106237480, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción proyecto técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 01 de agosto del 2025

Atentamente,



Ing. Jonnathan Darío Santos Benítez, MSc.

0105088058

DEDICATORIA

A mis padres Lucia y Miguel quienes me han estado brindando su apoyo incondicional, con su ejemplo me han guiado a ser una buena persona, siempre me han mencionado que se debe dar lo mejor de sí en cada situación y saber siempre levantarse cuando las cosas no salen bien, esta pequeña victoria la comparto con ellos, los forjadores de este hombre.

A mi hermano Alexis quien ha sido mi compañero de locuras, mi amuleto de la suerte y la persona que más valoro, no necesito muchas palabras para dedicarle, porque él sabe cuánto vale en mi vida.

Y de una manera especial a mis abuelitos Ilda y Vicente quienes me vieron crecer, me dieron su amor y siempre estuvieron para mí, por ello también les quiero transmitirles que este logro jamás se hubiese conseguido sin ellos.

Joffre Ramon

A mis padres, Juventino y Narcisa, por haberme enseñado, con su ejemplo, a mantenerme firme y a no rendirme, aunque las cosas se pongan difíciles. Gracias por cada sacrificio, por cada palabra de aliento y por el amor incondicional que siempre me han brindado, que me llenó de fuerza para cumplir este sueño, que es tanto de ustedes como mío.

A mi hermano Danny, gracias por tus consejos sinceros y tu forma de animarme siempre con las palabras justas. Tus ánimos fueron ese empujón que muchas veces necesitaba para no rendirme. Gracias por tu apoyo constante y por estar presente en cada etapa de este proceso.

Tatiana Cisneros

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, un grato agradecimiento a Dios, el cual ha permitido hacer esto posible durante este recorrido, en donde me encontré con gente muy valiosa, por su gracia formé gratas amistades, conocí grandes exponentes de esta profesión.

De igual manera agradezco a mis padres Lucia y Miguel, ya que esto no sería posible sin su esfuerzo, su amor y consejos, ellos que muchas veces ellos siempre buscaban lo mejor para mi hermano y yo.

Agradezco también a los demás miembros de mi familia quienes compartieron conmigo y amigos los cuales me ayudaron a pasar esta etapa en mi vida de una manera más especial.

Joffre Ramon

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que hicieron posible la realización de este logro.

Agradezco profundamente a los maestros que me impartieron sus conocimientos a lo largo de la carrera, quienes no solo compartieron su sabiduría, sino que también sembraron en mí la curiosidad y el amor por aprender. Esta etapa universitaria me permitió conocer a numerosas personas valiosas; compañeros, amigos y colegas que con su apoyo y consejos fueron parte fundamental en la construcción de mi formación académica y personal.

A mi familia, en especial a mis padres, Juventino y Narcisa, y a mi hermano Danny, les agradezco por su amor incondicional, por ser mi fuerza en los momentos difíciles y por motivarme a seguir adelante con constancia y esperanza. Sin su apoyo constante, este logro no habría sido posible.

Finalmente, doy gracias a todas las personas que de alguna manera contribuyeron a que este sueño se hiciera realidad. Cada gesto, palabra y apoyo dejaron una huella invaluable en mi vida y en este proceso.

Tatiana Cisneros

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ABSTRACT	21
CAPITULO I	23
ANTECEDENTES Y GENERALIDADES	23
1.1 Introducción	23
1.2 Antecedentes	24
1.3 Justificación	27
1.4. Objetivos	29
1.4.1 Objetivo general:	29
1.4.2. Objetivos específicos:	29
CAPITULO II	30
MARCO TEÓRICO	30
2.1. Fundamentos del Building Information Modeling	30
2.1.1 Definición de BIM.....	30
2.1.2 Evolución histórica	32
Orígenes del CAD	32
Indicios del BIM	33
2.1.3 Dimensiones de BIM	36
2.2 Principios y características del BIM	40
2.2.1 Modelo centralizado y paramétrico	40
2.2.2 Colaboración interdisciplinaria	41

2.2.3 Interoperabilidad.....	42
2.3 Aplicaciones del BIM en la ingeniería estructural.....	44
2.3.1 Modelado estructural inteligente.....	44
2.3.2 Coordinación con otras disciplinas.....	45
2.3.3 Optimización del diseño y documentación.....	45
2.4 Ventajas del uso de BIM.....	46
2.4.1 Mejora la comunicación entre equipos.....	46
2.4.2 Reducción de errores de diseño y conflictos.....	47
2.4.3 Trazabilidad de decisiones y cambios.....	48
2.4.4 Disminución de costos por reprocesos:.....	48
2.4.5 Mayor control de plazos y recurso:.....	48
2.5 Normativas, estándares y guías BIM.....	48
2.5.1 Estándares internacionales.....	49
2.5.2 Estándares regionales y nacionales.....	50
2.6 Herramientas BIM orientadas al modelado estructural.....	51
2.6.1 Software de modelado estructural.....	51
2.7 Metodología BIM en proyectos estructurales.....	57
2.7.1 Fases BIM.....	57
2.8 Desafíos y limitaciones en la adopción del BIM.....	60
2.8.1 Costo inicial de implementación:.....	60
2.8.2 Necesidad de capacitación del personal:.....	60
2.8.3 Resistencia al cambio en oficinas tradicionales:.....	61

2.8.4 Problemas de interoperabilidad y compatibilidad de software:	62
2.9 Tendencias futuras del BIM	62
2.9.1 BIM 4.0 y su relación con la industria 4.0:.....	62
2.9.2 Inteligencia artificial (IA) aplicada al BIM:.....	63
2.9.3 Gemelos digitales:	64
CAPÍTULO III.....	66
METODOLOGÍA	66
3.1 Plan de ejecución BIM	66
3.1.1 Alcance del modelado.....	67
3.1.2 Organización del modelado y parámetros compartidos.....	67
3.1.3 Estructura de archivos y vistas	68
3.1.4 Proceso de modelado	68
3.1.5 Nivel de desarrollo.....	69
3.2 Análisis de información del proyecto	69
3.2.1 Interpretación de la información utilizada	69
3.2.2. Organización de la información	71
3.3 Descripción del Modelado Estructural.....	72
3.3.1 Técnicas de modelado empleadas	72
3.3.2 Columnas metálicas.....	74
3.3.3 Vigas metálicas.....	76
3.3.4 Novalosa.....	88
3.3.5 Gradadas	93

3.3.6 Placas de conexión.....	97
3.3.7 Rigidizadores.....	104
3.3.8 Cimentación superficial	107
3.3.9 Elementos complementarios	110
3.4 Comparativa entre metodología BIM y metodología CAD	112
3.4.2 Flujo de trabajo con la metodología CAD	113
3.4.3 Flujo de trabajo con metodología BIM.....	114
3.4.4 Comparación directa entre flujos.....	116
3.5 Evaluación técnica y económica	118
3.5.1 Análisis de cantidades y costos	118
3.6 Revisión del modelo BIM en función de ajustes aplicados durante el desarrollo del proyecto.....	121
3.6.1 Evaluación estructura planificado vs construido.....	122
3.6.2 Cambios detectados en el edificio proyectado y el ejecutado.....	123
3.6.3 Análisis técnico y económico de los cambios.....	125
3.6.4 Análisis de los cambios presentados.....	128
3.7 Análisis de comportamiento del contexto estructural mediante el software Robot Structural Analysis®	128
3.7.1 Justificación del análisis estructural	128
3.7.2 Exportación del modelo estructural desde Revit®	129
3.7.3 Determinación de las cargas estructurales	130
3.7.4 Cálculo de las cargas por nivel y origen de los valores	132

3.7.5 Aplicación de cargas al modelo estructural	136
3.7.6 Resultados del análisis estructural.....	138
3.7.7 Interpretación preliminar de resultados	141
CONCLUSIONES	143
RECOMENDACIONES	145
BIBLIOGRAFÍA	146

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Evolución del BIM (Parte 1)</i>	34
Tabla 2. Evolución del BIM (Parte 2)	35
Tabla 3. Análisis de limitaciones del flujo de trabajo en CAD.....	114
Tabla 4. Comparación del flujo de trabajo entre la metodología CAD y BIM	117
Tabla 5. Tabla de costo de los materiales- acero estructural en columnas	118
Tabla 6. Tabla de costo de los materiales- acero estructural en vigas.....	118
Tabla 7. Tabla de costo de los materiales- acero estructural conexiones	119
Tabla 8. Tabla de costo de los materiales- malla electrosoldada	119
Tabla 9. Tabla de costo de los materiales- hormigón premezclado	119
Tabla 10. Tabla de costo de los materiales- acero de refuerzo	119
Tabla 11. Tabla de costo de los materiales- rigidizadores.....	120
Tabla 12. Tabla de costo de los materiales- placa colaborante.....	120
Tabla 13. Tabla de costo de los materiales- gradas interiores	120
Tabla 14. Tabla de costo de los materiales- gradas exteriores.....	120
Tabla 15. Tabla de costo de los materiales- mortero nivelante.....	121
Tabla 16 Evaluación económica de lo planificado frente a lo ejecutado.	125

Tabla 17	<i>Tabla del costo de cada proyecto, análisis de inversión por sección</i>	127
Tabla 18	Tabla de valores el periodo de vibración	131
Tabla 19	Tabla de valores para el cortante basal	132
Tabla 20	Tabla de cálculo de las cargas distribuidas, con base en el proyecto ejecutado.....	134
Tabla 21	Tabla de cálculo de las cargas puntuales, con base en el proyecto ejecutado.....	134
Tabla 22	Tabla de cálculo de las cargas distribuidas, con base en el proyecto planificado	135
Tabla 23	Tabla de cálculo de las cargas puntuales, con base en el proyecto planificado	135
Tabla 24	Cargas aplicadas sobre el modelo	137
Tabla 24	Tabla de resultados de las deflexiones	139
Tabla 25	Tabla de resultados de los esfuerzos,	140
Tabla 26	Tabla de resultados de las fuerzas, Fz.....	140
Tabla 27	Tabla de resultados de momentos flectores.....	140
Tabla 28	Tabla de resultados de las reacciones, respecto a Fz	141

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura. 1	Ciclo de vida del proyecto	40
Figura. 2	BIM multidisciplinar	42
Figura. 3	Tecnologías en Arquitectura e Ingeniería Estructural	56
Figura. 4	Modelo 3D del edificio administrativo de la UPS, vista frontal	67
Figura. 5	Organización de los elementos para las tablas de planificación	68
Figura. 6	Modelo 3D del edificio administrativo de la UPS, vista posterior	69

Figura. 7	Plano del edificio administrativo UPS, vista frontal	70
Figura. 8	Plano del edificio administrativo UPS, vista lateral.....	70
Figura. 9	Proceso de acotación de los planos PDF	71
Figura. 10	Ventana de las propiedades de los elementos	72
Figura. 11	Pantalla de Revit® en el entorno de modelado con familias	73
Figura. 12	Pantalla de Revit® en el entorno de extrusiones.....	74
Figura. 13	Tabla de planificación de columnas 380x380x15	74
Figura. 14	Tabla de planificación de columnas 280x280x10	75
Figura. 15	Tabla de planificación de columnas 200x200x8	75
Figura. 16	Tabla de planificación de las inyecciones de hormigón	76
Figura. 17	Modelado de las columnas metálicas	76
Figura. 18	Tabla de planificación vigas cargadoras N +0.44 m	77
Figura. 19	Tabla de planificación vigas cargadoras N +4.04 m	77
Figura. 20	Tabla de planificación vigas cargadoras N +7.64 m	77
Figura. 21	Tabla de planificación vigas cargadoras N +11.24 m	77
Figura. 22	Tabla de planificación vigas cargadoras N +14.84 m	78
Figura. 23	Tabla de planificación vigas cargadoras N +18.44 m	78
Figura. 24	Tabla de planificación vigas cargadoras N +22.04 m	78
Figura. 25	Tabla de planificación vigas cargadoras N +24.04 m	78
Figura. 26	Tabla de planificación vigas amarre N +0.44 m	79
Figura. 27	Tabla de planificación vigas amarre N +4.04 m	79
Figura. 28	Tabla de planificación vigas amarre N +7.64 m	79
Figura. 29	Tabla de planificación vigas amarre N +11.24 m	79
Figura. 30	Tabla de planificación vigas amarre N +14.84 m	80
Figura. 31	Tabla de planificación vigas amarre N +18.44 m	80

Figura. 32 Tabla de planificación vigas amarre N +22.04 m	80
Figura. 33 Tabla de planificación vigas amarre N +24.04 m	80
Figura. 34 Tabla de planificación vigas secundarias N +0.44 m	81
Figura. 35 Tabla de planificación vigas secundarias N +4.04 m	81
Figura. 36 Tabla de planificación vigas secundarias N +7.64 m	81
Figura. 37 Tabla de planificación vigas secundarias N +11.24 m	81
Figura. 38 Tabla de planificación vigas secundarias N +14.84 m	82
Figura. 39 Tabla de planificación vigas secundarias N +18.44 m	82
Figura. 40 Tabla de planificación vigas secundarias N +22.04 m	82
Figura. 41 Tabla de planificación vigas secundarias N +24.04 m	82
Figura. 42 Vista en planta N +0.44 m, sección norte	83
Figura. 43 Vista en planta N +0.44 m, sección sur	83
Figura. 44 Vista en planta N +4.04 m, sección norte	84
Figura. 45 Vista en planta N +4.04 m, sección sur	84
Figura. 46 Vista en planta N +7.64 m, sección norte	84
Figura. 47 Vista en planta N +7.64 m, sección sur	85
Figura. 48 Vista en planta N +11.24 m, sección norte	85
Figura. 49 Vista en planta N +11.24 m, sección sur	85
Figura. 50 Vista en planta N +14.84 m, sección norte	86
Figura. 51 Vista en planta N +14.84 m, sección sur	86
Figura. 52 Vista en planta N +18.44 m, sección norte	86
Figura. 53 Vista en planta N +18.44 m, sección sur	87
Figura. 54 Vista en planta N +22.04 m, sección norte	87
Figura. 55 Vista en planta N +22.04 m, sección sur	87
Figura. 56 Vista en planta N +24.04 m, sección completa	88

Figura. 57 Tabla de planificación de la placa colaborante por pisos	88
Figura. 58 Tabla de planificación de la malla electrosoldada.....	89
Figura. 59 Tabla de planificación del hormigón para losas.....	89
Figura. 60 Modelado de la losa N +0.54 m	90
Figura. 61 Modelado de la losa N +4.14 m	90
Figura. 62 Modelado de la losa N +7.74 m	91
Figura. 63 Modelado de la losa N +11.34 m	91
Figura. 64 Modelado de la losa N +14.94 m	92
Figura. 65 Modelado de la losa N +18.54 m	92
Figura. 66 Modelado de la losa N +22.14 m	93
Figura. 67 Modelado de la losa N +24.14 m	93
Figura. 68 Tabla de planificación de la perfilería de la grada interiores.....	94
Figura. 69 Tabla de planificación de hormigón en las losas en las gradas interiores.....	94
Figura. 70 Tabla de planificación de la placa Deck para las gradas interiores..	95
Figura. 71 Modelado 3D de la Grada interior del edificio	95
Figura. 72 Tabla de planificación de la perfilería de la grada exterior	96
Figura. 73 Tabla de planificación del hormigón de las losas en las gradas exteriores	96
Figura. 74 Tabla de planificación de la placa Deck para las gradas exteriores .	96
Figura. 75 Modelado 3D de la Grada interior del edificio	97
Figura. 76 Dimensiones de las placas WUF para el tipo de viga especificado .	97
Figura. 77 Tabla de planificación de las placas WUF, N +0.44 m.....	98
Figura. 78 Tabla de planificación de las placas WUF, N +4.04 m.....	98
Figura. 79 Tabla de planificación de las placas WUF, N +7.64 m.....	98

Figura. 80 Tabla de planificación de las placas WUF, N +11.24 m	98
Figura. 81 Tabla de planificación de las placas WUF, N +14.84 m	99
Figura. 82 Tabla de planificación de las placas WUF, N +18.44 m	99
Figura. 83 Tabla de planificación de las placas WUF, N +22.04 m	99
Figura. 84 Tabla de planificación de las placas WUF, N +24.04 m	99
Figura. 85 Modelado e instalación de las placas WUF	100
Figura. 86 Tabla de planificación de las vigas conectoras a corte	100
Figura. 87 Modelado y colocación de las placas a corte	100
Figura. 88 Tabla de planificación de la placa base	101
Figura. 89 Modelado de la placa base	101
Figura. 90 Tabla de planificación de las placas en muro	101
Figura. 91 Modelado de la placa de conexión entre las vigas y muros.....	102
Figura. 92 Tabla de planificación de las placas de continuidad	102
Figura. 93 Modelado de las placas de continuidad	103
Figura. 94 Tabla de planificación de las platinas de respaldo	103
Figura. 95 Modelado de las platinas de respaldo	104
Figura. 96 Tabla de planificación del rigidizador de columna	104
Figura. 97 Modelado del rigidizador de la columna	105
Figura. 98 Dimensiones de los rigidizadores laterales según el tipo de viga ..	105
Figura. 99 Tabla de planificación de rigidizadores laterales, N +0.44 m.....	105
Figura. 100 Tabla de planificación de rigidizadores laterales, N +4.04 m.....	105
Figura. 101 Tabla de planificación de rigidizadores laterales, N +7.64 m.....	106
Figura. 102 Tabla de planificación de rigidizadores laterales, N +11.24 m....	106
Figura. 103 Tabla de planificación de rigidizadores laterales, N +14.84 m....	106
Figura. 104 Tabla de planificación de rigidizadores laterales, N +18.44 m....	106

Figura. 105	Tabla de planificación de rigidizadores laterales, N +22.04 m....	107
Figura. 106	Tabla de planificación de rigidizadores laterales, N +24.04 m....	107
Figura. 107	Modelado de los rigidizadores laterales en las vigas de amarre. .	107
Figura. 108	Tabla de planificación de las columnas de hormigón.....	108
Figura. 109	Tabla de planificación de la viga de hormigón	108
Figura. 110	Tabla de planificación de las barras longitudinales.....	108
Figura. 111	Tabla de planificación de los ganchos y estribos	109
Figura. 112	Modelado de la vista frontal de columnas y vigas de hormigón..	109
Figura. 113	Modelado del acero de refuerzo en las columnas y vigas.....	109
Figura. 114	Tabla de planificación de la pantalla de muro.....	109
Figura. 115	Tabla de planificación del mortero nivelante.....	110
Figura. 116	Modelado del mortero nivelante.....	110
Figura. 117	Tabla de planificación de las platinas de apoyo	111
Figura. 118	Modelado de las platinas de apoyo.....	111
Figura. 119	Tabla de planificación de los conectores L 40x40x4	111
Figura. 120	Modelado de los conectores L 40x40x4	112
Figura. 121	Comparación de los entornos 2D y 3D del proyecto.....	113
Figura. 125	Entorno multi visual del modelo del edificio de la UPS.....	115
Figura. 126	Distribución porcentual del costo de los materiales	121
Figura. 127	Comparación de los modelos, gradas exteriores	123
Figura. 128	Comparación de los modelos, extensión de losa N +22.14 m	124
Figura. 129	Comparación de modelos, aumento del acero y losas	124
Figura. 130	Comparativa de los modelos entre la vista frontal y lateral.....	124
Figura. 131	Análisis de los cambios implementados en el edificio de la UPS	126
Figura. 132	Modelado de la planta 1, en Robot Structural Analysis®	138

Figura. 133 Combinaciones de cargas empleadas.....	139
Figura. 134 Sitio de los elementos estructurales del nivel N +4.14 m.....	141

RESUMEN

El presente trabajo de titulación evalúa la implementación de la metodología Building Information Modeling (BIM) en el modelado estructural del edificio administrativo de la Universidad Politécnica Salesiana, sede Cuenca, desde el nivel +0.00 m. Comparando la metodología BIM con el enfoque tradicional basado en CAD, que fue empleado originalmente en el proyecto, y mediante el análisis experimental establecer si BIM representa o no una opción más eficiente y completa para abordar el desarrollo estructural de edificaciones.

Para la elaboración de este trabajo, se utilizó el programa Autodesk Revit®, el que permitió un modelar la estructura, elementos esenciales como columnas, vigas, muros, losas y cimentación. Gracias al ambiente BIM que caracteriza a este programa se pudo generar un modelo tridimensional inteligente con información visual y no visual de cada parámetro que lo conforma. A partir de esta información en el desarrollo del modelo se observaron ventajas que caracterizan el BIM la buena inspección visual y la posibilidad de analizar la estructura para evidenciar si existen interferencias o errores en el modelado. A partir del modelo final se logra acceder a las tablas de cantidades requeridos para su posterior análisis y comparación con los resultados obtenidos mediante CAD.

En base a los hallazgos obtenidos se ha demostrado que la implementación de la metodología BIM permite un ambiente de trabajo interactivo y ordenado al evidenciarse la colaboración entre disciplinas, la reducción de los errores en cuanto a la interpretación de planos, y el seguimiento continuo que se puede realizar a la estructura de cada avance que se realice en cada etapa. Además, se notaron ventajas en términos de efectividad en la organización con el manejo de la información por elementos, precisión en los datos técnicos y una representación más nítida del sistema estructural.

Este análisis comparativo entre BIM y CAD, además de proporcionar una base para valorar el desempeño de ambos métodos, también ofrece una aportación técnica y académica que podría ser útil para futuras implementaciones en proyectos educativos, ya sean públicos o privados, fomentando la modernización y digitalización en el ámbito de la construcción.

PALABRAS CLAVES: Estructural, tradicional, BIM, modelado, CAD

ABSTRACT

This degree project evaluates the implementation of the Building Information Modeling (BIM) methodology in the structural modeling of the administrative building of the Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca campus, from level +0.00 m. The BIM methodology is compared with the traditional CAD-based approach, which was originally used in the project, and through experimental analysis, it is determined whether BIM represents a more efficient and comprehensive option for addressing the structural development of buildings.

For the preparation of this work, the Autodesk Revit[®] program was used, which made it possible to model the structure, including essential elements such as columns, beams, walls, slabs, and foundations. Thanks to the BIM environment that characterizes this software, an intelligent three-dimensional model was generated, containing both visual and non-visual information for each parameter. From this model, advantages inherent to BIM were observed, such as good visual inspection and the ability to analyze the structure to identify potential interferences or modeling errors. Based on the final model, it was possible to access quantity takeoff tables for further analysis and comparison with the results obtained through CAD.

Based on the findings obtained, it has been demonstrated that the implementation of the BIM methodology enables an interactive and organized working environment, highlighting collaboration between disciplines, the reduction of errors in the interpretation of plans, and continuous monitoring of the structural progress at each project stage. Additionally, advantages were noted in terms of effective organization through element-based information management, precision in technical data, and a clearer representation of the structural system.

This comparative analysis between BIM and CAD not only provides a basis for evaluating the performance of both methods, but also offers a technical and academic contribution that may be useful for future implementations in educational projects whether public or private promoting modernization and digitalization in the construction field.

KEYWORDS: Structural, Traditional, BIM, Modeling, CAD

CAPITULO I

ANTECEDENTES Y GENERALIDADES

1.1 Introducción

En los últimos años, el sector de la construcción ha sufrido transformaciones importantes debido a la necesidad de incrementar la eficacia en los procedimientos, disminuir costos y mejorar la gestión integral de los proyectos. Tradicionalmente, se ha realizado el diseño y la organización utilizando técnicas como el CAD, las cuales poseen limitaciones en la representación en 3D, la cooperación entre disciplinas y la administración de datos durante el desarrollo del proyecto (Sacks et al., 2018). Las cuales motivan a la evolución de CAD a BIM.

Es por ello por lo que la metodología Building Information Modeling se presenta como una alternativa avanzada que combina e integra tecnología, procesos y trabajo colaborativo entre distintas disciplinas para desarrollar modelos digitales inteligentes. Estos modelos no solo contienen información geométrica de los objetos, sino también datos relacionados con el tiempo, los costos y aspectos técnicos. El tener la información clara y ordenada favorece una mejor toma de decisiones, permitiendo identificar conflictos antes de que sucedan y mejorar de esta manera la gestión integral de los proyectos constructivos (Sacks et al., 2018; Succar, 2009).

En el presente trabajo se desarrolla el análisis empleando la metodología BIM al edificio administrativo de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, se lleva a cabo con el objetivo de aprovechar las capacidades avanzadas que esta tecnología proporciona, con el fin de optimizar el modelado estructural desde el nivel +0.00 m. Esta evaluación posibilitará establecer si BIM ayuda a obtener una representación más precisa y sincronizada de los elementos estructurales. Se examinarán aspectos esenciales como

la incorporación de datos técnicos del proyecto, la colaboración entre disciplinas y la capacidad para hacer cambios de manera rápida en las distintas fases del proyecto. De igual forma, se revisará el impacto de la metodología en la eficiencia de los recursos, reducción de plazos y elevación de la calidad de la documentación técnica, al comparar estos aspectos con métodos tradicionales basados en CAD. Este planteamiento facilitará una evaluación crítica y fundamentada sobre la relevancia y utilidad de BIM para proyectos similares, proporcionando información valiosa para la toma de decisiones en futuras aplicaciones en los campos educativos y constructivos.

1.2 Antecedentes

En los últimos años, la industria de la construcción ha experimentado una transformación significativa, impulsada por la necesidad de mejorar la eficiencia, reducir costos y optimizar la gestión de proyectos. Tradicionalmente, los procesos de planificación, diseño, gestión y ejecución de obras se han basado en metodologías de documentación bidimensional. Es por eso por lo que en la actualidad estas tecnologías juegan un rol muy importante en el campo de la construcción, específicamente al momento del diseño, desde donde se inicia los grandes desarrollos urbanísticos, estas herramientas tecnológicas que permiten visualizar diseños en 2 y 3 dimensiones, son conocidas como Dibujo Asistido por el Computador o CAD (López et al, 2019). El software AutoCAD®, desarrollado por Autodesk en 1982, se convirtió en la herramienta más utilizada, permitiendo una representación técnica y precisa, sin embargo, presenta limitaciones como colaboración entre disciplinas, integración de la información y una visualización continua y detallada del proyecto. Gómez-Valdés et al., (2023) indican que estas restricciones impactaran el desarrollo y eficiencia final del proyecto ya que CAD no permite compartir información en tiempo real ni de manera colaborativa.

Si bien estos métodos han sido la base de la construcción durante mucho tiempo, presentan limitaciones inherentes en cuanto a la visualización espacial, la coordinación interdisciplinaria, la detección temprana de conflictos y la gestión integral de la información del proyecto a lo largo de su ciclo de vida (Sacks et al., 2018).

En respuesta a estas limitaciones, surge la metodología BIM se define como un proceso colaborativo que involucra la generación y gestión digital de las características físicas y funcionales de un edificio o infraestructura. Esta metodología va más allá de la simple creación de modelos tridimensionales, integrando información detallada sobre los componentes constructivos, sus propiedades, relaciones espaciales y el ciclo de vida completo del activo, facilitando el entorno de trabajo colaborativo más eficiente (Sacks et al., 2018). Desde sus inicios en los 80, la metodología ha evolucionado de manera que actualmente tiene implícitas dimensiones como tiempo (4D), costo (5D), sostenibilidad (6D) y la operación/mantenimiento (7D) (Sacks et al., 2018; Succar, 2009).

Como antecedentes a nivel de Latinoamérica, la implementación del BIM presenta importantes desafíos esto se debe al ser una metodología innovadora y tecnológica aún no se ha estandarizado por completo. Aunque países como Chile, México o Colombia han impulsado normativas públicas, en Ecuador su adopción es reciente y poco estandarizada (López Picón & Tapia Poveda, 2023). Las instituciones educativas y empresas privadas comienzan a incorporar esta metodología en proyectos piloto, identificando tanto beneficios como barreras relacionadas con la capacitación, el costo de implementación y la interoperabilidad del software (Blanco-Díazgranados, 2018; Muñoz García, 2020).

En la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca se ejecutó el proyecto de construcción de su nuevo edificio administrativo. Este proyecto contempla zonas de dos pisos destinadas a parqueaderos subterráneos y una edificación principal que albergará las oficinas administrativas de las diversas carreras que ofrece la universidad.

El desarrollo de este proyecto se ha llevado a cabo empleando la metodología CAD, la cual se fundamenta en la creación de diseños bidimensionales para la planificación y ejecución de obras.

La metodología CAD que se ha utilizado corresponde esencialmente a la utilización de un software de dibujo asistido por computador para realizar dibujos y representaciones gráficas bidimensionales de objetos físicos, con el objetivo de ser una alternativa a borradores manuales, siendo su mayor exponente el software AutoCAD® desarrollado por Autodesk en 1982. Este software tiene como objetivo principal el desarrollo de trabajos de arquitectura, construcción y múltiples industrias afines a la ingeniería, basándose fundamentalmente en este programa (Valdés, 2023).

El modelado estructural con BIM permite una representación precisa de los elementos portantes, la visualización de las interconexiones, la realización de análisis estructurales integrados, la generación automática de documentación detallada y la facilitación de la coordinación con otras disciplinas como la arquitectura y las instalaciones. Esto se traduce en una reducción de los errores en la fase de construcción, una mayor precisión en la estimación de materiales y una mejora en la seguridad de la obra (Kreider & Messner, 2013).

El presente trabajo de titulación se enfoca en evaluar mediante la metodología BIM el modelado del edificio administrativo de la UPS sede Cuenca, específicamente en el componente estructural a partir del nivel +0.00 m. Se busca demostrar, a través de la implementación práctica del software BIM, que supera a las metodologías tradicionales basadas en CAD en los procesos de planificación, gestión y ejecución de la obra estructural. Este estudio de caso permitirá evidenciar los beneficios concretos de BIM en procesos constructivos, contribuyendo a la comprensión y potencial adopción más amplia de esta metodología en la región.

1.3 Justificación

En la actualidad, el sector de la construcción se encuentra atravesando una etapa de transformación en búsqueda de proyectos con mejor calidad, niveles de eficiencia y sostenibilidad. Durante décadas, la industria de la construcción se ha apoyado en la metodología CAD para la elaboración de planos y representaciones bidimensionales, siendo una herramienta fundamental para el desarrollo de proyectos.

Si bien los profesionales tienen una capacitación y experiencia amplia en esta metodología existen limitantes como procesos que toman más tiempo del disponible y en consecuencia entrando en un sobrecosto (Blanco, 2018). Además, limitaciones, sobre todo en lo que respecta a la coordinación interdisciplinaria, la gestión de información, la trazabilidad de cambios y la anticipación de errores en fases tempranas del proyecto (Eastman et al., 2008; (Gómez-Valdés et al., 2023).

En base a esta problemática, surge la necesidad de adoptar nuevas metodologías y herramientas que resuelvan estas limitantes. La metodología BIM se presenta como una alternativa prometedora e innovadora. BIM va más allá de la simple representación geométrica, creando un modelo digital inteligente y paramétrico que incorpora información completa sobre los componentes de la edificación, sus propiedades físicas y funcionales, sus relaciones espaciales y su comportamiento a lo largo del tiempo. Esta riqueza informativa facilita la comunicación, la colaboración y la toma de decisiones informadas entre todos los actores involucrados en un proyecto de construcción (Succar, 2009).

El desarrollo del nuevo edificio administrativo de la UPS sede Cuenca originalmente se ha realizado empleando la metodología CAD, lo cual representa una práctica común en el sector. Herramienta que ha mejorado mucho a lo largo de los años

con las crecientes exigencias con la intención de aprovechar la misma información para diferentes vistas como lo son las referencias externas de AutoCAD®, además de programas que tienen la capacidad de incluir información no gráfica a los objetos, sin embargo, todos estos han vuelto sencillo el trabajo de los CAD Managers mas no han eliminado la base del problema (Coloma Picó, 2008).

Diversos estudios han demostrado que la implementación de BIM puede generar beneficios significativos en proyectos de construcción. Mejora la coordinación entre los equipos de diseño, reduce los errores y omisiones en la documentación, optimiza la planificación de la construcción y facilita la gestión de los costos y los plazos. Así mismo, la capacidad de simulación y análisis inherente a BIM permite identificar problemas potenciales en etapas tempranas del proyecto, evitando costosas modificaciones durante la ejecución (Cappuyns Jordán, 2020).

La transición de metodologías CAD a BIM, incluso en proyectos ya iniciados, presenta desafíos, pero también oportunidades valiosas para evaluar de manera cuantitativa los beneficios de esta nueva tecnología. Este trabajo nace del interés por comprender como la metodología BIM puede mejorar el diseño estructural en proyectos reales tomando como referencia el edificio administrativo de la Universidad Politécnica Salesiana, sede Cuenca, desde el nivel +0.00 m.

El objetivo es realizar un análisis profundo entre BIM y CAD; donde se pueda evidenciar desde la práctica como la metodología BIM favorece a optimizar los tiempos de trabajo, reducir errores, y la gestión técnica y económica de un proyecto. Por medio del modelado de la estructura se busca mostrar de forma clara los beneficios de emplear esta metodología a proyectos constructivos. Diversos autores, entre ellos Das et al. (2025) afirman que la implementación de BIM tiene un gran impacto en la eficiencia de proyectos ya que permite reducir en promedio un 20% el tiempo de ejecución y un 15%

los costos. Además, contribuye a disminuir los errores de diseño y las solicitudes de información, al tiempo que mejora la colaboración entre los actores, la visualización del diseño y la evaluación de riesgos.

Los resultados de este proyecto constituirán un antecedente académico significativo para futuros ingenieros y profesionales de la construcción. Se espera que este estudio sirva como fuente de conocimiento aplicado que motive la adopción de BIM en otros proyectos universitarios y del sector constructivo de la región, contribuyendo así a la modernización de las prácticas constructivas y a la formación de profesionales con las competencias necesarias para enfrentar los desafíos de la industria actual.

1.4. Objetivos

1.4.1 Objetivo general:

Evaluar la aplicación de la metodología BIM en el modelado estructural del edificio administrativo de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca a partir del nivel +0.00 m, y compararlo con el enfoque tradicional basado en CAD.

1.4.2. Objetivos específicos:

- Modelar digitalmente el componente estructural del edificio administrativo de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca a partir del nivel +0.00 m utilizando la metodología BIM mediante software comercial Revit®.
- Identificar las diferencias en el flujo de trabajo y la gestión de la información entre la metodología BIM y la metodología CAD utilizada actualmente en el proyecto del edificio administrativo.
- Evaluar los beneficios económicos y técnicos de la implementación de las dimensiones 4D y 5D de BIM en la optimización de la planificación y la gestión económica del proyecto.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

En la presente sección se presenta un marco conceptual sólido que define los ejes principales de la investigación, conforme los hallazgos identificados en la revisión del estado del arte. Consecuentemente los ejes conceptuales centrales que se abordarán son:

2.1. Fundamentos del Building Information Modeling

Entender estos principios permite apreciar la relevancia de BIM más que sola una herramienta tecnológica, se trata de un enfoque renovado para pensar, organizar y edificar. A continuación, se discutirá su definición de manera más detallada.

2.1.1 Definición de BIM

Con el paso del tiempo, varios expertos e investigadores han explicado el BIM desde distintos enfoques, dado que su interpretación ha ido cambiando con los progresos tecnológicos y las demandas del sector. Por esta razón, no hay una definición única o aceptada universalmente. Estas diferencias reflejan la perspectiva específica de cada disciplina o autor., a continuación, presentamos las definiciones más representativas y comprensibles con el objetivo de generar una visión clara y didáctica a cerca de lo que es el BIM.

En el ámbito de la construcción y la ingeniería civil, se define BIM como un proceso que se centra en el modelado virtual tridimensional (3D) computarizado de una edificación, que responde a los cambios de la misma forma que ocurriría en la realidad una vez construido el edificio. Para poder visualizar estas reacciones antes de haber construido se emplean softwares especializados que actúan de manera directa sobre el modelo digital del proyecto, los mismos que permiten al equipo de trabajo diseñar,

comprender y representar las principales características funcionales y físicas del edificio a lo largo de su ciclo de vida (Barnes & Davies, 2014).

BIM funciona como una metodología de trabajo colaborativa que incorpora herramientas digitales y procesos colaborativos, destacándose por utilizar información de manera clara, coherente, coordinada, congruente, computable y secuencial. Un aspecto fundamental del BIM es permitir que los diferentes especialistas en el desarrollo de un proyecto desde el ingeniero estructural, electricista hasta profesionales encargados de seguridad tengan acceso a información coordinada y centralizada ya que se automatiza la actualización e integración de información, lo que resultará que el proyecto se ejecute a término impactando de manera positiva en los resultados finales al haberse reducido los errores, tiempos muertos, al mismo tiempo que mejora la cooperación en entornos de diversas especialidades (Coloma Picó, 2008).

Como menciona Blanco (2018) en su trabajo de grado titulado Cambiando el chip en la construcción, dejando la metodología tradicional de diseño CAD para aventurarse a lo moderno de la metodología BIM, la herramienta BIM al ser empleada supera en eficiencia a la metodología tradicional al reducir los tiempos y recursos empleados, es una metodología que nos permite anticiparnos a los conflictos que se pueden dar entre diferentes disciplinas y ser solucionados a tiempo, también recalca el impacto de tener información actualizada en cada fase del proyecto y al tratarse de un modelo 3D permite a los diseñadores involucrados y personas que no lo están tener una visibilidad y entendimiento claro de la edificación.

En base a la información recabada de diferentes autores se puede decir que BIM permite avanzar hacia una forma de construir más eficiente, responsable y sostenible al permitir diseñar y ejecutar proyectos aprovechando recursos, reduciendo riesgos

concluyendo con edificaciones de mayor calidad y rendimiento, en comparación con métodos tradicionales.

2.1.2 Evolución histórica

Orígenes del CAD

Los inicios del diseño asistido por computadora, conocido como CAD, se sitúan en los años 50 y 60, periodo en el que emergió en universidades y grandes sectores industriales, donde el acceso a equipos informáticos era bastante restringido. Durante esta fase inicial, su propósito principal era facilitar la creación de diseños bidimensionales, en lugar de los métodos manuales convencionales. Asimismo, cada organización generalmente desarrollaba su propio sistema de CAD, lo que hacía que esta tecnología fuera costosa y de uso limitado.(Barnes & Davies, 2014).

A finales de la década de 1990 la evolución siguió enfocándose en la utilización del CAD. A pesar de que se implementaron avances significativos en la visualización tridimensional y en la gestión de datos, la perspectiva seguía siendo mayormente geométrica y no informativa. Este periodo reforzó el CAD como un instrumento fundamental.

Con el avance y el acceso a estaciones de trabajo más económicas, y posteriormente con el surgimiento de las computadoras personales, el diseño asistido por computadora (CAD) se popularizó rápidamente y su uso se volvió más común. Este avance tecnológico hizo que los métodos de diseño ya no fueran solo para grandes empresas o entidades, lo que facilitó su implementación por parte de autónomos y compañías más pequeñas. Como consecuencia, emergió un método más organizado para el diseño, donde los edificios empezaron a ser concebidos como un conjunto de componentes individuales como puertas, ventanas o paredes dispuestos en bibliotecas

digitales que podían reutilizarse, lo que favoreció una mayor estandarización y eficacia (Barnes & Davies, 2014).

Indicios del BIM

Desde los años noventa, el diseño por computadora progresó hacia tecnologías más sofisticadas que no solo visualizaban las construcciones, sino que también incluían evaluaciones de rendimiento y simulaciones. Este cambio dio paso al BIM, donde el modelado basado en parámetros y el aspecto temporal (4D) facilitaron una organización más exacta y consistente del proceso de construcción (Barnes & Davies, 2014).

Después de muchos años de progresos tanto técnicos como conceptuales, desde el comienzo del año 2000 se marcó un cambio significativo: las herramientas digitales ya no se restringen al ámbito del diseño visual y se transformaron en sistemas completos de información. Desde ese momento, BIM ya no es solo una posible innovación tecnológica, sino que ha evolucionado hacia un enfoque colaborativo y estratégico que cada vez se acepta más como estándar en el sector.

Desde inicios del siglo XXI, las diferentes innovaciones y actualizaciones en torno al diseño digital comenzaron a fusionarse, originando el nacimiento de plataformas BIM efectivas. Estas herramientas no solo ofrecían modelos tridimensionales interactivos y modificables, sino a su vez también englobaban datos relacionados con el tiempo (4D), presupuestos o costos (5D), análisis de energía (6D) y otros componentes fundamentales para una gestión integral del proyecto. De esta manera, el modelo dejó de ser sencillamente una representación visual para transformarse en una representación digital cabal del edificio a lo largo de su totalidad. Este progreso representó un cambio significativo en el sector de la construcción tal como ocurrió en su momento con el CAD, que evolucionó de ser un instrumento exclusivo para grandes empresas a convertirse en

un estándar, el BIM inició un proceso de integración como metodología principal. En la actualidad, su uso sigue en aumento en arquitectura, ingeniería y construcción, gracias a sus beneficios colaborativos, su habilidad para unir distintas disciplinas y su aporte a una planificación más precisa, eficiente y sostenible (Barnes & Davies, 2014).

Tabla 1. *Evolución del BIM (Parte 1)*

AÑO	EVENTO DESTACADO
1957	Surge el primer software comercial para fabricación asistida por computadora (CAM).
1961	Incursiona el gráfico generado por computadora y en desarrollo DAC (Diseño Automatizado por Computadora) que se convirtió en el primer sistema CAM / CAD
1963	Aparece Sketchpad®, el primer programa de diseño asistido por computadora (CAD) con interfaz gráfica para el usuario
1975	Charles Eastman publicó un documento que describe un prototipo llamado Building Description System (BDS).
1982	Gábor Bojár comenzó a desarrollar ArchiCAD®.
1984	Bojár lanzó Graphisoft's® Radar CH para el sistema operativo Apple Lisa.
1987	Se introduce ArchiCAD® en el mercado como el primer software BIM accesible en computadoras personales.

Tabla 2. Evolución del BIM (Parte 2)

AÑO	EVENTO DESTACADO
1987	Tekla consolida su sistema combinando bases de datos gráficas y relacionales para su primera versión comercial.
1988	Pro/ENGINEER es lanzado, siendo el primer software comercial de modelado paramétrico en la historia de BIM
1993	Se presenta el Asesor de Diseño de Edificios en el Laboratorio Nacional Lawrence Berkeley, un software capaz de realizar simulaciones y proponer soluciones basadas en modelos digitales.
1997	ArchiCAD® lanza una solución colaborativa para trabajo en equipo mediante intercambio de archivos digitales
2001	NavisWorks® lanza JetStream® un software para revisión y 3D
2004	Autodesk® presenta Revit 6®.
2012	Autodesk® desarrolla Formit®, una aplicación móvil que facilita la creación de modelos BIM desde dispositivos portátiles.

Nota. Adaptado de Cambiando el chip en la construcción, dejando la metodología tradicional de diseño CAD para aventurarse a lo moderno de la metodología BIM (p. 40), por Blanco, 2018, Trabajo de grado, Universidad Católica de Colombia.

La transición del CAD al BIM no solo conlleva la integración de una tecnología innovadora como herramienta, ya que también busca cambiar la forma en que se comprende y se estructura un proyecto de edificación. La transición de planos sencillos a modelos que fusionan la labor de diversos expertos facilita una mejor comprensión de los proyectos y su gestión con mayor claridad. Esta transformación nos impulsa a reconsiderar la planificación, diseño y ejecución de las obras, con la finalidad de que los procesos sean más eficaces, sostenibles y se ajusten a las exigencias actuales.

2.1.3 Dimensiones de BIM

Las dos primeras dimensiones del BIM están centradas en las actividades preliminares de análisis, planificación, ejecución y entrada de datos en los programas, por otro lado, las dimensiones posteriores aportan más detalle al trabajo mediante datos complementarios para la administración y el progreso Hildebrandt Gruppe (2016).

Primera dimensión, la idea: la primera dimensión y la más fundamental en un proyecto es el concepto que da inicio a un proyecto, en el que se considera cómo se llevará a cabo y cómo se procederá a tomar decisiones iniciales. En esta fase se realizan los primeros estudios que determinarán la viabilidad, croquis o bocetos sencillos y estimaciones iniciales de costos, material y tiempo (García, 2017).

Segunda dimensión, el boceto: la segunda dimensión empieza a implementar el concepto en el que se llevarán a cabo los estudios proyectados, a través de cálculos y diseños, se determinan de forma estimada los costos aproximados y las dimensiones iniciales del proyecto a llevar a cabo (Gonzalez, Lesmes, 2017)

3D Datos paramétricos en un modelo colaborativo: esta dimensión se enfoca en los componentes físicos del proyecto, tales como vigas, columnas y muros, que dan forma a la estructura total. Expertos de diversas disciplinas, incluyendo arquitectura,

ingeniería, edificación y fabricación, tienen la oportunidad de reunir o proporcionar datos de acuerdo con sus necesidades particulares. Igualmente, los participantes pueden observar el modelo en 3D del edificio de manera temprana y modificar esas representaciones durante la totalidad del ciclo de vida del proyecto (Hildebrandt Gruppe, 2016).

Esta fase involucra el uso de un software de modelado que funcione en formato BIM, el cual permite incluir la información que se necesite en las siguientes fases y analizar en su mayoría los aspectos físicos del edificio. En esta dimensión se termina de crear el modelado virtual del proyecto.

4D programación de tiempos: se enfoca en el tiempo y permite planificar de manera precisa los plazos de ejecución dentro de la obra. Su mayor ventaja radica en visualizar el desarrollo completo de la obra, optimizar recursos como tiempo y posibles conflictos antes de empezar la construcción de la obra.

En esta dimensión es necesario tener bien definido el proyecto, considerando la secuencia de edificación. Los modelos 4D se vuelven un recurso útil al añadir la planificación temporal con el modelo de construcción, facilitando la representación de cronogramas a través de redes de ruta crítica y diagramas de barras. Esta unión permite a los equipos entender visualmente el plazo de la obra y anticipar posibles problemas durante su ejecución (Candelario-Garrido et al., 2017).

Barnes & Davies (2014) explican que en esta dimensión se permite a todos los involucrados tener una visualización del cronograma, donde se puede observar la ruta crítica y las dependencias de actividades sobre otras, lo que permite la toma de decisiones informadas basadas en datos precisos y en tiempo real conociendo el impacto que tendría los retrasos o cambios en el proyecto.

5D costos: la quinta dimensión de esta metodología es la más llamativa de todas porque se habla del dinero que se va a invertir en el proyecto, se centra en la dimensión económica del proyecto, posibilitando la creación de presupuestos certeros a partir del modelo digital mismo. Esto implica que, cuando se realizan modificaciones en el diseño o en la planificación, los costos se actualizan de manera automática. Por lo tanto, se puede tener una gestión más precisa del capital que se va a destinar, no solo durante la construcción, sino también considerando el mantenimiento futuro del proyecto (Smith, 2014).

En la quinta dimensión del enfoque BIM se incorporan instrumentos que facilitan la supervisión de los costos y la anticipación de los gastos del proyecto de manera organizada, lo que ayuda a mejorar la rentabilidad de la obra. Esta dimensión posibilita establecer con precisión las cantidades de materiales, sus precios individuales y la desagregación total de los gastos. Asimismo, se abarca el análisis financiero durante la etapa de uso y mantenimiento de la construcción, lo que simplifica la creación de presupuestos, investigaciones de viabilidad económica, así como una adecuada administración de licitaciones y contrataciones (Cappuyns Jordán, 2020).

Cada vez más instituciones líderes se encuentran considerando que la adopción de esta novedosa metodología de gestión de costos, implementando el enfoque BIM, no solo optimiza la estructura financiera del proyecto, sino que además conlleva un beneficio frente a la competencia, al hacer más eficaz y transparente la toma de decisiones financieras (Smith, 2014). Esta dimensión se ha creado con la idea de que en todo el ciclo de vida de la estructura exista la información necesaria para medir y capturar los datos de costos hasta su etapa final ya que se tendrá mayor calidad y apoyará a la reducción de gastos.

6D simulación del comportamiento energético y sustentabilidad: el tema de la sostenibilidad es de gran relevancia y valor añadido a las construcciones en la sexta dimensión, simulando de esta manera el comportamiento energético potencial, facilitando un análisis para la toma de decisiones técnicas y tecnológicas con el fin de optimizar el uso de energía y minimizar de esta manera los perjuicios al medio ambiente (Hildebrandt Gruppe, 2016).

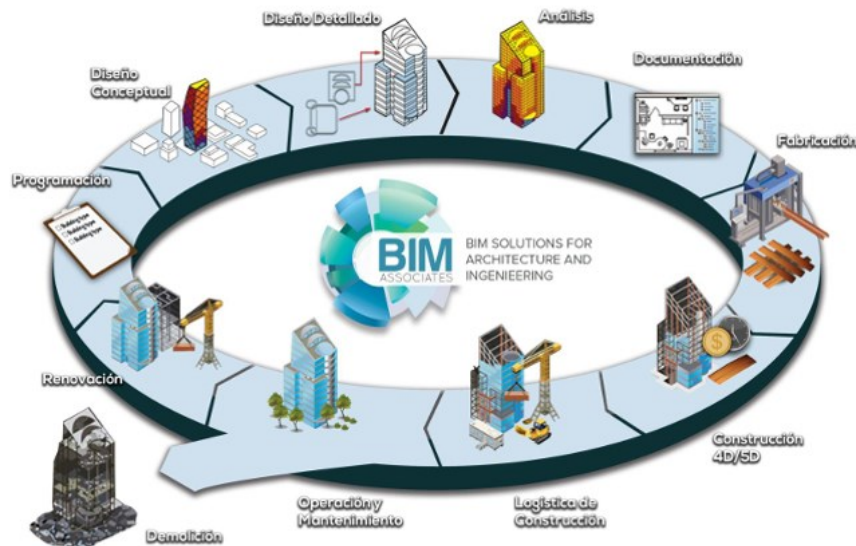
La dimensión 6D se enfoca en evaluar cómo se utilizará la energía en una edificación y qué costos implicará a lo largo del tiempo. Desde que se empieza a diseñar el proyecto, esta herramienta permite anticipar el consumo energético y planificar mejor la inversión necesaria para que el edificio sea eficiente y sostenible. Además, resulta útil al momento de renovar o mejorar el inmueble, ya que permite medir cómo esos cambios pueden afectar el uso de la energía y la iluminación. Aunque no se utiliza tan comúnmente como otras dimensiones, el BIM 6D ofrece la posibilidad de simular cómo se comportará energéticamente un edificio, considerando aspectos como la iluminación natural y artificial. Esto brinda un respaldo valioso para tomar decisiones que mejoren tanto el diseño como el desempeño del edificio en términos de eficiencia (Piaseckienė, 2022).

7D, operaciones de gestión de ciclo de vida: esta es la última dimensión en donde ya se tiene el modelado y se logra visualizar todas las dimensiones anteriores, se “entrega un control logístico y operacional para el uso y mantención del edificio” (Hildebrandt Gruppe, 2016).

La dimensión 7D del BIM lo que busca facilitar la gestión completa del edificio una vez que se encuentra en uso. Esto incluye tareas como mantenimiento, operación diaria y el control de todos los elementos que lo componen. El enfoque va más allá del diseño y construcción, se pretende asegurar que la edificación funcione correctamente, sea suficiente, duradera y se mantenga en condiciones óptimas a lo largo de toda su vida

útil (Piaseckienè, 2022). Es decir, muestra una guía que permite extender y mantener la calidad una vez se ha finalizado su construcción, de manera que resulta de vital importancia para los dueños relacionándose directamente con costos de conservación.

Figura. 1 Ciclo de vida del proyecto



Fuente: *Consulting y Construction*

2.2 Principios y características del BIM

2.2.1 Modelo centralizado y paramétrico

Comprender la definición de objetos paramétricos en BIM es esencial para diferenciarlo de los objetos tradicionales del 2D. Sacks et al. (2018), define a los objetos paramétricos en BIM no únicamente como representaciones de una forma, si no que adicional contienen información y reglas las que definen como debe funcionar dentro del modelado, incorporando inteligencia al diseño. Las reglas paramétricas de los objetos se ajustan de manera automática al modelo sin la necesidad de realizar de manera manual. Además, los objetos se definen en varios niveles, en donde además de modelar el elemento se puede incluir información de sus componentes internos, como material y al ejecutar estos cambios el sistema debe actualizar de forma automática la información total de todo el modelo.

Entonces podemos decir que el modelo paramétrico tiene como ventaja el mantener el control del cómo se relacionan las piezas del edificio, permitiendo observar de manera inmediata y automática cualquier ajuste realizado en las partes afectadas volviendo al diseño mucho más inteligente y fácil de manejar.

Un principio clave del enfoque BIM es la utilización de un modelo centralizado, donde toda la información del proyecto se gestiona y administra desde una base común, aquí cada componente se crea teniendo en cuenta la relación con los otros componentes haciendo que el modelo sea flexible a cambios, permitiendo que los involucrados en el desarrollo del proyecto estén conectados entre sí a una misma base de datos y trabajen de manera coordinada (Coloma Picó, 2008). En este contexto, BIM busca reunir toda la información del proyecto en una misma base de datos a la que pueden acceder todos los involucrados en el proceso de construcción. Esto no solo facilita una cooperación eficiente entre diferentes áreas, sino que también minimiza la posibilidad de perder datos y evita repetir tareas, lo que aumenta la efectividad total del proyecto.

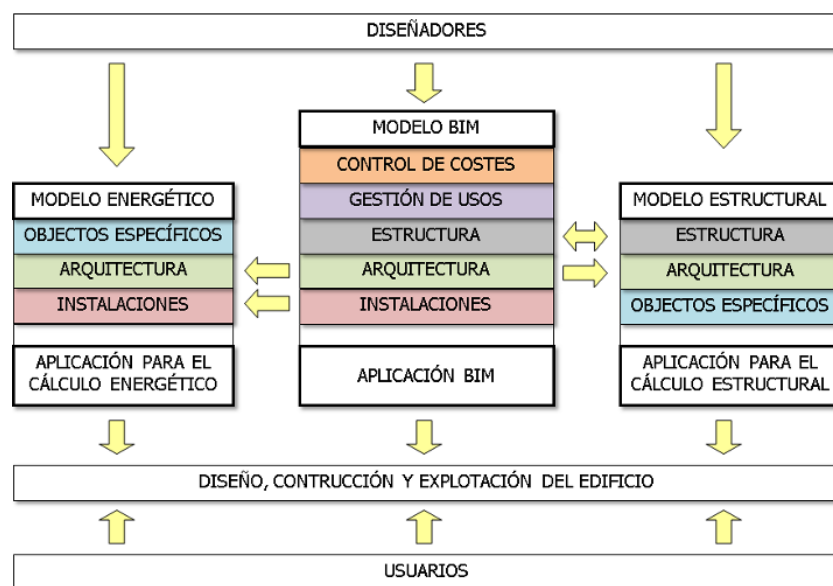
2.2.2 Colaboración interdisciplinaria

Manejar de manera coordinada la información es crucial para que el proyecto se desarrolle con la participación de varios profesionales, que pueden ser de diferentes disciplinas o la misma. De esta manera dos profesionales que se encarguen de diferentes actividades pueden trabajar sobre el mismo proyecto sabiendo que la información que actualice uno se reflejará de manera inmediata para el otro (Coloma Picó, 2008).

Conforme con el marco teórico propuesto por (Succar, 2009), la colaboración de diversas disciplinas dentro del entorno BIM no ocurre de manera poco elaborada ni sencilla, sino que responde a procedimiento estructurado que puede variar según el desarrollo tecnológico y organizativo de cada proyecto. En medida que una organización progresa desde un uso básico de BIM en donde cada disciplina opera de manera separada

hacia etapas más avanzadas en las que los modelos se actualizan y comparten en tiempo real, la colaboración entre áreas también se optimiza notablemente. Este avance está íntimamente relacionado con la interoperabilidad, que se define como la habilidad de diferentes programas y profesionales para intercambiar y utilizar información en conjunto de manera coherente y sin pérdida de datos. En este marco, la cooperación entre arquitectos, ingenieros y otros participantes del proyecto se vuelve más ágil, eficaz y exacta, ya que se basa en estándares, protocolos y plataformas digitales que organizan el trabajo conjunto.

Figura. 2 BIM multidisciplinar



Fuente: Coloma Picó, E. (2008). *Introducción a la Tecnología BIM*

2.2.3 Interoperabilidad

En la actualidad, el principal interés de esta tecnología reside en su interoperabilidad. Esto se debe a que, dado que las herramientas de generación de objetos paramétricos de la obra han llegado a su etapa de madurez, resulta crucial lograr una comunicación efectiva entre los distintos modelos de información (Coloma Picó, 2008).

El sistema BIM tiene que estar listo para apoyar todas las etapas del proyecto, desde el diseño inicial hasta la fase operativa. También debe tener una flexibilidad adecuada para que cada especialista pueda desempeñar su labor en él de acuerdo con sus requerimientos, sin tener en cuenta el software que prefiera. Esta habilidad de ajustarse y seguir siendo funcional entre diversas herramientas y participantes se denomina interoperabilidad (Muñoz García, 2020).

Según Kreider & Messner (2013) uno de los objetivos del programa es traducir la información para que sea recibida por otro proceso, es decir, esta debe ser transferida de un programa a otro con la finalidad de que se use para otro proceso a lo cual denomina transformación de datos. “El IFC (Industry Foundation Classes) fue desarrollado para permitir el flujo de datos a través de las distintas plataformas, haciendo compatible un archivo con distintos programas BIM” (Cappuyns Jordán, 2020).

Se debe garantizar que los softwares y herramientas a utilizar en el modelado sean compatibles con otros softwares, ya que es importante la comunicación entre los programas, teniendo un paso de información de un lugar a otro con la mínima pérdida de información. Se empieza el modelado trabajando en un programa en este caso Revit® en donde se modela la estructura del edificio, con información detallada de materiales y cantidades. En el caso de que otro profesional requiera analizar el comportamiento de la estructura no tendría que modelar nuevamente desde cero en otro programa, es por ello por lo que el software exporta el modelo directamente al otro software, además que el trabajo sobre el mismo modelo elimina la posibilidad de errores y reduce pérdidas de tiempo.

2.3 Aplicaciones del BIM en la ingeniería estructural

Actualmente, la metodología BIM es un instrumento esencial en la ingeniería estructural, pues facilita la optimización de tanto el tiempo como los costos durante las fases de diseño y edificación. Su habilidad para prever fallos, sincronizar disciplinas y crear modelos exactos ayuda a prevenir imprevistos en la obra y gastos excesivos por cantidades mal calculadas, lo que resulta en una planificación más eficaz y un avance más regulado del proyecto (Naranjo, 2021).

Los clientes que opten por esta metodología BIM adquirirán una mejor comprensión del proyecto desde su inicio hasta su culminación, dado que BIM cuenta con diversos programas informáticos que facilitan una mejor visualización del proyecto y recolectan la información de cada una de las especialidades (Naranjo, 2021).

2.3.1 Modelado estructural inteligente

Permite crear representaciones detalladas y paramétricas de estructuras, esta herramienta integra toda la información técnica importante, facilitando el diseño y análisis de la estructura, lo que genera obras precisas y mejor coordinadas.

Tener un buen modelo del edificio desde el inicio hace que la planificación sea más clara y ordenada. Con un diseño bien hecho, es más fácil detectar posibles fallos antes de empezar la obra. La metodología BIM ayuda mucho en esto, porque permite crear el proyecto en 3D, organizar las etapas de construcción y ver cómo se va a desarrollar todo en el tiempo. Gracias a eso, se pueden tomar mejores decisiones y evitar retrasos (López Picón & Tapia Poveda, 2023).

Elementos: vigas, columnas, losas, mediante la implementación de BIM, se logró obtener un valor "exacto" a través del modelo tridimensional, ya sea del total que se va a trabajar en cada fase o del volumen detallado de cada parte (como vigas, losas, gradas,

entre otros). Esta perspectiva permite el cálculo de las cantidades de materiales usando filtros, ya sea por tipo (vigas, muros, etc.) o por unidad de medida (metros, kilogramos, etc.), según la forma en que se quiera administrar cada elemento. Es importante mencionar que Revit® clasifica los componentes en categorías, como vigas, muros, techos, entre otras (López Picón & Tapia Poveda, 2023).

2.3.2 Coordinación con otras disciplinas

Una de las características más destacadas de la metodología BIM es que promueve la colaboración entre diferentes disciplinas en un único entorno digital. Técnicos como arquitectos, ingenieros civiles, estructurales, eléctricos, sanitarios, entre otros, pueden colaborar en conjunto sobre el mismo modelo en tiempo real, ayudando a mantener la uniformidad del diseño desde el inicio hasta la construcción final. Esta integración facilita la detección anticipada de interferencias, optimiza la coordinación de los componentes técnicos y posibilita la toma de decisiones con mayor seguridad. Además, al tener una imagen tridimensional del proyecto, se fomenta la participación de otros actores como los clientes o las autoridades, quienes pueden entender con mayor precisión el diseño propuesto y ofrecer observaciones durante el proceso.

2.3.3 Optimización del diseño y documentación

La técnica BIM facilita una mejora significativa en la planificación y la documentación técnica dentro de proyectos de ingeniería estructural, al llevar a cabo automáticamente funciones esenciales y aumentar la exactitud de los datos generados.

Una de las principales ventajas es la automatización de los planos y cortes, dado que el modelo 3D creado en programas como Revit Structure® genera de manera automática vistas en planta, secciones transversales, detalles y elevaciones provenientes del modelo paramétrico. Esto no solo disminuye el tiempo destinado a realizar planos,

sino que también permite tener uniformidad entre las perspectivas del proyecto, dado que cualquier cambio efectuado sobre el modelo este se actualiza de inmediato en todas las representaciones vinculadas (Sacks et al., 2018).

Adicionalmente, el modelo BIM genera listas de materiales y cantidades, de esta manera se reducen los errores en la cuantificación ya que como en el método tradicional se hace a mano tomando demasiado tiempo y adicional la mayor probabilidad de cometer errores, este modelo permite organizar de forma más eficiente el suministro de recursos fortaleciendo el control financiero a lo largo del proyecto (Azhar, 2011). También permite la vinculación del modelo estructural con herramientas de análisis como Robot Structural Analysis®, ETABS® o SAP2000®.

2.4 Ventajas del uso de BIM

2.4.1 Mejora la comunicación entre equipos: al implementarse esta nueva metodología de trabajo se ha generado una transformación total en manera de ejecutar un proyecto de obra civil permitiendo que todos los involucrados en el desarrollo puedan realizar su trabajo sobre el mismo modelo, a diferencia de lo que pasaba con CAD. Cappuyns Jordán (2020) en su estudio de implementación de herramientas BIM en una ingeniería nos dice que, todos los involucrados al trabajar sobre un mismo entorno la comunicación entre distintos ingenieros y arquitectos se vuelve más fluida.

BIM ofrece diversas aplicaciones, una de las más relevantes es la capacidad de colaborar, donde las personas implicadas en el proyecto pueden unirse en su labor desde diferentes ubicaciones. Asimismo, los involucrados en el proyecto tienen la opción de transmitir y recibir datos de manera instantánea, lo que beneficia enormemente la disminución de tiempos de entrega, mejora la efectividad en la comunicación de la

información y facilita la unificación de las disciplinas en las varias fases del proyecto (Porrás-Díaz, Sánchez-Rivera, Galvis-Guerra, Jaimez-Plata, & Castañeda-Parra, 2015).

2.4.2 Reducción de errores de diseño y conflictos: para reducir las complicaciones en la coordinación del diseño, Sacks et al. (2018) proponen que el trabajo minucioso se realice de manera simultánea y en sitios de colaboración donde todos los profesionales implicados en la producción estén involucrados. Este método de colaboración disminuye considerablemente la necesidad de repetir labores en el diseño detallado, aunque en situaciones donde ya se hayan identificado y solventado posibles inconvenientes en las fases anteriores del diseño.

Cada vez resultan evidentes las ventajas de perfeccionar el proceso de diseño. Una de las mayores ventajas es la exacta coordinación de los distintos elementos mediante el uso de software para identificar interferencias y la construcción virtual, lo que facilita la detección de fallos antes de que se comience el trabajo en la obra. Además, BIM promueve un mayor enfoque desde los primeros pasos en la correcta elección de los componentes (Blanco, 2018).

Una de las fortalezas de BIM es su habilidad para minimizar errores mediante la colaboración entre equipos de diferentes disciplinas, que trabajan en un modelo visual compartido que posibilita la detección oportuna de problemas. Según se desarrolla la metodología, también se potencia su capacidad para incluir información relevante, lo que promueve una gestión más eficiente de los riesgos y posibles fallos. Por lo tanto, esto conduce a una reducción significativa de los costos durante la realización del proyecto (Gutiérrez Vélez, 2015).

2.4.3 Trazabilidad de decisiones y cambios: los ajustes efectuados en el diseño se reflejan de forma automática en el modelo tridimensional y en todas sus presentaciones visuales, lo que elimina la obligación de que un experto vuelva a crear los planos ajustados (Ramírez León, 2018).

2.4.4 Disminución de costos por reprocesos: se puede minimizar los costos asociados a retrabajos en proyectos de construcción mediante la formación de grupos multidisciplinarios que colaboren desde fases iniciales. Con la capacidad de los constructores y especialistas para visualizar el edificio a través de herramientas BIM tanto antes como durante el diseño, es posible identificar disputas y gestionar cambios desde las etapas de arquitectura e ingeniería. Esta táctica resulta especialmente beneficiosa en proyectos con elevados costos y riesgos, ya que contribuye a reducir significativamente los errores y costos extra, generando beneficios económicos y técnicos a lo largo de toda la duración del proyecto (Gutiérrez Vélez, 2015).

2.4.5 Mayor control de plazos y recurso: según Barnes & Davies (2014) al emplear un software de coordinación BIM, el coordinador del proyecto tiene la posibilidad de identificar con antelación cualquier posible demora vinculada a la metodología y transmitir esta información al gerente, lo que posibilita implementar acciones para prevenir o minimizar tales problemas. Esta capacidad es crucial, ya que la metodología BIM se basa en gran parte en asegurar una óptima colaboración entre todos los participantes del proyecto.

2.5 Normativas, estándares y guías BIM

La implementación de BIM necesita de una normativa consistente que garantice la integración de sistemas, el seguimiento de datos y una adecuada colaboración durante todas las fases del proyecto. Con este fin, varias naciones y entidades han creado

normativas, criterios y manuales que dirigen la aplicación de BIM en ámbitos profesionales. A continuación, se enumeran los estándares internacionales más relevantes que han influido en la aceptación mundial de esta técnica.

2.5.1 Estándares internacionales

ISO 19650: es una norma internacional fundamental para la administración de la información en proyectos que emplean la metodología BIM. Esta norma nos indica que el desarrollo del proyecto y la gestión de la información se debe realizar de forma colaborativa de modo que incluye al contratante, el principal contratado y los demás actores del proyecto. Este proceso se presenta en niveles de madurez siendo la fase 2 la que mantiene el enfoque en BIM, es aquí donde se combinan procedimientos manuales y automatizados para crear un modelo unificado de información que incorpora todos los entregables asociados a un proyecto (International Organization for Standardization (ISO), 2018). La norma no se enfoca directamente sobre el modelado 3D, en su lugar lo hace sobre cómo debe ser la organización y utilización de la información de manera que se tenga resultados estructurados y eficientes

PAS: la especificación PAS 1192-2:2012 (Publicly Available Specification) fue un marco innovador en la creación de metodologías BIM, enfocado en la administración de información durante las etapas de diseño y construcción en proyectos. La cual proporciona un enfoque mejorando prácticas para el desarrollo organización y gestión de la información de producción en la industria de la construcción. Su enfoque principal es un proceso disciplinario para la colaboración y una política específica de promoción. Incluye una guía con reglas comunes de nombramiento y especifica métodos de cooperación laboral aplicable en áreas como la arquitectura y la ingeniería (NBS, 2017).

Según NBS (2017) el marco PAS 1192 indica que la aplicación de estos métodos también fomenta un uso eficiente de la información en la gestión de instalaciones. La

regulación define las bases para el intercambio de información y el modelado compartido, los cuales conforman el cimiento de los estándares BIM de Nivel 2, y son aplicables tanto en proyectos de edificación como en ingeniería civil.

Ofrece una orientación estructurada para la gestión de datos en proyectos BIM durante todo el proceso de entrega, desde la evaluación inicial hasta la finalización del modelo de datos del activo edificado. Esta regulación asegura que las demandas de información se adecuen a las necesidades específicas de cada proyecto, fomentando una administración gradual y sincronizada de la información. Su enfoque en presentar de manera organizada y completa la información al cliente favorece una mayor eficiencia y claridad en la realización de proyectos de edificación basados en BIM (Barnes & Davies, 2014).

2.5.2 Estándares regionales y nacionales

La incorporación de la metodología BIM ha experimentado una expansión en América Latina, donde diversas naciones han desarrollado directrices y planes concretos para impulsar su adopción en iniciativas tanto públicas como privadas; sin embargo, el nivel de progreso difiere de un país a otro en función de sus particularidades. Según Saldías Silva (2010), la utilización de la coordinación digital fundamentada en BIM permite mejorar la gestión y reduce los errores, lo cual ha incentivado a varios gobiernos latinoamericanos a impulsar esta tecnología.

En Ecuador, el uso de BIM comienza a introducirse de manera gradual en los procesos constructivos. Con iniciativas que tienen como objetivo crear fundamentos sólidos para la adecuada administración de proyectos públicos a través de BIM (López Picón & Tapia Poveda, 2023). De esta manera pudiendo evidenciarse la superación de limitaciones como la carencia de capacitación y estandarización, con la finalidad de

beneficiarse de las ventajas que brinda la metodología en términos de sostenibilidad, costo y calidad (Gutiérrez Vélez, 2015).

Ya que no existe normativa ecuatoriana para aplicar la metodología, se ha optado por utilizar normativas de países cercanos dentro de los cuales encontramos la Guía Nacional BIM que ha sido desarrollada en Perú fomentada por el ministro de economía y finanzas de la república del Perú tomando como referencia principal NTP-ISO 1950-1-2021.6. Y la guía inicial para implementar BIM en organizaciones desarrollada en Chile la cual tiene como objetivo reunir a los principales profesionales en construcción y también generar estándares que sean avalados a escala nacional para el progreso por medio del uso de BIM, con el fin de fomentar y potenciar investigación, avance, y determinación sólida de conocimientos para promover conexiones nacionales e internacionales y colaboración con otros organismos (BIM Forum Chile, 2017).

2.6 Herramientas BIM orientadas al modelado estructural

Según Blanco (2018) esta transformación implica un cambio de mentalidad en el campo de la construcción, donde abandonar los métodos convencionales representa el primer paso para aprovechar el potencial de las soluciones modernas. En este contexto, el sector brinda múltiples plataformas y aplicaciones que facilitan la creación, organización, simulación y administración de proyectos en cada fase, lo que hace que las herramientas BIM sean esenciales para impulsar la creatividad en el diseño y la realización de obras

2.6.1 Software de modelado estructural

Revit Structure®: según Saavedra Ortega (2023) Revit® ofrece una integración completa entre distintas áreas, de modo que cualquier cambio se representa automáticamente en todas las visualizaciones, evitando la tarea de realizar cambios de

forma manual. Esta aplicación promueve el trabajo conjunto entre disciplinas como arquitectura, estructuras, sistemas eléctricos, sanitarios y mecánicos, además de permitir a las empresas ajustar el proceso de trabajo de acuerdo con sus requerimientos particulares.

Es una plataforma BIM que se ha hecho bastante conocida en los últimos años, introducida por Autodesk en el año 2002. Revit® nos brinda una interfaz sencilla de comprender y manejar, presenta información y también sugerencias al colocar el cursor sobre una operación. La forma en que se encuentra organizado el menú es de acuerdo con el flujo del trabajo y en cuanto al proceso de generación de planos es didáctica ya que se realiza de manera altamente asociativa, lo que simplifica la administración de versiones(Sacks et al., 2018).

Revit® ofrece la opción de generar objetos paramétricos totalmente personalizados, además de ajustar los que ya están configurados previamente. Con cada actualización, las normas que facilitan la definición de estos objetos han progresado, incluyendo incluso funciones trigonométricas. El software posibilita definir limitaciones tales como distancias, ángulos o la cantidad de elementos en una serie, lo que simplifica la gestión del diseño. Además, admite vínculos jerárquicos entre parámetros, lo que implica que un objeto puede estar formado por múltiples sub-objetos vinculados entre ellos a través de relaciones paramétricas(Sacks et al., 2018).

Tekla Structures®: es un programa informático creado por la compañía finlandesa Tekla Corp., establecida en 1966 y con alcance global. En 2012, Trimble® compró la empresa. En la actualidad, Tekla® se estructura en diversas divisiones que cubren áreas como Edificación y Construcción, Infraestructura y Energía, lo que demuestra su orientación especializada en diferentes áreas industriales. El software opera principalmente mediante un sistema de archivos, lo que facilita su escalado de acuerdo

con el tamaño del proyecto. Además, promueve el trabajo colaborativo ya que permite que varios usuarios manejen de manera simultánea la información del proyecto (Sacks et al., 2018).

Tekla Structures®: es una herramienta BIM versátil desarrollada para adaptarse a distintos perfiles profesionales, de modo que cuenta con licencias para edición detallada o simplemente visualización. Dispone herramientas que han sido pensadas para optimizar los procesos de fabricación y automatización permitiendo personalizar o también crear objetos paramétricos de acuerdo a las necesidades en el diseño, aunque su extenso espectro de funciones conlleva una considerable curva de aprendizaje, sobresale por su habilidad para fusionarse con otras aplicaciones y por proporcionar una API (interfaz de programación de aplicaciones) abierta, lo que simplifica su adaptación a diferentes ambientes laborales (Sacks et al., 2018).

Robot Structural Analysis®: es una herramienta especializada que facilita el análisis y comprobación del rendimiento de estructuras ante diversas cargas, garantizando que se ajusten a las regulaciones actuales. Su vinculación con Revit®, mediante los procesos de trabajo BIM, permite una vinculación directa entre el diseño y la evaluación de la estructura. Esta sinergia favorece la creación de estructuras más exactas, consistentes y mejoradas para su edificación, todo ello en un ambiente digital coordinado que reproduce con precisión el modelo del proyecto (Autodesk, 2024).

Autodesk Robot Structural Analysis® Professional es un programa robusto y adaptable diseñado para ingenieros estructurales que manipulan materiales como el acero, el hormigón o la madera. Facilita la elaboración de modelos exhaustivos y la realización de análisis exactos de acuerdo con diversas regulaciones internacionales, tales como los euros códigos o las normas de Estados Unidos y Reino Unido. Además, se acopla sin dificultades con otras aplicaciones en el contexto BIM, en particular con los programas

que componen la serie AEC de Autodesk. Esta interoperabilidad permite a los expertos mejorar la coordinación entre plataformas, perfeccionar sus diseños, agilizar los procesos laborales y mantener un control preciso de las modificaciones que se efectúan durante el desarrollo del proyecto (Deusto Formación, 2023).

2.6.2 Visualización y revisión

Una vez que se ha realizado el modelado en softwares como Revit Structure[®], Tekla Structures[®] o Robot Structural Analysis[®], el siguiente paso es la coordinación, visualización y detección de interferencias, este paso es importante para prevenir fallos y rehacer trabajos en el proceso de edificación. En este aspecto, son importantes herramientas especializadas como:

Navisworks[®]: desarrollado por Autodesk, es una herramienta modificable creada para la administración completa de proyectos de edificación. Entre sus funciones más destacadas se incluyen el análisis minucioso de modelos, la identificación de interferencias entre disciplinas, la simulación del cronograma de construcción en 4D, la evaluación de volúmenes en 5D, además de la creación de animaciones y visualizaciones realistas. Uno de los mayores puntos fuertes del software es su habilidad para fusionar modelos BIM y geometrías 3D de diversos formatos, lo que lo hace una plataforma sumamente compatible. Además, proporciona la posibilidad de visualizar nubes de puntos adquiridos a través de escáner láser o fotogrametría, lo que incrementa su eficacia en el monitoreo y gestión del progreso en la obra (Sacks et al., 2018)..

Según Naranjo Bejarano (2021) Autodesk Navisworks[®] se destaca como una herramienta crucial en el ámbito del BIM para la coordinación de modelos y la gestión del trabajo en tiempo real. La escritora señala que este software facilita la conexión de modelos en 3D generados en Revit[®] con cronogramas creados en Microsoft Project[®], lo

que contribuye a replicar el proceso de edificación a través de una línea temporal visual. Esta conexión ofrece una representación clara del progreso del proyecto y ayuda a prevenir conflictos mediante la identificación de interferencias entre disciplinas previo a que se efectúe la obra física. Además, señala que Navisworks® ayuda en la verificación de cantidades de materiales, al comparar los datos obtenidos del modelo BIM con los generados por métodos tradicionales, como el CAD, lo que aumenta la precisión en la elaboración y en el control de los costos del proyecto.

BIMcollab® y Solibri®: gracias al conector BCF, Solibri® y BIMcollab® han conseguido una integración eficiente, una herramienta que vincula directamente el visor de modelos Solibri® con la plataforma BIMcollab®, enfocada en el manejo conjunto de incidentes en ambientes BIM. Esta conexión facilita la comunicación rápida de los errores o conflictos identificados en los modelos durante las fases de diseño y planificación con otros expertos que utilizan programas como Revit®, Archicad® o Tekla®, promoviendo una comunicación más eficaz y coordinada (Solibri, 2018).

En proyectos de gran magnitud, la revisión y administración de problemas se torna mucho más eficaz debido a la capacidad de sincronizar múltiples incidentes simultáneamente, asignarlas a los encargados pertinentes, clasificarlas por relevancia o especialidad, y monitorearlas de forma centralizada desde la nube. Esta integración se respalda en el formato BCF (BIM Collaboration Format), que promueve un flujo de trabajo colaborativo bajo la metodología openBIM, permitiendo la interoperabilidad entre distintos programas sin sacrificar el control o el seguimiento de los datos (Solibri, 2018).

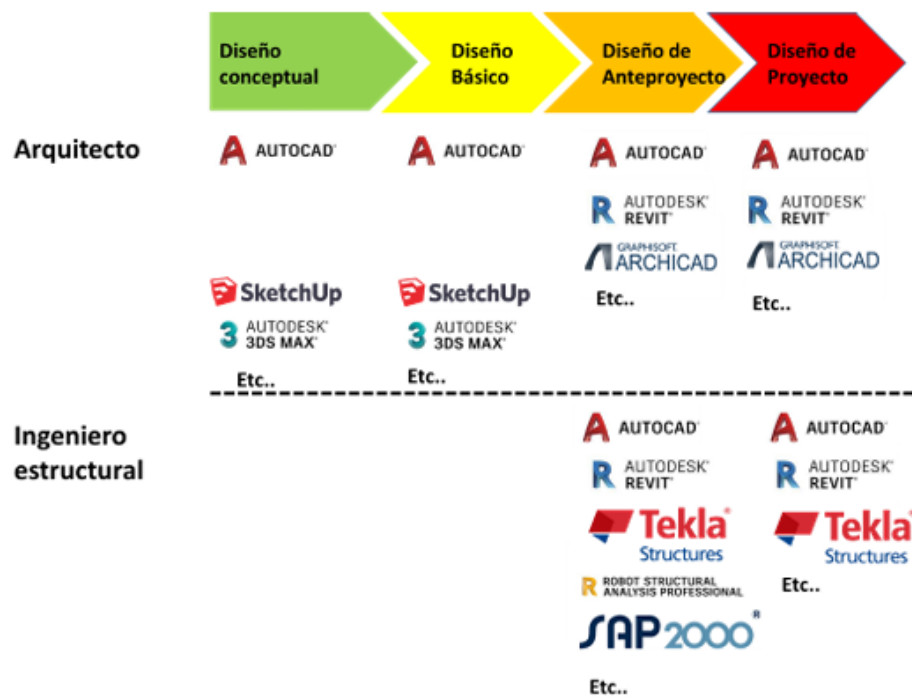
2.6.3 Integración con análisis estructural

La combinación del diseño estructural en entornos BIM con programas de análisis estructural como lo son SAP2000®, ETABS® o STAAD.Pro® permite una vinculación

eficaz entre el diseño geométrico y los análisis estructurales, asegurando de esta manera una mayor precisión y uniformidad en el progreso del proyecto. Esta habilidad para interactuar posibilita el desplazamiento de datos cruciales como materiales, cargas y condiciones de soporte, reduciendo los errores causados por duplicado de datos y mejorando el proceso de decisión.

Según Sacks et al. (2018), esta interacción entre modelado y análisis potencia la colaboración interdisciplinaria y mejora los periodos de validación estructural. Por su parte, (Succar, 2009) resalta que estos procesos mejoran la perspectiva global del BIM al integrar etapas clave del ciclo de construcción.

Figura. 3 *Tecnologías en Arquitectura e Ingeniería Estructural*



Fuente: Muñoz García, G. A. (2020). *Interoperabilidad en el entorno BIM:*

Mejoramiento de los procesos de diseño y comunicación a partir de la implementación del concepto OpenBIM. Universidad Nacional de Colombia

2.7 Metodología BIM en proyectos estructurales

2.7.1 Fases BIM

Planificación del proyecto BIM

Esta fase es vital para el desarrollo del proyecto ya que se plantean las bases con el objetivo de que todo el equipo de trabajo realice sus actividades de manera coordinada y eficiente. Aquí se definen los objetivos del proyecto con total precisión y exactitud, el alcance del modelado, los niveles de detalle que se esperan (LOD), y se asignan actividades y roles a todos los involucrados en el desarrollo. También se elabora el Plan de Ejecución BIM (BEP), que funciona como una guía para organizar el trabajo, seleccionar las herramientas adecuadas y establecer cómo se compartirá la información entre todos (Carrera Cosavalente, 2023). Según Sacks et al. (2018), contar con un BEP bien estructurado ayuda a evitar confusiones y errores, asegurando que todos estén en la misma página desde el principio y que el proyecto avance de manera más ordenada y exitosa.

Modelado estructural (LOD 100 a LOD 400): el nivel de desarrollo (LOD) establece el nivel de detalle o especificación que debe alcanzar un elemento en un modelo BIM durante las diversas etapas del proyecto (Cappuyns Jordán, 2020).

Los modelos creados a través de la metodología BIM muestran diversos grados de desarrollo, conocidos como LOD en inglés, que no solo varían en el nivel de detalle visual, sino también en la magnitud y calidad de la información que contiene. Cada grado de desarrollo tiene un objetivo particular a lo largo del ciclo de vida del proyecto, por lo que es necesario adaptar y enriquecer la información del modelo a medida que se avanza en la construcción. En este marco, se están llevando a cabo iniciativas para sincronizar

estos grados de desarrollo con análisis de rendimiento técnico y financiero, con el propósito de optimizar la integración de los procesos de trabajo (Sacks et al., 2018).

Según Hildebrandt Gruppe (2016) la profundidad de las dimensiones BIM se modifica dependiendo del grado de dificultad del proyecto y el grado de integración de la información, no solo son diferentes en términos de nivel de detalle, sino también en el contenido de información.

- **LOD 100:** indica el nivel inicial en la creación de un modelo BIM. Durante esta fase, el modelo ofrece una vista general del proyecto. Los datos geométricos son limitados y están orientados a exhibir la idea del diseño, sin incluir medidas precisas. Este nivel generalmente se ve como una propuesta preliminar del proyecto, que corresponde aproximadamente al 20% de la información total que se añadirá en etapas posteriores (Cappuyns Jordán, 2020).
- **LOD 200:** se define como un grado estructurado que incorpora datos de dimensiones parametrizadas, representando alrededor del 40% de la información total que tendrá el modelo (Cappuyns Jordán, 2020).
- **LOD 300:** los componentes cuentan con dimensiones exactas, también realizan funciones concretas en el sistema de construcción. Esta etapa facilita una mejor exactitud en el análisis y la coordinación del diseño, al incluir datos técnicos valiosos para las etapas de planificación y realización. Se calcula que esta etapa cubre alrededor del 60% de la información total que el modelo puede manejar (Cappuyns Jordán, 2020).
- **LOD 400:** los elementos del modelo BIM se especifican con gran exactitud, incluyendo información como forma, tamaño, ubicación y orientación precisa. Además, contiene información de montaje, cantidad y relación dentro del

proyecto, facilitando así la comprensión de su completa integración en la obra (Carrera Cosavalente, 2023).

- **LOD 500:** nivel de requerimientos, se refiere al grado más avanzado de la evolución del modelo, en esta etapa se define a cada componente con exactitud geométrica, abarcando información de forma, tamaño, localización y disposición precisa. También se contempla la opción de mostrar información complementaria no visual, como detalles técnicos, materiales y datos sobre el mantenimiento. Se puede comparar la información del modelado con la de la construcción física con el objetivo de garantizar que se cumpla el diseño en la realidad (Carrera Cosavalente, 2023).

Coordinación, revisión y validación: la colaboración y el control dentro del entorno BIM son fundamentales para asegurar una buena integración de las disciplinas involucradas en el proyecto, esto permite identificar de manera anticipada errores cometidos en su desarrollo y garantiza la calidad del modelo antes de ser construida. Programas como Navisworks® o Solibri® ayudan en la combinación de modelos y en la identificación de inconvenientes en la fase de diseño, lo que disminuye notablemente los errores y el trabajo adicional en obra (Sacks et al., 2018).

Dentro de esta fase es vital realizar procedimientos de control de calidad en donde se definan los criterios técnicos que corrobora que la información del modelado cumpla con estándares, como lo es verificar la precisión de la información antes de ser entregado al cliente. También la gestión de cambios y revisiones es un componente clave del trabajo colaborativo en entornos BIM permitiendo mantener al día la información del modelo de modo que todos los participantes estén lo más actualizados posible disminuyendo errores de comunicación y de costos.

Documentación y entrega: una vez que el modelo está completo y coordinado, se generan los planos estructurales, cuantificaciones de materiales, memorias de cálculo, y demás documentación técnica necesaria para la construcción. También se entrega el modelo digital con toda la información requerida para ejecución u operación.

Blanco (2018) destaca que la administración de documentos en BIM no permite únicamente el seguimiento de las modificaciones que surjan en el desarrollo del proyecto, sino que también facilita la provisión de un modelo inteligente que se puede emplear para el cuidado y funcionamiento futuro del edificio, ampliando el beneficio del proyecto más allá de su fase de construcción.

2.8 Desafíos y limitaciones en la adopción del BIM

2.8.1 Costo inicial de implementación: hoy en día, uno de los retos más significativos en la adopción del BIM es la necesidad de aprender de nuevo la técnica de dibujo, ya que es una herramienta bastante reciente. Esto hace que sea necesario un nuevo aprendizaje en técnicas de dibujo, y la curva de aprendizaje junto con los gastos relacionados permanecen como obstáculos importantes para su uso. Además, al carecer de experiencia o guía adecuada, los profesionales frecuentemente laboran de forma independiente y acaban encontrando soluciones semanas más tarde, lo que a nivel del proyecto ocasiona recursos mal empleados y tiempos prolongados (Gutiérrez Vélez, 2015).

2.8.2 Necesidad de capacitación del personal: la formación del personal es esencial para una aplicación eficaz de BIM, dado que el éxito de la metodología se basa en gran medida de que los profesionales involucrados además de tener el conocimiento del software comprendan a su vez los procesos de colaboración y de administración de la información que implica BIM (Sacks et al., 2018).

La integración de BIM dentro de un proyecto requiere de un equipo profesional preparado, ya que conlleva un cambio estructural en manera de administrar la información y coordinar disciplinas, por lo que no cualquier persona está en condiciones de asumir este cargo sin una formación previa adecuada. Como explican Sacks et al. (2018), es importante medir y desarrollar el nivel de competencia individual a través de indicadores como el Índice de Competencia Individual (ICI), este indicador califica y clasifica los conocimientos de los profesionales involucrados en niveles desde ninguno hasta experto, asegurando que el equipo esté bien preparado, lo que contribuye a que la implementación de BIM sea exitosa y aporte todos los beneficios esperados.

La escasa cantidad de profesionales capacitados en BIM complica su uso adecuado, dado que aspectos como la necesidad de capacitación específica, tiempo para adaptarse a su complejidad y la negación al cambio hace que esta tecnología siga siendo difícil de adoptar (Gutiérrez Vélez, 2015).

2.8.3 Resistencia al cambio en oficinas tradicionales: en su trabajo de grado Blanco (2018) abordó de manera clara las dificultades que enfrentan al trasladarse de métodos tradicionales centrados en CAD hacia la integración del BIM. El autor exploró cómo la poca disposición para adaptarse al cambio, derivada de la falta de conocimiento, la comodidad con procesos ya establecidos y la escasez de formación, se convierte en un obstáculo considerable para los equipos técnicos. Su investigación aborda que modificar la mentalidad de los profesionales "cambiar el chip", como él mismo lo describe, es tan importante como aprender el manejo de herramientas digitales, dado que BIM además de implicar un progreso tecnológico abarca una transformación cultural profunda en el ámbito de la construcción.

2.8.4 Problemas de interoperabilidad y compatibilidad de software: según Muñoz García (2020), uno de los retos más significativos para lograr una interoperabilidad efectiva en el ámbito de BIM está relacionado con la escasa aceptación de las tecnologías por parte del sector de la construcción. A pesar de que se acepta que BIM contribuye notablemente a mejorar la gestión de la información y la cooperación entre los diferentes profesionales involucrados en el proyecto, la falta de integración tecnológica restringe su verdadero potencial. La investigación subraya que solo a través de una adopción masiva de modelos digitales integrales en el transcurso del ciclo de vida de los proyectos se podrá superar las barreras actuales de interoperabilidad y disminuir los costos consecuencia de su ineficiencia.

Al implementar la metodología BIM surgen algunos retos como la dificultad de lograr una interoperabilidad efectiva entre distintos programas. Es decir, que el intercambio de información entre softwares no siempre ocurre de manera fluida como se espera si no que presenta errores. Tal como explican (Sacks et al., 2018), aunque existen estándares internacionales como el IFC que buscan facilitar esta comunicación, en la práctica cada plataforma interpreta y gestiona los datos de manera distinta, lo que provoca incompatibilidades y complica el trabajo colaborativo entre equipos que usan herramientas diferentes.

2.9 Tendencias futuras del BIM

La metodología BIM se mantiene en evolución constante y adaptándose a tecnologías actuales digitales que buscan generar mejoras en el sector de la construcción.

2.9.1 BIM 4.0 y su relación con la industria 4.0: la industria 4.0 se reconoce por incorporar tecnologías inteligentes en los procesos productivos y logísticos, destacando herramientas como internet de las cosas, estudio de datos, información y herramientas en

la nube, simulaciones y realidad virtual, las que facilitan una mejor comprensión entre lo físico y el mundo digital, esta industria tiene un impacto en todos los sectores productivos. En la ingeniería civil es importante ya que es vital automatizar las actividades de construcción, como el control de materiales, la disponibilidad de material debido a que esta información ayuda al desarrollo eficiente de la obra (Chiu Rocha et al., 2022).

La ingeniería civil necesita herramientas que permitan un mejor control en cada etapa de la construcción. Con los avances de la Industria 4.0, ahora es posible contabilizar materiales con mayor precisión gracias a tecnologías como sensores, redes inteligentes y análisis de datos. Esto ayuda a evitar desperdicios, reducir pérdidas y tomar decisiones más rápidas. En obras donde se manejan grandes volúmenes de materiales, contar con este tipo de apoyo tecnológico se vuelve esencial. No solo mejora la eficiencia, también permite optimizar costos. Así, la tecnología se convierte en una aliada directa del trabajo en obra.

2.9.2 Inteligencia artificial (IA) aplicada al BIM: una de las innovaciones que está revolucionando el sector de la construcción es la IA, esta mantiene una relación con la metodología BIM que se está convirtiendo cada vez más relevante en el campo de la construcción, ya que los dos comparten una base centrada en el uso y generación de datos. BIM, al crear modelos detallados y multidimensionales, brinda una cantidad bastante alta de información a lo largo del ciclo de vida del proyecto. Sin embargo, gran parte de estos datos no se reutiliza ni se analiza adecuadamente. En respuesta a esta limitante, la IA surge como una herramienta prometedora para procesar, analizar y reutilizar dicha información, optimizando así decisiones en diseño, planificación y operación de las obras. Resultando como una oportunidad que permite automatizar tareas repetitivas, mejorar la estimación de costos y tiempos y también anticipar errores(Pampliega, 2019).

Aunque se conocen los beneficios que esta nueva tecnología puede ofrecer al ser implementada totalmente en entornos BIM. Existen aún muchos profesionales que se muestran preocupados ante la duda de que esta herramienta llegue a reemplazar sus empleos o transformen radicalmente las formas tradicionales de trabajo que se llevan manejando, sin embargo, varios especialistas coinciden en que estas innovaciones deben ser vistas como un apoyo que mejora las capacidades humanas, y no como una amenaza. Actualmente, esta nueva herramienta se encuentra aún en sus primeros pasos dentro de la gestión de proyectos constructivos, pero se reconoce su capacidad para transformar el manejo de la información, facilitar la toma de decisiones y potenciar los procesos constructivos (Pampliega, 2019). No se trata únicamente de incorporar esta tecnología porque sea nueva, si no saber hacerlo con criterio, aprovechando su valor real y buscando siempre que se integre de manera responsable y ética en nuestra práctica diaria como profesionales de la construcción.

2.9.3 Gemelos digitales: BIM y los gemelos digitales comparten una base tecnológica en común la cual da paso a representar y visualizar de manera virtual objetos físicos. Los DT son los encargados de replicar de manera reiterada la forma en que funciona un objeto o proceso en tiempo real, el que sirve para la experimentación. BIM promueve la digitalización en su ámbito constructivo por medio de utilizar modelos multidisciplinares que a su vez permitan una colaboración en la nube. Es un modelo virtual que representa objeto o proceso físico, en base a datos en tiempo real, que va a reflejar su funcionamiento al largo de su ciclo de vida, además mediante la simulación hace posible anticiparnos a su comportamiento futuro basando en tecnologías como Big Data (Martínez-Manso & Delgado-Fernández, 2022).

Los gemelos digitales (DT) se hallan implícitos y tienen una relación bastante estrecha en los procesos BIM, que mediante su implementación los profesionales implicados en un proyecto puedan acceder a la información más actual completa y de manera estandarizada (Autodesk, 2023), para que estos alcancen todo su potencial se deben realizar procesos de trabajo unificados y mediante el traspaso de información. Al complementar ambas tecnologías BIM y gemelos digitales, siendo BIM el punto de partida para generar los gemelos digitales, estos maximizan el potencial de la metodología BIM, mediante el acceso y conexión a la información de datos y procesos que permiten el manejo y uso de la información de forma dinámica (Martínez-Manso & Delgado-Fernández, 2022).

CAPÍTULO III

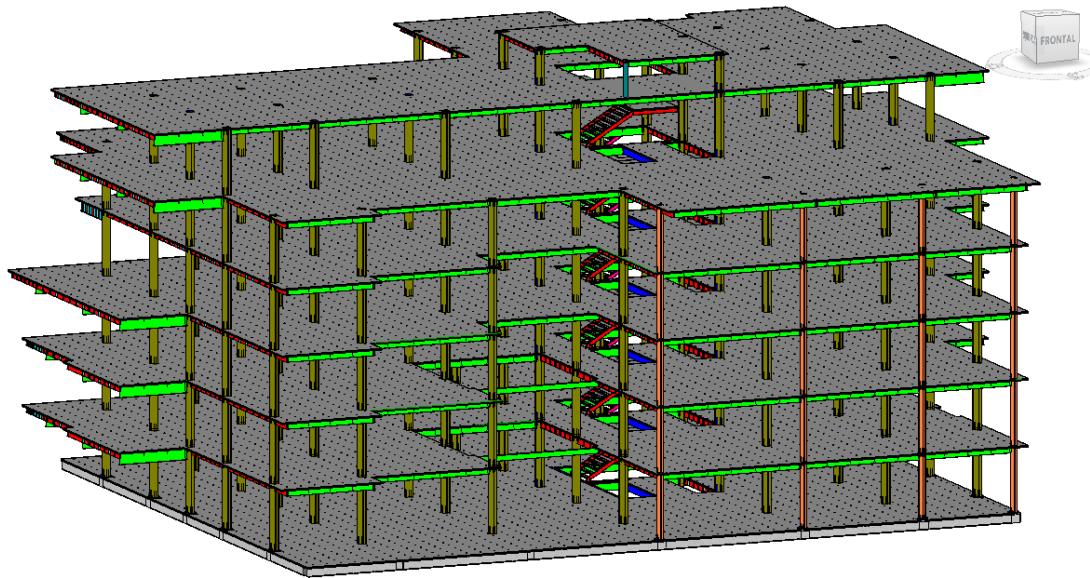
METODOLOGÍA

3.1 Plan de ejecución BIM

El objetivo de la presente investigación es evaluar cómo la metodología BIM puede mejorar el desarrollo y control de proyectos constructivos en el campo de la ingeniería civil. Para ello, se seleccionó como caso de estudio el edificio administrativo de la Universidad Politécnica Salesiana, sede Cuenca. Dado el alcance temporal y técnico del estudio, se decidió analizar únicamente el componente estructural del edificio a partir del nivel +0.00 m, excluyendo la cimentación y los dos niveles de parqueaderos subterráneos.

El modelado se realizó utilizando el software Autodesk Revit® 2024 con licencia estudiantil. Este análisis se enfoca en el modelado de la estructura metálica, losas, gradas y otros componentes, siguiendo los planos iniciales del proyecto. El modelado planificado fue la base principal del análisis sin embargo se realizó una comparación con el modelo ejecutado que presenta cambios introducidos en el transcurso de la construcción con el fin de demostrar la eficiencia del software BIM como gestor de información para análisis técnicos y económicos.

Figura. 4 Modelo 3D del edificio administrativo de la UPS, vista frontal



3.1.1 Alcance del modelado

El modelado estructural incluyó todos los elementos físicos visibles a partir del N +0.00 m y se dividió en las siguientes categorías.

- Columnas metálicas
- Vigas metálicas
- Novalosa
- Gradadas
- Placas de conexión Rigidizadores
- Cimentación superficial
- Elementos complementarios

3.1.2 Organización del modelado y parámetros compartidos

El modelado se organizó utilizando dos parámetros los cuales están presentes en cada elemento del modelado.

- **UPS_Elemento:** permite clasificar elementos dentro de una misma familia y tipo con diferente función o posición estructural.
- **UPS_Nivel:** se empleó para identificar el nivel al que pertenece cada elemento, incluyendo los niveles intermedios como N +0.00 m, N +0.44 m, N +0.54 m, hasta N +24.14 m.

Adicional se empleó el parámetro de “Sección” en elementos como placas para tener una clasificación más detallada.

Figura. 5 Organización de los elementos para las tablas de planificación

A	B	C	D	E	F	G	H
Tipo	UPS_Nivel	UPS_Elemento	Recuento	Longitud	Volumen	Peso Especifico	Peso Total

3.1.3 Estructura de archivos y vistas

El modelado del edificio se desarrolló en formato .rvt (Revit®), sin vinculaciones externas como familias solo se usaron modelos genéricos del programa. Para llevar la información organizada se crearon tablas según la categoría como columnas, vigas etc.

3.1.4 Proceso de modelado

Se modeló por fases durante el periodo de doce semanas, dentro de este tiempo se incluyó etapas como corrección y revisión. Primero se modeló en base al plano original para posteriormente ir actualizando el modelo según se desarrolla el edificio. El orden de modelado fue:

Fase 1: modelado de la estructura metálica (Columnas y Vigas)

Fase 2: incorporación de placas de conexión y rigidizadores

Fase 3: modelado de la novalosa

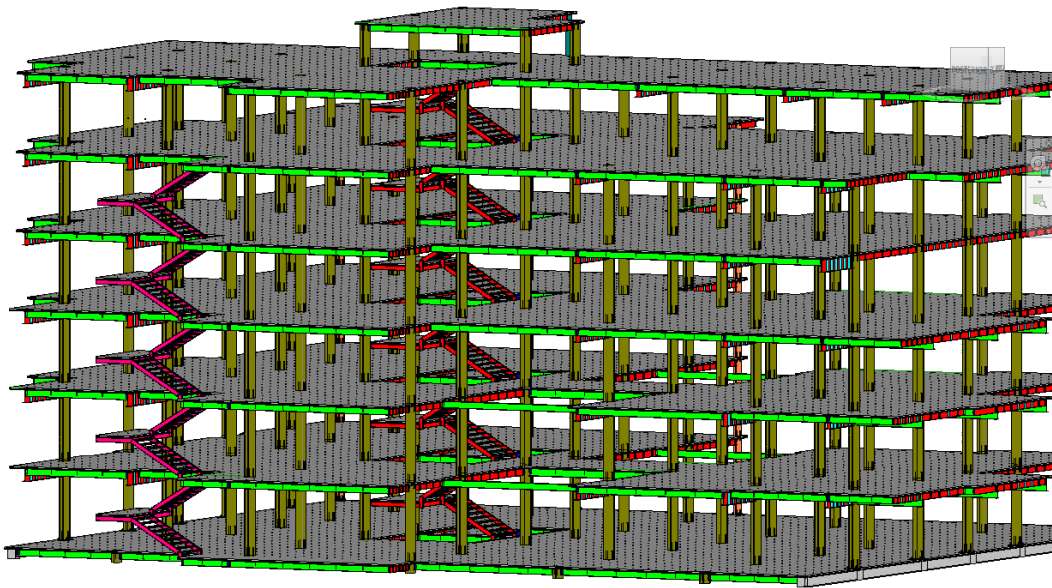
Fase 4: inserción de las gradas interiores y gradas exteriores

Fase 5: modelado de la cimentación superficial visible a partir del nivel +0.00m

3.1.5 Nivel de desarrollo

Se definió un LOD en base al modelado que se realizó de forma exacta, los elementos estructurales observados en obra con sus dimensiones reales, ubicación precisa y cantidades correctas. Por consiguiente, se considera que el modelado tiene un nivel de desarrollo equivalente a un LOD 300-350, ya que los elementos representan las condiciones reales de ejecución.

Figura. 6 Modelo 3D del edificio administrativo de la UPS, vista posterior



3.2 Análisis de información del proyecto

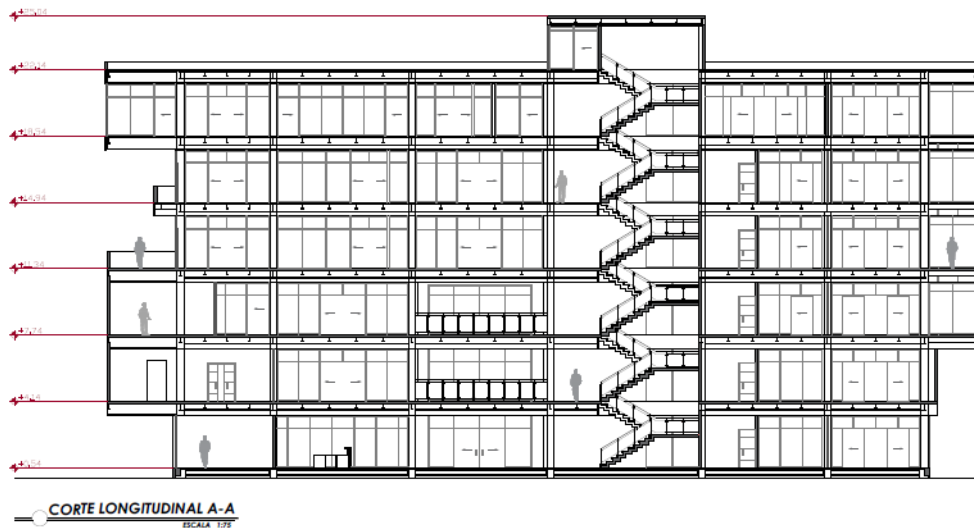
3.2.1 Interpretación de la información utilizada

Se contaba con planos estructurales en formato PDF, los cuales fueron generados por un software CAD, los que presentan la información de una manera organizada por capas, usando colores y detalles de secciones.

- Información del plano
- Planos estructurales generales y de detalle

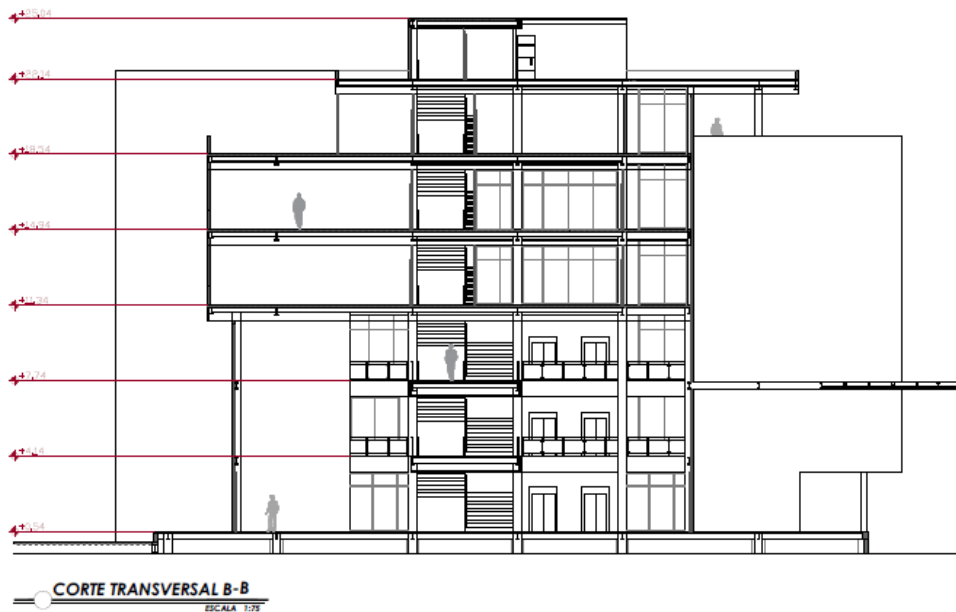
- Especificaciones de secciones constructivas
- Detalles de los armados
- Ubicación de cada elemento

Figura. 7 Plano del edificio administrativo UPS, vista frontal



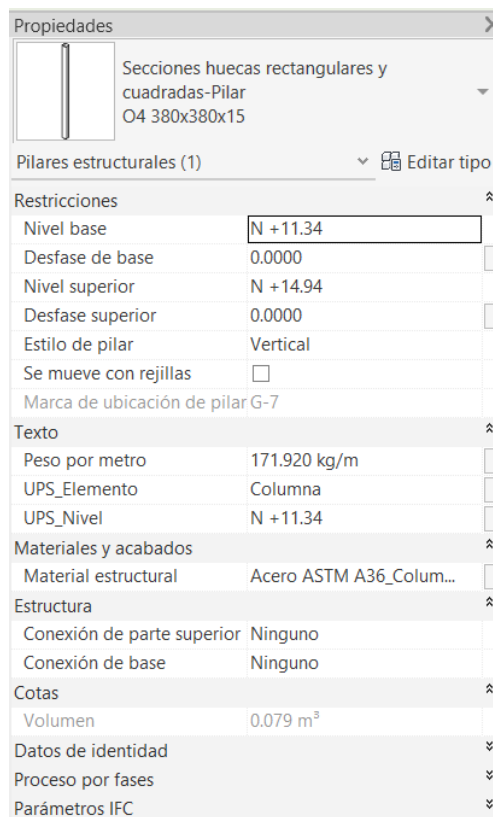
Fuente: Facilitado por el administrador del proyecto

Figura. 8 Plano del edificio administrativo UPS, vista lateral



Fuente: Facilitado por el administrador del proyecto

Figura. 10 Ventana de las propiedades de los elementos



3.3 Descripción del Modelado Estructural

Se describe como se desarrollaron los gemelos digitales en base a una organización para colocar los elementos en el programa, el uso de los parámetros en las tablas de planificación y todo esto acompañado de una figura del elemento modelado.

3.3.1 Técnicas de modelado empleadas

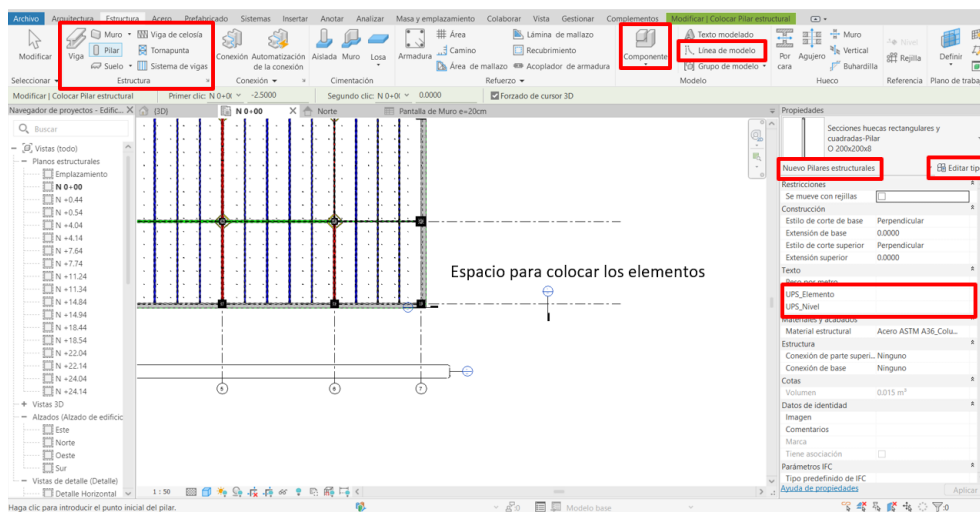
Familias estructurales del software

Empleadas para elementos y secciones normalizados, como vigas, columnas, mallas, etc.

Procedimiento para utilizar las familias del software

1. Cargar la familia desde *Insertar* o buscar en las familias que se encuentran en la biblioteca del software.
2. Seleccionar tipo del elemento y editar el mismo para las dimensiones según la necesidad del proyecto.
3. Ubicar el elemento desde una vista de planta utilizando los ejes y referencias de nivel.
4. Añadir los parámetros UPS_Elemento y UPS_Nivel.
5. Revisión visual.

Figura. 11 Pantalla de Revit® en el entorno de modelado con familias



Extrusiones mediante el modelado in situ

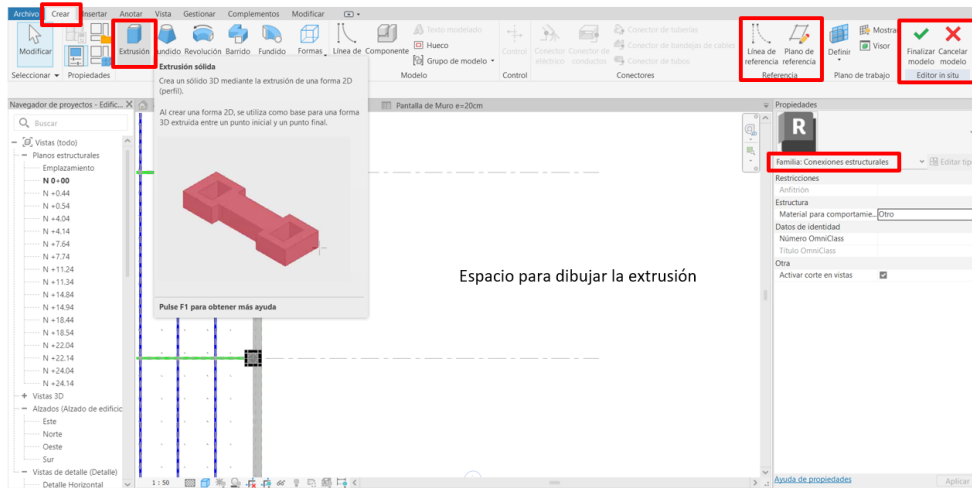
Utilizado para elementos inusuales como placas de conexión, rigidizadores y otros detalles que no se encuentran en la biblioteca del software.

Procedimiento para utilizar el modelado in situ:

1. Acceso a *herramientas* desde la pestaña *estructura*, seleccionar la opción *componente* y luego *modelado in situ*.

2. Seleccionar la *categoría* como muros, pilas, conexiones etc.
3. Definir *extrusión* y dibujar la geometría mediante las herramientas de dibujo
4. Finalizar y asignar valores a los parámetros

Figura. 12 Pantalla de Revit® en el entorno de extrusiones



3.3.2 Columnas metálicas

El modelado se elaboró con familias estructurales del software.

Columna 380 x 380 x 15: son las columnas principales en donde se encuentra todo el peso de la estructura, las cuales predominan en el edificio y son la unión de dos perfiles tipo C, soldados con una platina de respaldo, cuenta con placas de continuidad por temas sísmicos y se les colocó una inyección de hormigón.

Figura. 13 Tabla de planificación de columnas 380x380x15

<Tabla de columnas 380x380x15>					
A	B	C	D	E	F
UPS_Elemento	UPS_Nivel	Recuento	Longitud	Peso por metro	Peso Total
Columna 380x380x15	N +0.00	30	16.199	171.92 kg/m	2785.02 kg
Columna 380x380x15	N +0.44	37	133.201	171.92 kg/m	22899.85 kg
Columna 380x380x15	N +4.14	37	133.200	171.92 kg/m	22899.74 kg
Columna 380x380x15	N +7.74	37	133.200	171.92 kg/m	22899.74 kg
Columna 380x380x15	N +11.34	37	133.200	171.92 kg/m	22899.74 kg
Columna 380x380x15	N +14.94	37	133.200	171.92 kg/m	22899.74 kg
Columna 380x380x15	N +18.54	34	122.400	171.92 kg/m	21043.01 kg
Columna 380x380x15	N +22.14	5	10.000	171.92 kg/m	1719.20 kg
Columna 380x380x15: 254			814.600		140046.05 kg

Columna 280 x 280 x1 0: columnas que comparten características similares al tipo 380 x 380 x 15, sin embargo, las dimensiones de estas son menores y solo se encuentran ubicadas al frente de edificio, se ubican en los cinco primeros niveles del edificio.

Figura. 14 Tabla de planificación de columnas 280x280x10

<Tabla de columnas 280x280x10>					
A	B	C	D	E	F
UPS_ Elemento	UPS_ Nivel	Recuento	Longitud	Peso por metro	Peso Total
Columna 280x280x10	N +0.44	4	14.400	81.64 kg/m	1175.62 kg
Columna 280x280x10	N +4.14	4	14.400	81.64 kg/m	1175.62 kg
Columna 280x280x10	N +7.74	4	14.400	81.64 kg/m	1175.62 kg
Columna 280x280x10	N +11.34	4	14.400	81.64 kg/m	1175.62 kg
Columna 280x280x10	N +14.94	4	14.400	81.64 kg/m	1175.62 kg
Columna 280x280x10: 20			72.000		5878.09 kg

Columna 200x200x8: en todo el proyecto solo hay una columna de este tipo ubicada en la parte superior del edificio. Este elemento a diferencia de las dos columnas anteriores no cuenta con placas de continuidad ni una inyección de hormigón.

Figura. 15 Tabla de planificación de columnas 200x200x8

<Tabla de columnas 200x200x8>					
A	B	C	D	E	F
UPS_ Elemento	UPS_ Nivel	Recuento	Longitud	Peso por metro	Peso Total
Columna 200x200x8	N +22.14	1	2.000	48.23 kg/m	96.46 kg
Columna 200x200x8: 1			2.000		96.46 kg

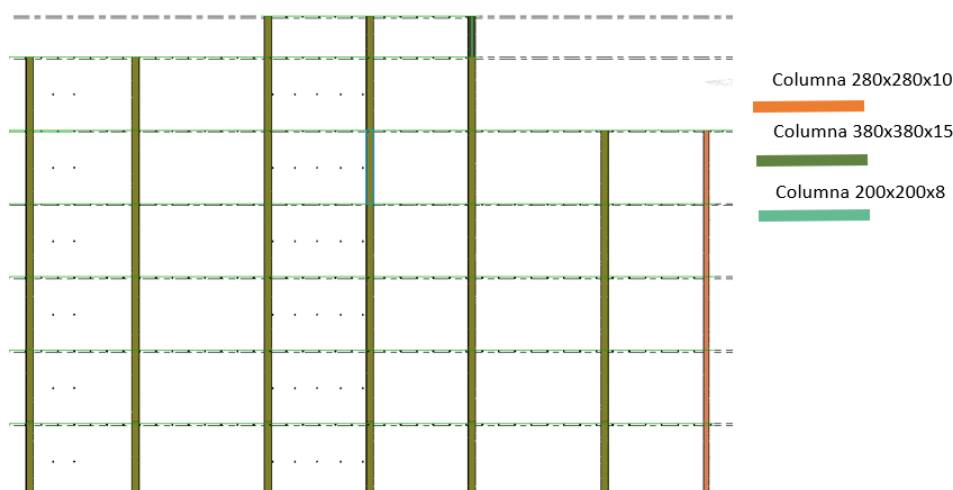
Inyecciones de hormigón: tiene una resistencia de 240 kg/cm², se coloca en el interior de las columnas tipo 380 x 380 x 15 y 280 x 280 x 10, este material cumple varios roles dentro de las columnas como protección contra incendios y aumento de la capacidad axial de la estructura.

Figura. 16 Tabla de planificación de las inyecciones de hormigón

<Inyecciones de Hormigón>		
A	B	C
UPS_ Elemento	UPS_ Nivel	Volumen
Inyección de Hormigon	N +0.00	1.97 m³
Inyección de Hormigon	N +0.44	17.56 m³
Inyección de Hormigon	N +4.14	17.18 m³
Inyección de Hormigon	N +7.74	17.18 m³
Inyección de Hormigon	N +11.34	17.18 m³
Inyección de Hormigon	N +14.94	17.18 m³
Inyección de Hormigon	N +18.54	14.90 m³
Inyección de Hormigon	N +22.14	1.22 m³
Inyección de Hormigon: 274		104.36 m³

Modelado de las columnas

Figura. 17 Modelado de las columnas metálicas



3.3.3 Vigas metálicas

El modelado se realizó con familias estructurales del software.

Vigas de cargadoras: los perfiles I de mayor tamaño, pertenecen a este grupo debido a que soportaran las vigas secundarias. Se suelda en las alas y el alma a estas vigas para una mayor rigidez de la estructura.

Figura. 18 Tabla de planificación vigas cargadoras N +0.44 m

<Vigas Cargadoras N +0.44m>						
A	B	C	D	E	F	G
Tipo	UPS Elemento	UPS Nivel	Recuento	Longitud	Peso Especifico	Peso Total
I 100x300x6x5	V. Cargadora	N +0.44	13	68.40	20.72 kg/m	1417.17 kg
I 100x300x8x6	V. Cargadora	N +0.44	2	15.00	25.94 kg/m	389.14 kg
I 100x300x12x8	V. Cargadora	N +0.44	2	10.60	36.17 kg/m	383.40 kg
I 140x400x10x6	V. Cargadora	N +0.44	6	49.20	39.88 kg/m	1962.00 kg
I 160x300x12x6	V. Cargadora	N +0.44	15	109.02	43.14 kg/m	4703.12 kg
N +0.44: 38				252.22		8854.83 kg

Figura. 19 Tabla de planificación vigas cargadoras N +4.04 m

<Vigas Cargadoras N +4.04m>						
A	B	C	D	E	F	G
Tipo	UPS Elemento	UPS Nivel	Recuento	Longitud	Peso Especifico	Peso Total
I 100x300x6x5	V. Cargadora	N +4.04	4	14.25	20.72 kg/m	295.21 kg
I 100x300x12x8	V. Cargadora	N +4.04	3	17.40	36.17 kg/m	629.41 kg
I 140x300x12x6	V. Cargadora	N +4.04	7	41.17	39.38 kg/m	1620.91 kg
I 140x300x15x6	V. Cargadora	N +4.04	9	46.31	45.69 kg/m	2115.95 kg
I 160x300x12x6	V. Cargadora	N +4.04	5	33.10	43.14 kg/m	1428.24 kg
I 180x350x18x6	V. Cargadora	N +4.04	11	79.02	65.66 kg/m	5187.95 kg
I 200x400x18x8	V. Cargadora	N +4.04	5	41.00	79.38 kg/m	3254.54 kg
I 220x600x18x10	V. Cargadora	N +4.04	3	11.34	106.45 kg/m	1207.10 kg
N +4.04: 47				283.58		15739.31 kg

Figura. 20 Tabla de planificación vigas cargadoras N +7.64 m

<Vigas Cargadoras N +7.64m>						
A	B	C	D	E	F	G
Tipo	UPS Elemento	UPS Nivel	Recuento	Longitud	Peso Especifico	Peso Total
I 100x300x6x5	V. Cargadora	N +7.64	6	18.56	20.72 kg/m	384.62 kg
I 100x300x12x8	V. Cargadora	N +7.64	3	17.40	36.17 kg/m	629.36 kg
I 140x300x12x6	V. Cargadora	N +7.64	7	41.17	39.38 kg/m	1620.91 kg
I 140x300x15x6	V. Cargadora	N +7.64	9	46.31	45.69 kg/m	2115.95 kg
I 160x300x12x6	V. Cargadora	N +7.64	8	42.10	43.14 kg/m	1816.37 kg
I 180x350x18x6	V. Cargadora	N +7.64	11	79.02	65.66 kg/m	5187.95 kg
I 200x400x18x8	V. Cargadora	N +7.64	5	41.00	79.38 kg/m	3254.54 kg
I 220x600x18x10	V. Cargadora	N +7.64	3	11.42	106.45 kg/m	1215.61 kg
N +7.64: 52				296.98		16225.31 kg

Figura. 21 Tabla de planificación vigas cargadoras N +11.24 m

<Vigas Cargadoras N +11.24m>						
A	B	C	D	E	F	G
Tipo	UPS Elemento	UPS Nivel	Recuento	Longitud	Peso Especifico	Peso Total
I 100x300x6x5	V. Cargadora	N +11.24	4	14.58	20.72 kg/m	302.14 kg
I 100x300x12x8	V. Cargadora	N +11.24	2	9.20	36.17 kg/m	332.76 kg
I 140x300x12x6	V. Cargadora	N +11.24	9	56.77	39.38 kg/m	2235.34 kg
I 140x300x15x6	V. Cargadora	N +11.24	9	46.31	45.69 kg/m	2115.95 kg
I 150x350x18x6	V. Cargadora	N +11.24	4	30.00	57.18 kg/m	1715.37 kg
I 160x300x12x6	V. Cargadora	N +11.24	7	35.30	43.14 kg/m	1522.84 kg
I 180x350x18x6	V. Cargadora	N +11.24	9	64.02	65.66 kg/m	4203.10 kg
I 200x400x18x8	V. Cargadora	N +11.24	5	41.00	79.38 kg/m	3254.54 kg
I 220x600x18x10	V. Cargadora	N +11.24	3	11.94	106.45 kg/m	1270.97 kg
N +11.24: 52				309.12		16953.00 kg

Figura. 22 Tabla de planificación vigas cargadoras N +14.84 m

<Vigas Cargadoras N +14.84m>						
A	B	C	D	E	F	G
Tipo	UPS_ Elemento	UPS_ Nivel	Recuento	Longitud	Peso Especifico	Peso Total
I 100x300x6x5	V. Cargadora	N +14.84	4	14.58	20.72 kg/m	302.14 kg
I 100x300x12x8	V. Cargadora	N +14.84	2	9.20	36.17 kg/m	332.76 kg
I 140x300x12x6	V. Cargadora	N +14.84	8	52.79	39.38 kg/m	2078.62 kg
I 140x300x15x6	V. Cargadora	N +14.84	9	46.31	45.69 kg/m	2115.95 kg
I 150x350x18x6	V. Cargadora	N +14.84	4	30.00	57.18 kg/m	1715.37 kg
I 160x300x12x6	V. Cargadora	N +14.84	7	35.30	43.14 kg/m	1522.84 kg
I 180x350x18x6	V. Cargadora	N +14.84	9	64.02	65.66 kg/m	4203.10 kg
I 200x400x18x8	V. Cargadora	N +14.84	5	41.00	79.38 kg/m	3254.54 kg
N +14.84: 48				293.20		15525.32 kg

Figura. 23 Tabla de planificación vigas cargadoras N +18.44 m

<Vigas Cargadoras N +18.44m>						
A	B	C	D	E	F	G
Tipo	UPS_ Elemento	UPS_ Nivel	Recuento	Longitud	Peso Especifico	Peso Total
I 100x300x6x5	V. Cargadora	N +18.44	10	41.40	20.72 kg/m	857.95 kg
I 100x300x12x8	V. Cargadora	N +18.44	2	9.15	36.17 kg/m	330.96 kg
I 140x300x12x6	V. Cargadora	N +18.44	9	53.95	39.38 kg/m	2124.30 kg
I 140x300x15x6	V. Cargadora	N +18.44	9	46.31	45.69 kg/m	2115.95 kg
I 150x350x18x6	V. Cargadora	N +18.44	5	37.50	57.18 kg/m	2144.21 kg
I 160x300x12x6	V. Cargadora	N +18.44	5	25.40	43.14 kg/m	1095.86 kg
I 180x350x18x6	V. Cargadora	N +18.44	9	64.02	65.66 kg/m	4203.10 kg
I 200x400x18x8	V. Cargadora	N +18.44	5	41.00	79.38 kg/m	3254.54 kg
I 220x600x18x10	V. Cargadora	N +18.44	3	12.27	106.45 kg/m	1306.09 kg
N +18.44: 57				331.00		17432.95 kg

Figura. 24 Tabla de planificación vigas cargadoras N +22.04 m

<Vigas Cargadoras N +22.04m>						
A	B	C	D	E	F	G
Tipo	UPS_ Elemento	UPS_ Nivel	Recuento	Longitud	Peso Especifico	Peso Total
I 100x300x6x5	V. Cargadora	N +22.04	7	45.52	20.72 kg/m	943.17 kg
I 100x300x12x8	V. Cargadora	N +22.04	2	15.00	36.17 kg/m	542.60 kg
I 140x300x12x6	V. Cargadora	N +22.04	22	135.84	39.38 kg/m	5348.85 kg
I 140x300x15x6	V. Cargadora	N +22.04	2	10.50	45.69 kg/m	479.73 kg
I 150x350x18x6	V. Cargadora	N +22.04	1	7.50	58.18 kg/m	436.35 kg
I 160x300x12x6	V. Cargadora	N +22.04	6	49.20	43.14 kg/m	2122.68 kg
I 180x350x18x6	V. Cargadora	N +22.04	2	13.60	65.66 kg/m	892.96 kg
I 200x400x18x8	V. Cargadora	N +22.04	1	8.20	79.38 kg/m	650.92 kg
I 220x600x18x10	V. Cargadora	N +22.04	6	21.27	106.45 kg/m	2264.11 kg
N +22.04: 49				306.63		13681.36 kg

Figura. 25 Tabla de planificación vigas cargadoras N +24.04 m

<Vigas Cargadoras N +24.04m>						
A	B	C	D	E	F	G
Tipo	UPS_ Elemento	UPS_ Nivel	Recuento	Longitud	Peso Especifico	Peso Total
I 100x300x6x5	V. Cargadora	N +24.04	1	5.38	20.72 kg/m	111.50 kg
I 100x300x10x6	V. Cargadora	N +24.04	2	16.40	28.89 kg/m	473.76 kg
N +24.04: 3				21.78		585.26 kg

Vigas de amarre: complementan el armazón estructural al conectar las comunas, todas las vigas de amarre están en sentido perpendicular a las vigas cargadoras,

adicionalmente estas vigas contienen rigidizadores laterales, seis por lado dando un total de doce por viga.

Figura. 26 Tabla de planificación vigas amarre N +0.44 m

<Vigas Amarre N +0.44m>						
A	B	C	D	E	F	G
Tipo	UPS_Elemento	UPS_Nivel	Recuento	Longitud	Peso Especifico	Peso Total
I 100x300x6x5	V. Amarre	N +0.44	5	22.12	20.72 kg/m	458.31 kg
I 100x300x10x6	V. Amarre	N +0.44	4	26.00	28.89 kg/m	751.14 kg
I 100x300x12x8	V. Amarre	N +0.44	2	4.25	36.17 kg/m	153.74 kg
I 160x300x12x6	V. Amarre	N +0.44	22	119.86	43.14 kg/m	5171.24 kg
N +0.44: 33				172.23		6534.43 kg

Figura. 27 Tabla de planificación vigas amarre N +4.04 m

<Vigas Amarre N +4.04m>						
A	B	C	D	E	F	G
Tipo	UPS_Elemento	UPS_Nivel	Recuento	Longitud	Peso Especifico	Peso Total
I 100x250x6x4	V. Amarre	N +4.04	2	4.31	16.89 kg/m	72.72 kg
I 100x300x6x5	V. Amarre	N +4.04	3	18.18	20.72 kg/m	376.76 kg
I 100x300x10x6	V. Amarre	N +4.04	26	131.13	28.89 kg/m	3788.20 kg
I 100x300x12x8	V. Amarre	N +4.04	9	50.12	36.17 kg/m	1812.99 kg
I 140x300x12x6	V. Amarre	N +4.04	4	16.16	39.38 kg/m	636.20 kg
I 220x600x18x10	V. Amarre	N +4.04	5	17.10	106.45 kg/m	1820.23 kg
N +4.04: 49				236.99		8507.10 kg

Figura. 28 Tabla de planificación vigas amarre N +7.64 m

<Vigas Amarre N +7.64m>						
A	B	C	D	E	F	G
Tipo	UPS_Elemento	UPS_Nivel	Recuento	Longitud	Peso Especifico	Peso Total
I 100x300x6x5	V. Amarre	N +7.64	8	29.60	20.72 kg/m	613.21 kg
I 100x300x10x6	V. Amarre	N +7.64	24	127.63	28.89 kg/m	3687.09 kg
I 100x300x12x8	V. Amarre	N +7.64	9	50.12	36.17 kg/m	1812.99 kg
I 140x300x12x6	V. Amarre	N +7.64	4	16.36	39.38 kg/m	644.15 kg
I 160x300x12x6	V. Amarre	N +7.64	2	9.99	43.14 kg/m	431.18 kg
I 220x600x18x10	V. Amarre	N +7.64	5	17.64	106.45 kg/m	1877.71 kg
N +7.64: 52				251.33		9066.33 kg

Figura. 29 Tabla de planificación vigas amarre N +11.24 m

<Vigas Amarre N +11.24m>						
A	B	C	D	E	F	G
Tipo	UPS_Elemento	UPS_Nivel	Recuento	Longitud	Peso Especifico	Peso Total
I 100x300x6x5	V. Amarre	N +11.24	5	11.42	20.72 kg/m	236.52 kg
I 100x300x10x6	V. Amarre	N +11.24	12	61.22	28.89 kg/m	1768.65 kg
I 100x300x12x8	V. Amarre	N +11.24	11	60.41	36.17 kg/m	2185.21 kg
I 140x300x12x6	V. Amarre	N +11.24	2	11.50	39.38 kg/m	452.78 kg
I 160x300x12x6	V. Amarre	N +11.24	16	87.47	43.14 kg/m	3773.76 kg
I 220x600x18x10	V. Amarre	N +11.24	5	18.25	106.45 kg/m	1942.64 kg
N +11.24: 51				250.26		10359.56 kg

Figura. 30 Tabla de planificación vigas amarre N +14.84 m

<Vigas Amarre N +14.84m>						
A	B	C	D	E	F	G
Tipo	UPS_Elemento	UPS_Nivel	Recuento	Longitud	Peso Especifico	Peso Total
I 100x300x6x5	V. Amarre	N +14.84	5	11.42	20.72 kg/m	236.52 kg
I 100x300x10x6	V. Amarre	N +14.84	12	64.47	28.89 kg/m	1862.54 kg
I 100x300x12x8	V. Amarre	N +14.84	11	60.48	36.17 kg/m	2187.74 kg
I 160x300x12x6	V. Amarre	N +14.84	15	80.97	43.14 kg/m	3493.33 kg
I 220x600x18x10	V. Amarre	N +14.84	5	18.25	106.45 kg/m	1942.64 kg
N +14.84: 48				235.58		9722.77 kg

Figura. 31 Tabla de planificación vigas amarre N +18.44 m

<Vigas Amarre N +18.44m>						
A	B	C	D	E	F	G
Tipo	UPS_Elemento	UPS_Nivel	Recuento	Longitud	Peso Especifico	Peso Total
I 100x300x6x5	V. Amarre	N +18.44	10	21.51	20.72 kg/m	445.58 kg
I 100x300x10x6	V. Amarre	N +18.44	16	81.05	28.89 kg/m	2341.53 kg
I 100x300x12x8	V. Amarre	N +18.44	11	60.48	36.17 kg/m	2187.74 kg
I 160x300x12x6	V. Amarre	N +18.44	15	81.00	43.14 kg/m	3494.79 kg
I 220x600x18x10	V. Amarre	N +18.44	5	18.25	106.45 kg/m	1942.64 kg
N +18.44: 57				262.29		10412.29 kg

Figura. 32 Tabla de planificación vigas amarre N +22.04 m

<Vigas Amarre N +22.04m>						
A	B	C	D	E	F	G
Tipo	UPS_Elemento	UPS_Nivel	Recuento	Longitud	Peso Especifico	Peso Total
I 100x300x6x5	V. Amarre	N +22.04	8	17.43	20.72 kg/m	361.17 kg
I 100x300x8x6	V. Amarre	N +22.04	1	5.18	25.94 kg/m	134.35 kg
I 100x300x10x6	V. Amarre	N +22.04	10	52.99	28.89 kg/m	1530.74 kg
I 100x300x12x8	V. Amarre	N +22.04	7	37.12	36.17 kg/m	1342.66 kg
I 140x300x12x6	V. Amarre	N +22.04	6	27.21	39.38 kg/m	1071.34 kg
I 160x300x12x6	V. Amarre	N +22.04	10	55.98	43.14 kg/m	2415.18 kg
I 220x600x18x10	V. Amarre	N +22.04	5	19.33	106.45 kg/m	2057.60 kg
N +22.04: 47				215.23		8913.04 kg

Figura. 33 Tabla de planificación vigas amarre N +24.04 m

<Vigas Amarre N +24.04m>						
A	B	C	D	E	F	G
Tipo	UPS_Elemento	UPS_Nivel	Recuento	Longitud	Peso Especifico	Peso Total
I 100x300x6x5	V. Amarre	N +24.04	2	10.00	20.72 kg/m	207.24 kg
I 160x300x12x6	V. Amarre	N +24.04	2	9.99	43.14 kg/m	431.01 kg
N +24.04: 4				19.99		638.25 kg

Vigas secundarias: se conectan a las vigas cargadoras, sobre estas coloca la placa colaborante.

Figura. 34 Tabla de planificación vigas secundarias N +0.44 m

<Vigas Secundarias N +0.44m>						
A	B	C	D	E	F	G
Tipo	UPS_Elemento	UPS_Nivel	Recuento	Longitud	Peso Especifico	Peso Total
I 100x250x6x4	V. Secundaria	N +0.44	109	551.47	16.89 kg/m	9316.00 kg
I 100x300x6x5	V. Secundaria	N +0.44	30	195.00	20.72 kg/m	4040.40 kg
I 120x350x10x6	V. Secundaria	N +0.44	1	5.00	34.38 kg/m	171.74 kg
I 160x300x12x6	V. Secundaria	N +0.44	2	9.99	43.14 kg/m	431.14 kg
N +0.44: 142				761.46		13959.28 kg

Figura. 35 Tabla de planificación vigas secundarias N +4.04 m

<Vigas Secundarias N +4.04m>						
A	B	C	D	E	F	G
Tipo	UPS_Elemento	UPS_Nivel	Recuento	Longitud	Peso Especifico	Peso Total
I 100x250x6x4	V. Secundaria	N +4.04	79	324.85	16.89 kg/m	5487.61 kg
I 100x300x6x5	V. Secundaria	N +4.04	29	184.18	20.72 kg/m	3816.95 kg
I 100x300x8x6	V. Secundaria	N +4.04	17	101.49	25.94 kg/m	2632.35 kg
I 120x350x10x6	V. Secundaria	N +4.04	1	5.00	34.38 kg/m	171.74 kg
I 160x300x12x6	V. Secundaria	N +4.04	2	9.99	43.14 kg/m	431.18 kg
N +4.04: 128				625.51		12539.83 kg

Figura. 36 Tabla de planificación vigas secundarias N +7.64 m

<Vigas Secundarias N +7.74m>						
A	B	C	D	E	F	G
Tipo	UPS_Elemento	UPS_Nivel	Recuento	Longitud	Peso Especifico	Peso Total
I 100x250x6x4	V. Secundaria	N +7.64	81	335.04	16.89 kg/m	5659.81 kg
I 100x300x6x5	V. Secundaria	N +7.64	30	187.79	20.72 kg/m	3891.76 kg
I 100x300x8x6	V. Secundaria	N +7.64	17	101.49	25.94 kg/m	2632.35 kg
I 120x350x10x6	V. Secundaria	N +7.64	1	5.00	34.38 kg/m	171.74 kg
I 160x300x12x6	V. Secundaria	N +7.64	2	9.99	43.14 kg/m	431.18 kg
N +7.64: 131				639.31		12786.85 kg

Figura. 37 Tabla de planificación vigas secundarias N +11.24 m

<Vigas Secundarias N +11.24m>						
A	B	C	D	E	F	G
Tipo	UPS_Elemento	UPS_Nivel	Recuento	Longitud	Peso Especifico	Peso Total
I 100x250x6x4	V. Secundaria	N +11.24	97	409.24	16.89 kg/m	6913.34 kg
I 100x300x6x5	V. Secundaria	N +11.24	30	192.11	20.72 kg/m	3981.29 kg
I 100x300x8x6	V. Secundaria	N +11.24	15	97.50	25.94 kg/m	2528.76 kg
I 120x350x10x6	V. Secundaria	N +11.24	1	5.00	34.38 kg/m	171.74 kg
I 160x300x12x6	V. Secundaria	N +11.24	2	9.99	43.14 kg/m	431.18 kg
N +11.24: 145				713.84		14026.31 kg

Figura. 38 Tabla de planificación vigas secundarias N +14.84 m

<Vigas Secundarias N +14.84m>						
A	B	C	D	E	F	G
Tipo	UPS_Elemento	UPS_Nivel	Recuento	Longitud	Peso Especifico	Peso Total
I 100x250x6x4	V. Secundaria	N +14.84	93	392.75	16.89 kg/m	6634.64 kg
I 100x300x6x5	V. Secundaria	N +14.84	28	179.11	20.72 kg/m	3711.88 kg
I 100x300x8x6	V. Secundaria	N +14.84	15	97.50	25.94 kg/m	2528.76 kg
I 120x350x10x6	V. Secundaria	N +14.84	1	5.00	34.38 kg/m	171.74 kg
I 160x300x12x6	V. Secundaria	N +14.84	2	10.00	43.14 kg/m	431.22 kg
N +14.84: 139				684.35		13478.24 kg

Figura. 39 Tabla de planificación vigas secundarias N +18.44 m

<Vigas Secundarias N +18.44m>						
A	B	C	D	E	F	G
Tipo	UPS_Elemento	UPS_Nivel	Recuento	Longitud	Peso Especifico	Peso Total
I 100x250x6x4	V. Secundaria	N +18.44	103	411.54	16.89 kg/m	6952.20 kg
I 100x300x6x5	V. Secundaria	N +18.44	32	196.32	20.72 kg/m	4068.54 kg
I 100x300x8x6	V. Secundaria	N +18.44	19	123.50	25.94 kg/m	3203.10 kg
I 120x350x10x6	V. Secundaria	N +18.44	1	5.00	34.38 kg/m	171.74 kg
I 160x300x12x6	V. Secundaria	N +18.44	3	12.34	43.14 kg/m	532.52 kg
N +18.44: 158				748.70		14928.09 kg

Figura. 40 Tabla de planificación vigas secundarias N +22.04 m

<Vigas Secundarias N +22.04m>						
A	B	C	D	E	F	G
Tipo	UPS_Elemento	UPS_Nivel	Recuento	Longitud	Peso Especifico	Peso Total
I 100x250x6x4	V. Secundaria	N +22.04	110	414.60	16.89 kg/m	7003.68 kg
I 100x300x6x5	V. Secundaria	N +22.04	22	143.00	20.72 kg/m	2963.14 kg
I 100x300x8x6	V. Secundaria	N +22.04	8	52.00	20.72 kg/m	1077.44 kg
I 160x300x12x6	V. Secundaria	N +22.04	2	9.99	43.14 kg/m	431.18 kg
N +22.04: 142				619.59		11475.45 kg

Figura. 41 Tabla de planificación vigas secundarias N +24.04 m

<Vigas Secundarias N +24.04m>						
A	B	C	D	E	F	G
Tipo	UPS_Elemento	UPS_Nivel	Recuento	Longitud	Peso Especifico	Peso Total
I 100x250x6x4	V. Secundaria	N +24.04	7	34.98	16.89 kg/m	590.93 kg
I 100x300x10x6	V. Secundaria	N +24.04	1	5.00	28.89 kg/m	144.41 kg
N +24.04: 8				39.98		735.35 kg

Modelado de las vigas: en las siguientes figuras se presenta como se modela las vigas cargadoras, amarre y secundarias en las diferentes plantas del edificio, estas se podrán identificar por colores.

- **Color verde:** vigas cargadoras
- **Color rojo:** vigas de amarre
- **Color azul:** vigas secundarias

Figura. 42 Vista en planta N +0.44 m, sección norte

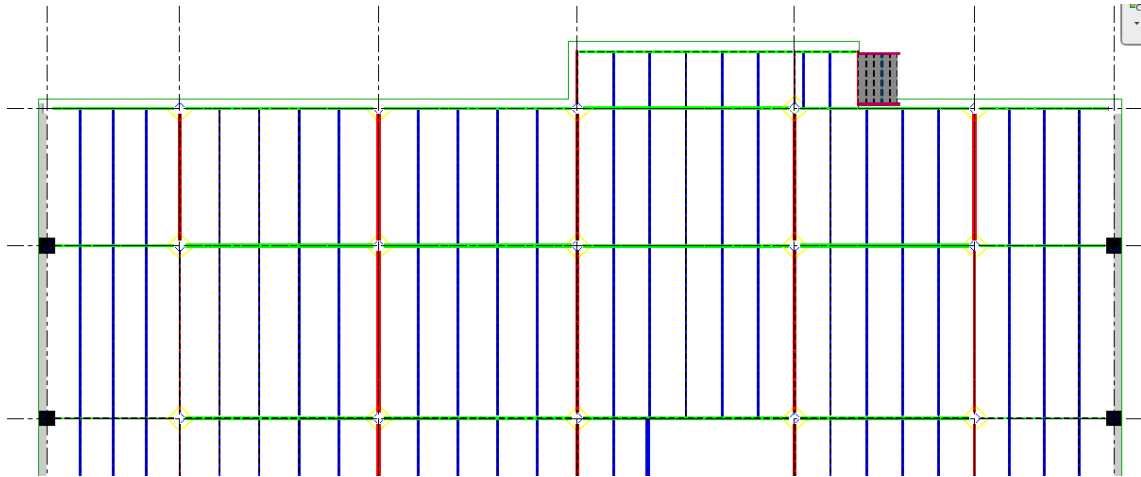


Figura. 43 Vista en planta N +0.44 m, sección sur

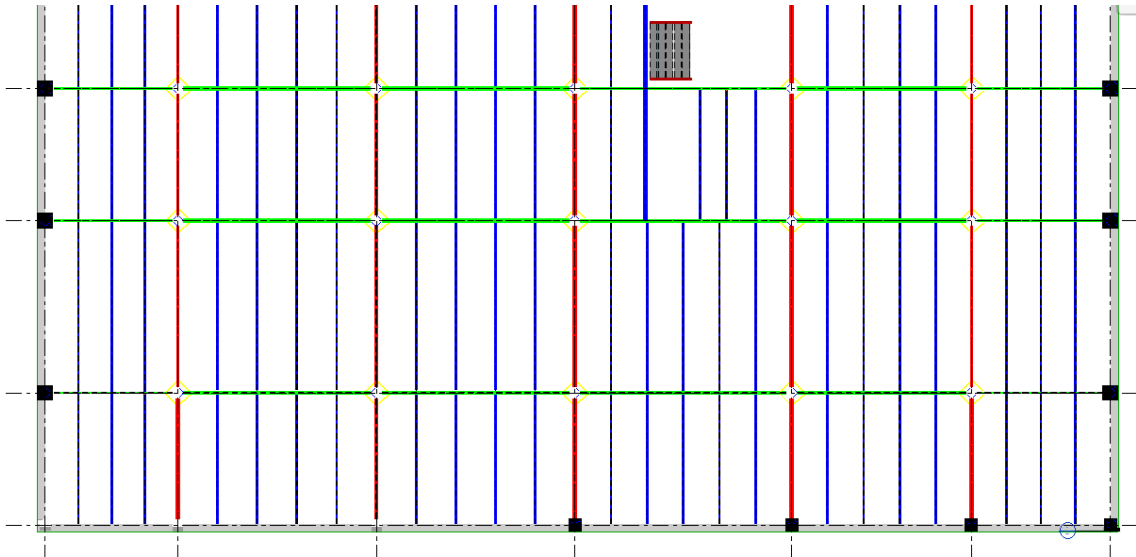


Figura. 44 Vista en planta N +4.04 m, sección norte

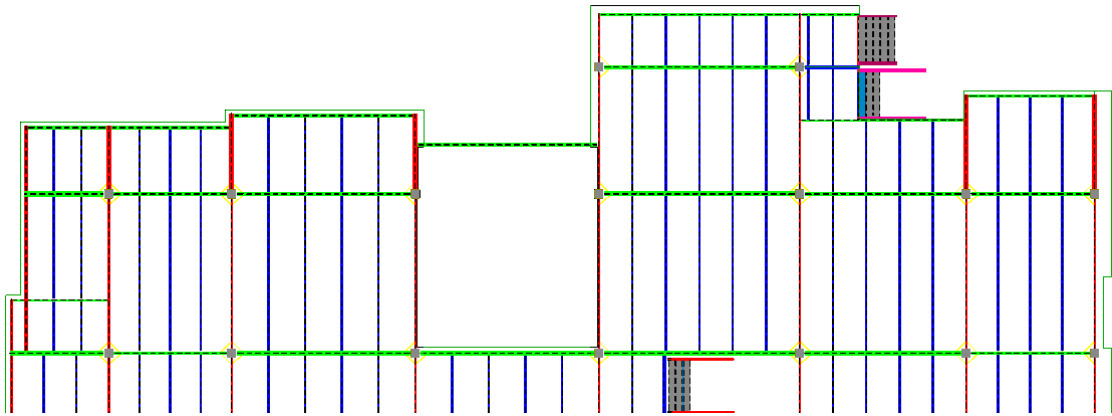


Figura. 45 Vista en planta N +4.04 m, sección sur

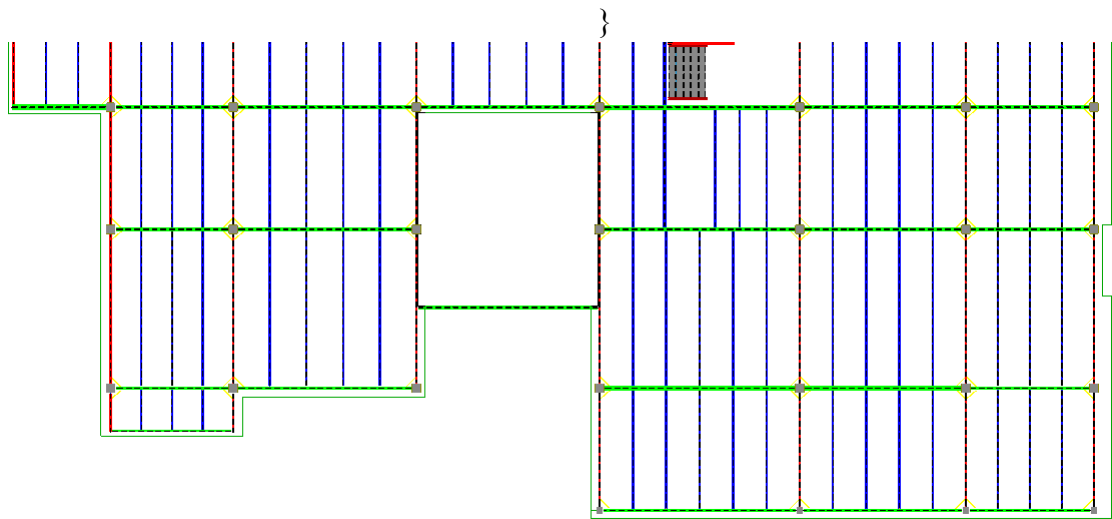


Figura. 46 Vista en planta N +7.64 m, sección norte

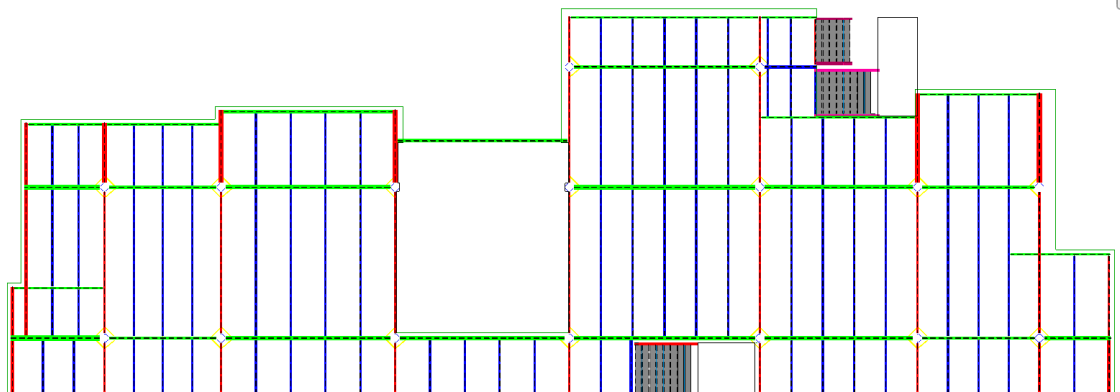


Figura. 47 Vista en planta N +7.64 m, sección sur

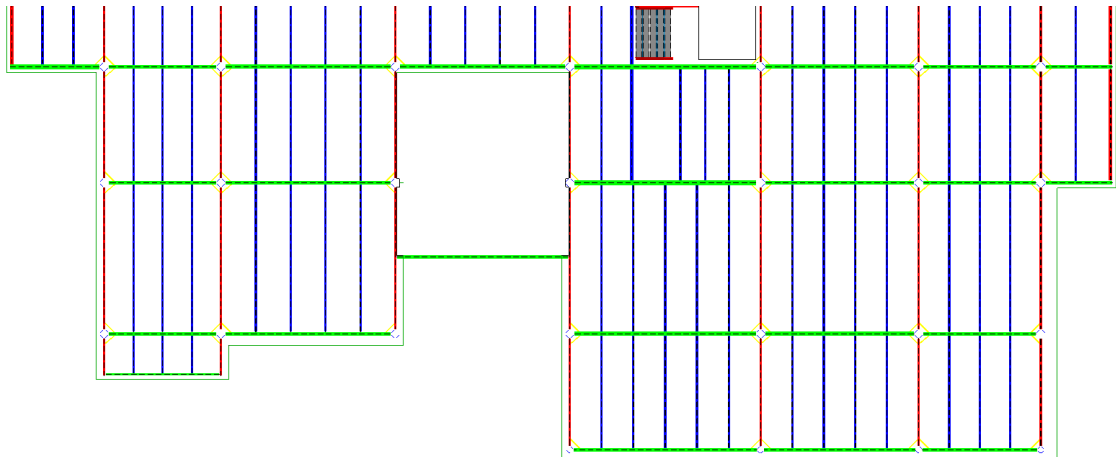


Figura. 48 Vista en planta N +11.24 m, sección norte

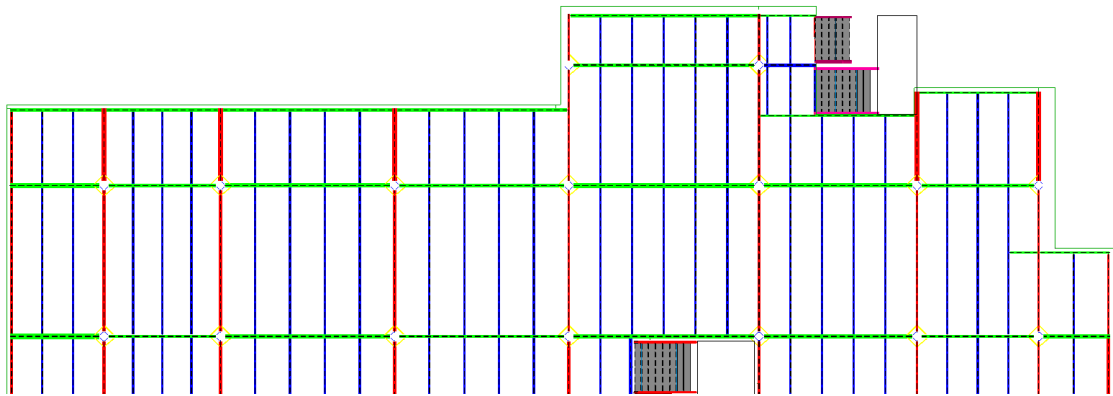


Figura. 49 Vista en planta N +11.24 m, sección sur

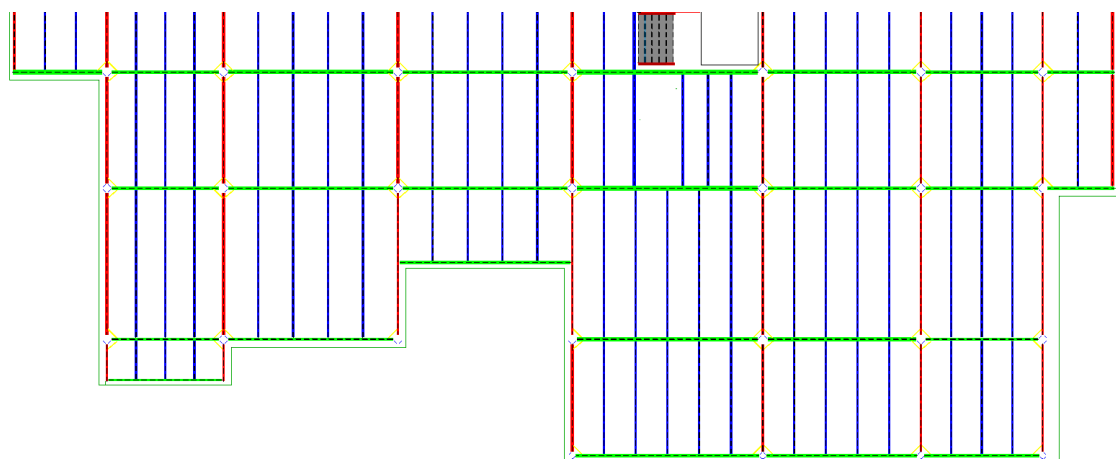


Figura. 50 Vista en planta N +14.84 m, sección norte

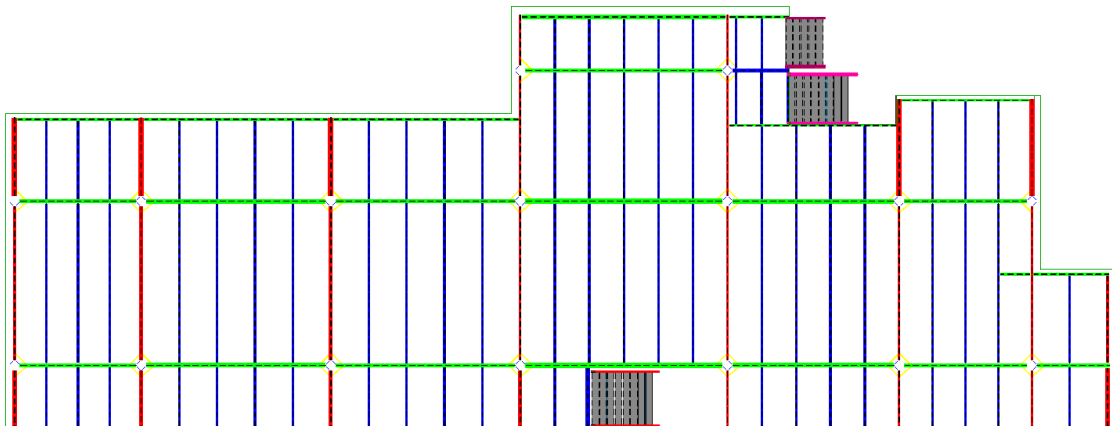


Figura. 51 Vista en planta N +14.84 m, sección sur

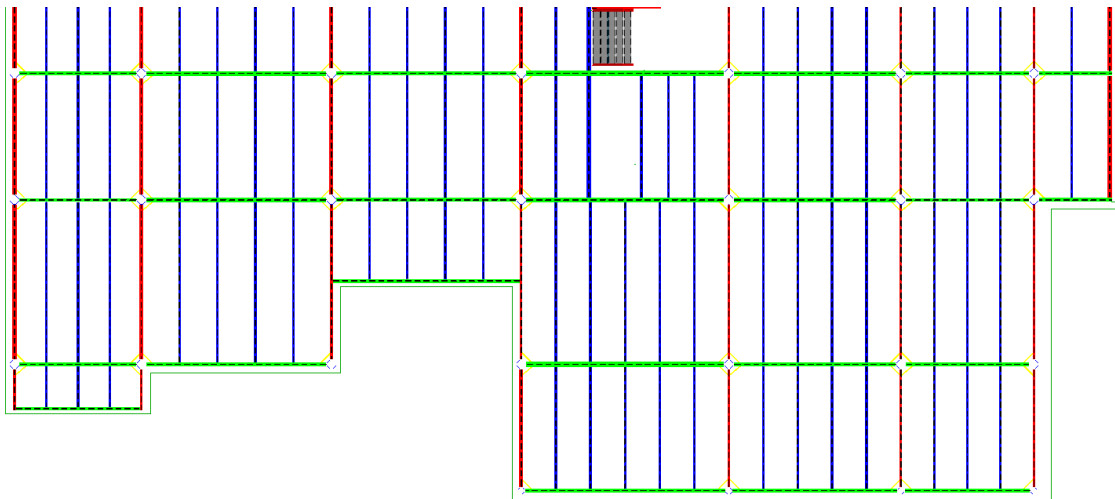


Figura. 52 Vista en planta N +18.44 m, sección norte

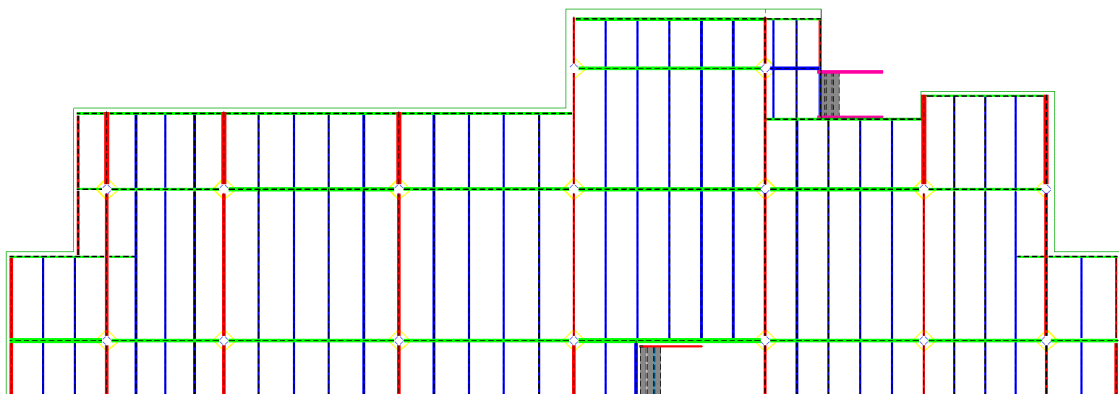


Figura. 53 Vista en planta N +18.44 m, sección sur

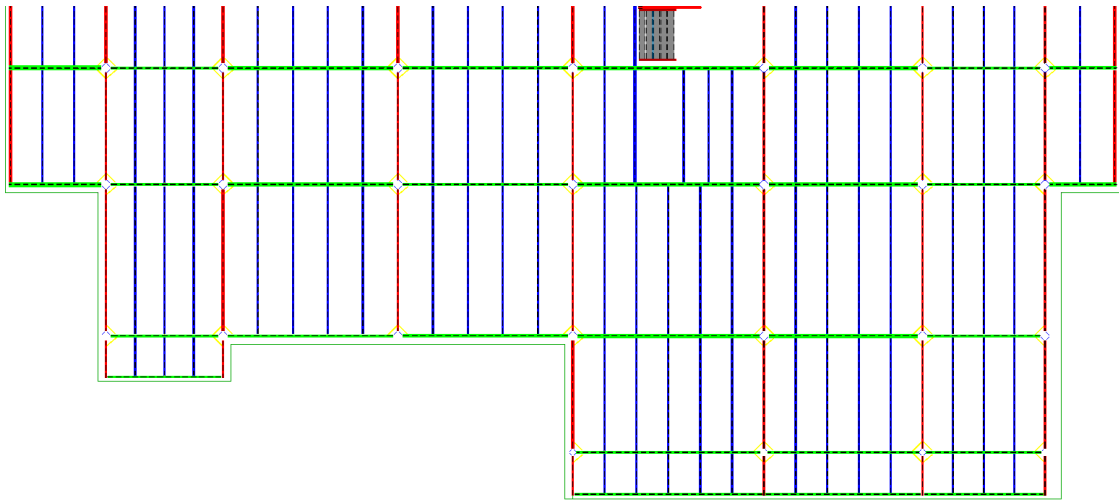


Figura. 54 Vista en planta N +22.04 m, sección norte

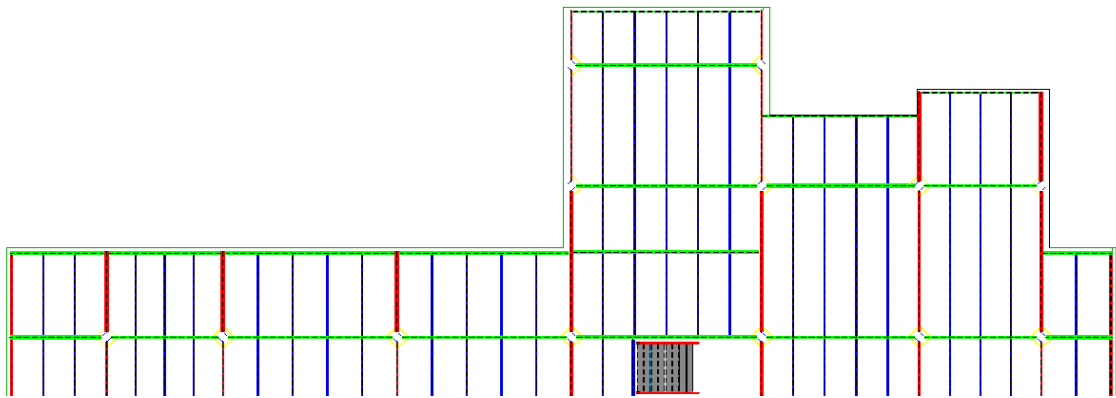


Figura. 55 Vista en planta N +22.04 m, sección sur

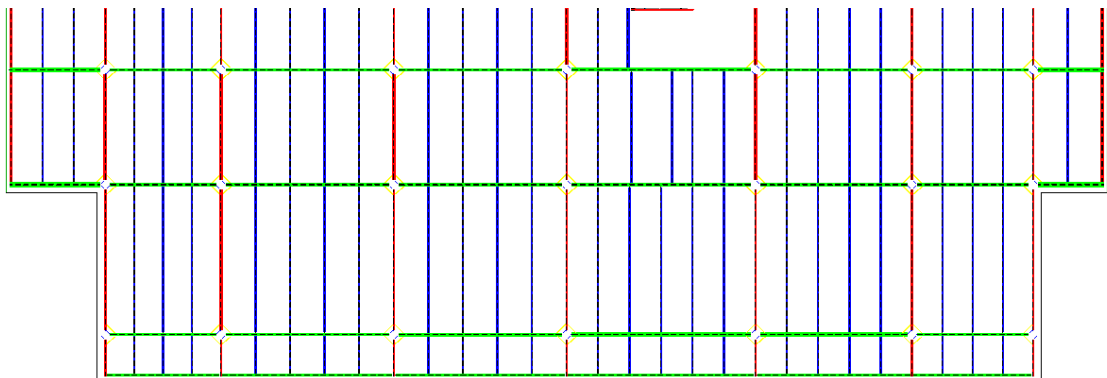
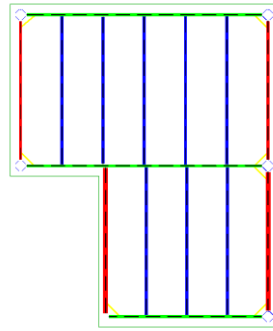


Figura. 56 Vista en planta N +24.04 m, sección completa



3.3.4 Novalosa

El modelado se realizó con familias estructurales del software.

La novalosa es una losa estructural conformada por tres elementos que son las placas colaborantes, mallas electrosoldadas y una capa de hormigón, la losa de este proyecto fue diseñada con un espesor de 10 cm con pequeños voladizos entre 15 y 30 cm a los lados.

Placa colaborante: una placa metálica Deck de un espesor de 0.65 mm, se instala sobre el armazón de las vigas en cada nivel, la placa tiene dos soportes adicionales que son conectores soldados de L 40 x 40 x 4 sobre la placa con una altura de 8 cm y platinas de apoyo instaladas en las vigas para evitar agrietamiento en la losa en donde se encuentra las columnas.

Figura. 57 Tabla de planificación de la placa colaborante por pisos

<Placa Colaborante>			
A	B	C	D
UPS_Elemento	UPS_Ubicación	UPS_Nivel	Área
Placa Colaborante	Entrepiso	N +0.54	1360.58 m ²
Placa Colaborante	Entrepiso	N +4.14	1127.34 m ²
Placa Colaborante	Entrepiso	N +7.74	1165.67 m ²
Placa Colaborante	Entrepiso	N +11.34	1305.47 m ²
Placa Colaborante	Entrepiso	N +14.94	1244.33 m ²
Placa Colaborante	Entrepiso	N +18.54	1365.30 m ²
Placa Colaborante	Entrepiso	N +22.14	1139.67 m ²
Placa Colaborante	Entrepiso	N +24.14	80.41 m ²
Entrepiso: 8			8788.77 m ²

Malla electrosoldada R-84: se empleó una malla electrosoldada R-84 con una varilla de 4 mm y un espaciamiento de 15 x 15 cm, esta cumple con la función de prevenir grietas en el hormigón darle mayor resistencia a la losa a los esfuerzos de tracción.

Figura. 58 Tabla de planificación de la malla electrosoldada

<Malla electrosoldada>							
A	B	C	D	E	F	G	H
UPS_Elemento	Longitud	Longitud total de ba	Diámetro	UPS_Nivel	Cantidad	Peso en 1m	Peso Total
R - 84, 4 mm	487.68 m	<varia>	4 mm	N +0.54	730	0.10 kg/m	1844.48 kg
R - 84, 4 mm	928.11 m	<varia>	4 mm	N +4.14	1003	0.10 kg/m	1534.87 kg
R - 84, 4 mm	930.05 m	<varia>	4 mm	N +7.74	1020	0.10 kg/m	1588.50 kg
R - 84, 4 mm	776.82 m	<varia>	4 mm	N +11.34	755	0.10 kg/m	1741.97 kg
R - 84, 4 mm	776.28 m	<varia>	4 mm	N +14.94	748	0.10 kg/m	1666.23 kg
R - 84, 4 mm	776.64 m	<varia>	4 mm	N +18.54	802	0.10 kg/m	1831.27 kg
R - 84, 4 mm	595.08 m	<varia>	4 mm	N +22.14	756	0.10 kg/m	1539.81 kg
R - 84, 4 mm	32.68 m	<varia>	4 mm	N +24.14	161	0.10 kg/m	112.35 kg
R - 84, 4 mm: 300	5303.35 m				5975		11859.50 kg

Hormigón de f'c 240 kg/cm²: elemento que complementa la losa, aportando beneficios como resistencia estructural, protección contra incendios y una superficie para los acabados.

Figura. 59 Tabla de planificación del hormigón para losas

<Hormigon de losas>					
A	B	C	D	E	F
UPS_Elemento	UPS_Colocación	UPS_Nivel	Área	Grosor	Volumen
Hormigón 240	Entrepiso	N +0.54	1360.58 m ²	0.075	102.04 m ³
Hormigón 240	Entrepiso	N +4.14	1127.34 m ²	0.075	84.55 m ³
Hormigón 240	Entrepiso	N +7.74	1165.67 m ²	0.075	87.43 m ³
Hormigón 240	Entrepiso	N +11.34	1305.47 m ²	0.075	97.91 m ³
Hormigón 240	Entrepiso	N +14.94	1244.10 m ²	0.075	93.31 m ³
Hormigón 240	Entrepiso	N +18.54	1365.30 m ²	0.075	102.40 m ³
Hormigón 240	Entrepiso	N +22.14	1139.67 m ²	0.075	85.48 m ³
Hormigón 240	Entrepiso	N +24.14	80.41 m ²	0.075	6.03 m ³
Entrepiso: 8			8788.54 m ²		659.14 m ³

Modelado de las losas de cimentación

Figura. 60 Modelado de la losa N +0.54 m

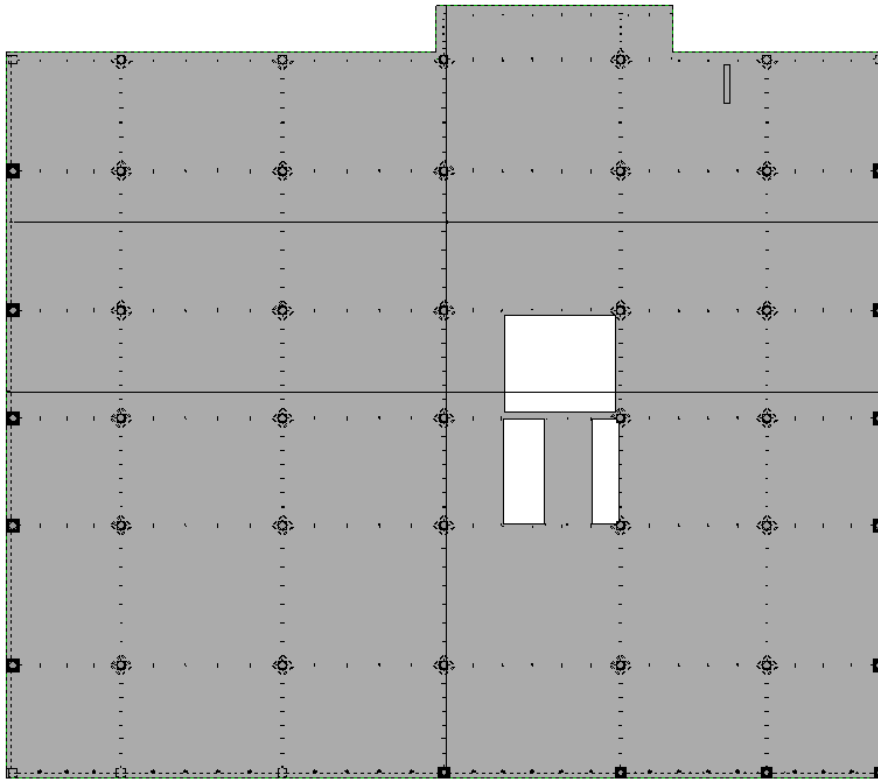


Figura. 61 Modelado de la losa N +4.14 m

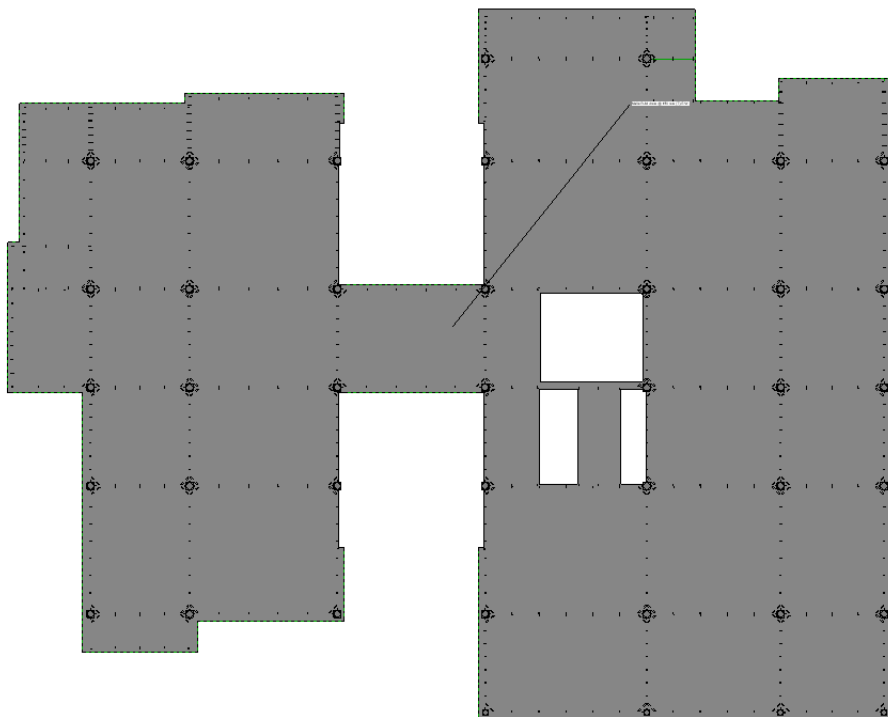


Figura. 62 Modelado de la losa N +7.74 m

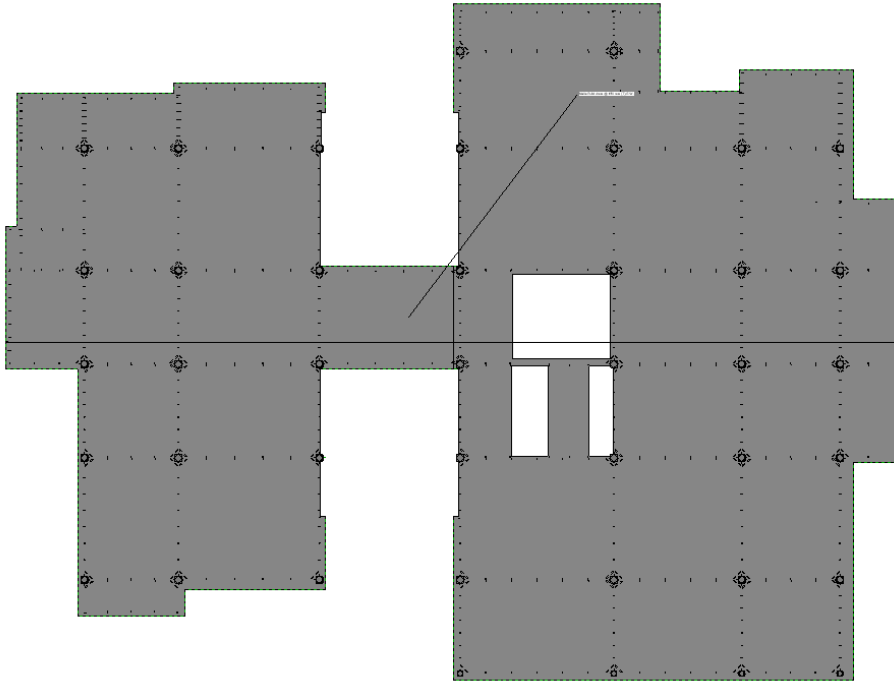


Figura. 63 Modelado de la losa N +11.34 m

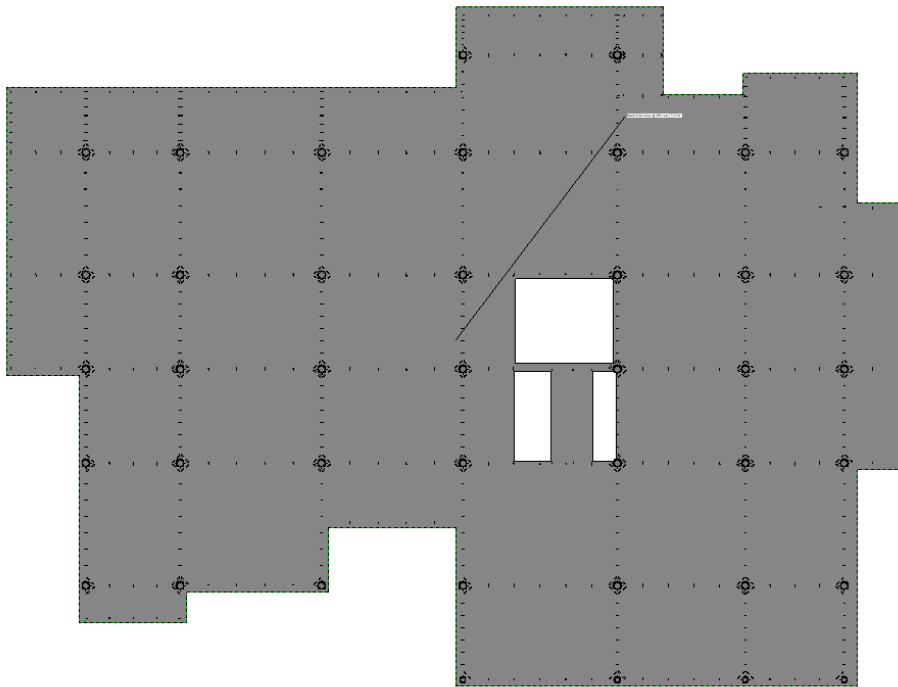


Figura. 64 Modelado de la losa N +14.94 m

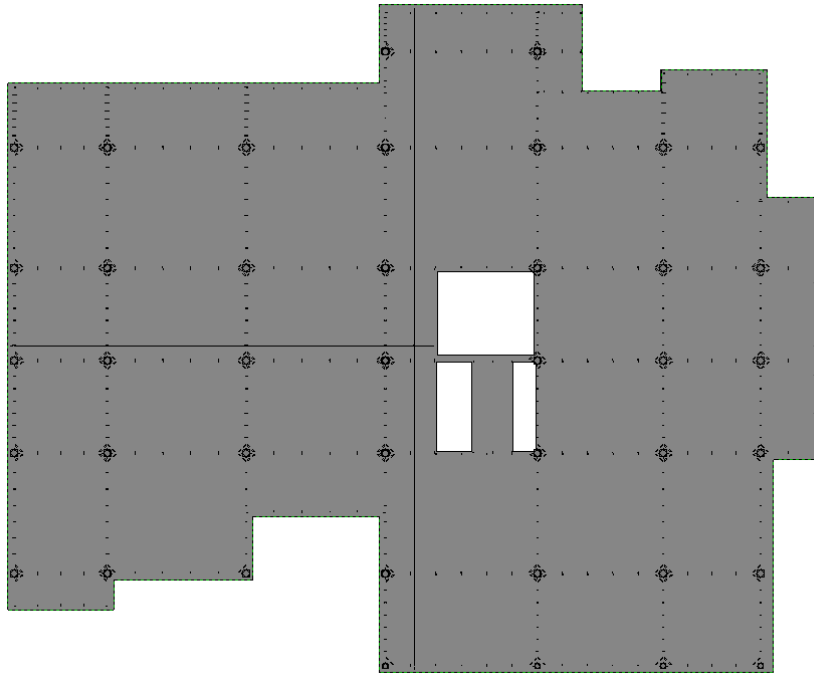


Figura. 65 Modelado de la losa N +18.54 m

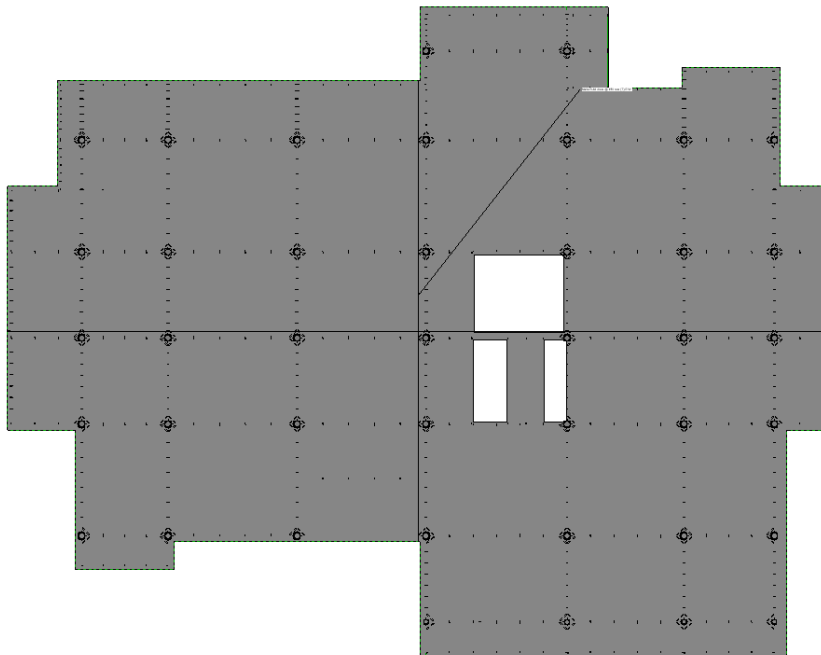


Figura. 66 Modelado de la losa N +22.14 m

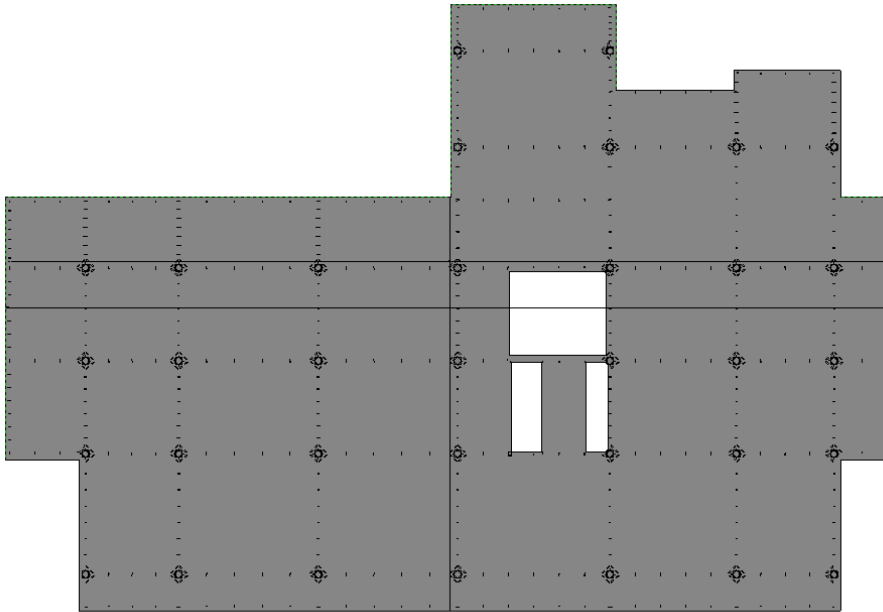
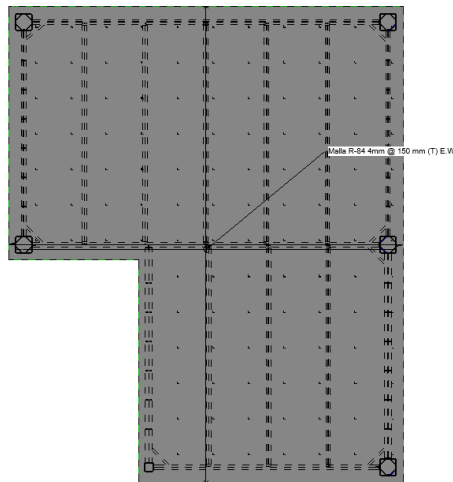


Figura. 67 Modelado de la losa N +24.14 m



3.3.5 Gradadas

El modelado se realizó con familias estructurales del software.

Gradadas interiores: estas gradadas conectan todos los niveles del edificio administrativo, se encuentra en medio de la estructura cerca del ascensor y está conformada por varios perfiles y huellas de hormigón.

- **Perfilería:** la misma estructura se analiza en los niveles N +0.54 m, N +4.14 m, N +7.74 m, N +11.34 m, N +14.94 m y N +18.54 m.

Figura. 68 Tabla de planificación de la perfilería de la grada interiores

<Armazón Grada Interior>						
A	B	C	D	E	F	G
Tipo	UPS_Nivel	UPS_Elemento	Longitud	Volumen	Peso Especifico	Peso Total
C200X50x4	N +0.54	Grada Interior	75.65	0.103 m ³	8.95 kg/m	677.06 kg
C 300x50x5	N +0.54	Grada Interior	36.90	0.070 m ³	12.31 kg/m	454.24 kg
HSS152.4X101.6X4.8	N +0.54	Grada Interior	4.50	0.010 m ³	15.20 kg/m	68.39 kg
L40x40x4	N +0.54	Grada Interior	32.40	0.011 m ³	2.39 kg/m	77.44 kg
L50x5	N +0.54	Grada Interior	9.00	0.004 m ³	3.73 kg/m	33.57 kg
N +0.54: 82			158.45	0.198 m ³		1310.69 kg

- **Hormigón:** se encuentra vertido sobre el perfil C 300 x 50 x 5, para darle una pisada a las gradas.

Figura. 69 Tabla de planificación de hormigón en las losas en las gradas interiores

<Hormigon de losas>					
A	B	C	D	E	F
UPS_Elemento	UPS_Colocación	UPS_Nivel	Área	Grosor	Volumen
Hormigón 240	Grada interior	N +0.54	11.03 m ²	0.075	0.83 m ³
Hormigón 240	Grada interior	N +4.14	11.03 m ²	0.075	0.83 m ³
Hormigón 240	Grada interior	N +7.74	11.03 m ²	0.075	0.83 m ³
Hormigón 240	Grada interior	N +11.34	11.03 m ²	0.075	0.83 m ³
Hormigón 240	Grada interior	N +14.94	11.03 m ²	0.075	0.83 m ³
Hormigón 240	Grada interior	N +18.54	11.03 m ²	0.075	0.83 m ³
Grada interior: 6			66.15 m ²		4.96 m ³

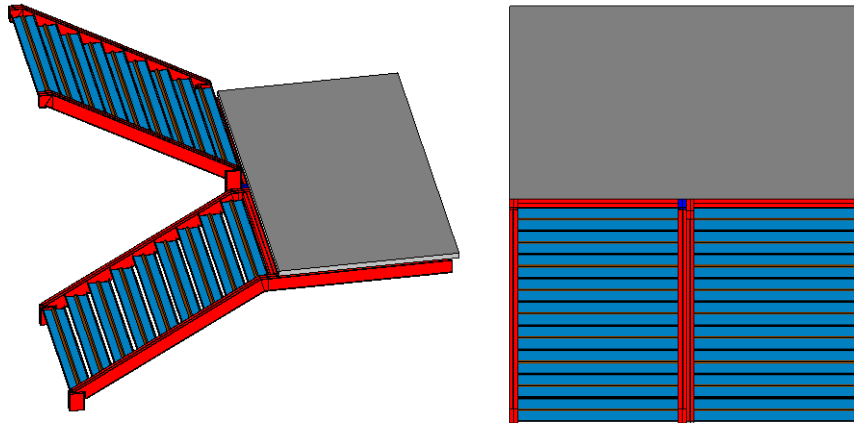
- **Placa colaborante de grada:** ubicada en la zona de descanso, para formar una losa con un espesor de 10 cm similar a la losa de cada piso. Las dimensiones de esta losa son de 4.50 m de largo por 2.50 m de ancho.

Figura. 70 Tabla de planificación de la placa Deck para las gradas interiores

<Placa Colaborante>			
A	B	C	D
UPS_ Elemento	UPS_ Ubicación	UPS_ Nivel	Área
Placa Colaborante	Grada interior	N +0.54	11.03 m ²
Placa Colaborante	Grada interior	N +4.14	11.03 m ²
Placa Colaborante	Grada interior	N +7.74	11.03 m ²
Placa Colaborante	Grada interior	N +11.34	11.03 m ²
Placa Colaborante	Grada interior	N +14.94	11.03 m ²
Placa Colaborante	Grada interior	N +18.54	11.03 m ²
Grada interior: 6			66.15 m ²

Modelado de las gradas interiores del edificio

Figura. 71 Modelado 3D de la Grada interior del edificio



Gradas exteriores: generalmente estas gradas están asociadas a una salida de emergencia por ello se encuentran ubicadas en la parte posterior del edificio, tiene una simetría con las gradas del interior, sin embargo, estas tienen una menor área en la zona de descanso y el ascenso de los escalones está en el sentido contrario.

- **Perfilería:** la misma estructura se analiza en los niveles N +0.54 m, N +4.14 m, N +7.74 m, N +11.34 m y N +14.94 m.

Figura. 72 Tabla de planificación de la perfilería de la grada exterior

<Armazón Grada Exterior>						
A	B	C	D	E	F	G
Tipo	UPS_Nivel	UPS_Elements	Longitud	Volumen	Peso Especifico	Peso Total
C200X50x4	N +0.54	Grada Exterior	38.35	0.055 m ³	8.95 kg/m	343.27 kg
C200X75x4	N +0.54	Grada Exterior	23.44	0.044 m ³	10.74 kg/m	251.79 kg
C 300x50x5	N +0.54	Grada Exterior	32.40	0.062 m ³	12.31 kg/m	398.84 kg
HSS152.4X101.6X4	N +0.54	Grada Exterior	2.98	0.006 m ³	15.20 kg/m	45.35 kg
L40x40x4	N +0.54	Grada Exterior	32.31	0.010 m ³	2.39 kg/m	77.22 kg
L50x5	N +0.54	Grada Exterior	6.00	0.003 m ³	3.73 kg/m	22.38 kg
N +0.54: 79			135.49	0.179 m ³		1138.85 kg

- **Hormigón:** al igual que en las gradas ubicadas en el interior del edificio se coloca sobre el perfil C 300 x 50 x 5.

Figura. 73 Tabla de planificación del hormigón de las losas en las gradas exteriores

<Hormigon de losas>					
A	B	C	D	E	F
UPS_Elements	UPS_Colocación	UPS_Nivel	Área	Grosor	Volumen
Hormigón 240	Grada exterior	N +0.54	7.20 m ²	0.075	0.54 m ³
Hormigón 240	Grada exterior	N +4.14	7.20 m ²	0.075	0.54 m ³
Hormigón 240	Grada exterior	N +7.74	7.20 m ²	0.075	0.54 m ³
Hormigón 240	Grada exterior	N +11.34	7.20 m ²	0.075	0.54 m ³
Hormigón 240	Grada exterior	N +14.94	7.20 m ²	0.075	0.54 m ³
Grada exterior: 5			36.00 m ²		2.70 m ³

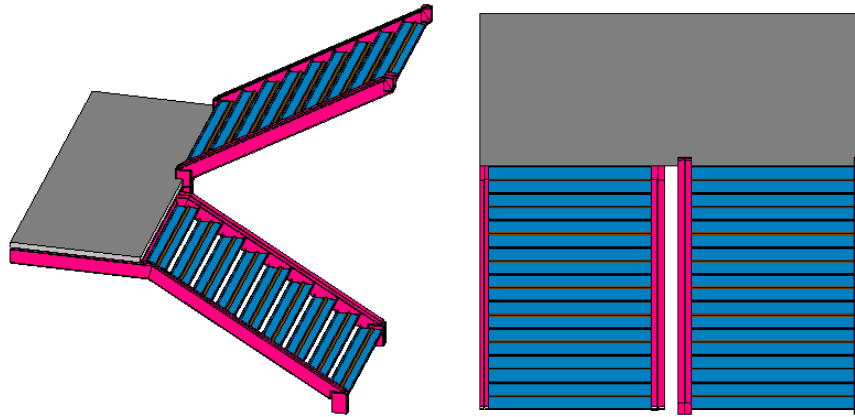
- **Placa colaborante:** rol similar a las gradas del interior solo con la variante de que el área de descanso es de 4.24 m de largo por 1.80 m de ancho.

Figura. 74 Tabla de planificación de la placa Deck para las gradas exteriores

<Placa Colaborante>			
A	B	C	D
UPS_Elements	UPS_Ubicación	UPS_Nivel	Área
Placa Colaborante	Grada exterior	N +0.54	7.20 m ²
Placa Colaborante	Grada exterior	N +4.14	7.20 m ²
Placa Colaborante	Grada exterior	N +7.74	7.20 m ²
Placa Colaborante	Grada exterior	N +11.34	7.20 m ²
Placa Colaborante	Grada exterior	N +14.94	7.20 m ²
Grada exterior: 5			36.00 m ²

Modelado 3D de las gradas exteriores

Figura. 75 Modelado 3D de la Grada interior del edificio



3.3.6 Placas de conexión

El modelado se realizó con extrusiones in situ.

Placas WUF: son conectores a momento instaladas dos por viga junto a la columna como se muestra en el modelado, estas placas varían de sección dependiendo de la viga en donde sea instalada siendo un complemento al armado de la estructura metálica.

Figura. 76 Dimensiones de las placas WUF para el tipo de viga especificado

Perfil	L3 [mm]	L4 [mm]	L5 [mm]	L6 [mm]
I 140x300x15x6	212	25	68	134
I 200x400x18x8	294	25	72	211
I 140x300x12x6	230	25	65	155
I 220x600x18x10	494	25	72	411
I 100x300x10x6	242	25	65	167
I 160x300x12x6	230	25	65	155
I 120x350x10x6	240	25	65	155
I 100x300x12x8	230	25	65	155
I 100x300x6x5	230	25	65	155
I 180x350x18x6	240	25	65	167
I 150x350x18x6	240	25	65	167

Figura. 77 Tabla de planificación de las placas WUF, N +0.44 m

<Conexión a momento, placas WUF>					
A	B	C	D	E	F
UPS_Elemento	UPS_Sección	UPS_Nivel	Volumen	Densidad	Masa
Placa WUF	I 100x300x8x6	N +0.44	0.0005 m³	7849.05 kg/m³	3.71 kg
Placa WUF	I 100x300x10x6	N +0.44	0.0056 m³	7849.05 kg/m³	43.72 kg
Placa WUF	I 140x300x12x6	N +0.44	0.0002 m³	7849.05 kg/m³	1.72 kg
Placa WUF	I 160x300x12x6	N +0.44	0.0083 m³	7849.05 kg/m³	65.36 kg
Placa WUF	I 200x400x18x8	N +0.44	0.0018 m³	7849.05 kg/m³	14.37 kg
N +0.44: 142			0.0164 m³		128.89 kg

Figura. 78 Tabla de planificación de las placas WUF, N +4.04 m

<Conexión a momento, placas WUF>					
A	B	C	D	E	F
UPS_Elemento	UPS_Sección	UPS_Nivel	Volumen	Densidad	Masa
Placa WUF	I 100x300x10x6	N +4.04	0.0101 m³	7849.05 kg/m³	79.25 kg
Placa WUF	I 140x300x12x6	N +4.04	0.0020 m³	7849.05 kg/m³	15.48 kg
Placa WUF	I 140x300x15x6	N +4.04	0.0018 m³	7849.05 kg/m³	14.47 kg
Placa WUF	I 160x300x12x6	N +4.04	0.0013 m³	7849.05 kg/m³	10.32 kg
Placa WUF	I 180x350x15x6	N +4.04	0.0031 m³	7849.05 kg/m³	24.23 kg
Placa WUF	I 200x400x18x8	N +4.04	0.0015 m³	7849.05 kg/m³	11.98 kg
Placa WUF	I 220x600x18x10	N +4.04	0.0021 m³	7849.05 kg/m³	16.86 kg
N +4.04: 175			0.0220 m³		172.58 kg

Figura. 79 Tabla de planificación de las placas WUF, N +7.64 m

<Conexión a momento, placas WUF>					
A	B	C	D	E	F
UPS_Elemento	UPS_Sección	UPS_Nivel	Volumen	Densidad	Masa
Placa WUF	I 100x300x10x6	N +7.64	0.0107 m³	7849.05 kg/m³	83.80 kg
Placa WUF	I 140x300x12x6	N +7.64	0.0020 m³	7849.05 kg/m³	15.48 kg
Placa WUF	I 140x300x15x6	N +7.64	0.0018 m³	7849.05 kg/m³	14.47 kg
Placa WUF	I 160x300x12x6	N +7.64	0.0018 m³	7849.05 kg/m³	13.76 kg
Placa WUF	I 180x350x15x6	N +7.64	0.0031 m³	7849.05 kg/m³	24.23 kg
Placa WUF	I 200x400x18x8	N +7.64	0.0015 m³	7849.05 kg/m³	11.98 kg
Placa WUF	I 220x600x18x10	N +7.64	0.0021 m³	7849.05 kg/m³	16.86 kg
N +7.64: 184			0.0230 m³		180.58 kg

Figura. 80 Tabla de planificación de las placas WUF, N +11.24 m

<Conexión a momento, placas WUF>					
A	B	C	D	E	F
UPS_Elemento	UPS_Sección	UPS_Nivel	Volumen	Densidad	Masa
Placa WUF	I 100x300x10x6	N +11.24	0.0071 m³	7849.05 kg/m³	55.57 kg
Placa WUF	I 140x300x12x6	N +11.24	0.0021 m³	7849.05 kg/m³	16.34 kg
Placa WUF	I 140x300x15x6	N +11.24	0.0018 m³	7849.05 kg/m³	14.47 kg
Placa WUF	I 150x350x18x6	N +11.24	0.0011 m³	7849.05 kg/m³	8.81 kg
Placa WUF	I 160x300x12x6	N +11.24	0.0044 m³	7849.05 kg/m³	34.40 kg
Placa WUF	I 180x350x15x6	N +11.24	0.0025 m³	7849.05 kg/m³	19.83 kg
Placa WUF	I 200x400x18x8	N +11.24	0.0015 m³	7849.05 kg/m³	11.98 kg
Placa WUF	I 220x600x18x10	N +11.24	0.0019 m³	7849.05 kg/m³	14.75 kg
N +11.24: 181			0.0224 m³		176.14 kg

Figura. 81 Tabla de planificación de las placas WUF, N +14.84 m

<Conexión a momento, placas WUF>					
A	B	C	D	E	F
UPS_Elemento	UPS_Sección	UPS_Nivel	Volumen	Densidad	Masa
Placa WUF	I 100x300x10x6	N +14.84	0.0067 m³	7849.05 kg/m³	52.83 kg
Placa WUF	I 140x300x12x6	N +14.84	0.0015 m³	7849.05 kg/m³	12.04 kg
Placa WUF	I 140x300x15x6	N +14.84	0.0018 m³	7849.05 kg/m³	14.47 kg
Placa WUF	I 150x350x18x6	N +14.84	0.0011 m³	7849.05 kg/m³	8.81 kg
Placa WUF	I 160x300x12x6	N +14.84	0.0046 m³	7849.05 kg/m³	36.12 kg
Placa WUF	I 180x350x15x6	N +14.84	0.0025 m³	7849.05 kg/m³	19.83 kg
Placa WUF	I 200x400x18x8	N +14.84	0.0015 m³	7849.05 kg/m³	11.98 kg
Placa WUF	I 220x600x18x10	N +14.84	0.0013 m³	7849.05 kg/m³	10.54 kg
N +14.84: 173			0.0212 m³		166.61 kg

Figura. 82 Tabla de planificación de las placas WUF, N +18.44 m

<Conexión a momento, placas WUF>					
A	B	C	D	E	F
UPS_Elemento	UPS_Sección	UPS_Nivel	Volumen	Densidad	Masa
Placa WUF	I 100x300x10x6	N +18.44	0.0097 m³	7849.05 kg/m³	76.52 kg
Placa WUF	I 140x300x12x6	N +18.44	0.0018 m³	7849.05 kg/m³	13.76 kg
Placa WUF	I 140x300x15x6	N +18.44	0.0018 m³	7849.05 kg/m³	14.47 kg
Placa WUF	I 150x350x18x6	N +18.44	0.0014 m³	7849.05 kg/m³	11.01 kg
Placa WUF	I 160x300x12x6	N +18.44	0.0042 m³	7849.05 kg/m³	32.68 kg
Placa WUF	I 180x350x15x6	N +18.44	0.0025 m³	7849.05 kg/m³	19.83 kg
Placa WUF	I 200x400x18x8	N +18.44	0.0015 m³	7849.05 kg/m³	11.98 kg
Placa WUF	I 220x600x18x10	N +18.44	0.0021 m³	7849.05 kg/m³	16.86 kg
N +18.44: 202			0.0251 m³		197.10 kg

Figura. 83 Tabla de planificación de las placas WUF, N +22.04 m

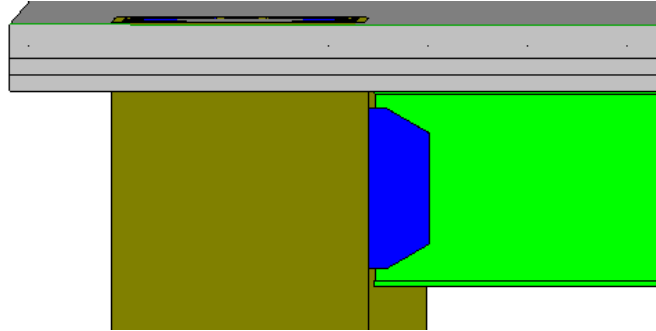
<Platina WUF>					
A	B	C	D	E	F
UPS_Elemento	UPS_Sección	UPS_Nivel	Volumen	Densidad	Masa
Placa WUF	I 100x300x6x5	N +22.04	0.0017 m³	7849.05 kg/m³	12.99 kg
Placa WUF	I 100x300x8x6	N +22.04	0.0002 m³	7849.05 kg/m³	1.86 kg
Placa WUF	I 100x300x10x6	N +22.04	0.0044 m³	7849.05 kg/m³	34.62 kg
Placa WUF	I 140x300x12x6	N +22.04	0.0058 m³	7849.05 kg/m³	45.58 kg
Placa WUF	I 140x300x15x6	N +22.04	0.0004 m³	7849.05 kg/m³	3.21 kg
Placa WUF	I 150x350x18x6	N +22.04	0.0003 m³	7849.05 kg/m³	2.20 kg
Placa WUF	I 160x300x12x6	N +22.04	0.0035 m³	7849.05 kg/m³	27.52 kg
Placa WUF	I 180x350x15x6	N +22.04	0.0006 m³	7849.05 kg/m³	4.41 kg
Placa WUF	I 200x400x18x8	N +22.04	0.0003 m³	7849.05 kg/m³	2.40 kg
Placa WUF	I 220x600x18x10	N +22.04	0.0030 m³	7849.05 kg/m³	23.18 kg
Placa WUF: 162			0.0201 m³		157.97 kg

Figura. 84 Tabla de planificación de las placas WUF, N +24.04 m

<Conexión a momento, placas WUF>					
A	B	C	D	E	F
UPS_Elemento	UPS_Sección	UPS_Nivel	Volumen	Densidad	Masa
Placa WUF	I 100x300x10x6	N +24.04	0.0012 m³	7849.05 kg/m³	9.11 kg
Placa WUF	I 160x300x12x6	N +24.04	0.0004 m³	7849.05 kg/m³	3.44 kg
N +24.04: 14			0.0016 m³		12.55 kg

Modelado e instalación de las placas WUF

Figura. 85 Modelado e instalación de las placas WUF



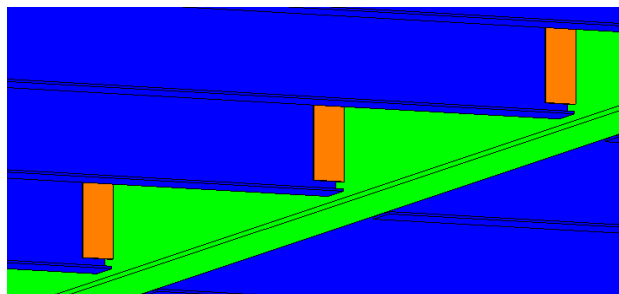
Placas en vigas secundarias: a diferencia de las placas WUF, estas cumplen con tener una conexión a corte en las vigas secundarias, se encuentra dos placas, además comparten la misma dimensión para todas las vigas con una base de 80 mm y una altura de 190 mm.

Figura. 86 Tabla de planificación de las vigas conectoras a corte

<Placa en viga secundaria>					
A	B	C	D	E	F
UPS_ Elemento	UPS_ Sección	UPS_ Nivel	Volumen	Densidad	Masa
Placa V. Secundaria	P 100x190x6	N +0.44	0.0259 m ³	7849.05 kg/m ³	203.30 kg
Placa V. Secundaria	P 100x190x6	N +4.04	0.0234 m ³	7849.05 kg/m ³	183.97 kg
Placa V. Secundaria	P 100x190x6	N +7.64	0.0239 m ³	7849.05 kg/m ³	187.55 kg
Placa V. Secundaria	P 100x190x6	N +11.24	0.0264 m ³	7849.05 kg/m ³	207.59 kg
Placa V. Secundaria	P 100x190x6	N +14.84	0.0254 m ³	7849.05 kg/m ³	199.00 kg
Placa V. Secundaria	P 100x190x6	N +18.44	0.0286 m ³	7849.05 kg/m ³	224.77 kg
Placa V. Secundaria	P 100x190x6	N +22.04	0.0261 m ³	7849.05 kg/m ³	204.73 kg
Placa V. Secundaria	P 100x190x6	N +24.04	0.0015 m ³	7849.05 kg/m ³	11.45 kg
Placa V. Secundaria: 1987			0.1812 m ³		1422.36 kg

Modelado y colocación de las placas a corte en las vigas secundarias

Figura. 87 Modelado y colocación de las placas a corte



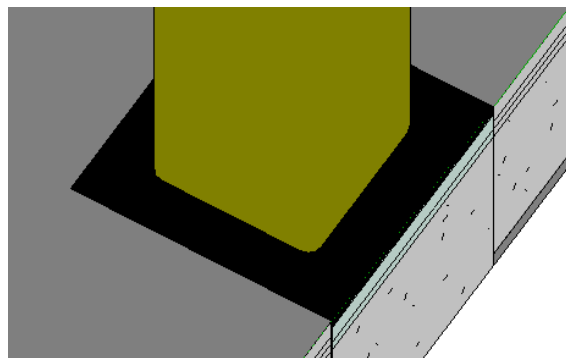
Placas base: la forma de conectar las columnas de acero sobre las de hormigón es mediante estas placas, las cuales están soldadas con la columna de acero y se ubican por encima de las columnas de hormigón, se fijan con el acero de refuerzo. En el modelado se presenta con un color negro.

Figura. 88 Tabla de planificación de la placa base

<Placa base>						
A	B	C	D	E	F	G
UPS_Elemento	UPS_Sección	UPS_Nivel	Recuento	Volumen	Densidad	Masa
Placa base	500x500x15	N +0.54	4	0.0150 m³	7849.05 kg/m³	117.74 kg
Placa base	600x600x25	N +0.54	10	0.0900 m³	7849.05 kg/m³	706.41 kg
Placa base: 14				0.1050 m³		824.15 kg

Modelado de la placa base

Figura. 89 Modelado de la placa base



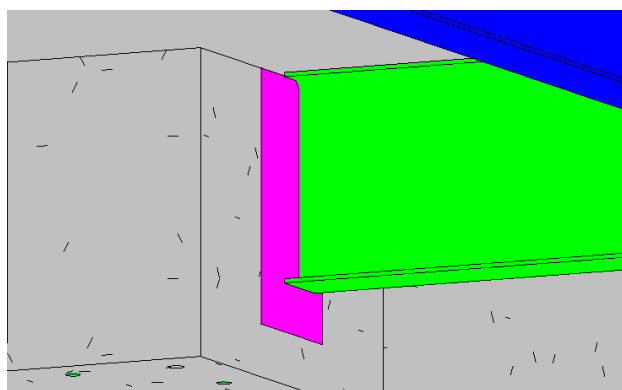
Placa en muro: elementos de conexión entre la pantalla de muro y el sistema estructural del edificio, cumple un rol similar a la placa base, se encuentran ubicadas en columnas, vigas y la pantalla del muro.

Figura. 90 Tabla de planificación de las placas en muro

<Placa en Muro>						
A	B	C	D	E	F	G
UPS_Elemento	UPS_Sección	UPS_Ubicación	UPS_Nivel	Volumen	Densidad	Masa
Placa en muro	PA1 200x400x8	V. Cargadora	N +0.00	0.0077 m³	7849.05 kg/m³	60.28 kg
Placa en muro	PA2 200x400x8	V. Amarre	N +0.00	0.0032 m³	7849.05 kg/m³	25.12 kg
Placa en muro	PA3 200x350x6	V. Secundaria	N +0.00	0.0097 m³	7849.05 kg/m³	75.82 kg
Placa en muro: 40				0.0205 m³		161.22 kg

Modelado de la placa de conexión entre las vigas y muros

Figura. 91 Modelado de la placa de conexión entre las vigas y muros



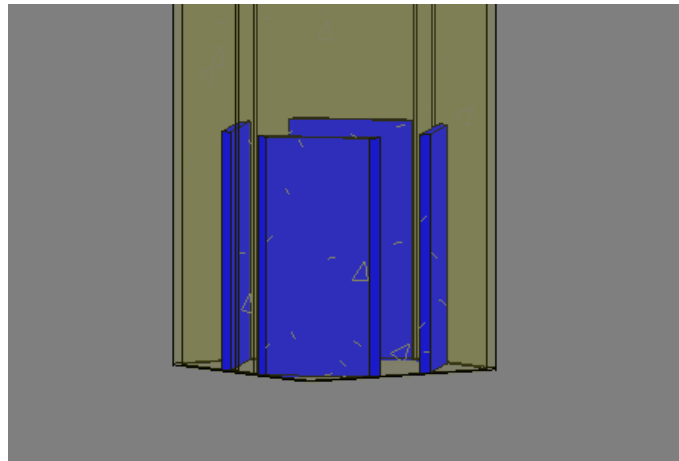
Placa de continuidad: se encuentra dentro de las columnas de 380x380x15 mm y 280x280x10 mm, están ubicadas en cada nivel por cuestiones sísmicas ayudando a disipar la energía de la columna, las placas de continuidad ya vienen instaladas en las columnas desde el taller.

Figura. 92 Tabla de planificación de las placas de continuidad

<Placa de continuidad>					
A	B	C	D	E	F
UPS_Elemento	UPS_Sección	UPS_Nivel	Volumen	Densidad	Masa
Placa de continuidad	P 140x450x15	N +0.44	0.0135 m³	7849.05 kg/m³	105.97 kg
Placa de continuidad	P 140x450x15	N +4.14	0.0135 m³	7849.05 kg/m³	105.97 kg
Placa de continuidad	P 140x450x15	N +7.74	0.0135 m³	7849.05 kg/m³	105.97 kg
Placa de continuidad	P 140x450x15	N +11.34	0.0135 m³	7849.05 kg/m³	105.97 kg
Placa de continuidad	P 140x450x15	N +14.94	0.0135 m³	7849.05 kg/m³	105.97 kg
P 140x450x15: 20			0.0675 m³		529.84 kg
Placa de continuidad	P 180x750x15	N +0.00	0.1213 m³	7849.05 kg/m³	952.37 kg
Placa de continuidad	P 180x750x15	N +0.44	0.2928 m³	7849.05 kg/m³	2298.39 kg
Placa de continuidad	P 180x750x15	N +4.14	0.2993 m³	7849.05 kg/m³	2349.17 kg
Placa de continuidad	P 180x750x15	N +7.74	0.2993 m³	7849.05 kg/m³	2349.17 kg
Placa de continuidad	P 180x750x15	N +11.34	0.2993 m³	7849.05 kg/m³	2349.17 kg
Placa de continuidad	P 180x750x15	N +14.94	0.2993 m³	7849.05 kg/m³	2349.17 kg
Placa de continuidad	P 180x750x15	N +18.54	0.2750 m³	7849.05 kg/m³	2158.70 kg
Placa de continuidad	P 180x750x15	N +22.14	0.0404 m³	7849.05 kg/m³	317.46 kg
P 180x750x15: 254			1.9268 m³		15123.58 kg
Placa de continuidad: 274			1.9943 m³		15653.43 kg

Modelado de las placas de continuidad

Figura. 93 Modelado de las placas de continuidad

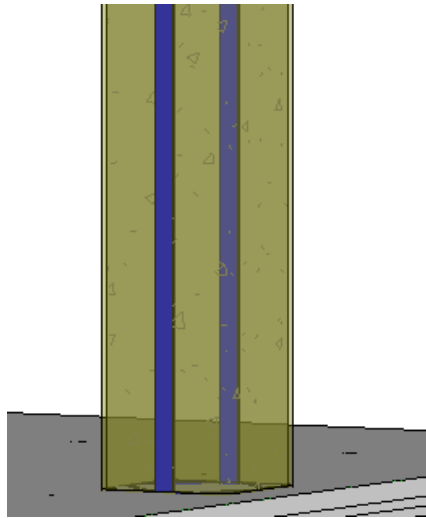


Platina de respaldo: vistas como tiras de acero ubicadas en el interior de las columnas de acero 380 x 380 x 15 mm y 280 x 280 x 15 mm, refuerzan la unión de soldadura de dos perfiles tipo C para formar un perfil de tipo O.

Figura. 94 Tabla de planificación de las platinas de respaldo

<Platina de respaldo>					
A	B	C	D	E	F
UPS Elemento	UPS Sección	UPS Nivel	Volumen	Densidad	Masa
Platina de respaldo	O 280x280x10	N +0.44	0.0046 m³	7849.05 kg/m³	36.17 kg
Platina de respaldo	O 280x280x10	N +4.14	0.0046 m³	7849.05 kg/m³	36.17 kg
Platina de respaldo	O 280x280x10	N +7.74	0.0046 m³	7849.05 kg/m³	36.17 kg
Platina de respaldo	O 280x280x10	N +11.34	0.0046 m³	7849.05 kg/m³	36.17 kg
Platina de respaldo	O 280x280x10	N +14.94	0.0046 m³	7849.05 kg/m³	36.17 kg
O 280x280x10: 20			0.0230 m³		180.84 kg
Platina de respaldo	O 380x380x15	N +0.00	0.0097 m³	7849.05 kg/m³	76.29 kg
Platina de respaldo	O 380x380x15	N +0.44	0.0821 m³	7849.05 kg/m³	644.72 kg
Platina de respaldo	O 380x380x15	N +4.14	0.0799 m³	7849.05 kg/m³	627.30 kg
Platina de respaldo	O 380x380x15	N +7.74	0.0799 m³	7849.05 kg/m³	627.30 kg
Platina de respaldo	O 380x380x15	N +11.34	0.0799 m³	7849.05 kg/m³	627.30 kg
Platina de respaldo	O 380x380x15	N +14.94	0.0799 m³	7849.05 kg/m³	627.30 kg
Platina de respaldo	O 380x380x15	N +18.54	0.0734 m³	7849.05 kg/m³	576.43 kg
Platina de respaldo	O 380x380x15	N +22.14	0.0060 m³	7849.05 kg/m³	47.09 kg
O 380x380x15: 254			0.4910 m³		3853.73 kg
Platina de respaldo: 274			0.5140 m³		4034.57 kg

Figura. 95 Modelado de las platinas de respaldo



3.3.7 Rigidizadores

El modelado se realizó con extrusiones in situ.

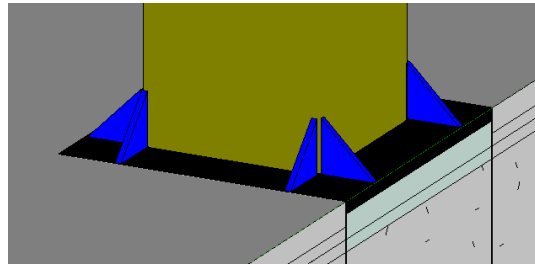
Rigidizador de columna: funciona como un seguro extra a las columnas para evitar posibles fracturas en la soldadura, mejora el comportamiento de la columna a momentos. Está ubicado en las columnas 380 x 380 x 15 mm y 280 x 280 x 10 mm.

Figura. 96 Tabla de planificación del rigidizador de columna

<Rigidizador de Columnas>					
A	B	C	D	E	F
UPS_ Elemento	UPS_ Nivel	Ubicación	Densidad, kg/m3	Volumen, m3	Peso de 8r x Columna,
Rigidizador de columna	N +0.54	Columna 50x50	7849.05	0.000581	4.56
Rigidizador de columna	N +0.54	Columna 50x50	7849.05	0.000581	4.56
Rigidizador de columna	N +0.54	Columna 50x50	7849.05	0.000581	4.56
Rigidizador de columna	N +0.54	Columna 50x50	7849.05	0.000581	4.56
Columna 50x50: 4					18.24
Rigidizador de columna	N +0.54	Columna 60x60	7849.05	0.000581	4.56
Rigidizador de columna	N +0.54	Columna 60x60	7849.05	0.000581	4.56
Rigidizador de columna	N +0.54	Columna 60x60	7849.05	0.000581	4.56
Rigidizador de columna	N +0.54	Columna 60x60	7849.05	0.000581	4.56
Rigidizador de columna	N +0.54	Columna 60x60	7849.05	0.000581	4.56
Rigidizador de columna	N +0.54	Columna 60x60	7849.05	0.000581	4.56
Rigidizador de columna	N +0.54	Columna 60x60	7849.05	0.000581	4.56
Rigidizador de columna	N +0.54	Columna 60x60	7849.05	0.000581	4.56
Rigidizador de columna	N +0.54	Columna 60x60	7849.05	0.000581	4.56
Rigidizador de columna	N +0.54	Columna 60x60	7849.05	0.000581	4.56
Columna 60x60: 10					45.60
Rigidizador de columna: 14					63.84

Modelado del rigidizador de la columna

Figura. 97 Modelado del rigidizador de la columna



Rigidizador lateral: ayuda a una distribución de cargas concentradas y evita el pandeo local en el alma de la viga, se encuentran en las vigas de amarre y al igual que el caso de las placas WUF tiene diferentes dimensiones dependiendo del tipo de viga.

Figura. 98 Dimensiones de los rigidizadores laterales según el tipo de viga

Sección	a [mm]	b [mm]
I 100x300x6x5	47.5	288
I 100x300x8x6	47	284
I 100x300x10x6	47	280
I 100x300x12x8	46	276
I 140x300x12x6	67	276
I 160x300x12x6	77	276
I 220x600x18x10	105	564

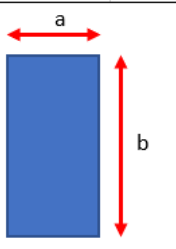


Figura. 99 Tabla de planificación de rigidizadores laterales, N +0.44 m

<Rigidizadores Laterales>					
A	B	C	D	E	F
UPS_Elemento	UPS_Sección	UPS_Nivel	Volumen	Densidad	Masa
Rigidizador Lateral	I 100x300x10x6	N +0.44	0.0076 m³	7849.05 kg/m³	59.50 kg
Rigidizador Lateral	I 100x300x12x8	N +0.44	0.0015 m³	7849.05 kg/m³	11.96 kg
Rigidizador Lateral	160x300x12x6	N +0.44	0.0337 m³	7849.05 kg/m³	264.22 kg
Rigidizador Lateral: 32			0.0428 m³		335.69 kg

Figura. 100 Tabla de planificación de rigidizadores laterales, N +4.04 m

<Rigidizadores Laterales>					
A	B	C	D	E	F
UPS_Elemento	UPS_Sección	UPS_Nivel	Volumen	Densidad	Masa
Rigidizador Lateral	100x300x6x5	N +4.04	0.0019 m³	7849.05 kg/m³	15.30 kg
Rigidizador Lateral	I 100x300x10x6	N +4.04	0.0237 m³	7849.05 kg/m³	185.93 kg
Rigidizador Lateral	I 100x300x12x8	N +4.04	0.0079 m³	7849.05 kg/m³	62.19 kg
Rigidizador Lateral	I 140x300x12x6	N +4.04	0.0040 m³	7849.05 kg/m³	31.31 kg
Rigidizador Lateral	I 220x600x18x10	N +4.04	0.0213 m³	7849.05 kg/m³	167.54 kg
Rigidizador Lateral: 44			0.0589 m³		462.27 kg

Figura. 101 Tabla de planificación de rigidizadores laterales, N +7.64 m

<Rigidizadores Laterales>					
A	B	C	D	E	F
UPS_Elemento	UPS_Sección	UPS_Nivel	Volumen	Densidad	Masa
Rigidizador Lateral	I 100x300x6x5	N +7.64	0.0028 m³	7849.05 kg/m³	21.74 kg
Rigidizador Lateral	I 100x300x10x6	N +7.64	0.0237 m³	7849.05 kg/m³	185.93 kg
Rigidizador Lateral	I 100x300x12x8	N +7.64	0.0079 m³	7849.05 kg/m³	62.19 kg
Rigidizador Lateral	I 140x300x12x6	N +7.64	0.0040 m³	7849.05 kg/m³	31.31 kg
Rigidizador Lateral	I 160x300x12x6	N +7.64	0.0031 m³	7849.05 kg/m³	24.03 kg
Rigidizador Lateral	I 220x600x18x10	N +7.64	0.0299 m³	7849.05 kg/m³	234.47 kg
Rigidizador Lateral: 49			0.0713 m³		559.67 kg

Figura. 102 Tabla de planificación de rigidizadores laterales, N +11.24 m

<Rigidizadores Laterales>					
A	B	C	D	E	F
UPS_Elemento	UPS_Sección	UPS_Nivel	Volumen	Densidad	Masa
Rigidizador Lateral	I 100x300x6x5	N +11.24	0.0028 m³	7849.05 kg/m³	21.74 kg
Rigidizador Lateral	I 100x300x10x6	N +11.24	0.0112 m³	7849.05 kg/m³	87.99 kg
Rigidizador Lateral	I 100x300x12x8	N +11.24	0.0079 m³	7849.05 kg/m³	62.19 kg
Rigidizador Lateral	I 140x300x12x6	N +11.24	0.0027 m³	7849.05 kg/m³	20.90 kg
Rigidizador Lateral	I 160x300x12x6	N +11.24	0.0245 m³	7849.05 kg/m³	192.18 kg
Rigidizador Lateral	I 220x600x18x10	N +11.24	0.0128 m³	7849.05 kg/m³	100.40 kg
Rigidizador Lateral: 45			0.0618 m³		485.40 kg

Figura. 103 Tabla de planificación de rigidizadores laterales, N +14.84 m

<Rigidizadores Laterales>					
A	B	C	D	E	F
UPS_Elemento	UPS_Sección	UPS_Nivel	Volumen	Densidad	Masa
Rigidizador Lateral	I 100x300x6x5	N +14.84	0.0028 m³	7849.05 kg/m³	21.74 kg
Rigidizador Lateral	I 100x300x10x6	N +14.84	0.0114 m³	7849.05 kg/m³	89.25 kg
Rigidizador Lateral	I 100x300x12x8	N +14.84	0.0079 m³	7849.05 kg/m³	62.19 kg
Rigidizador Lateral	I 160x300x12x6	N +14.84	0.0230 m³	7849.05 kg/m³	180.17 kg
Rigidizador Lateral	I 220x600x18x10	N +14.84	0.0213 m³	7849.05 kg/m³	167.34 kg
Rigidizador Lateral: 44			0.0663 m³		520.68 kg

Figura. 104 Tabla de planificación de rigidizadores laterales, N +18.44 m

<Rigidizadores Laterales>					
A	B	C	D	E	F
UPS_Elemento	UPS_Sección	UPS_Nivel	Volumen	Densidad	Masa
Rigidizador Lateral	I 100x300x6x5	N +18.44	0.0036 m³	7849.05 kg/m³	28.18 kg
Rigidizador Lateral	I 100x300x10x6	N +18.44	0.0152 m³	7849.05 kg/m³	119.29 kg
Rigidizador Lateral	I 100x300x12x8	N +18.44	0.0079 m³	7849.05 kg/m³	62.19 kg
Rigidizador Lateral	I 160x300x12x6	N +18.44	0.0227 m³	7849.05 kg/m³	178.15 kg
Rigidizador Lateral	I 220x600x18x10	N +18.44	0.0213 m³	7849.05 kg/m³	167.34 kg
Rigidizador Lateral: 49			0.0707 m³		555.15 kg

Figura. 105 Tabla de planificación de rigidizadores laterales, N +22.04 m

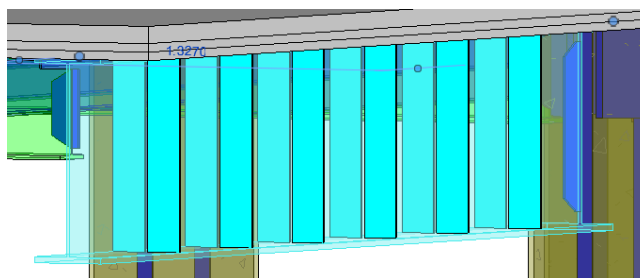
<Rigidizadores Laterales>					
A	B	C	D	E	F
UPS_Elemento	UPS_Sección	UPS_Nivel	Volumen	Densidad	Masa
Rigidizador Lateral	100x300x6x5	N +22.04	0.0010 m ³	7849.05 kg/m ³	7.73 kg
Rigidizador Lateral	100x300x8x6	N +22.04	0.0010 m ³	7849.05 kg/m ³	7.54 kg
Rigidizador Lateral	100x300x10x6	N +22.04	0.0095 m ³	7849.05 kg/m ³	74.37 kg
Rigidizador Lateral	100x300x12x8	N +22.04	0.0061 m ³	7849.05 kg/m ³	47.84 kg
Rigidizador Lateral	140x300x12x6	N +22.04	0.0080 m ³	7849.05 kg/m ³	62.71 kg
Rigidizador Lateral	160x300x12x6	N +22.04	0.0149 m ³	7849.05 kg/m ³	116.70 kg
Rigidizador Lateral	220x600x18x10	N +22.04	0.0213 m ³	7849.05 kg/m ³	167.34 kg
Rigidizador Lateral: 40			0.0617 m ³		484.23 kg

Figura. 106 Tabla de planificación de rigidizadores laterales, N +24.04 m

<Rigidizadores Laterales>					
A	B	C	D	E	F
UPS_Elemento	UPS_Sección	UPS_Nivel	Volumen	Densidad	Masa
Rigidizador Lateral	100x300x6x5	N +24.04	0.0020 m ³	7849.05 kg/m ³	15.47 kg
Rigidizador Lateral	160x300x12x6	N +24.04	0.0031 m ³	7849.05 kg/m ³	24.02 kg
Rigidizador Lateral: 4			0.0050 m ³		39.49 kg

Modelado de los rigidizadores laterales en las vigas de amarre.

Figura. 107 Modelado de los rigidizadores laterales en las vigas de amarre.



3.3.8 Cimentación superficial

El modelado se realizó con familias estructurales del software.

Columnas de hormigón: elemento indispensable para el desarrollo de la cimentación de subsuelos, sin embargo, por las limitaciones de este proyecto que se enfoca desde el nivel 0+00 m no tiene grandes volúmenes, ni múltiples secciones como la estructura metálica.

Figura. 108 Tabla de planificación de las columnas de hormigón

<Columna de hormigón>			
A	B	C	D
UPS_Elemento	UPS_Nivel	Longitud	Volumen
C. H° 40x40	N +0.00	0.540	0.34 m³
C. H° 40x40: 5			0.34 m³
C. H° 50x50	N +0.00	0.440	0.43 m³
C. H° 50x50: 4			0.43 m³
C. H° 60x60	N +0.00	0.440	1.58 m³
C. H° 60x60: 10			1.58 m³

Viga de hormigón: situadas en los niveles de las losas de subsuelo, se funde las vigas de 30 cm de base y 40 cm de alto con la finalidad de tener un anclaje para las placas en donde se instalan las vigas de amarre y cargadoras, otra característica de esta viga es unificar toda la estructura creando un sistema de pórticos para resistir los empujes del suelo.

Figura. 109 Tabla de planificación de la viga de hormigón

<Viga de Hormigón>				
A	B	C	D	E
Tipo	UPS_Nivel	UPS_Elemento	Longitud	Volumen
Viga H 30x40	Cimentación	V. Hormigon 30x40	103.11	11.676 m³
V. Hormigon 30x40: 18			103.11	11.676 m³

Acero de refuerzo: son barras de acero corrugado presentes en la estructura de cimentación, se discretiza en estribos y barras longitudinales.

Figura. 110 Tabla de planificación de las barras longitudinales

<Armadura - Barras longitudinales>							
A	B	C	D	E	F	G	H
Familia	UPS_Elemento	Longitud	Diámetro	UPS_Nivel	Cantidad	Peso en 1m	Peso Total
Barra de armadura	Barra Long de Col 40x40	21.60 m	16 mm	N +0.00	40	1.58 kg/m	34.09 kg
Barra de armadura	Barra Long de Col 50x50	17.29 m	16 mm	N +0.00	32	1.58 kg/m	27.28 kg
Barra de armadura	Barra Long de Col 50x50	8.63 m	18 mm	N +0.00	16	2.00 kg/m	17.25 kg
Barra de armadura	Barra Long de Col 60x60	43.22 m	20 mm	N +0.00	80	2.47 kg/m	106.59 kg
Barra de armadura	Barra Long de Col 60x60	21.58 m	22 mm	N +0.00	40	2.98 kg/m	64.40 kg
Barra de armadura	Barra Long de Viga	433.30 m	16 mm	N +0.00	12	1.58 kg/m	683.74 kg
Barra de armadura: 220		545.63 m			220		933.35 kg

Figura. 111 Tabla de planificación de los ganchos y estribos

<Armadura - Estribos>							
A	B	C	D	E	F	G	H
UPS_Elemento	Longitud	Diámetro	UPS_Nivel	Espaciado	Cantidad	Peso por metro	Peso Total
Estribo Col 40x40	6.82 m	10 mm	N +0.00	100 mm	20	0.62 kg/m	4.21 kg
Estribo Col 50x50	7.06 m	10 mm	N +0.00	100 mm	16	0.62 kg/m	4.35 kg
Estribo Col 60x60	21.64 m	10 mm	N +0.00	100 mm	40	0.62 kg/m	13.35 kg
Estribo Viga 30x40	20.95 m	10 mm	N +0.00	150 mm	667	0.62 kg/m	12.93 kg
Gancho Col 40x40	5.50 m	10 mm	N +0.00	100 mm	45	0.62 kg/m	3.39 kg
Gancho Col 50x50	10.40 m	10 mm	N +0.00	100 mm	80	0.62 kg/m	6.42 kg
Gancho Col 60x60	30.00 m	10 mm	N +0.00	100 mm	170	0.62 kg/m	18.51 kg
10 mm: 103	102.37 m				1038		63.16 kg

Modelado de la cimentación estructural

Figura. 112 Modelado de la vista frontal de columnas y vigas de hormigón

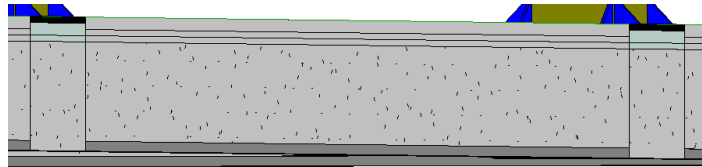
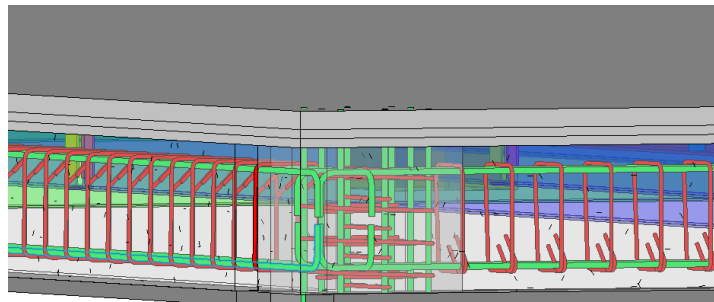


Figura. 113 Modelado del acero de refuerzo en las columnas y vigas



Pantalla de muro: este elemento es fundamental en el desarrollo del edificio, sin embargo, como el alcance de este proyecto se limita al análisis de edificio a partir del nivel N +0.00 m.

Figura. 114 Tabla de planificación de la pantalla de muro

<Pantalla de Muro e=20cm>					
A	B	C	D	E	F
UPS_Elemento	UPS_Nivel	Anchura	Altura	Longitud	Volumen
Pantalla de muro	N +0.00	0.200	0.040	100.155	0.80 m³
Pantalla de muro: 13				100.155	0.80 m³

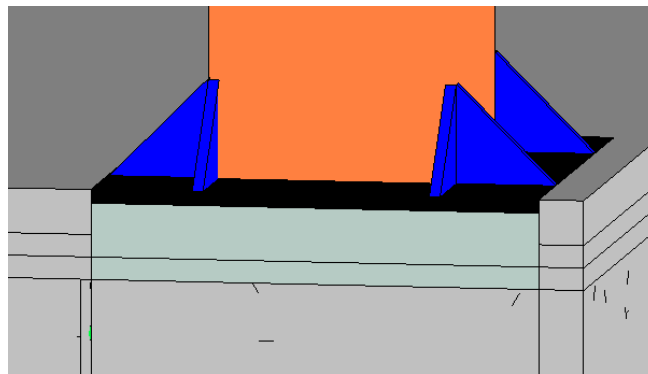
Mortero nivelante: material de características similares al hormigón, pero este mortero cumple una función autonivelante y tiene una mayor resistencia a la compresión que el hormigón convencional además se prepara con un árido fino.

Figura. 115 Tabla de planificación del mortero nivelante

<Mortero Nivelante>			
A	B	C	D
UPS_Elemento	UPS_Nivel	UPS_Colocación	Volumen
Mortero Nivelante	N +0.44	P 500x500x15	0.09 m³
P 500x500x15: 4			0.09 m³
Mortero Nivelante	N +0.44	P 600x600x15	0.27 m³
P 600x600x15: 10			0.27 m³

Modelado del mortero nivelante

Figura. 116 Modelado del mortero nivelante



3.3.9 Elementos complementarios

El modelado se realizó con familias estructurales del software

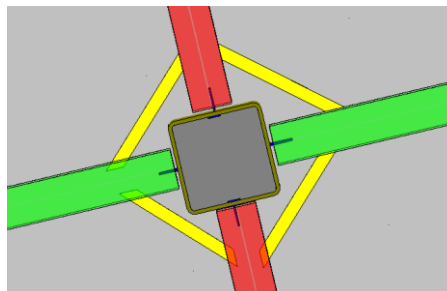
Platinas de apoyo

Figura. 117 Tabla de planificación de las platinas de apoyo

<Platina de apoyo para losas>						
A	B	C	D	E	F	G
UPS_Elemento	UPS_Nivel	Recuento	# Apoyos	Volumen	Densidad	Masa
Apoyos de Losa	N +0.44	4	2	0.0003 m³	7849.05 kg/m³	9.55 kg
Apoyos de Losa	N +0.44	2	3	0.0005 m³	7849.05 kg/m³	7.14 kg
Apoyos de Losa	N +0.44	24	4	0.0006 m³	7849.05 kg/m³	114.12 kg
Apoyos de Losa	N +4.04	3	1	0.0002 m³	7849.05 kg/m³	3.55 kg
Apoyos de Losa	N +4.04	15	2	0.0003 m³	7849.05 kg/m³	35.63 kg
Apoyos de Losa	N +4.04	8	3	0.0005 m³	7849.05 kg/m³	28.53 kg
Apoyos de Losa	N +4.04	15	4	0.0006 m³	7849.05 kg/m³	71.33 kg
Apoyos de Losa	N +7.64	3	1	0.0002 m³	7849.05 kg/m³	3.55 kg
Apoyos de Losa	N +7.64	12	2	0.0003 m³	7849.05 kg/m³	28.53 kg
Apoyos de Losa	N +7.64	9	3	0.0005 m³	7849.05 kg/m³	32.08 kg
Apoyos de Losa	N +7.64	17	4	0.0006 m³	7849.05 kg/m³	80.84 kg
Apoyos de Losa	N +11.24	3	1	0.0002 m³	7849.05 kg/m³	3.55 kg
Apoyos de Losa	N +11.24	8	2	0.0003 m³	7849.05 kg/m³	19.02 kg
Apoyos de Losa	N +11.24	5	3	0.0005 m³	7849.05 kg/m³	17.82 kg
Apoyos de Losa	N +11.24	25	4	0.0006 m³	7849.05 kg/m³	118.88 kg
Apoyos de Losa	N +14.84	3	1	0.0002 m³	7849.05 kg/m³	3.55 kg
Apoyos de Losa	N +14.84	11	2	0.0003 m³	7849.05 kg/m³	26.18 kg
Apoyos de Losa	N +14.84	4	3	0.0005 m³	7849.05 kg/m³	14.24 kg
Apoyos de Losa	N +14.84	23	4	0.0006 m³	7849.05 kg/m³	109.37 kg
Apoyos de Losa	N +18.44	7	2	0.0003 m³	7849.05 kg/m³	16.63 kg
Apoyos de Losa	N +18.44	6	3	0.0005 m³	7849.05 kg/m³	21.39 kg
Apoyos de Losa	N +18.44	28	4	0.0006 m³	7849.05 kg/m³	133.14 kg
Apoyos de Losa	N +22.04	4	2	0.0003 m³	7849.05 kg/m³	9.51 kg
Apoyos de Losa	N +22.04	1	3	0.0005 m³	7849.05 kg/m³	3.57 kg
Apoyos de Losa	N +22.04	29	4	<varia>	7849.05 kg/m³	129.57 kg
Apoyos de Losa	N +24.04	5	1	0.0002 m³	7849.05 kg/m³	5.94 kg
Apoyos de Losa	N +24.04	1	2	0.0003 m³	7849.05 kg/m³	2.37 kg
Apoyos de Losa:	275					1049.60 kg

Modelado de las platinas de apoyo

Figura. 118 Modelado de las platinas de apoyo



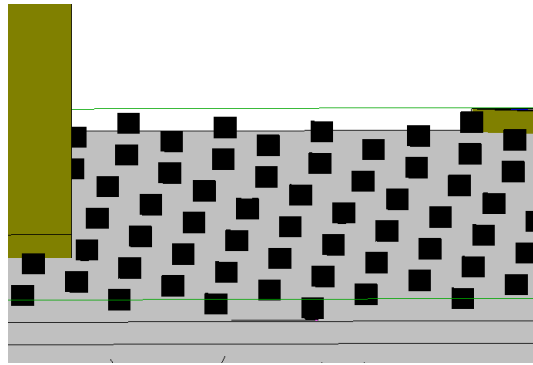
Conectores de losa L 40x40x4

Figura. 119 Tabla de planificación de los conectores L 40x40x4

<Conectores L 40x40x4>					
A	B	C	D	E	F
UPS_Elemento	UPS_Nivel	Recuento	Longitud	Peso por metro	Peso Total
L 40x40x4	Gradas	130	7.540	2.39 kg/m	18.02 kg
L 40x40x4	N +0.44	2087	146.090	2.39 kg/m	349.16 kg
L 40x40x4	N +4.04	1744	122.080	2.39 kg/m	291.77 kg
L 40x40x4	N +7.64	1770	123.900	2.39 kg/m	296.12 kg
L 40x40x4	N +11.24	1987	139.090	2.39 kg/m	332.43 kg
L 40x40x4	N +14.84	1892	132.440	2.39 kg/m	316.53 kg
L 40x40x4	N +18.44	2106	147.420	2.39 kg/m	352.33 kg
L 40x40x4	N +22.04	1549	108.430	2.39 kg/m	259.15 kg
L 40x40x4	N +24.04	119	8.330	2.39 kg/m	19.91 kg
L 40x40x4:	13384		936.320		2236.41 kg

Modelado de los conectores L 40x40x4

Figura. 120 Modelado de los conectores L 40x40x4

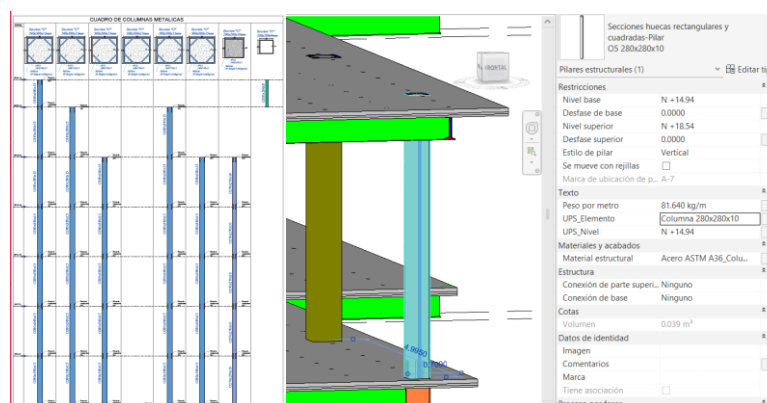


3.4 Comparativa entre metodología BIM y metodología CAD

La metodología CAD se empleó con planos en PDF permitió visualizar de una manera clara el diseño gracias a su simbología estandarizada, uso de colores, detalle de las secciones y descripciones de los elementos. Sin embargo, al tratarse de un entorno 2D, la obtención de información requiere interpretación manual, no se tiene una integración entre vistas y una proyección visual del acabado final de los elementos.

En contraste, al trabajar como BIM mediante Revit®, se obtuvo una ventaja al momento de obtener las cantidades de obra, obtener costos, simular análisis estructurales y desarrollar varios componentes como el estructural, eléctrico, etc. con un clic se accede a toda la información de un elemento y mediante tablas se puede obtener las cantidades de los materiales, ubicación y características esto facilita la gestión de información durante el ciclo del proyecto.

Figura. 121 Comparación de los entornos 2D y 3D del proyecto



3.4.2 Flujo de trabajo con la metodología CAD

Durante el desarrollo de este proyecto, una de las primeras etapas fue la revisión y análisis de los planos estructurales del edificio administrativo de la UPS. Se tuvo acceso a los planos en formato PDF, sin posibilidad de edición directa ni acceso a capas o referencias.

El proceso de trabajo inició con el análisis visual e interpretación de cada lámina, lo que requería aproximadamente 10 minutos por lámina para comprender los elementos, su ubicación, descripciones y relación entre ellos. Para el modelado se requirió una visualización más eficiente debido a la cantidad de detalles, por lo que se tuvo que imprimir los planos en formato A1, esto facilitó la revisión de una manera más rápida lo que redujo el tiempo de modelado.

Otra dificultad fue la interpretación de ciertos elementos poco comunes, como las placas WUF, rigidizadores, fijadores metálicos y los cortes de vigas. A pesar de que el plano incluía detalles en vista 2D, resultaba complicado comprender su forma y colocación en obra, especialmente por falta de experiencia en campo.

Tabla 3. Análisis de limitaciones del flujo de trabajo en CAD

Aspecto	Observación personal
Formato del archivo	PDF, no editable ni escalable directamente
Medición de elementos	Se tuvo que escalar los planos en AutoCAD® para obtener dimensiones
Tiempo de interpretación	Aproximadamente 10 minutos por lamina, para comprender una distribución básica
Gestor de información	Para cuantificar las cantidades de los materiales se traslada los valores del plano a una hoja de cálculo.
Compresión de elementos	Al identificar elementos no conocidos se tiene mayor dificultad para comprender su colocación en obra
Análisis estructural	Se necesita de un software adicional como SAP200® o ETAPS® para crear un modelo analítico.
Coordinación entre vistas	Navegación continua entre laminas para relacionar elementos

3.4.3 Flujo de trabajo con metodología BIM

El modelado se ejecutó en Autodesk Revit® 2024 utilizando un entorno tridimensional paramétrico, donde cada componente estructural fue representado con propiedades específicas como tipo, nivel, sección y material. Esta parametrización permitió crear un modelo digital del proyecto y también una gestión organizada de los datos de cada elemento.

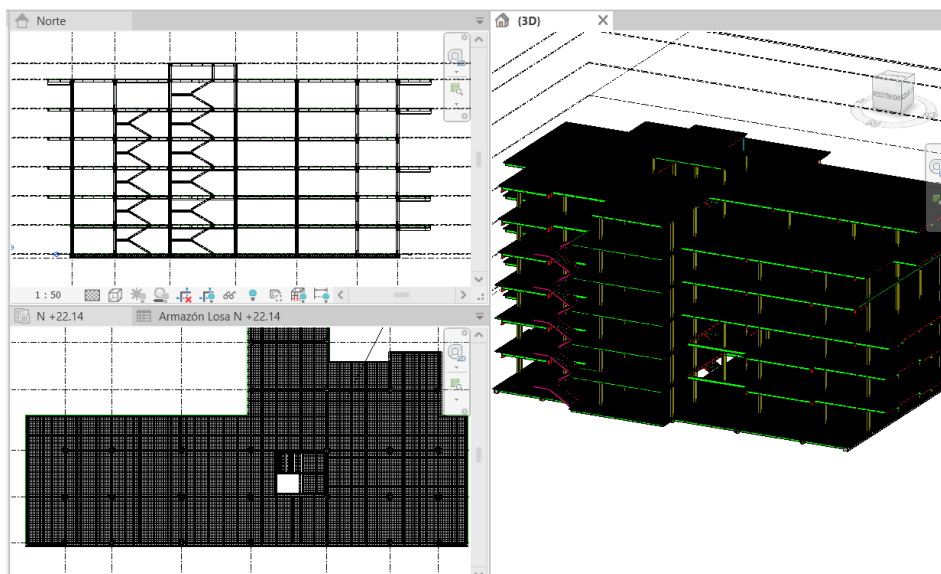
Para la clasificación y control del modelado, se recurrió a herramientas integradas del software como:

- Familias estructurales para la agrupación general de los elementos
- Filtros de visibilidad para segmentar el modelado por niveles y componentes
- Parámetros compartidos personalizados, los más importantes UPS_Elemento y UPS_Nivel, que permitió una subclasificación de las familias
- Vistas en planta, 3D y laterales para navegar entre los elementos modelados

La sincronización automática entre vistas representó una ventaja significativa, donde cualquier modificación realizada se actualiza en todos los entornos, evitando errores de coordinación y reduciendo el tiempo de revisión. También se emplearon cortes 3D para verificar interferencias y validar visualmente la correcta ubicación de los elementos modelados.

El modelado se realizó de forma simultánea en Revit®, aprovechando la funcionalidad de trabajo colaborativo mediante la herramienta Worksharing, lo que permitió una mayor interoperabilidad, coherencia y consistencia de la información entre los distintos usuarios del proyecto.

Figura. 122 Entorno multi visual del modelo del edificio de la UPS



El flujo de trabajo mediante la metodología BIM permitió desarrollar un modelado más preciso, ordenado y comprensible que el que se hubiera logrado mediante métodos tradicionales. Las funciones de visualizar, clasificar y gestionar la información estructural en un entorno digital contribuyeron de manera directa a un mejor entendimiento de la estructura y a una evaluación más eficaz del proyecto.

3.4.4 Comparación directa entre flujos

Como resultado del análisis previo de flujo tradicional con CAD como se indica la sección 3.4.2 y flujo de trabajo con metodología BIM descrita en la sección 3.4.3, se identifican diferencias notables tanto en la gestión de la información, trabajo colaborativo e interpretación de los elementos. La experiencia durante el modelado permitió evidenciar ventajas concretas del entorno BIM en relación con la visualización, la organización de elementos, la extracción de cantidades y cambios presentados en el edificio durante la construcción, aspectos que en CAD requieren procesos manuales, interpretativos y con mayor riesgo de inconsistencias.

Tabla 4. Comparación del flujo de trabajo entre la metodología CAD y BIM

Criterio	Método CAD	Metodología BIM
Tipo de visualización	2D Vistas en planta con secciones detalladas	3D + 2D en un mismo entorno
Extracción de cantidades de obra	Manual con ayuda de hojas de cálculo	Automática y dinámica
Trabajo colaborativo	Se tiene que ir intercambiado los archivos y actualizado constantemente.	Sobre un mismo archivo se trabaja de manera simultánea.
Gestión por niveles	Manual, gestado por laminas	Automático con filtros
Actualización de cambios	Demorada y manual	Programación inmediata
Análisis estructural	Uso de un software adicional para crear un modelo analítico.	Genera modelos analíticos exportables.
Coordinación y revisión	Manual y lenta	Integrada y eficiente

Esta comparación evidencia que la metodología BIM representa más que únicamente evolución tecnológica respecto al CAD, sino también una mejora la gestión y comprensión de los proyectos civiles. La capacidad de integrar la visualización, datos paramétricos y análisis en un único entorno permitió optimizar el proceso de modelado y facilitar la toma de decisiones tanto en la fase de diseño como en la evaluación económica.

3.5 Evaluación técnica y económica

3.5.1 Análisis de cantidades y costos

Como parte del enfoque multidimensional de la metodología BIM, en este apartado aborda el análisis económico simplificado correspondiente a la quinta dimensión, que permite relacionar la geometría del modelado con la estimación de los costos, exclusivamente del modelo estructural.

Las cantidades presentadas a continuación se extrajeron directamente desde las tablas de planificación generadas por Revit® de forma organizada, adicional se colocaron los precios de los materiales. Dado que el análisis mediante los precios unitarios suele variar según factores como el contratista, zona geográfica, situaciones particulares de obra, entre otras condiciones, se ha utilizado el costo de los materiales tomando como referencia los del mercado local.

Tabla 5. Tabla de costo de los materiales- acero estructural en columnas

Descripción	Cantidad	Unidad	Costo unidad	Costo total
O380x380x15	140046.05	kg	\$ 1.82	\$244883.81
O280x280x10	5878.09	kg	\$ 1.82	\$10698.12
O 200x200x8	96.46	kg	\$ 1.82	\$175.56

Tabla 6. Tabla de costo de los materiales- acero estructural en vigas

Descripción	Cantidad	Unidad	Costo unidad	Costo total
Viga Cargadora	104997.37	kg	\$ 1.82	\$191095.21
Viga Amarre	64153.779	Kg	\$ 1.82	\$116759.86
Viga Secundaria	94101.14	kg	\$ 1.82	\$171264.07

Tabla 7. Tabla de costo de los materiales- acero estructural conexiones

Descripción	Cantidad	Unidad	Costo unidad	Costo total
Placa WUF	1192.42	Kg	\$ 1.82	\$2170.20
Placa - V. secundaria	1422.36	Kg	\$ 1.82	\$2588.70
Placa en muro	161.22	Kg	\$ 1.82	\$293.42
Placa base	824.15	Kg	\$ 1.82	\$1499.95
P. continuidad	15653.43	Kg	\$ 1.82	\$28489.24
Platinado respaldo	4034.57	Kg	\$ 1.82	\$7342.92
Platina de apoyo	1049.60	Kg	\$ 1.82	\$1910.27
Conector L40x40x4	2235.41	Kg	\$ 1.17	\$2615.43

Tabla 8. Tabla de costo de los materiales- malla electrosoldada

Descripción	Cantidad	Unidad	Costo unidad	Costo total
R – 84 4mm	11859.50	kg	\$ 1.10	\$130.45.42

Tabla 9. Tabla de costo de los materiales- hormigón premezclado

Descripción	Cantidad	Unidad	Costo unidad	Costo total
F'c240 kg/cm2	19.06	m ³	\$ 95.33	\$1816.99
Inyección de 240	104.36	m ³	\$ 95.33	\$9948.64
Hormigón losas	659.14	m ³	\$ 95.33	\$62835.82

Tabla 10. Tabla de costo de los materiales- acero de refuerzo

Descripción	Cantidad	Unidad	Costo unidad	Costo total
Varilla de 10mm	63.13	Kg	\$ 1.2	\$80.21
Varilla de 16mm	745.11	Kg	\$ 1.2	\$946.29
Varilla de 18mm	17.25	Kg	\$ 1.2	\$21.91
Varilla de 20mm	106.59	Kg	\$ 1.2	\$135.37
Varilla de 22mm	64.41	kg	\$ 1.2	\$81.80

Tabla 11. Tabla de costo de los materiales- rigidizadores

Descripción	Cantidad	Unidad	Costo unidad	Costo total
Rigidizador lateral	3442.56	Kg	\$ 1.82	\$6265.46
Rigidizador de columna	63.84	kg	\$ 1.82	\$116.19

Tabla 12. Tabla de costo de los materiales- placa colaborante

Descripción	Cantidad	Unidad	Costo unidad	Costo total
Deck metálico e=0.65mm	8890.92	m ²	\$ 8.56	\$76106.28

Tabla 13. Tabla de costo de los materiales- gradas interiores

Descripción	Cantidad	Unidad	Costo unidad	Costo total
C200x50x4	4062.36	Kg	\$ 1.17	\$4752.96
C300x50x5	2725.44	Kg	\$ 1.17	\$3188.76
HSS152x101x4	410.34	Kg	\$ 1.17	\$480.10
L40x40x4	464.64	Kg	\$ 1.17	\$543.63
L50x50x5	201.42	Kg	\$ 1.17	\$235.66

Tabla 14. Tabla de costo de los materiales- gradas exteriores

Descripción	Cantidad	Unidad	Costo unidad	Costo total
C200x50x4	1716.35	Kg	\$ 1.17	\$2008.13
C200x75x4	1258.95	Kg	\$ 1.17	\$1472.97
C300x50x5	1994..20	Kg	\$ 1.17	\$2333.21
HSS152x101x4	226.75	Kg	\$ 1.17	\$265.30
L40x40x4	386.10	Kg	\$ 1.17	\$451.74
L50x50x5	111.90	kg	\$ 1.17	\$130.92

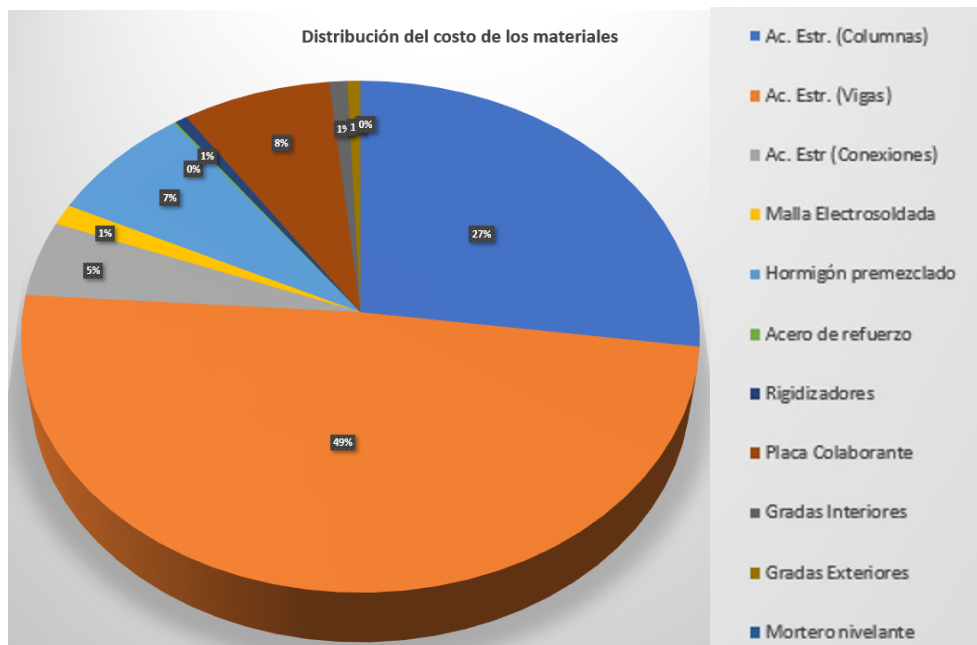
Tabla 15. *Tabla de costo de los materiales- mortero nivelante*

Descripción	Cantidad	Unidad	Costo unidad	Costo total
SikaGrout	0.36	m ³	\$ 1.76	\$0.63
TOTAL				\$724215.38

Nota: *Los precios unitarios utilizados corresponden a valores promedio del mercado local, utilizados únicamente con fines comparativos y de análisis.*

Como complemento de la información,

Figura. 123 *Distribución porcentual del costo de los materiales*



Se puede observar que el acero estructural entre las columnas, placas y vigas terminan siendo un 81% del monto total de edificio modelado, mientras que el hormigón ocupa solo 5% y las placas colaborantes tienen un 8% de participación en el edificio.

3.6 Revisión del modelo BIM en función de ajustes aplicados durante el desarrollo del proyecto

Como parte de la aplicación de la metodología BIM, se realizó una comparación entre el modelado del edificio que se proyectó en un inicio con los planos originales y el modelado ejecutado que representa la obra construida, en esta evaluación permite identificar los cambios como su geometría, gastos presentados, cantidades de material, en el proyecto durante su fase de construcción.

Puesto que permitió a través de los gemelos digitales gestionar el obtener la información de las cantidades de material agregadas y la ubicación de los elementos incorporados.

3.6.1 Evaluación estructura planificado vs construido

Para evaluar los beneficios de la metodología BIM en la gestión de cambios y control de información estructural, se realizó una comparación entre el modelo planificado el cual se basa en los planos estructurales originales del edificio administrativo de la Universidad Politécnica Salesiana, sede Cuenca y el modelo elaborado del levantamiento digital y manual conforme a la obra.

Metodología de comparación

- **Modelo planificado:** elaborado con base en los planos estructurales originales entregados al inicio del proyecto.
- **Modelado construido:** desarrollado a partir de observaciones en obra y planos actualizados, representado fielmente la estructura ejecutada.

3.6.2 Cambios detectados en el edificio proyectado y el ejecutado

Mediante el modelado se detectó varios cambios geométricos en el proyecto, algunos fueron más visibles, se presenta los cambios más considerables en el edificio administrativo.

Descripción de los cambios detectados en los gemelos digitales.

- Aumento del área de la losa en la zona posterior de 11.38 m^2 , en la zona donde se encuentran las escaleras exteriores, esta losa se encuentra en todos los niveles excepto el nivel N +24.14 m.
- Aumento del área de la losa en el lado derecho del edificio, un área de 36.84 m^2 en los niveles N +7.74 m, N +11.34 m y N +14.94 m.
- Incorporación de gradas exteriores, en la zona posterior del edificio, conectando la planta hasta el nivel N +18.54 m.
- Extensión de la losa en el nivel N +22.14 m, en la parte frontal un área de 331.86 m^2 y posterior con un área de 75.49 m^2 .
- Se realizó un agujero en todos los niveles de losa con un área de 5.96 m^2 a lado de las gradas del interior.

Figura. 124 Comparación de los modelos, gradas exteriores

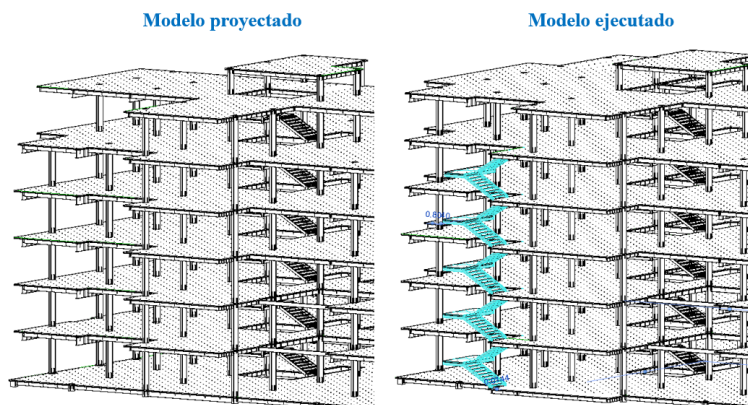
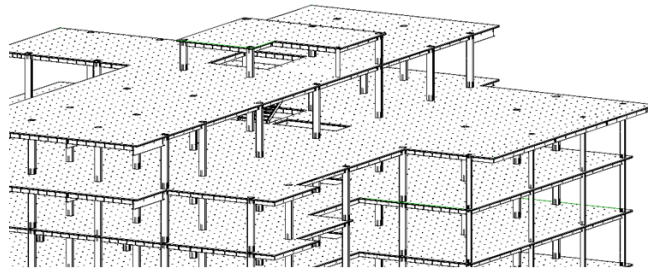


Figura. 125 Comparación de los modelos, extensión de losa N +22.14 m

Modelo proyectado



Modelo ejecutado

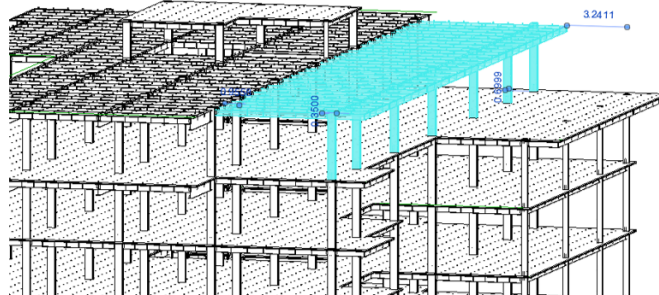
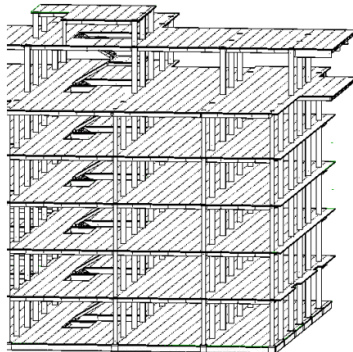


Figura. 126 Comparación de modelos, aumento del acero y losas

Modelo proyectado



Modelo ejecutado

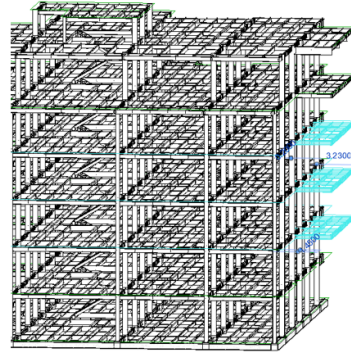
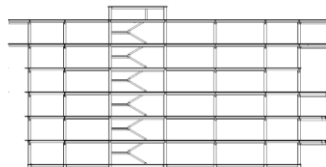


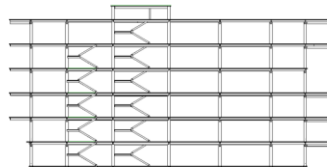
Figura. 127 Comparativa de los modelos entre la vista frontal y lateral

Modelo proyectado

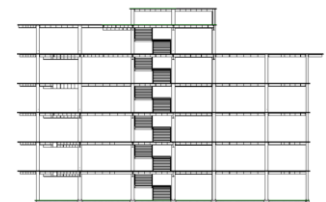
Vista frontal



Modelo ejecutado



Vista lateral



3.6.3 Análisis técnico y económico de los cambios

El entorno BIM permite cuantificar los cambios en el proyecto, facilitando la extracción de cantidades y costos de todos los elementos. En la siguiente tabla se resume las variaciones detectadas entre el modelo planificado y el ejecutado.

Tabla 16 Evaluación económica de lo planificado frente a lo ejecutado.

criterio	Cantidad Planificada	Cantidad Construida	Diferencia	Costo adicional
Ac. Estr. (Columnas)	140450.3 9 kg	14602 0.60 kg	5570.21 kg	\$ 10137.78
Ac. Estr: (Vigas)	242718.0 6 kg	26325 2.28 kg	20534.22 kg	\$ 37372.28
Ac. Estr. (Conexiones)	25392.39 kg	26573. 16 kg	1180.77 kg	\$ 2149.00
Malla electrosoldada	11098.59 kg	11859. 50 kg	760.91 kg	\$ 837.00
Hormigón premezclado	742.81 m ³	782.56 m ³	39.75 m ³	\$ 3789.37
Acero de refuerzo	996.52 kg	996.52 kg	0.00 kg	\$ 0.00
Rigidizadores Estructurales	3261.32 kg	3506.4 0 kg	245.08 kg	\$ 446.05
Placa colaborante	8320.64 m ²	8890.9 2 m ²	570.28 m ²	\$ 4881.60
Gradas interiores	7863.65 kg	7863.6 5 kg	0.00 kg	\$ 0.00
Gradas exteriores	0 kg	5694.2 5 kg	5694.25 kg	\$ 6662.27
Mortero nivelante	0.36 m ³	0.36 m ³	0.00 m ³	\$ 0.00
TOTAL				\$ 66275.35

Nota: Los precios unitarios utilizados corresponden a valores promedio del mercado local, utilizados únicamente con fines comparativos y de análisis.

A continuación, se presenta un gráfico en donde las barras de color naranja describen la diferencia del material empleado en cada ítem, mientras que las barras de color azul representan la inversión empleada referente a la diferencia calculada.

Figura. 128 Análisis de los cambios implementados en el edificio de la UPS

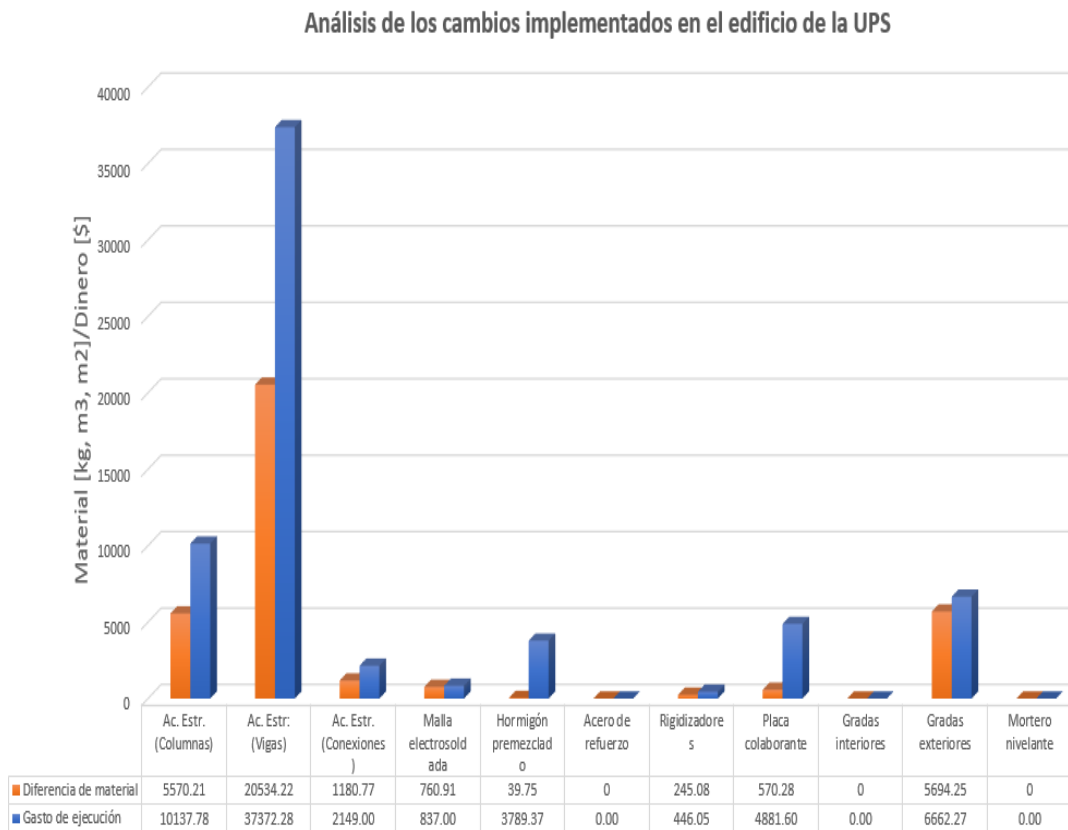


Tabla 17 *Tabla del costo de cada proyecto, análisis de inversión por sección*

Criterio	Valor planificado	Valor ejecutado	Aumento de la inversión
Ac. Estr. (Columnas)	\$ 255619.71	\$ 265757.49	3.96%
Ac. Estr: (Vigas)	\$ 441746.87	\$ 479119.15	8.62%
Ac. Estr. (Conexiones)	\$ 46214.15	\$ 48363.15	4.65%
Malla electrosoldada	\$ 12208.45	\$ 13045.45	6.86%
Hormigón premezclado	\$ 70812.08	\$ 74601.44	5.35%
Acero de refuerzo	\$ 1265.58	\$ 1265.58	0.00%
Rigidizadores Estructurales	\$ 5935.60	\$ 6381.65	7.51%
Placa colaborante	\$ 71224.68	\$ 76106.28	6.85%
Gradas interiores	\$ 9200.47	\$ 9200.47	0.00%
Gradas exteriores	\$ 0.00	\$ 6662.27	100.00%
Mortero nivelante	\$ 0.63	\$ 0.63	0.00%
Total	914228.22	980503.568	
Porcentaje respecto al monto planificado		7.25%	

Nota: *Los precios unitarios utilizados corresponden a valores promedio del mercado local, utilizados únicamente con fines comparativos y de análisis.*

3.6.4 Análisis de los cambios presentados

A partir del análisis comparativo realizado entre el modelo estructural proyectado y el modelo ejecutado, se identificó que los cambios implementados durante la construcción generaron un incremento económico aproximado del 7.25 % en el costo total estimado de materiales empleados. Esta variación corresponde principalmente al aumento de elementos metálicos, ajustes en las losas colaborantes y la incorporación de gradas exteriores, los cuales no estaban contemplados en la etapa de diseño inicial.

Si bien el presente estudio no profundiza en las causas específicas que originaron estas modificaciones, la utilización de la metodología BIM permitió identificar, cuantificar y analizar económicamente dichos cambios de manera eficiente y precisa, utilizando como base el modelo digital del edificio.

3.7 Análisis de comportamiento del contexto estructural mediante el software Robot Structural Analysis®

3.7.1 Justificación del análisis estructural

El presente proyecto no contempla la evaluación estructural como uno de sus objetivos principales. Si embargo, se incluye un análisis estructural simplificado como complemento metodológico a la comparativa entre el uso de BIM y CAD, donde se aprovecha las capacidades del BIM aplicando un modelo analítico.

El análisis se basa en un modelo simplificado, el cual no representa el total de la edificación, ni persigue verificar el cumplimiento normativo en términos estructurales. En cambio, el análisis se restringe exclusivamente al primer nivel del edificio, correspondiente a las cotas N +0.54 m hasta N +4.14 m.

Se analiza el comportamiento relativo de los elementos estructurales ante modificaciones realizadas durante el proceso de construcción, con la finalidad de evidenciar cómo los cambios entre el modelo planificado y el ejecutado modificarán parámetros como la deformación, momentos y esfuerzos. Esto se desarrolla con el fin de aprovechar los recursos de Revit®.

3.7.2 Exportación del modelo estructural desde Revit®

Para el desarrollo del análisis estructural, se empleó el modelo analítico generado en el software de Revit® el cual representa toda la estructura del primer piso, el modelo fue elaborado en base a los planos originales debido a que no hubo mayores cambios en este nivel respecto a lo ejecutado.

Este modelo fue exportado a Robot Structural Analysis® mediante el flujo de trabajo nativo de interoperabilidad de Autodesk® asegurando la transferencia de geometría, materiales, secciones y condiciones de frontera

Durante este proceso, se configuraron las siguientes condiciones estructurales, manteniendo coherencia entre el modelo físico y el analítico:

- Columnas: se considera una base empotrada, simulando una conexión fija que restringe movimientos de rotación y traslación, mientras que en la parte superior de la columna se coloca una condición de momento flector.
- Vigas principales y vigas de amarre: modeladas como elementos de momento flector, representando una conexión monolítica con las columnas. En las vigas que terminan en voladizo no se coloca las condiciones de frontera.
- Vigas secundarias: definidas como elementos articulados, es decir, con extremos libres para rotación, las cuales no aportan rigidez a los nudos.

Antes de proceder con el análisis, Robot Structural Analysis® verifica que todos los componentes estructurales cuenten con propiedades físicas y la conexión entre nodos.

3.7.3 Determinación de las cargas estructurales

Las cargas estructurales aplicadas al modelo analítico se determinaron conforme a los lineamientos establecidos en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC, 2015), tomando en cuenta el uso del edificio, sus características geométricas y los elementos constructivos modelados.

Carga muerta (D)

Para el cálculo de la carga muerta se realizan dos análisis:

Elementos estructurales modelados: abarca columnas, vigas e inyecciones de hormigón. Para esta parte se utilizaron las tablas de planificación extraídas del modelado en Revit®, en donde el acero se cuantificó para los niveles no modelados.

Mientras que el volumen del hormigón se multiplicó por la densidad, según NEC-SE-CG (2015), Sección 4.1, Tabla 8, establecida en 22 kN/m^3 para hormigones simples.

Losa colaborante tipo Deck: la carga de la losa se compone del peso del hormigón estructural y del sistema de placas colaborantes. Según la NEC-SE-CG (2015), Sección 4.1, tabla 8, la densidad del hormigón armado es de 24 kN/m^3 . En base a esta densidad y considerando un espesor promedio de 7.5 cm, se calculó una carga aproximada 1.8 kN/m^2 para el concreto vertido sobre la placa.

Adicionalmente, se sumó el peso de la placa tipo Deck, obtenida de la ficha técnica del proveedor Dismetal (2025), en la cual se indica que una lámina de 0.65 mm de espesor posee un peso propio de 6.37 kg/m^2 , obteniendo 0.0625 kN/m^2 .

Carga viva (L)

Dado que el proyecto corresponde a un edificio administrativo, según NEC-SE-CG (2015) se establecen valores según la funcionalidad del espacio. En ausencia de planos arquitectónicos detallados que precisen la función de cada espacio se adoptó el valor más desfavorable de 4.8 kN/m² con el fin de mantener un criterio estructural conservador.

Carga Sísmica (S)

El cálculo de cortante basal según lo descrito en la NEC-SE-DS (2015), Sección 6.3.2. y Sección 6.3.3 para la aplicación en el análisis estructural se calcula en base al siguiente orden.

Cálculo del periodo de vibración, NEC-SE-DS (2015), Sección 6.3.3

$$T_a = C_t h_n^\alpha = 0.791 \quad (1)$$

Tabla 18 Tabla de valores el periodo de vibración

Símbolo	Descripción	Valor
C_t	Coficiente de dependiente del tipo de edificio, estructura de acero con arriostramiento	0.073
α	Coficiente de dependiente del tipo de edificio, estructura de acero con arriostramiento	0.75
h_n	Altura máxima de la edificación de n pisos.	24.14 m

Cálculo del cortante basal, NEC-SE-DS (2015), Sección 6.3.2

$$V = \frac{I S_a(T_a)}{R \phi_p \phi_E} = 0.0183 \quad (2)$$

Tabla 19 Tabla de valores para el cortante basal

Símbolo	Descripción	Valor
I	Importancia, edificio educativo	1.5
Sa (Ta)	Espectro de diseño de aceleración, en función de Ta	0.0973
R	Factor de reducción de resistencia sísmica, estructura dúctil	8
ϕ_p	Coefficiente de configuración en planta, común	1
ϕ_E	Coefficiente de configuración en elevación, común	1

3.7.4 Cálculo de las cargas por nivel y origen de los valores

En esta sección se presenta el procedimiento para obtener los valores de las cargas gravitacionales y distribuidas del modelo ejecutado, se presenta progresivamente en la Tabla 20 y Tabla 21 de igual manera se presenta las cargas para el modelo planificado en la Tabla 22 y Tabla 23.

a) Fuente de datos y estructura de las tablas

Los datos utilizados para el cálculo de las cargas fueron obtenidos directamente desde el modelo BIM elaborado en Revit®, mediante el uso de tablas de planificación estructural. Estas tablas contienen la información de área por nivel en m², así como los volúmenes y pesos individuales de los siguientes componentes estructurales:

- **Inyección de hormigón estructural:** volumen en m³
- **Vigas principales y secundarias:** peso total en kg por nivel.
- **Columnas metálicas:** peso total en kg por nivel.

Esta información fue exportada a hojas de cálculo para su procesamiento y conversión a unidades de kilonewton, permitiendo así consolidar los valores por tipo de acción: carga muerta, carga viva y carga sísmica.

b) Cálculo de carga muerta (D)

La carga muerta de cada nivel se calculó como la suma de todos los pesos propios de los elementos estructurales descritos, más la carga correspondiente a la novalosa:

Peso propio (vigas, columnas e inyección): los pesos se exportaron del modelo estructural por nivel. Esto se realizó para todos los niveles no modelados.

Novalosa: se calcula a partir de los componentes de hormigón armado con un valor de 1.8 kN/m² y la placa colaborante con 0.0625 kN/m², estos valores fueron establecidos en el capítulo 3.7.3, la suma de estos valores se multiplica por el área de cada piso.

Solo en el primer nivel se considera la carga de la losa en forma de cara distribuida, que se colocará sobre las vigas secundarias, 1.86 kN/m² se divide para el ancho promedio de las vigas que es de 1.30 m, teniendo como resultado una carga de 1.43 kN/m, la carga del peso propio no se aplica debido a que el primer piso está modelado.

c) Cálculo de la carga viva (L)

Con el valor de 4.8 kN/m² establecido en el capítulo 3.7.3, se multiplica por el área de cada nivel del edificio para obtener la carga en cada nivel. En el primer nivel se aplica una carga distribuida donde se divide 4.8 kN/m² para la separación promedio de 1.30 m de las vigas secundarias, obtenido una carga distribuida de 3.69 kN/m.

d) Cálculo de la carga sísmica (S)

Con el coeficiente del cortante basal 0.0183 que se estableció en el capítulo 3.7.3, se aplica a la carga muerta del edificio de todos los niveles no modelados, en el primer nivel se aplica el coeficiente sísmico de 0.0183 a la carga correspondiente a la losa 3.69 kN/m para tener una carga distribuida sísmica de 0.03 kN/m.

A continuación, en la Tabla 20 se presenta la información mencionada con respecto a las cargas distribuidas del modelo ejecutado y la Tabla 21 las cargas puntuales.

Tabla 20 Tabla de cálculo de las cargas distribuidas, con base en el proyecto ejecutado

Nivel	Peso de la estructura				Cargas		
	Área [m ²]	Inyección [kN]	Vigas [kN]	Columnas [kN]	Muerta [kN/m]	Viva [kN/m]	Sísmica [kN/m]
N +0.44	1127.34	421.44	[-]	[-]	1.43	3.69	0.03

Tabla 21 Tabla de cálculo de las cargas puntuales, con base en el proyecto ejecutado

Nivel	Peso de la estructura				Cargas		
	Área [m ²]	Inyección [kN]	Vigas [kN]	Columnas [kN]	Muerta [kN]	Viva [kN]	Sísmica [kN]
N+4.14	1165.67	412.32	373.55	236.18	3193.10	5595.22	58.43
N+7.74	1305.47	412.32	405.53	236.18	3485.46	6266.26	63.78
N+11.34	1244.33	412.32	379.91	236.18	3345.96	5972.78	61.23
N+14.94	1365.30	412.32	421.29	236.18	3612.65	6553.44	66.11
N+18.54	1139.67	357.6	334.23	206.43	3020.88	5470.42	55.28
N+22.14	80.41	29.28	19.22	17.81	216.07	385.97	3.95
				Acumulado	17295.55	30244.08	308.8

La Tabla 22 presenta la información mencionada con respecto a las cargas distribuidas del modelo planificado.

Tabla 22 *Tabla de cálculo de las cargas distribuidas, con base en el proyecto planificado*

Nivel	Peso de la estructura				Cargas		
	Área [m ²]	Inyección [kN]	Vigas [kN]	Columnas [kN]	Muerta [kN/m]	Viva [kN/m]	Sísmica [kN/m]
N +0.44	1123.663	421.44	[-]	[-]	1.43	3.69	0.03

La Tabla 23 presenta la información mencionada con respecto a las cargas puntuales del modelo planificado.

Tabla 23 *Tabla de cálculo de las cargas puntuales, con base en el proyecto planificado*

Nivel	Peso de la estructura				Cargas		
	Área [m ²]	Inyección [kN]	Vigas [kN]	Columnas [kN]	Muerta [kN]	Viva [kN]	Sísmica [kN]
N+4.14	1126.46	412.32	357.40	236.18	3103.92	5407.01	56.80
N+7.74	1265.86	412.32	389.32	236.18	3395.47	6076.13	62.14
N+11.34	1207.16	412.32	363.70	236.18	3260.52	5794.37	59.67
N+14.94	1361.77	412.32	405.12	236.18	3589.90	6536.50	65.70
N+18.54	746.43	262.8	211.22	151.79	2016.03	3582.86	36.89
N+22.14	80.41	29.28	19.22	17.81	216.07	385.97	3.95
				Acumulado	16003.35	27782.83	285.15

3.7.5 Aplicación de cargas al modelo estructural

Una vez determinadas las cargas estructurales por nivel, se procedió con su aplicación en el modelo analítico del primer nivel. Este modelo, corresponde a un análisis simplificado y tiene como objetivo comparar el comportamiento estructural entre lo planificado y el ejecutado. La aplicación de cargas se dividió en dos tipos:

Cargas distribuidas (kN/m)

Estas se aplicaron exclusivamente sobre las vigas secundarias del nivel modelado, considerando:

- **Carga muerta:** peso de la novalosa.
- **Carga viva:** uso administrativo.
- **Carga sísmica:** proporcional al cortante basal de la carga muerta.

Dado que el modelo incluye ya los elementos estructurales como vigas y columnas, el peso propio fue automáticamente reconocido por el software y no se consideró como carga externa adicional. Estas cargas reflejan las demandas que actúan directamente sobre la planta modelada y permiten simular su comportamiento bajo condiciones de servicio.

Cargas puntuales (kN)

Las cargas acumuladas correspondientes a los niveles superiores del edificio, que no fueron modelados en este análisis, se aplicaron como cargas puntuales verticales directamente sobre las 41 columnas del modelo, están integradas por las cargas muertas, vivas y sísmicas de forma acumulada y fueron distribuidas considerando la capacidad portante relativa de cada sección:

- A las 37 columnas de sección $380 \times 380 \times 15$ mm con un área de 219 cm^2 se les asignó la carga completa correspondiente.
- A las 4 columnas de sección $280 \times 280 \times 10$ mm con un área de 108 cm^2 se redujo la carga completa, en proporción a su menor área transversal.

$$\%Reducción = \frac{A_{380 \times 380 \times 15} - A_{280 \times 280 \times 10}}{A_{380 \times 380 \times 15}} \cdot 100 = 50.68 \quad (3)$$

Este criterio permite reflejar una distribución más realista de las demandas gravitacionales y puntuales acumuladas sin requerir un modelo completo del edificio.

Tabla 24 Cargas aplicadas sobre el modelo

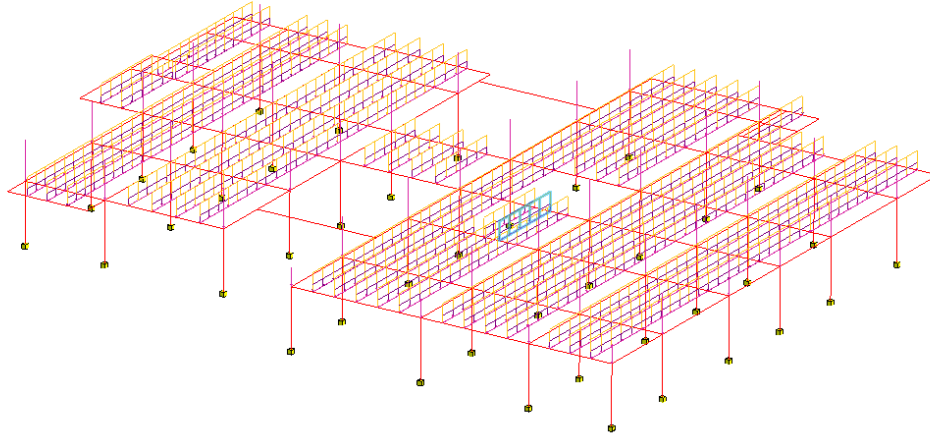
Tipo de carga	Elemento	Planificado	Ejecutado
Carga muerta [kN/m]	Viga secundaria	1.43	1.43
Carga muerta [kN]	Columna $380 \times 380 \times 15$	411.42	444.65
	Columna $280 \times 280 \times 10$	195.16	210.92
Carga Viva [kN/m]	Viga secundaria	3.69	3.69
Carga Viva [kN]	Columna $380 \times 380 \times 15$	714.26	777.53
	Columna $280 \times 280 \times 10$	338.82	368.83
Carga sísmica [kN/m]	Viga secundaria	0.03	0.03
Carga sísmica [kN]	Columna $380 \times 380 \times 15$	7.33	7.94
	Columna $280 \times 280 \times 10$	3.48	3.77

Aumento proporcional de cargas por nivel: las cargas aplicadas reflejan un incremento global entre el modelo planificado y el ejecutado:

- Carga muerta: 7.47 % de incremento.
- Carga viva: 8.14 % de incremento.

- Carga sísmica: 7.65 % de incremento.

Figura. 129 Modelado de la planta 1, en Robot Structural Analysis®

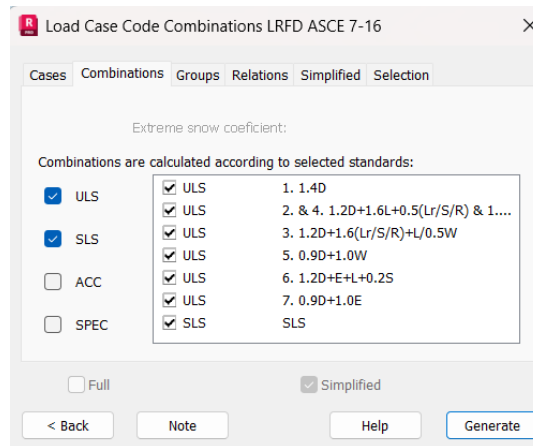


3.7.6 Resultados del análisis estructural

El análisis estructural del modelo fue desarrollado en el software Robot Structural Analysis®, empleando el sistema de combinaciones de carga definido automáticamente por el programa bajo el criterio de diseño LRFD ASCE 7-16, que incluye los siguientes estados límite:

- **ULS (Estado límite último):** evalúa la resistencia máxima de los elementos estructurales frente a las demandas.
- **SLS (Estado límite de servicio):** controla deformaciones excesivas y desplazamientos.
- **ACC (Accidental):** combinación asociada a eventos poco probables como explosiones o colisiones.
- **SPEC (Espectral):** combinación asociada al análisis sísmico espectral.

Figura. 130 Combinaciones de cargas empleadas



Para fines comparativos se seleccionaron los elementos más desfavorables de cada tipo en el modelo planificado y en el modelo ejecutado. La selección corresponde tanto al criterio numérico como a la importancia estructural del elemento en el sistema.

Los valores obtenidos se registraron en tablas comparativas, reflejando el comportamiento diferencial de cada componente estructural:

Tabla 25 Tabla de resultados de las deflexiones

Elemento	Sitio	Planificado	Ejecutado	Variación	Comb.
C. 380x380x15	B7	-0.953 cm	-1.500 cm	36.47 %	ULS
C. 280x280x10	A4	-0.461 cm	-1.123 cm	58.95 %	ULS
V. Cargadora	B 2-3	-1040.9 cm	-1481.4 cm	29.73 %	ULS
V. Amarre	3 B-C	-3121.7 cm	-4371.8 cm	28.59 %	ULS
V. Secundaria	4-5 E-G	1090.6 cm	5299.0 cm	79.42 %	ULS

Nota: “Comb.” corresponde a la combinación de carga estructural utilizada (ULS, SLS, ACC o SPEC).

Tabla 26 *Tabla de resultados de los esfuerzos,*

Elemento	Sitio	Planificado	Ejecutado	Variación	Comb.
C. 380x380x15	E3	2673.5 MPa	3423.2 MPa	21.9 %	ULS
C. 280x280x10	A4	629.66 MPa	1437.2 MPa	56.18 %	ULS
V. Cargadora	D 2-3	12265.8 MPa	12322.1 MPa	0.47 %	ULS
V. Amarre	5 B-C	11011.8MPa	14615.1 MPa	24.65 %	ULS
V. Secundaria	2-3 D-E	14705.7MPa	16280.8 MPa	9.67 %	ULS

Nota: “Comb.” corresponde a la combinación de carga estructural utilizada (ULS, SLS, ACC o SPEC).

Tabla 27 *Tabla de resultados de las fuerzas, Fz*

Elemento	Sitio	Planificado	Ejecutado	Variación	Comb.
V. Cargadora	G 2-3	1712.27 kN	1853.38 kN	7.61 %	ULS
V. Amarre	3 C-D	3111.93 kN	4527.75 kN	31.27 %	ULS
V. Secundaria	6-7 E-G	25.08 kN	25.08 kN	0.00 %	ULS

Nota: “Comb.” corresponde a la combinación de carga estructural utilizada (ULS, SLS, ACC o SPEC).

Tabla 28 *Tabla de resultados de momentos flectores*

Elemento	Sitio	Planificado	Ejecutado	Variación	Comb.
C. 380x380x15	C4	1723.2kN*m	3523.4 kN*m	51.09 %	ULS
C. 280x280x10	A4	825.1 kN*m	944.4 kN*m	12.63 %	ULS

Nota: “Comb.” corresponde a la combinación de carga estructural utilizada (ULS, SLS, ACC o SPEC).

Incremento significativo en los momentos flectores de columnas: la columna de sección $280 \times 280 \times 10$ mm ubicada en el punto A4 presentó un aumento del 67.79 % en el momento flector lo que refleja un cambio considerable en las demandas estructurales producto de variaciones geométricas y cargas acumuladas.

Cambios importantes en las deflexiones de vigas: las vigas cargadoras y de amarre registraron incrementos considerables, por ejemplo, la viga secundaria entre E-G (4-5) tiene una variación del 79.42 %, evidenciando una disminución en la rigidez relativa del sistema estructural.

Esfuerzos internos elevados: la viga secundaria entre D-E (2-3) evidenció un incremento del 9.67 %. Este comportamiento puede asociarse a la redistribución de cargas y cambios en la geometría de los elementos.

Diferencias acumuladas en fuerzas y reacciones: las cargas verticales y reacciones también presentaron incrementos especialmente en columnas de mayor sección. Por ejemplo, la columna $380 \times 380 \times 15$ mm situada C3, presentó un incremento del 2.91 % en la reacción axial como resultado del mayor peso estructural acumulado.

CONCLUSIONES

La aplicación de la metodología BIM mediante el programa Revit® para el modelado estructural del edificio administrativo de la Universidad Politécnica Salesiana mostró ventajas significativas frente a la metodología CAD utilizada originalmente. Se evidenció que el trabajo en CAD, basado en planos 2D no modificables, requiere más tiempo y esfuerzo para analizar y extraer información. Esta limitación fue notable en la fase inicial, donde fue necesario acotar manualmente en AutoCAD® por la falta de medidas en detalles específicos, como se detalló en el apartado 3.4.2. Además, elementos como placas WUF, rigidizadores, fijadores metálicos y cortes de vigas resultaban complejos de interpretar en cuanto a forma y ubicación. Por otro lado, la metodología BIM permitió obtener un modelo 3D inteligente, en el que cada elemento contiene sus datos técnicos, facilitando la visualización y el acceso a la información para todos los actores del proyecto.

Durante el desarrollo, se identificaron cambios relevantes en la estructura no contemplados en los planos originales CAD, capítulo 3.6.2 tales como la incorporación de gradas exteriores en la zona posterior hasta el nivel N +18.54, un aumento total de 11.38 m² en el área de losas en todos los niveles salvo el N +24.14, un incremento de 36.84 m² en los niveles N +7.74, N +11.34 y N +14.94, y una extensión de 407.35 m² en el nivel N +22.14, además de un agujero de 5.96 m² en todos los niveles. Gracias al entorno digital BIM, estas variaciones se integraron rápidamente al modelo, actualizando automáticamente las cantidades de materiales y evidenciando un control preciso y detallado como se observa en la Tabla 16. De esta manera, se demostró que BIM no solo es útil para el modelado, sino también para la gestión y adaptación eficiente de la información durante la construcción.

Finalizado el modelado, se extrajeron de manera eficiente las cantidades de materiales como hormigón, acero estructural, etc. y se vincularon a precios del mercado local con fines comparativos, lo que permitió demostrar la solvencia técnica y económica de la metodología BIM frente al enfoque tradicional CAD. El análisis económico evidenció que los cambios de último momento generaron un incremento del 7,25 % respecto al presupuesto planificado, siendo el acero estructural el componente con mayor impacto, al representar el 81 % del costo total. Paralelamente, el análisis estructural, aunque basado en un modelo simplificado permitió identificar variaciones significativas en el comportamiento de los elementos, destaca el incremento del 56,18 % en esfuerzos de la columna $280 \times 280 \times 10$ mm, atribuido a cambios geométricos en los niveles superiores y de carga. Las conexiones rígidas configuradas en el modelo limitaron la aparición de momentos en vigas principales y secundarias, y aunque las diferencias en cargas entre modelos fueron menores al 8 %, las demandas internas mostraron variaciones relevantes. Estos resultados confirman que el uso de BIM facilita una gestión integrada de información técnica y económica, permitiendo análisis precisos, segmentados y dinámicos ante modificaciones del proyecto.

RECOMENDACIONES

Estandarizar la nomenclatura y clasificación de elementos desde el inicio: para evitar confusiones futuras y mantener la información ordenada y comprensible, se recomienda establecer un sistema claro y uniforme para nombrar los elementos estructurales, identificándolos según su tipo, ubicación y nivel dentro del edificio.

Creación de elementos personalizados en Revit® mediante modelado in situ: se recomienda emplear esta técnica para construir componentes estructurales que no se encuentren en las familias estándar de Revit® o que requieran formas específicas. Esto permite una representación más precisa y ajustada a la realidad del proyecto.

Realizar revisiones periódicas del modelo: durante el proceso de modelado es fundamental considerar posibles ajustes o modificaciones no contempladas en el diseño inicial. Actualizar el modelo constantemente asegura que el gemelo digital se mantenga alineado con la obra en ejecución, facilitando la gestión y el control del proyecto.

En cuanto al análisis estructura se recomienda que en futuras investigaciones se amplíe el modelo analítico a toda la estructura, considerando conexiones estructurales completas, condiciones de borde reales y análisis dinámico avanzado, para obtener una representación más precisa del desempeño estructural bajo diferentes combinaciones de carga.

BIBLIOGRAFÍA

- Autodesk. (2023). *Gemelo digital: el modelo inteligente de datos, futuro de la edificación*. Autodesk. <https://www.autodesk.com/es/design-make/articles/digital-twin-explained>
- Autodesk. (2024). *Robot Structural Analysis*. Autodesk. <https://www.autodesk.com/products/robot-structural-analysis/overview>
- Azhar, S. (2011). Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry. *Leadership and Management in Engineering*, 11(3), 241–252. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)LM.1943-5630.0000127](https://doi.org/10.1061/(ASCE)LM.1943-5630.0000127)
- Barnes, P., & Davies, N. (2014). *BIM in Principle and in Practice*. ICE publishing London.
- BIM Forum Chile. (2017). *Guía inicial para implementar BIM en las organizaciones – BIM Forum Chile*. <https://bimforum.cl/download/guia-inicial-para-implementar-bim-en-las-organizaciones/>
- Blanco-Diazgranados, M. A. (2018). *Cambiando el chip en la construcción, dejando la metodología tradicional de diseño CAD para aventurarse a lo moderno de la metodología BIM*.
- Candelario-Garrido, A., García-Sanz-Calcedo, J., & Reyes Rodríguez, A. M. (2017). A quantitative analysis on the feasibility of 4D Planning Graphic Systems versus Conventional Systems in building projects. *Sustainable Cities and Society*, 35, 378–384. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.08.024>
- Cappuyns Jordán, M. (2020). *Estudio de implementación de herramientas BIM en una ingeniería*.

- Carrera Cosavalente, M. E. (2023). *Aplicación de la metodología Building Information Modeling (BIM) para determinar la incidencia del presupuesto en proyecto de obras civiles, canalizaciones eléctricas y sanitarias*. Universidad Nacional de Cajamarca.
- Chiu Rocha, L. A., López Silva, R. B., Silva Guerrero, E. L., & López Ortega, E. U. (2022). SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE MATERIALES EN OBRAS UTILIZANDO INTERNET DE LAS COSAS (IOT). *26th International Congress on Project Management and Engineering*, 525–544.
<http://dSPACE.aepro.com/xmlui/handle/123456789/3292>
- Coloma Picó, E. (2008). *Introducción a la tecnología BIM*.
<http://www.practicaintegrada.com/storage/tecnologiabim/Introducción%20a%20la%20Tecnología%20BIM.pdf>
- Das, K., Khursheed, S., & Paul, V. K. (2025). The impact of BIM on project time and cost: insights from case studies. *Discover Materials*, 5(1), 25.
<https://doi.org/10.1007/s43939-025-00200-2>
- Deusto Formación. (2023). *¿Qué es y para qué sirve Autodesk Robot?* Deusto Formación. <https://www.deustoformacion.com/blog/diseño-arquitectónico/que-es-para-que-sirve-autodesk-robot>
- Eastman, C. M. . (2008). *BIM handbook : a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors*. Wiley.
- Gómez-Valdés, M., Acevedo-Acevedo, S., Alvarado-Acuña, L., & Iturra-Molina, R. (2023a). Impacto de la metodología BIM en la gestión de proyectos de construcción. *Revista Tecnología En Marcha*, 36(7), Pág. 66-77.
<https://doi.org/10.18845/tm.v36i7.6860>

- Gómez-Valdés, M., Acevedo-Acevedo, S., Alvarado-Acuña, L., & Iturra-Molina, R. (2023b). Impacto de la metodología BIM en la gestión de proyectos de construcción. *Revista Tecnología En Marcha*.
<https://doi.org/10.18845/tm.v36i7.6860>
- Hildebrandt Gruppe. (2016a). *Dimensiones de BIM en proyectos de alta complejidad*.
<https://www.hildebrandt.cl/dimensiones-bim-proyectos-de-alta-complejidad/>
- Hildebrandt Gruppe. (2016b). *Profundidad de las dimensiones BIM en proyectos de alta complejidad*. <https://www.hildebrandt.cl/dimensiones-bim-proyectos-de-alta-complejidad/>
- International Organization for Standardization (ISO). (2018). *ISO 19650-1:2018(en), Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) — Information management using building information modelling — Part 1: Concepts and principles*. ISO. <https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso:19650:-1:ed-1:v1:en>
- Kreider, Randy., & Messner, John. (2013). *Building Information Modeling: Planning and Managing Construction Projects*. McGraw-Hill Education.
- López Picón, L. E., & Tapia Poveda, A. J. (2023). *Implementación de la metodología Building Information Modeling (BIM) al desarrollo del proyecto “edificio Pan Real” de la ciudad de Cuenca*. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/25765>
- Martínez-Manso, H., & Delgado-Fernández, T. (2022). Arquitectura básica de diseño de gemelos digitales para la construcción. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 12(2), 327–336.

Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI). (2015). *Norma Ecuatoriana de la Construcción. NEC-SE-CG: Cargas generales*. Quito, Ecuador.

Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI). (2015). *Norma Ecuatoriana de la Construcción. NEC-SE-DS: Peligro sísmico y diseño sismo resistente*. Quito, Ecuador.

Muñoz García, G. (2020). *Interoperabilidad en el entorno BIM: Mejoramiento de los procesos de diseño y comunicación a partir de la implementación del concepto OpenBIM*. Universidad Nacional de Colombia.

Naranjo Bejarano, D. C. (2021). *Implementación de la metodología BIM para la gestión de proyectos de construcción*. Bogotá.

Naranjo, D. (2021). *IMPLEMENTACION DE LA METODOLOGIA BIM PARA LA GESTION DE PROYECTOS*.

NBS. (2017). *What is the PAS 1192 framework?* NBS.

<https://www.thenbs.com/knowledge/what-is-the-pas-1192-framework>

Pampliega, C. J. (2019). Inteligencia artificial en el sector de la construcción= Artificial intelligence in construction sector. *Building & Management*, 3(2), 1–5.

Piaseckienė, G. (2022). DIMENSIONS OF BIM IN LITERATURE: REVIEW AND ANALYSIS. *Mokslas - Lietuvos Ateitis*, 14(0), 1–11.

<https://doi.org/10.3846/mla.2022.16071>

Saavedra Ortega, R. (2023). *Análisis comparativo mediante AHP de los procesos de cubicación de obra gruesa en edificaciones en altura utilizando metodologías CAD y BIM : caso de estudio edificio New Cycle, Concepción, Chile* [Universidad Andrés Bello]. <https://repositorio.unab.cl/handle/ria/54823>

- Sacks, R., Eastman, C., Lee, G., & Teicholz, P. (2018). *BIM Handbook: A guide to Building Information Modeling for owners, designers, engineers, contractors and facility managers: Vol. 3rd ed* (3rd ed). John Wiley & Sons.
- Smith, P. (2014a). BIM & the 5D Project Cost Manager. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 119, 475–484. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.03.053>
- Smith, P. (2014b). BIM & the 5D Project Cost Manager. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 119, 475–484. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.03.053>
- Solibri. (2018). *New Solibri BCF Connector improves the live connection to BIMcollab®*. <https://www.solibri.com/articles/new-solibri-bcf-connector-improves-live-connection-bimcollab>
- Succar, B. (2009). Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. *Automation in Construction*, 18(3), 357–375. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2008.10.003>
- WILMER ROLANDO GONZALEZ VILLAMIL, & CAMILO ANDRES LESMES FABIAN. (2017). *Siete Dimensiones de un Proyecto de Construcción Con La Metodología Building Information Modeling*. https://www.researchgate.net/publication/339300817_Siete_dimensiones_de_un_proyecto_de_construccion_con_la_metodologia_Building_Information_Modeling_Revista_LEsprit_Ingenieux_8_1_2017

ANEXOS

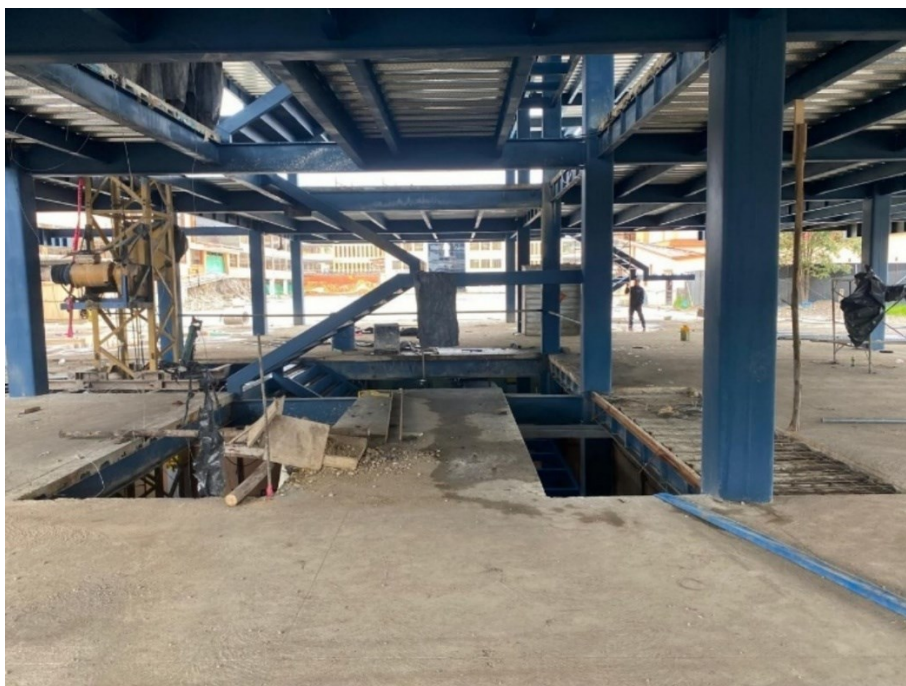
Anexo 1. Vista general del edificio en proceso constructivo



Anexo 2. Vista general del edificio en proceso constructivo



Anexo 3. Vista en obra de la losa y área de gradas



Anexo 4. Imagen general del edificio administrativo en obra

