

**IMPLEMENTACIÓN DE BUILDING INFORMATION MODELING (BIM) EN
PROYECTOS DE DISEÑO ARQUITECTÓNICO Y CONSTRUCCIÓN,
CASO DE ESTUDIO EN PROYECTO DE VIVIENDA**

NICOLÁS MARTÍNEZ OSPINA

Trabajo de grado

Magister en ingeniería

Énfasis en gerencia de la construcción

Tutor: Luis Fernando Botero Botero.

Medellín, Colombia

Universidad EAFIT

Facultad de ingeniería civil

2019

Jurado:

Nota:

Medellín, 01 de octubre de 2019

Agradecimientos

Me parece extraordinario poder estar escribiendo por fin estas palabras, pues significa que finalmente este trabajo de grado verá la luz. Ha sido un camino de mucho trabajo y esfuerzo, que llega a su fin. Por ello quiero dedicar unas líneas a las personas que de una forma explícita han formado parte de mi vida durante el transcurso de esta investigación

En primer lugar y como parte fundamental de este trabajo quiero agradecer a mi director de trabajo, Luis Fernando Botero, Magister en Ciencias de la Administración, por su tenacidad y paciencia, pero sobre todo por el entusiasmo que me ha transmitido durante este tiempo, en cada una de las fases de este trabajo. Después de cada tutoría, me cargaba de energía positiva para continuar con la investigación y el estudio. Gracias Luis por aportarme de tu conocimiento y experiencia.

A aquellos integrantes de la empresa OA+M que de alguna manera aportaron a la ejecución de este trabajo y al crecimiento de la empresa.

Gracias a mi familia y a todas las personas que en algún momento me alentaron y pensaron lo conseguiría.

Contenido

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	8
ÍNDICE DE TABLAS	14
RESUMEN.....	15
ESTRUCTURA DEL ESTUDIO.....	16
1. FORMULACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	18
1.1. Introducción.....	18
1.2. Motivación	19
1.3. Planteamiento del problema.....	20
1.4. Justificación.....	21
1.5. Preguntas de investigación	22
1.6. Objetivos	23
1.6.1. Objetivo general	23
1.6.2. Objetivos específicos	23
1.7. Estrategias del estudio.	24
2. MARCO TEÓRICO	25
2.1. Introducción.....	25
2.2. Qué es BIM	27
2.3. CAD. Origen y antecedentes del BIM.....	29
2.4. Dimensiones del BIM.....	31
2.5. Niveles de desarrollo LOD.....	34
2.6. Ciclo de vida del proyecto BIM	39
2.7. Etapas del desarrollo BIM	40
2.8. Ventajas del BIM	42
2.9. Barreras o dificultades del BIM.....	46

2.10.	Normatividad del BIM	50
2.11.	Software BIM.....	52
3.	ESTADO DEL ARTE	54
3.1.	Introducción.....	54
3.2.	Discusión actual	55
3.3.	“Prevención de colisiones” en vez de “detección de colisiones”.....	56
3.4.	Retorno de la inversión.....	58
3.5.	Trasfondo del BIM	61
3.6.	Estado del BIM a nivel mundial.	62
3.6.1.	Europa.....	63
3.6.2.	Estados Unidos de América	64
3.6.3.	Oceanía.....	65
3.6.4.	Asia	65
3.6.5.	Latinoamérica.....	66
3.7.	Cómo se está implementando el BIM en Colombia.....	67
3.7.1.	ASOBIM (Asociación Colombiana de BIM)	68
3.7.2.	BIM Fórum Colombia	69
3.7.3.	Camacol Innova 2020	69
3.8.	Cómo aplica el BIM a diseñadores y constructores.....	70
4.	MARCO PRÁCTICO.....	73
4.1.	Actividades a desarrollar	73
4.2.	La empresa OA+M	76
4.2.1.	Flujo de trabajo actual en OA+M.....	77
4.3.	Generalidades del proyecto.....	80
4.4.	Proceso de estructuración del proyecto	81
4.5.	Descripción del proyecto	84
4.6.	Proceso de diseño arquitectónico del proyecto	85
4.6.1.	Volumetría básica – idea básica	88

4.6.2. Síntesis proyectual - anteproyecto	92
4.7. Programa arquitectónico - proyecto.....	95
4.7.1. Tipología de 1 alcoba	95
4.7.2. Tipología de 2 alcobas	96
4.7.3. Tipología de 2 alcobas + estudio.....	97
4.7.4. Tipología de 3 alcobas	98
4.7.5. Renders – imágenes fotorrealistas.....	99
4.8. Modelación de disciplinas técnicas.....	102
4.8.1. Capacitación en modelado BIM	102
4.8.2. Actividades previas	102
4.8.3. ¿Modelar BIM o re-modelar?	103
4.8.4. Estructura.....	105
4.8.5. Red hidrosanitaria	114
4.8.6. Red eléctrica	120
4.8.7. Red de gas.....	126
4.8.8. Síntesis de las redes modeladas.	131
4.9. Coordinación técnica.....	134
4.9.1. Detección de inconsistencias y colisiones.....	135
4.9.2. Reuniones de coordinación técnica y documentación	137
4.9.3. Solución de colisiones.....	139
4.10. Programación de obra.....	166
4.11. Modelado 4D.....	170
4.11.1. Introducción al modelado 4D	170
4.11.2. Metodología.....	170
4.12. Presupuesto, extracción de cantidades.....	178
5. PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN	187
5.1. Nuevo flujo de trabajo en OA+M	187
5.2. Listado de chequeo de arquitectura	191
5.3. Formato de control de los modelos BIM	195
5.4. Propuesta de equipamientos para obras en construcción.....	196

5.5. Beneficios de la metodología BIM vs. Tradicional OA+M..... 198

6. DISCUSIÓN FINAL..... 200

6.1. Aspectos nuevos para la empresa 200

6.2. Aspectos por mejorar para la empresa..... 204

6.3. Consideraciones generales a nivel nacional 206

BIBLIOGRAFÍA..... 208

FIN 214

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Preguntas de investigación.	22
Ilustración 2. Estrategias de investigación y aplicación.	24
Ilustración 3. CAD vs BIM, flujo de información.	30
Ilustración 4. Detalle LOD 100.	35
Ilustración 5. Detalle LOD 200.	36
Ilustración 6. Detalle LOD 300.	36
Ilustración 7. Detalle LOD 350.	37
Ilustración 8. Detalle LOD 400.	37
Ilustración 9. Ciclo de vida del proyecto con BIM.	39
Ilustración 10. Etapa 1 de desarrollo BIM, modelado basado en objetos.	40
Ilustración 11. Etapa 2 de desarrollo BIM, colaboración basada en el modelo.	41
Ilustración 12. Etapa 3 de desarrollo BIM, integración en la red.	41
Ilustración 13. Beneficios y ventajas del BIM.	44
Ilustración 14. Curva Mac Leamy.	45
Ilustración 15. Razones para no adoptar BIM, desventajas.	46
Ilustración 16. Principales beneficios que influirían en los NO usuarios para que consideren adoptar BIM.	49
Ilustración 17. Estado del BIM en el mundo.	50
Ilustración 18. Mapa de implementación del BIM en el mundo.	51
Ilustración 19. Beneficios del BIM para arquitectos, ingenieros y propietarios.	57
Ilustración 20. Esquema de actividades a desarrollar.	75
Ilustración 21. Logo de la empresa OA+M.	76
Ilustración 22. Flujo de trabajo actual en OA+M.	77
Ilustración 23. Esquema diseño en OA+M.	85
Ilustración 24. Área bruta del lote (planta), en medio del proyecto vecino Foresta y la futura vía Martín Pescador.	88
Ilustración 25. Área bruta del lote (isométrico), en medio del proyecto vecino Foresta y la futura vía Martín Pescador.	88
Ilustración 26. Porción de lote útil (planta) con retiros a edificio vecino y forma inicial del proyecto.	89

Ilustración 27. Porción de lote útil (isométrico) con retiros a edificio vecino y forma inicial del proyecto.	89
Ilustración 28. Ubicación de parqueaderos y circulación (planta).	90
Ilustración 29. Ubicación de parqueaderos y circulación (isométrico).	90
Ilustración 30. Visuales aprovechadas y balcones con jardineras propuestas (planta).	91
Ilustración 31. Visuales aprovechadas y balcones con jardineras propuestas (isométrico).	91
Ilustración 32. Tipologías por nivel típico del proyecto.	92
Ilustración 33. Esquema de circulación horizontal y vertical (planta).	93
Ilustración 34. Esquema de circulación horizontal y vertical (isométrico).	93
Ilustración 35. Jardineras y balcones (planta).	94
Ilustración 36. Jardineras y balcones (isométrico).	94
Ilustración 37. Tipología de 1 alcoba: planta e isométrico.	95
Ilustración 38. Tipología de 2 alcobas: planta e isométrico.	96
Ilustración 39. Tipología de 2 alcobas + estudio: planta e isométrico.	97
Ilustración 40. Tipología de 3 alcobas: planta e isométrico.	98
Ilustración 41. Render exterior.	99
Ilustración 42. Render de sala del apartamento 201.	100
Ilustración 43. Render de habitación del apartamento 202.	100
Ilustración 44. Render de sala del apartamento de 1 alcoba.	101
Ilustración 45. Render de alcoba del apartamento 101.	101
Ilustración 46. Planta en 2D de la estructura del nivel 3.	106
Ilustración 47. Plano en 2D de la estructura de un apartamento.	106
Ilustración 48. Estructura modelada en Revit: fundaciones, vigas y columnas.	107
Ilustración 49. Estructura con refuerzo de vigas en Revit.	108
Ilustración 50. Detalle en 3D de elementos estructurales, en Revit.	109
Ilustración 51. Esquemas de estructura en perspectiva, refuerzo de vigas en Revit. ...	110
Ilustración 52. Detalle de Viga V-25 en 2D, según planos estructurales.	111
Ilustración 53. Detalle 3D de Viga V-25, en Revit.	111
Ilustración 54. Cartilla de despiece de acero de viga V-25, nivel 3.	112
Ilustración 55. Planta general en 2D de la red hidrosanitaria del proyecto.	114

Ilustración 56. Planta en 2D de la red hidrosanitaria de 2 apartamentos.	115
Ilustración 57. Planta en 2D de la red hidrosanitaria de 2 apartamentos. Modelado en Revit.	116
Ilustración 58. Detalle en 2D de la red hidrosanitaria de 1 apartamento, modelado en Revit.	117
Ilustración 59. Esquema en 3D de la red hidrosanitaria de 2 apartamentos, modelado en Revit.	118
Ilustración 60. Esquema en 3D, detalle de la red hidrosanitaria de 2 apartamentos, modelado en Revit.....	119
Ilustración 61. Plano en 2D de la red eléctrica de un nivel.	120
Ilustración 62. Plano en 2D de la red eléctrica de 2 apartamentos.....	121
Ilustración 63. Plano en 2D de la red eléctrica de 2 apartamentos, modelado en Revit.	122
Ilustración 64. Detalle en planta de la red eléctrica de 1 apartamento, modelado en Revit.	123
Ilustración 65. Esquema en 3D de la red eléctrica de 2 apartamentos, modelado en Revit.	124
Ilustración 66. Detalle 3D de la red eléctrica de 1 apartamento, modelado en Revit...	125
Ilustración 67. Plano en 2D de la red de gas de un nivel.....	126
Ilustración 68. Plano en 2D de la red de gas de 2 apartamentos.	126
Ilustración 69. Plano en 2D de la red de gas de 2 apartamentos, modelado en Revit.	127
Ilustración 70. Plano en detalle 2D de la red de gas de 2 apartamentos, modelado en Revit.	128
Ilustración 71. Esquema en 3D de la red de gas de 2 apartamentos, modelado en Revit.	129
Ilustración 72. Detalle 3D de la red de gas de 1 apartamento, modelado en Revit.	130
Ilustración 73. Plano en 2D de las disciplinas técnicas de 2 apartamentos, modelado en Revit.	131
Ilustración 74. Esquema en 3D de las disciplinas técnicas de 2 apartamentos, modelado en Revit.	132

Ilustración 75. Vista perspectivada de las disciplinas técnicas de 2 apartamentos, modelado en Revit.....	133
Ilustración 76. Colisión de tubería de abastos con tubería de desagües.....	136
Ilustración 77. Esquema de actas y documentación de las reuniones de coordinación técnica.	138
Ilustración 78. Colisión del bajante de aguas de lluvias con buitrón; desconexión de la red horizontal con los bajantes.	140
Ilustración 79. Solución de colisión del bajante de aguas de lluvias con buitrón.	141
Ilustración 80. Colisión entre tubería sanitaria y bandejas portacables en parqueaderos.	142
Ilustración 81. Solución de colisión entre tubería sanitaria y bandejas portacables en parqueaderos.	143
Ilustración 82. Solución de altura en colisión entre tubería sanitaria y bandejas portacables.....	144
Ilustración 83. Colisión entre tuberías sanitarias y tubería eléctrica, en parqueaderos. Vista en planta.....	144
Ilustración 84. Solución de colisión entre tuberías sanitarias y tuberías eléctricas, en parqueaderos. Vista en planta.....	145
Ilustración 85. Colisión de tubería abasto con caja eléctrica, en portería.....	146
Ilustración 86. Solución a colisión de tubería abasto con caja eléctrica, en portería... ..	147
Ilustración 87. Colisión de tubería de aguas lluvias con caja eléctrica.	147
Ilustración 88. Solución de colisión de tubería de aguas lluvias con caja eléctrica.	148
Ilustración 89. Colisión tubería de abasto con caja eléctrica.	149
Ilustración 90. Solución de colisión tubería de abasto con caja eléctrica.	150
Ilustración 91. Colisión de llave de abasto de nevera con tomacorriente. Elaboración propia.	151
Ilustración 92. Solución de colisión de llave de abasto de nevera con tomacorriente.	152
Ilustración 93. Colisión de sifones de cocina con cielo falso.	153
Ilustración 94. Solución de colisión de sifones con cielo falso.....	154
Ilustración 95. Colisión de sifón con elementos estructurales y cielo raso. Elaboración propia.	155

Ilustración 96. Solución de colisión de sifón con elementos estructurales y cielo raso.	156
Ilustración 97. Colisión de bandeja porta cables con luminarias, en parqueaderos. ...	157
Ilustración 98. Solución de colisión de bandeja porta cables con luminarias, en parqueaderos.	157
Ilustración 99. Colisión de tubería eléctrica con tubería hidráulica.	158
Ilustración 100. Solución de colisión de tubería eléctrica con tubería hidráulica.	159
Ilustración 101. Colisión de tubería eléctrica con tubería hidráulica.	160
Ilustración 102. Solución de colisión de tubería eléctrica con tubería hidráulica.	161
Ilustración 103. Colisión de tubería de abastos con tubería de desagües.	162
Ilustración 104. Solución de colisión de tubería de abastos con tubería de desagües.	163
Ilustración 105. Colisión de tubería abastos con tubería de desagües.	164
Ilustración 106. Solución de colisión de tubería abastos con tubería de desagües.	165
Ilustración 107. Programación de obra 001.	167
Ilustración 108. Programación de obra con Línea de Balance.	168
Ilustración 109. Programación de obra 002, optimizada.	169
Ilustración 110. Sets del nivel 01. Navisworks.	171
Ilustración 111. Imagen del edificio completo, terminado. Navisworks.	171
Ilustración 112. Proceso 01. Excavación de tierra. Construcción de campamentos de obra, preliminares. Navisworks.	172
Ilustración 113. Proceso 02. Excavación manual, armada y vaciada de pilas, subestructura. Navisworks.	172
Ilustración 114. Proceso 03. Excavación manual. Vigas de fundación. Muro de contención. Navisworks.	173
Ilustración 115. Proceso 04. Vaciado de placa de fundación, rampa de acceso a sótano. Navisworks.	173
Ilustración 116. Proceso 05. Vaciado de columnas de sótano. Armada y vaciada de losa aérea nivel 1. Navisworks.	174
Ilustración 117. Proceso 06. Vaciado de columnas de nivel 1. Armada y vaciada de losa aérea nivel 2. Navisworks.	174
Ilustración 118. Proceso 07. Redes y mampostería. Navisworks.	175

Ilustración 119. Proceso 08. Redes y mampostería. Vaciado de losa de cubierta. Navisworks.	175
Ilustración 120. Proceso 09. Ventanería, morteros y pisos acabados. Navisworks.	176
Ilustración 121. Proceso 10. Inicio de obra blanca; pintura, carpintería, amoblamiento. Navisworks.	177
Ilustración 122. Proceso 10. Aseo de construcción. Finalización.	177
Ilustración 123. Diagrama de flujo de trabajo, metodología BIM en OA+M.	188
Ilustración 124. Etapa 2 de desarrollo BIM, colaboración basada en el modelo.	191

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Niveles de desarrollo de proyecto LOD.	38
Tabla 2. Estudio de retorno de la inversión ROI.	59
Tabla 3. Equipo de trabajo del proyecto.	81
Tabla 4. Carta descriptiva del proyecto.	85
Tabla 5. Detección de colisiones del proyecto Avanti.	135
Tabla 6. Resumen de colisiones y soluciones.	139
Tabla 7. Cantidad de closets y vestieres.	179
Tabla 8. Cantidad de cielos y pintura.	179
Tabla 9. Cantidad de concreto de columnas.	179
Tabla 10. Cantidad de pasamanos.	179
Tabla 11. Cantidad de concreto de losas.	180
Tabla 12. Cantidad de materiales de muros.	180
Tabla 13. Cantidad de materiales de pisos.	181
Tabla 14. Cantidad de concreto de vigas.	181
Tabla 15. Cantidad de muebles de plomería.	181
Tabla 16. Cantidad de puertas.	182
Tabla 17. Cantidad de ventanas.	182
Tabla 18. Cantidad de tubería eléctrica.	183
Tabla 19. Cantidad de accesorios de plomería y gas.	183
Tabla 20. Cantidad de tubería de plomería y gas.	184
Tabla 21. Cantidad de accesorios eléctricos.	184
Tabla 22. Cartilla con cantidad total de acero, resumen.	185
Tabla 23. Cartilla con cantidad de acero de una referencia de varilla, ejemplo.	185
Tabla 24. Lista de chequeo de arquitectura en OA+M, parte 1.	192
Tabla 25. Lista de chequeo de arquitectura en OA+M, parte 2.	193
Tabla 26. Lista de chequeo de arquitectura en OA+M, parte 3.	194
Tabla 27. Formato de control de los modelos BIM en OA+M.	195
Tabla 28. Beneficios de la metodología BIM vs. Metodología tradicional de OA+M.	198

RESUMEN

El presente trabajo describe las metodologías y herramientas del Building Information Modeling (BIM) y su implementación en un proyecto de diseño y construcción, caso de estudio, con el objetivo principal de consolidar una base metodológica para el diseño de proyectos en la empresa OA+M.

Se exponen nuevos conceptos de BIM que aportan a la disminución de incertidumbres en la construcción, en busca de una satisfacción plena de los clientes y un mejoramiento del desempeño de la industria de la construcción a nivel nacional.

Para la consolidación de la metodología se desarrolló un proyecto piloto desde la fase de diseño arquitectónico, iniciando con el modelado y coordinación 3D y 4D, y finalizando con la planeación de obra y extracción de cantidades para presupuesto.

Como resultado, se formula una propuesta de implementación basada en los métodos y conceptos estudiados, aplicados en el caso de estudio, de manera que la empresa tenga una carta de navegación para el diseño, coordinación y construcción de proyectos futuros.

ESTRUCTURA DEL ESTUDIO

El presente estudio, de carácter cualitativo, se desarrolla en 6 capítulos. Al final se encuentra la bibliografía utilizada en la investigación. A continuación se hace una breve descripción de los temas que tratará cada capítulo:

Capítulo 1. Formulación de la investigación

En este apartado se presentan los problemas que motivaron a realizar dicho estudio y se precisan los aspectos que se pretenden solucionar, a través del planteamiento de objetivos que se alcanzarán con diferentes estrategias investigativas y aplicativas.

Capítulo 2. Marco teórico

En este capítulo se estudiará la metodología Building Information Modeling (BIM), punto de partida para la aplicación del presente estudio, y algunos conceptos complementarios.

Capítulo 3. Estado del arte

En el presente capítulo se profundizará en el estado actual del conocimiento de la metodología BIM en el mundo y los temas de interés más tratados recientemente. Para ello se realizaron búsquedas de revistas científicas, libros y actas de congresos, en bases de datos importantes a nivel mundial como: Scopus, Web of Science, ScienceDirect, Google Scholar, y el repositorio de la universidad EAFIT.

Capítulo 4. Marco práctico

Como su nombre lo indica, en este capítulo se pretende materializar y aplicar lo estudiado en el marco teórico (filosofía y metodología BIM) en un caso de estudio de la empresa OA+M.

Capítulo 5. Implementación

En este apartado se pretende construir un nuevo esquema y flujo de trabajo para la empresa OA+M, donde se identifican y se establecen cuáles son las funciones que cada uno de los diferentes autores que intervienen en la gestión de un proyecto arquitectónico

debe desempeñar. A su vez se clasifican las actividades de acuerdo a las dimensiones del BIM y los niveles de desarrollo de los modelos arquitectónicos. Este flujo de trabajo beneficia fuertemente al área de diseño y consecuentemente, facilita las labores del área de construcción de la empresa OA+M.

Capítulo 6. Discusión final

En este capítulo se evalúa el alcance del estudio y se reúnen falencias y aspectos por mejorar a nivel de la empresa OA+M y a nivel nacional. En él se plantean algunas sugerencias y consejos para tener en cuenta en futuros proyectos para facilitar su estructuración y construcción. También se constata lo estudiado en el marco teórico y el estado del arte, con el marco práctico realizado y el capítulo de implementación.

1. FORMULACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Introducción

La infraestructura es una inversión necesaria para el crecimiento económico de un país (Rozas & Ricardo, 2004). En Colombia y según el DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística) (DANE, 2017), el sector de la construcción es uno de los que más aporta a dicho crecimiento y es un gran generador de empleo, al demandar bastante mano de obra. A su vez responde a las necesidades de la sociedad y brinda soluciones espaciales para llevarlas a cabo. Sin embargo, es uno de los sectores menos tecnificado, con más alto índice de rotación de personal, con menos índice de cumplimiento y uno de los que más contamina el medio ambiente (World Economic Forum, 2016). Este panorama es poco alentador e incentiva a indagar la razón de la falta de desarrollo y competitividad. La implementación de nuevos sistemas y alternativas de diseño más eficientes puede hacer que este panorama mejore. La presente investigación se ubica en este contexto, específicamente en una empresa de diseño y construcción colombiana, de mediana escala llamada OA+M.

OA+M es una empresa del sector de la construcción dedicada a la gestión, construcción y diseño de proyectos arquitectónicos, que ofrece soluciones habitacionales y comerciales. Actualmente tiene 10 años de experiencia en el medio y desea innovar e implementar nuevas tecnologías y metodologías para hacer que sus proyectos se ejecuten en un menor tiempo, con menos pérdidas y costos, aumentando las utilidades y que cumplan con las expectativas de sus clientes y usuarios. El gerente de la empresa, autor del presente trabajo, desea hacer parte de este proceso de innovación e investigación, y aplicarlo a las dependencias de construcción y en especial al área de diseño. Para ello se formularán algunos lineamientos y principios que sirvan como guía para el diseño arquitectónico y posteriormente para el beneficio del departamento de construcción.

Durante el ejercicio de su actividad, la empresa ha percibido que existen algunos vacíos en el área de diseño y el área de construcción, en temas como la planeación y en el manejo de los recursos. Consecuentemente, se deben encontrar metodologías y herramientas que ayuden a mejorar la comunicación y disminuir tanto los costos como las pérdidas.

El presente trabajo es de investigación aplicada, a partir de dos grandes capítulos: un marco teórico, donde se estudia la base conceptual del BIM, y se investiga su estado del arte a nivel nacional e internacional; y un marco práctico, donde a partir del estudio de caso, se obtienen nuevos conocimientos, maneras de implementación y conclusiones para los futuros diseños de proyectos arquitectónicos de la empresa.

1.2. Motivación

Este trabajo es llevado a cabo por uno de los dueños de la empresa OA+M. El motivo del presente estudio es contribuir al progreso del área de diseño arquitectónico de la empresa, en aras de mejorar el desempeño de su área de construcción. Lo anterior apunta a unos objetivos mayores:

- Cumplir con las expectativas y la satisfacción de los clientes, mediante la entrega de productos de gran calidad.
- Ser reconocidos a nivel nacional como una empresa de arquitectura y construcción que trabaja con calidad y rigor.
- Aprender nuevos y actuales conceptos de diseño y construcción, a través de la innovación, la investigación y su implementación en casos de estudio.

1.3. Planteamiento del problema

Es común encontrar inconsistencias e imprevistos en la industria de la construcción, que normalmente se traducen en aumentos de costos e incrementos de tiempo, bien sea por una mala planeación, falta de comunicación, errores de diseño, de ejecución o una mala presupuestación (López, 2017).

La empresa OA+M con el fin de aumentar sus utilidades, disminuir reprocesos y mejorar su nivel profesional, busca replantear los procedimientos del área de diseño para obtener resultados más satisfactorios en las obras que construye. Para ello pretende cambiar su esquema tradicional de diseño y formular nuevas metodologías de vanguardia en el diseño arquitectónico, regidas por los principios BIM. Con este cambio se espera alcanzar un alto grado de calidad en sus proyectos, cumplir con las expectativas de sus clientes y mejorar la eficiencia en el área de diseño.

Durante la ejecución de sus proyectos, la empresa ha identificado cómo la falta de detalle en la información planimétrica afecta el buen desarrollo de los proyectos, en términos de costos, calidad y tiempo. Cumplir con los cronogramas y costos de obra se vuelve complejo si el diseño presenta interferencias y no comunica ni especifica verídicamente lo que se desea construir. Más aún, si no hay una correcta coordinación y comunicación entre el área de diseño y el área técnica. En algunas ocasiones los constructores durante la construcción deben resolver la parte técnica de los proyectos, lo que conlleva a un aumento de los tiempos de entrega establecidos y en algunas ocasiones, por errores de comunicación, se termina alterando lo que el diseño pretende transmitir.

El presente trabajo de investigación busca responder a la empresa OA+M: ¿cómo diseñar y desarrollar proyectos arquitectónicos bajo la metodología y los principios del BIM, para obtener un mejor desempeño durante su construcción?

1.4. Justificación

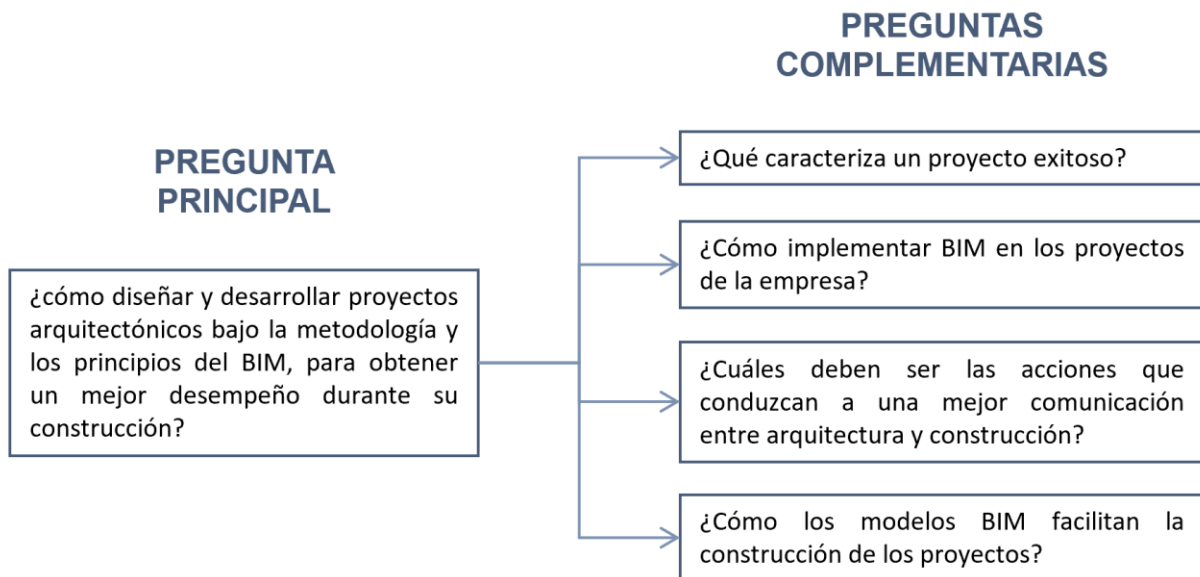
OA+M es una empresa del sector del diseño arquitectónico y de la construcción. Por medio de la investigación ha visualizado nuevas filosofías y metodologías en la gestión del diseño que, al implementarlas, le permitiría enfrentarse al mercado con mayor asertividad.

La presente investigación, de carácter cualitativo, nace de la necesidad de formalizar los procesos y la comunicación entre el área de arquitectura y el área de construcción, asumiendo que, mediante la investigación y la aplicación de los conceptos abordados, se pueda desarrollar una metodología más eficiente para el diseño y la gestión de sus futuros proyectos de construcción.

A largo plazo se pretende que la empresa gane cada vez más credibilidad y reconocimiento en el mercado nacional, por su buena gestión de la construcción; lo que a su vez traduce una mayor utilidad, bienestar económico y compromiso social.

1.5. Preguntas de investigación

Luego de identificar algunos de los problemas del presente estudio cualitativo, se plantean las siguientes preguntas que orientarán la investigación y serán resueltas a lo largo de los capítulos marco práctico e implementación.



*Ilustración 1. Preguntas de investigación.
Elaboración propia.*

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo general

Implementar el modelado virtual bajo la metodología BUILDING INFORMATION MODELING (BIM) mediante un estudio de caso en un proyecto de la empresa OA+M, donde se lleve a cabo el diseño arquitectónico y la coordinación de las especialidades técnicas, y se extraiga información necesaria para proponer una nueva metodología de trabajo del área de diseño de la empresa OA+M, y así poder entregar diseños con alto nivel de detalle, constructabilidad y suficiente información al área de construcción de la empresa, para que pueda ejecutar sus proyectos de una manera correcta y continua, con la menor cantidad de contratiempos posible.

1.6.2. Objetivos específicos

- Realizar el diseño arquitectónico de un proyecto piloto utilizando el modelado en 3D, bajo metodología BIM.
- Modelar en 3D los diseños técnicos entregados por los especialistas (estructural, acero, hidrosanitario, gas, eléctrico), para que sean compatibles con el modelo principal arquitectónico BIM.
- Realizar la coordinación técnica para detectar y corregir interferencias de cada disciplina.
- Realizar programación de obra del proyecto para generar un modelo en 4D desde el software Navisworks.
- Desde el modelo 3D, extraer cantidades e información detallada para facilitar la elaboración del presupuesto de construcción.
- Comparar los beneficios de la metodología BIM versus la metodología tradicional utilizada dentro de la empresa OA+M.
- Proponer nueva metodología de trabajo para la empresa OA+M.

1.7. Estrategias del estudio.

En el siguiente gráfico se explican cuáles serán las estrategias a implementar para poder dar respuesta a las preguntas y objetivos del presente estudio.

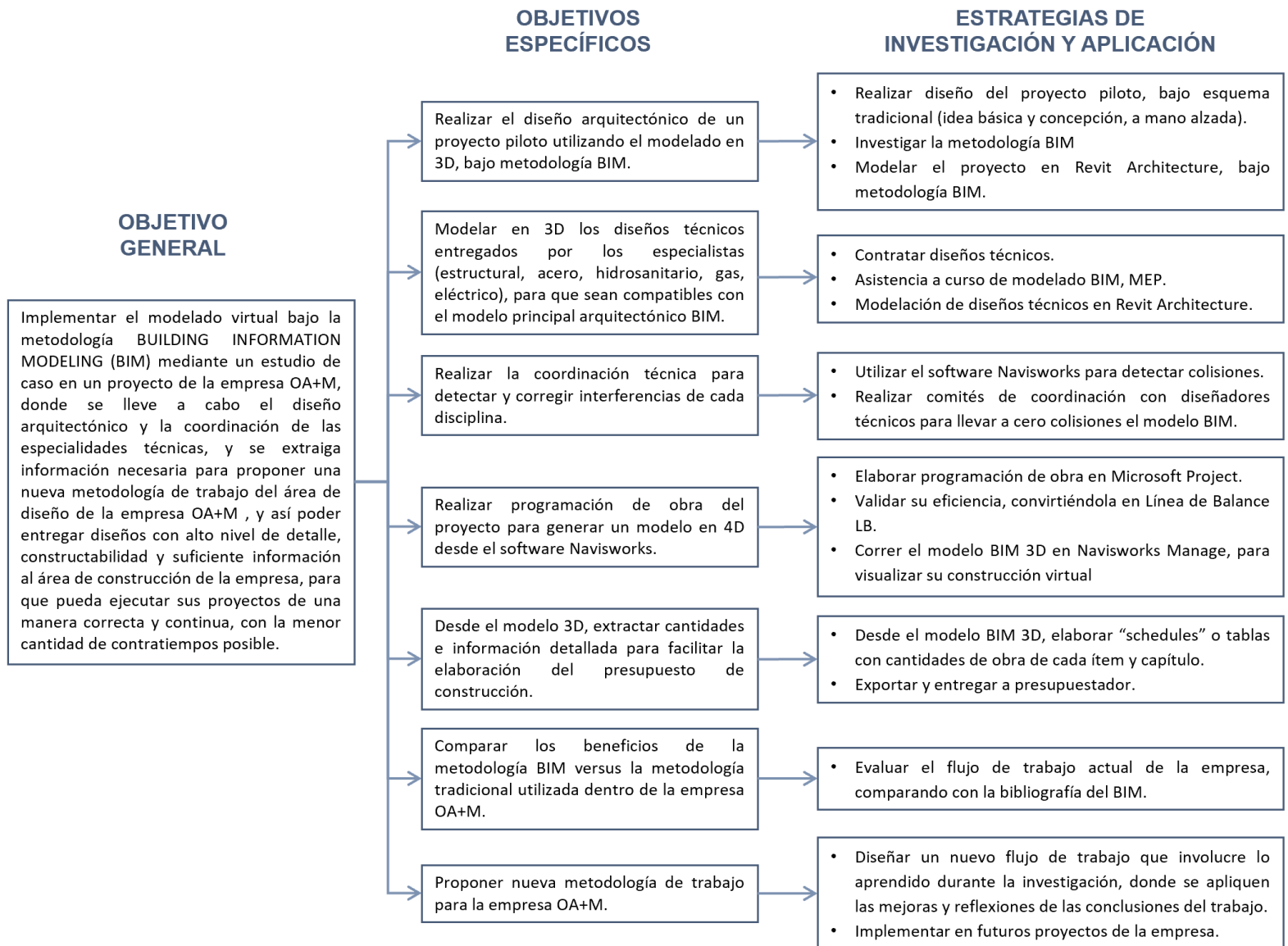


Ilustración 2. Estrategias de investigación y aplicación.
Elaboración propia.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Introducción

La Guía del PMBOK® (4ta Edición) (PMI, 2008) define un proyecto como un esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado único. La naturaleza temporal de los proyectos indica un principio y un final definidos.

Los proyectos de arquitectura y de construcción buscan dar soluciones a las necesidades de la sociedad, con altos grados de calidad, en el menor plazo posible y al menor costo posible. Existen varios factores que inciden negativamente en alcanzar estos resultados (Aguilar, 2015), algunos de ellos:

- La deficiente planificación de los proyectos de construcción conlleva a una consecuente improvisación durante la ejecución del mismo. Cuando algún proyecto constructivo no está preparado para enfrentar los diferentes problemas y situaciones que se puedan presentar durante la ejecución de obra, gran parte del tiempo será destinado a enmendar errores y buscar soluciones.
- El desconocimiento de nuevas técnicas o el temor a cambiar paradigmas y métodos que algunas veces hayan resultado efectivos en ciertos proyectos, conlleva a un conformismo: a repetir lo que ha dado resultado, dejando a un lado la investigación, el desarrollo y la innovación, vitales para la competitividad.

Una alternativa para evitar este tipo de reprocesos y atrasos, contraproducentes para la industria de la construcción, es desde el diseño arquitectónico de los proyectos implementar la metodología de Building Information Modeling (BIM), que según McGraw-Hill Construction, en un nivel generalizado, es el proceso de creación y uso de modelos digitales para diseño, construcción y operaciones de proyectos. Dichos modelos digitales están destinados a simular el proyecto de construcción en un entorno virtual (Morton & Ramos, 2014).

La implementación del Building Information Modeling (BIM) a lo largo de todo el ciclo de vida del edificio ayudará a la industria de la construcción a reducir algunos costos, mejorar la productividad del equipo de trabajo y crear proyectos positivos. (Gerber, Becerikgerber, & Kunz, 2011). A través de la metodología VDC (Virtual Design and Construction) es posible simular las complejidades en la ejecución de proyectos de construcción, para comprender los conflictos y abordarlos en un mundo virtual antes que en el mundo real (Fosse, Ballard, & Fischer, 2017).

Algún ejemplo donde se pueden aplicar estos conceptos para el beneficio de un proyecto de construcción es en la programación 4D, que, según Fosse (2017), fusiona el modelo 3D BIM de un proyecto y el cronograma de obra, permitiendo visualizar virtualmente el avance teórico que tendrán los proyectos, pudiendo revelar problemas relacionados con el flujo de trabajo, seguridad, logística, etc. (Fosse et al., 2017)

La implementación de estas herramientas digitales es de gran utilidad para mejorar la producción del sector de la construcción. Otros factores positivos son:

- Se reduce la incertidumbre del desarrollo del proyecto, al facilitar su visualización (en tres dimensiones).
- Se detectan posibles conflictos e interferencias, pudiendo ser solucionadas con antelación y no cuando se está en proceso de construcción, situación que incurriría en costos más elevados (Fosse et al., 2017).
- Mejora la comunicación y la toma de decisiones del equipo de trabajo.
- Se ahorran costos en representación, al poder tener y visualizar los modelos virtuales.
- El trabajo colaborativo de todas las áreas del diseño permite crear paquetes completos de información actualizada, y no fragmentados y desactualizados.

Nuevos conceptos como el BIM, son herramientas y metodologías valiosas para el desarrollo de proyectos de construcción con altos grados de calidad, eficiencia e innovación. Los diseños arquitectónicos, de igual manera, son insumos fundamentales para la construcción. Del rigor y la calidad de los diseños depende en gran medida la

correcta ejecución de los proyectos de construcción. Consecuentemente, el presente estudio se enfoca en la investigación y aplicación de la metodología BIM, tal como se expresa en su objetivo general.

2.2. Qué es BIM

EL “Building Information Modeling” (modelado de información de construcción) o BIM es una metodología mediante la cual se generan y gestionan datos de proyecto específico por medio de la utilización de aplicaciones (software) de carácter dinámico, en un entorno de tres dimensiones y en tiempo real. Es necesario precisar que dicha gestión de la información debe ser durante todo el ciclo de vida del proyecto, es decir, durante sus fases de planeación, diseño, construcción y operación (una vez finalizada la obra). Los beneficios de la aplicación de esta metodología se ven reflejados principalmente en la disminución de las pérdidas de tiempo y costos, durante la construcción de proyectos (“MICROCAD, BIM,” 2018).

Algunos de los beneficios del BIM se pueden apreciar en la programación de obra, en la estimación y gestión de cambios, y en el manejo de la logística en el sitio (Bryde, Broquetas, & Volm, 2012). Otro beneficio es que mejora la toma de decisiones por parte los involucrados en el proyecto, ya que gracias a esto es posible la comunicación abierta, el intercambio de datos y la verificación de los requerimientos de diseño; además el desempeño del proyecto también puede ser analizado (Aguilar G, 2015).

El BIM se refiere a un conjunto de metodologías de trabajo y herramientas asociadas que procesan información (sea gráfica o no) de manera coordinada, coherente, centralizada y continúa, relacionada con una obra de construcción, con los elementos que la componen, con su entorno y con las relaciones contextuales, su ciclo de vida y los procesos asociados directa e indirectamente con ella. Un objetivo crucial del BIM como metodología de trabajo y como tecnología implica el hecho de cambiar los procesos y procedimientos utilizados tradicionales, que obedecen a diferentes tecnologías y formas

de realización de proyectos, así como de relaciones entre los encargados de ello. La optimización de recursos invertidos, mejor documentación, mejor representación y estandarización de flujos de actividades relativas a las industrias de la arquitectura, ingeniería y construcción (AEC, por sus siglas en inglés) suponen un cambio de paradigma a la hora de aproximarse a un proyecto (“MICROCAD, BIM,” 2018).

Como es mencionado en The BIM Handbook (Eastman, Paul, Rafael, & Liston, 2015), es importante tener en cuenta que BIM no es solo un cambio de tecnología, sino también un cambio en los procesos. Al permitir que un edificio sea representado por objetos inteligentes que llevan información detallada sobre ellos mismos y también comprenden su relación con otros objetos en el modelo del edificio, BIM no solo cambia la forma en que se crean los dibujos y visualizaciones del edificio, sino que también altera dramáticamente todos los procesos clave involucrados en la construcción de un edificio:

- cómo se registran los requisitos programáticos del cliente y cómo se utilizan para desarrollar ideas espaciales y conceptos iniciales
- cómo se analizan las alternativas de diseño para aspectos como la energía, la estructura, la configuración espacial, la toma de decisiones, el costo, la capacidad de construcción, etc.
- cómo varios miembros del equipo colaboran en un diseño dentro de una sola disciplina, así como en múltiples disciplinas.
- cómo se construye el edificio, incluida la fabricación de diferentes elementos por subcontratistas.
- cómo, después de la construcción, las instalaciones del edificio son operadas y mantenidas.

BIM impacta cada uno de estos procesos al aportar más Inteligencia y mayor eficiencia. También va más allá de mejorar los procesos existentes al habilitar capacidades completamente nuevas, como verificar un modelo multidisciplinario para detectar conflictos antes de la construcción, verificar automáticamente el diseño de los códigos de construcción, permitir que un equipo distribuido trabaje simultáneamente en un proyecto en tiempo real y construir un edificio directamente a partir de un modelo, evitándose así

los dibujos 2D en absoluto. No es sorprendente, entonces, descubrir que BIM también se ha convertido en el catalizador de procesos significativos y cambios contractuales en la industria de AEC, como el movimiento creciente hacia el IPD o "Entrega Integrada de Proyectos" (Eastman et al., 2015).

Aplicar conceptos de la metodología BIM durante la fase de diseño de proyectos arquitectónicos tiene numerosas ventajas, tanto que cada vez más proyectos están tendiendo a utilizar BIM para pasar información de la fase de diseño a la de construcción (Chen & Luo, 2014).

2.3. CAD. Origen y antecedentes del BIM

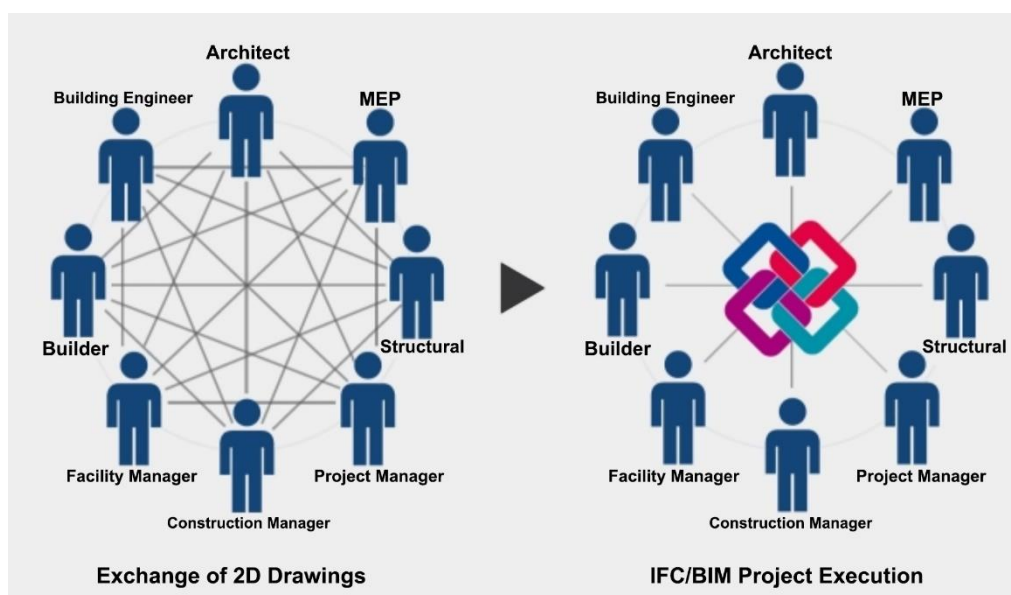
El BIM como filosofía y herramienta de diseño se apoya también en algunas metodologías y sistemas anteriores, entre ellas el diseño asistido por computadora CAD (Computer Aided Design), formalizado en 1961 por la empresa automovilística General Motors; popularizado en 1980, cuando se desarrolló de forma generalizada en muchas oficinas y escuelas de arquitectura, evento que para ese momento significó un cambio trascendental dentro de las actividades de diseño y con el cual esas generaciones de profesionales se enfrentaron al cambio, lo adoptaron y lo incluyeron como parte esencial en la proyección arquitectónica (Coloma, 2008).

Por otro lado, los primeros programas relacionados con los modelos BIM aparecieron a mediados de la década de los 70 con el nombre de Building Description Systems (BDS), en donde la información de estos sistemas permitía realizar algunas tareas como documentar las cantidades para la estimación de costos y producir dibujos de detalles (Salazar, 2017).

Pero se considera que estas metodologías comenzaron a desarrollarse a partir de un concepto introducido por el Profesor Chuck Eastman en 1975 del Departamento de

Arquitectura del Georgia Institute of Technology, quien se considera el padre de BIM (Mojica Arboleda, 2012).

El concepto de BIM ha sido bastante discutido, sobre todo desde la aparición de las herramientas de diseño asistido por computadora (CAD) hace unas décadas. Sin embargo el alcance del CAD era crear un modelo de construcción tridimensional enriquecido con alguna información gráfica adicional (Migilinskas, Popov, Juocevicius, & Ustinovichius, 2013).



*Ilustración 3. CAD vs BIM, flujo de información.
Autodesk 2017.*

Con el pasar del tiempo el BIM se ha transformado para superar algunos de los conceptos más discutidos en décadas anteriores. Las herramientas BIM actuales son paramétricas y tienen reglas definidas por el usuario, donde cualquier cambio realizado actualiza el modelo hasta el nivel de fabricación, y es por eso que la cantidad de información integrada con un modelo de construcción ha mejorado sustancialmente. El BIM, a diferencia del CAD, proporciona a los constructores una capacidad notable para ejecutar un proyecto en un entorno virtual y controlado, algo que era casi imposible en décadas anteriores. (Fountain & Langar, 2018).

2.4. Dimensiones del BIM

El concepto de dimensiones BIM está asociado con las variables y los procesos que implica la construcción y el desarrollo de un proyecto. Estas variables están definidas por ciclos que buscan establecer los alcances del modelado realizado mediante metodología de trabajo BIM y por tanto ayudan a definir el uso que se le dará a la información modelada según la necesidad.

Algunas de las dimensiones del BIM según The BIM Handbook (Eastman et al., 2015):

- **1D**

La primera dimensión define las bases del proyecto que se va a modelar, ejecutar y mantener. En ella se encuentran diferentes procesos para su puesta en marcha: estudios previos de mercado, estimaciones, prefactibilidad, factibilidad, etc. En esta dimensión es necesario contar con un software que permita almacenar de forma centralizada toda la información correspondiente al proyecto a ejecutar, de manera que se pueda administrar eficientemente la información junto con cada una de sus posibles versiones. Pero no solo la información administrativa del proyecto se almacena en este software, sino también información técnica como planimetrías de proyecto, manuales de ejecución y administración de la edificación, pliegos de contratación, entre otros.

- **2D**

La segunda dimensión comprende la etapa de diseño arquitectónico preliminar del proyecto, apoyado en la utilización de herramientas CAD, que permiten la realización de dibujos 2D, como por ejemplo: planos, vistas, fachadas entre otros, los cuales servirán de apoyo en las dimensiones subsiguientes del desarrollo de la metodología BIM. Esta segunda dimensión se encuentra presente durante la etapa de diseño y resulta ser indispensable en la etapa de ejecución de la obra.

- **3D**

Es en la tercera dimensión donde se puede llevar a cabo un modelo 3D que describe la composición geométrica de los elementos, captura el propósito del diseño y las relaciones lógicas entre los componentes que forman el modelo. Además, cuenta con datos inteligentes asociados a las piezas del modelo que serán necesarios en las dimensiones posteriores. Este modelo estará presente durante todo el ciclo de vida de la edificación, para garantizar un proyecto integral, desarrollado con base en metodologías de trabajo BIM.

En esta dimensión será posible detectar e integrar los demás diseños técnicos y estructurales al modelo, así como analizar las posibles colisiones e interferencias y tomar tempranas soluciones, de una manera colaborativa entre los diferentes diseñadores intervinientes. A esto se le conoce como coordinación técnica.

- **4D**

La cuarta dimensión se refiere a la ejecución de un proyecto, a la proyección y a la planificación de los tiempos de ejecución de una obra. Con la finalidad de controlar y revisar la dinámica del proyecto se realizan simulaciones virtuales de las fases de construcción a partir de los modelos tridimensionales obtenidos en la dimensión anterior. Estos modelos deben contener todos los datos necesarios para realizar la vinculación de la línea de tiempo o cronograma, con cada actividad modelada, y de esta manera lograr la simulación de la ejecución del proyecto.

A este proceso se vinculan los diagramas y programaciones de obra (Gantt, Pert, etc.) con el modelo tridimensional, para obtener una representación visual de los avances teóricos que debería tener la construcción.

- **5D**

La quinta dimensión permite conocer los costos de cada uno de los elementos que componen los modelos tridimensionales, al igual que la cantidad, su origen y su

localización en el modelo. Estos costos se pueden obtener desde las primeras etapas del proyecto, en la fase de diseño, y pueden ir evolucionando al tiempo con el proyecto. Con esta dimensión se pueden llevar a cabo presupuestos detallados de la obra, con cantidades y especificaciones de alto detalle.

Posteriormente se podrá, junto con el avance de obra mencionando en la cuarta dimensión, elaborar un control de costos detallado; constatar el avance de obra vs presupuesto.

- **6D**

La sexta dimensión busca obtener mayor eficiencia en la edificación, lo que se entiende tradicionalmente como el ahorro energético y el diseño bioclimático o sostenible de la edificación. Sin embargo, esta dimensión también abarca el concepto de Ingeniería de Valor, que busca el análisis y la simulación para encontrar eficiencias en los sistemas constructivos, instalaciones, estructuras entre otras.

También es posible con esta dimensión obtener un modelo BIM auditado, donde se certifica el rendimiento real de la obra, costo final, ahorros obtenidos y determinar el retorno final de la inversión.

- **7D**

En la séptima dimensión se lleva a cabo el manual de operación del proyecto, que permite optimizar los procesos de administración de la edificación durante su ciclo de vida, operación, logística, inspección, reparación, soporte técnico y mantenimiento. En esta etapa debe estar el modelo BIM actualizado tal cual quedó construido (as built), el cual puede ser llevado a cabo bien sea actualizando el modelo, o con tecnología de punta como el escáner láser, drones y realidad aumentada.

- **8D**

La octava dimensión trata de la seguridad, salud, prevención de desastres y de riesgos laborales, y cómo minimizar sus impactos desde la etapa del diseño. Al día de hoy es un paradigma emergente en el área del diseño, que aún está en desarrollo y exploración.

- **9D**

La novena dimensión es una metodología de trabajo utilizada para la finalización efectiva del proceso BIM como parte de la estructura de producción en el sector de la construcción y el uso de la digitalización. Se puede entender como la integración y el vínculo entre LEAN construction y BIM. Es una dimensión que todavía está en desarrollo.

El verdadero potencial del uso del trabajo bajo metodologías BIM durante el ciclo de vida del proyecto según Bryde (2012), es cuando el modelo puede ser utilizado por el propietario para entender las necesidades del proyecto; por el equipo de diseño para analizar, diseñar y desarrollar el proyecto; por el contratista para gestionar la construcción del proyecto y por el gerente de la instalación durante las fases de operación y mantenimiento (Bryde et al., 2012).

2.5. Niveles de desarrollo LOD

Con el paso del tiempo y la implementación de BIM se fue volviendo necesario la especificidad de los detalles y del modelado en sí.

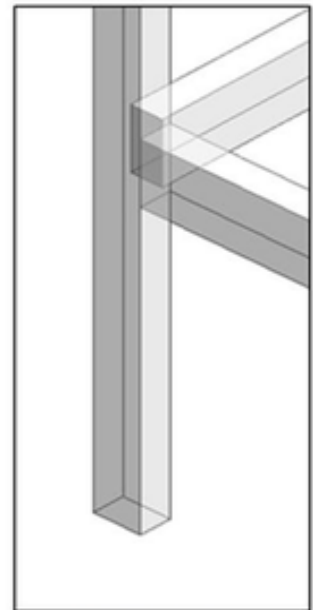
En un principio, la empresa VICO, encontró necesario definir el concepto Nivel de Detalle más conocido por su acrónimo LOD (Level Of Detail). Este término hace referencia a la cantidad de información que contienen los elementos que forman un modelo BIM. Sin embargo, a este concepto le faltaba dar valor a la información contenida. Así en 2008, el American Institute of Architects (AIA), basándose en el concepto de Nivel de Detalle,

precisa el concepto de Nivel de Desarrollo (Level of Development). Ambos se conocen con el mismo acrónimo LOD. Se define Nivel de Desarrollo o madurez de información, a la calidad de la información contenida en los elementos que componen el modelo. Es decir, debe haber cantidad y calidad de información suficiente en cada nivel del modelo para satisfacer el trabajo que se va a desarrollar (Prieto, 2017).

Se identifican cinco niveles según (BIMFORUM, 2019):

- **LOD 100**

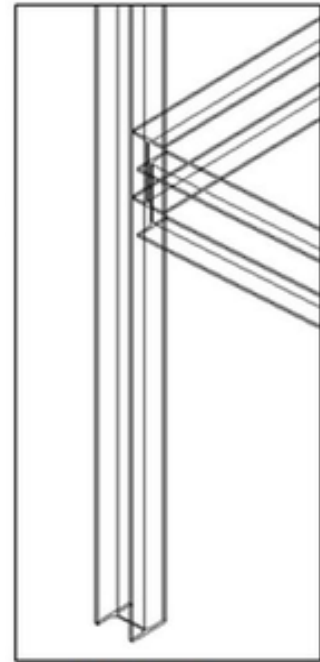
Es el nivel más básico en el que se enumeran todos los elementos conceptuales de un proyecto. El elemento puede estar representado por un símbolo o representación genérica. No es necesaria su definición geométrica, aunque este puede depender de otros objetos definidos gráfica y geoméricamente. Muchos elementos pueden permanecer en este nivel de desarrollo en fases muy avanzadas del proyecto. Están basados en dimensiones geométricas (si existen), orientación y ubicación, así como relación con otros elementos.



*Ilustración 4. Detalle LOD 100.
Tomado de (Liébana Carrasco
& Gómez Navarro, 2015).*

- **LOD 200**

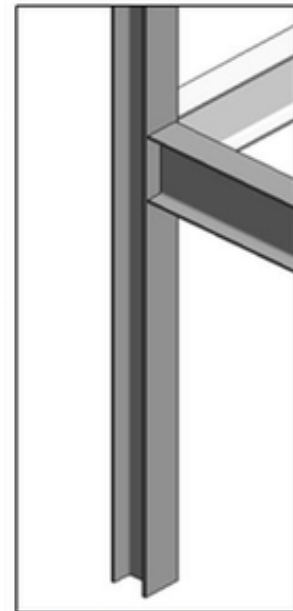
Es el nivel en el que se define gráficamente el elemento, especificando aproximadamente cantidades, tamaño, forma y/o ubicación respecto al conjunto del proyecto. Puede incluir información no gráfica. El elemento está determinado por su posición y posee una definición geométrica no completa. Tiene los datos aproximados de dimensiones, forma, ubicación y orientación. Su uso está vinculado a elementos genéricos o cuyas definiciones detalladas vienen dadas por agentes externos al proyecto. Es el LOD más bajo en el que se indica la posibilidad de incluir información no gráfica de un elemento, cómo puede ser el costo real (no estimado en LOD 100), así como características de envolventes, pesos, fabricantes y manuales de mantenimiento.



*Ilustración 5. Detalle LOD 200.
Tomado de (Liébana Carrasco &
Gómez Navarro, 2015).*

- **LOD 300**

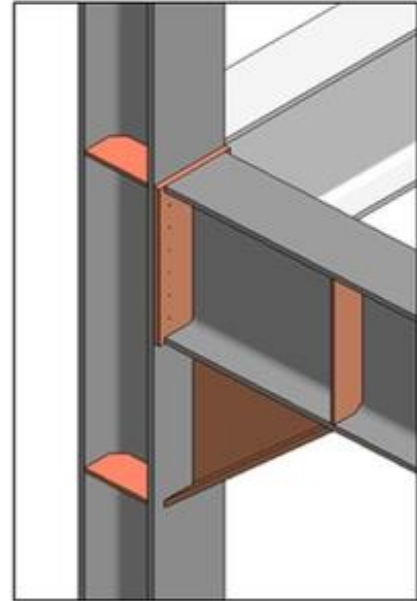
Es el nivel en el que se define gráficamente el elemento, especificando de forma precisa cantidades, tamaño, forma y ubicación respecto al conjunto del proyecto. Debe incluir información no gráfica que amplíen las especificaciones. El elemento está definido geoméricamente en detalle, así como su posición, pertenencia a un sistema constructivo específico, uso y montaje en términos de cantidades, dimensiones, forma, ubicación y orientación.



*Ilustración 6. Detalle LOD 300.
Tomado de (Liébana Carrasco
& Gómez Navarro, 2015).*

- **LOD 350 y 400**

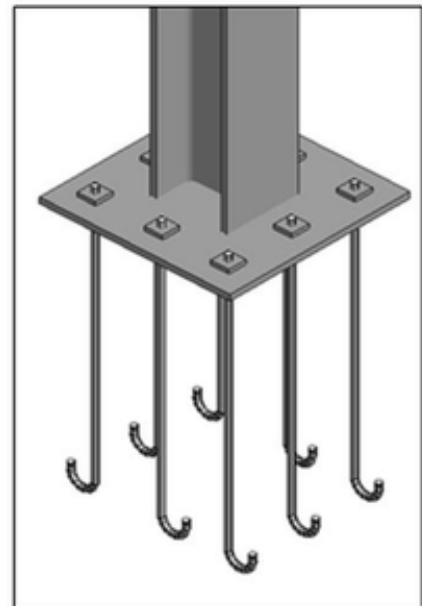
Son los niveles en los que el elemento está definido geoméricamente en detalle, así como su posición, pertenencia a un sistema constructivo específico, uso y montaje en términos de cantidades, dimensiones, forma, ubicación y orientación con detallado completo, información de fabricación específica para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



*Ilustración 7. Detalle LOD 350.
Tomado de (Liébana Carrasco & Gómez
Navarro, 2015).*

- **LOD 500**

Son los niveles en los que el elemento u objeto está definido geoméricamente en detalle, así como su posición, pertenencia a un sistema constructivo específico, uso y montaje en términos de cantidades, dimensiones, forma, ubicación y orientación. También se indica la necesidad de incluir información no gráfica vinculada al elemento. Se verifica la información de este nivel en relación al proceso constructivo finalizado (as built) y no es aplicable a todos los elementos del proyecto. El criterio válido será definido por la propiedad y las normativas correspondientes.



*Ilustración 8. Detalle LOD 400.
Tomado de (Liébana Carrasco & Gómez
Navarro, 2015).*

La información de este nivel sustituye a las equivalentes de otros niveles inferiores en todos los casos.

En el siguiente gráfico se pueden apreciar los diferentes LOD, comparados con otras normativas mundiales (Liébana Carrasco & Gómez Navarro, 2015). También indica a qué dimensión del BIM puede hacer similitud cada tipo de LOD. Finalmente compara cada LOD con los niveles de un modelo tradicional.

Cabe anotar que LOD no corresponde a las fases de un proyecto, ni a las dimensiones del BIM. Los LOD son sólo aplicables al detalle de los elementos y no deberían ser usados para catalogar o determinar los modelos BIM.

NIVELES DE DESARROLLO DE PROYECTO			PROCESO BIM		MODELO TRADICIONAL
AIA (EEUU)	PAS 1192-2 (RU)	BSSCH (ESPAÑA)	DIMENSIONES BIM		MODELO TRADICIONAL
LOD 100	Brief	Necesidades y Objetivos	¿ Modelo		Anteproyecto
		Estudio de Alternativas	3D BIM	6D BIM	
LOD 200	Concept Definition	Diseño Inicial			Proyecto Básico
LOD 300	Design	Diseño Detallado (1)			
LOD 400	Build and Comission (1)	Diseño Detallado (2)	4D BIM		Proyecto de Ejecución
	Build and Comission (2)	Licitación y Contratación			
LOD 500	Handover and Close-out	Construcción	5D BIM		
		Puesta en Funcionamiento	7D BIM	Libro del Edificio / Protocolo de Mantenimiento	
	Operation and In-use				

Tabla 1. Niveles de desarrollo de proyecto LOD.
Tomado de (Universidad Politécnica de Valencia, 2019).

2.6. Ciclo de vida del proyecto BIM

Otra definición más, como las muchas que hay, define al Building Information Modeling (BIM) como un conjunto de procesos y tecnologías que generan una metodología para gestionar los diseños de las edificaciones y los datos esenciales del proyecto, digitalmente y durante su ciclo de vida, de una manera integrada (Penttila, 2006).

Dentro de este tipo de trabajo “integrado” existen otras características intrínsecas que tienen que ver con el ciclo de vida de los proyectos, y las diferentes etapas por las atraviesa. El ciclo de vida de un proyecto se pudiera resumir en 3 grandes capítulos: diseño [D], construcción [C] y operación [O]. A su vez, la interrelación de estos capítulos se conoce como la verdadera aplicación del BIM (Succar, 2009). En este gráfico se aprecia cómo se desglosan los 3 grandes capítulos, desde la concepción del diseño, maduración, planeación, documentación, construcción y operación; de una manera integrada, sincronizada e interdisciplinar, bajo la metodología BIM.

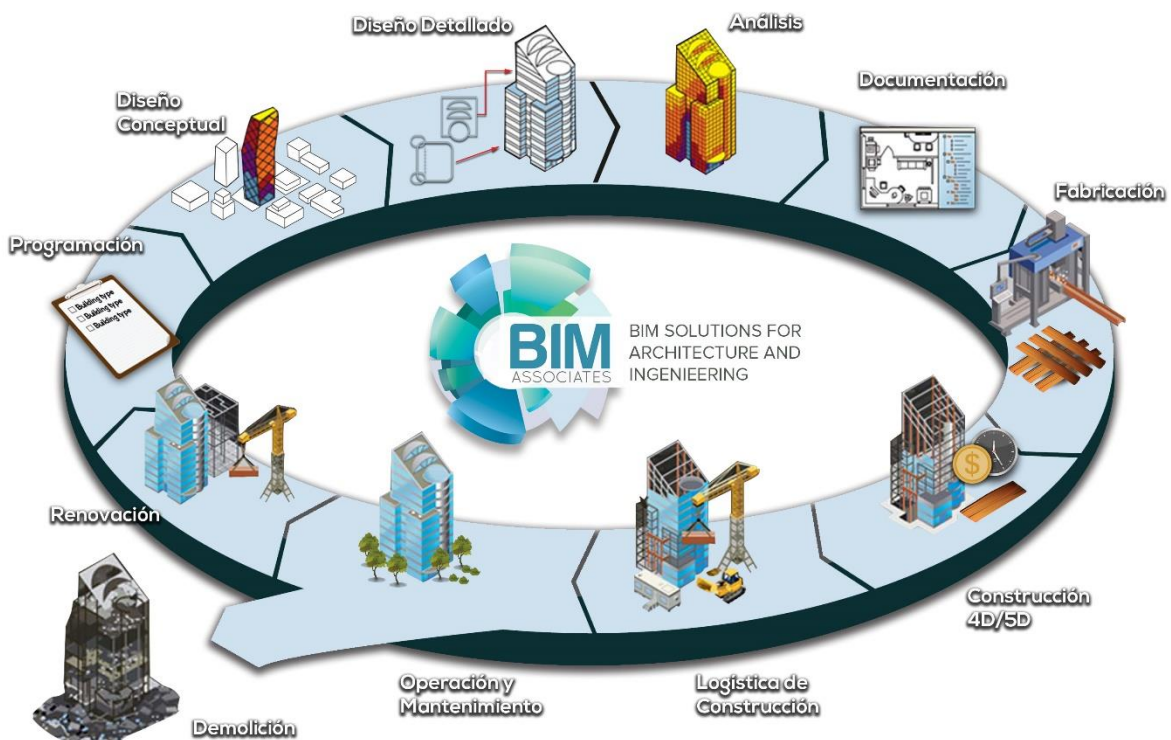


Ilustración 9. Ciclo de vida del proyecto con BIM.
Tomado de Autodesk. 2017.

2.7. Etapas del desarrollo BIM

Según Bilal Succar, los modelos BIM, durante el ciclo de vida de un proyecto, se pueden clasificar de la siguiente manera, según etapas de madurez y desarrollo de la información (Succar, 2009):

- Etapa 1, Modelado basado en objetos.

Se puede interpretar como las actividades previas a una buena sincronización BIM, pues no existen intercambios de información significativos entre los diferentes diseñadores ni entre los ciclos de vida del proyecto. Los pocos intercambios de datos que existan entre las partes interesadas del proyecto son unidireccionales y las comunicaciones continúan siendo aisladas y desarticuladas. Es decir, los diseños [D] aún no dialogan ni interactúan entre sí, ni tampoco con el área de construcción [C]. En otras palabras, primero que todo se diseña y se modela la arquitectura únicamente.

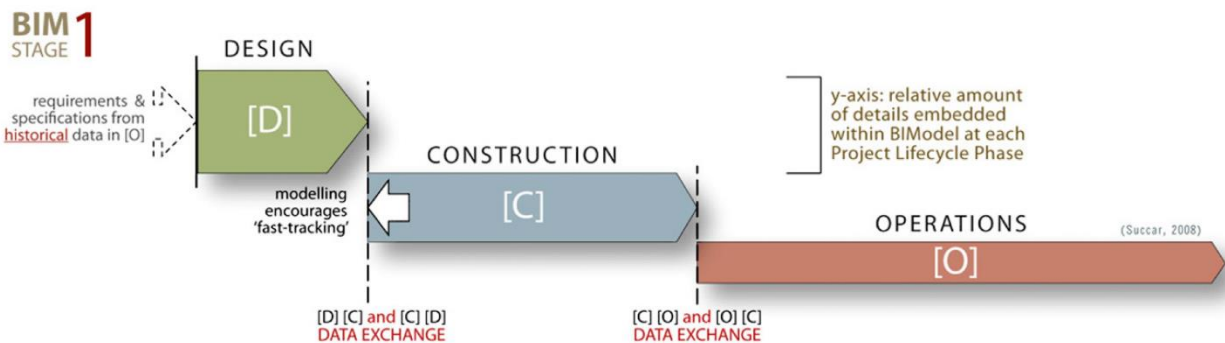


Ilustración 10. Etapa 1 de desarrollo BIM, modelado basado en objetos.
Tomado de: Succar, 2009.

- Etapa 2, Colaboración basada en el modelo.

En esta etapa comienzan a colaborar activamente otras disciplinas técnicas. Por ejemplo, la sincronización de la arquitectura con la estructura del ingeniero calculista. No necesariamente deben utilizar el mismo software, pero sí algunos softwares BIM que sean compatibles entre sí (por ejemplo: entre Revit Architecture y Tekla, utilizando el formato de archivo IFC). La colaboración basada en modelos puede ocurrir dentro de una o entre dos fases del ciclo de vida del proyecto. Es decir, diseños con diseños [D], o diseños con construcción [D. C]

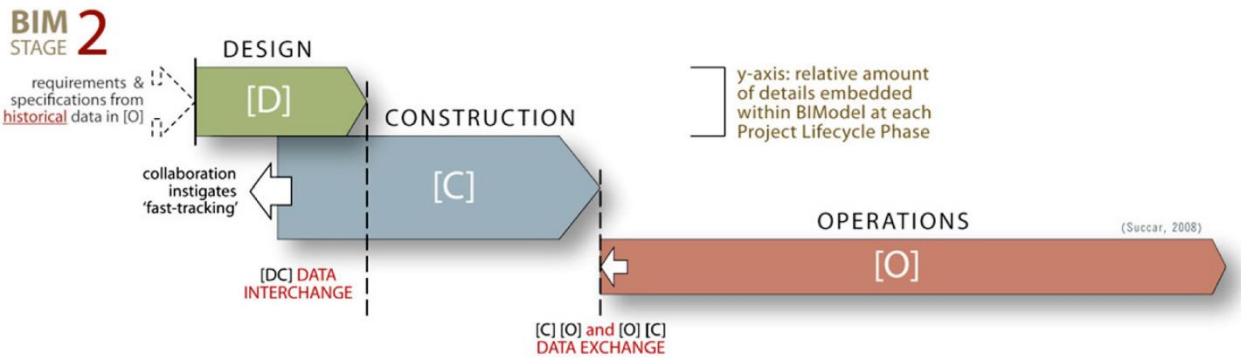


Ilustración 11. Etapa 2 de desarrollo BIM, colaboración basada en el modelo.
Tomado de: Succar, 2009.

- Etapa 3, Integración en la red

En esta etapa se considera el primer acercamiento del diseño y la construcción virtual. Estos modelos incluyen e integran algo de inteligencia empresarial. El trabajo colaborativo ahora "gira en espiral" en torno a un modelo de datos extenso, unificado y compatible. En este punto, las 3 fases [D, C, O] tienen el mismo punto de partida, todas deben dialogar entre sí y "todas están integradas a los aspectos de diseño, construcción y operación, que se planifican simultáneamente para optimizar la capacidad de construcción, operabilidad y seguridad" (Succar, 2009).

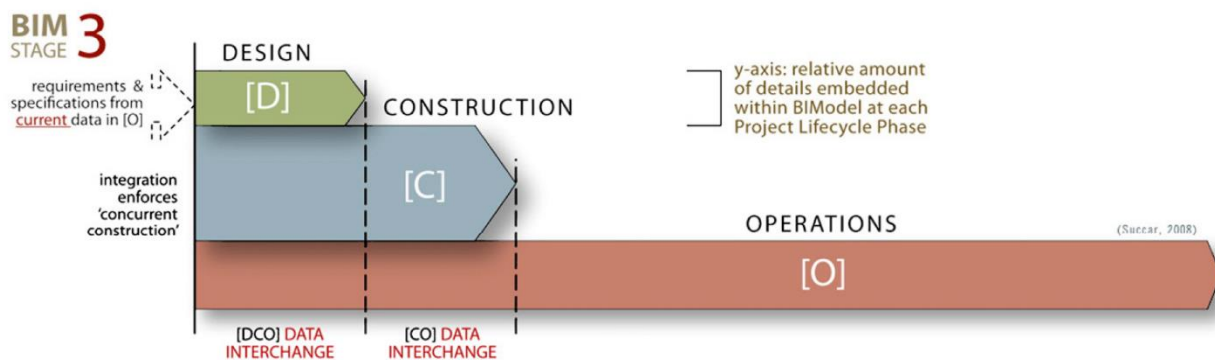


Ilustración 12. Etapa 3 de desarrollo BIM, integración en la red.
Tomado de: Succar, 2009.

2.8. Ventajas del BIM

La gestión de proyectos usando la tecnología BIM reduce la incertidumbre en su manejo, ya que aumenta las posibilidades de controlarlo, pues elimina las aproximaciones abstractas. Asimismo, la integración de las labores de diseño y construcción abre las puertas a una ingeniería en la que los profesionales se dedicarán a mejorar los diseños, la planificación de las obras y su control, reduciendo con ello el costo de los proyectos. Algunos de los beneficios de aplicar BIM en una empresa que haya realizado un maduro proceso de implementación son (Alcántara, 2013):

En la etapa de diseño

- Obtención de los planos del proyecto: de plantas, de secciones, de elevaciones, de detalles y vistas 3D isométricas.
- Creación de imágenes fotorrealistas (renders), vistas de perspectivas, animaciones y escenas de realidad virtual para la publicidad del edificio.
- Gestión de espacios y usos de los ambientes del edificio.
- Proveer datos para el análisis estructural de elementos del edificio.

En la etapa de pre construcción

- La revisión visual del diseño del proyecto.
- Realizar análisis visuales o automatizados de interferencias físicas entre los diseños (detección de interferencias).
- Obtener reportes de cantidades de obra y materiales (por unidad).
- Intercambio electrónico de datos de diseño con proveedores (por ejemplo, para detalles y fabricación de acero estructural, prefabricación de ciertas instalaciones).
- Simulación del proceso constructivo BIM-4D.

Según Aguilar (2015), “las ventajas y aplicaciones de la tecnología BIM y en general de las Tecnologías de Información se han venido investigando y desarrollando desde hace varios años en universidades de gran prestigio a nivel mundial, como son las Universidad de Stanford y Berkeley, a partir del estudio de casos reales en los que se ha

implementado dichas tecnologías, en los cuales se ha logrado demostrar los beneficios y ventajas de éstas, frente a la gestión tradicional de proyectos. A continuación, se presentan las principales ventajas y beneficios, de acuerdo con los expuestos por Duque (2013) y Azhar et al (2007) y algunos casos de éxito de implantación de tecnologías BIM” (Aguilar, 2015, p. 46):

- Efectividad y rapidez en los procesos: BIM permite compartir la información de manera ágil, además permite que los involucrados en el proyecto y especialistas aporten sus conocimientos y esto sea de conocimiento de todo el equipo, lo que le añade gran valor al proyecto.
- Mejores diseños: BIM permite analizar rigurosamente las propuestas de construcción, realizar simulaciones, lo cual permite llegar a mejores e innovadores diseños. De esta manera permite mayor flexibilidad al establecer diferentes alternativas para los clientes en cuanto a volumetría y variación de espacios. (Reyes, A. M., Candelario, A., Méndez, F., Cortés, J. P., & Prieto, A. P.).
- Mejor Control de costes (5D) y programación del proyecto (4D): esto permite estimar más fácilmente el rendimiento de un proyecto, así como controlar los costos de las diferentes fases del proyecto.
- Mejor calidad: la detección de los conflictos entre diseños y la mejor comunicación entre las partes, entre otros aspectos, se ve reflejado en una mejor calidad y producción.
- Mejor servicio al cliente: BIM le permite al cliente ser un agente activo en el proceso de construcción mediante la visualización 3D, que le permite dar su opinión en los diseños y demás aspectos que considere del proyecto. (Reyes, A. M., Candelario, A., Méndez, F., Cortés, J. P., & Prieto, A. P.)
- Mejor gestión de la información de proyecto: BIM permite gestionar la información del proyecto de manera oportuna, permitiéndole a los diferentes involucrados en el proyecto una fácil modificación de la información antes, durante y posterior a la ejecución del proyecto.

Con la tecnología del edificio virtual, los propietarios están en una posición privilegiada que confirma la importancia de su papel, no sólo en los inicios del diseño de edificios, sino también en su planteamiento, mantenimiento y operación a largo de su ciclo de vida (Alcántara, 2013).

Mejores beneficios del BIM para Arquitectos (2009 - 2012)

McGraw-Hill Construction, 2012

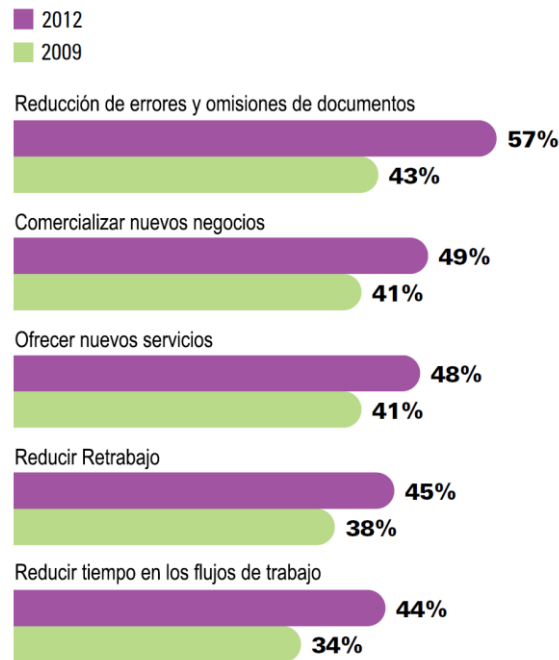


Ilustración 13. Beneficios y ventajas del BIM.
Tomada de MC Graw Hill 2012, Smart Market Report.

En este gráfico de MC Graw Hill Construction, se puede constatar lo anteriormente expuesto sobre las ventajas del BIM. También se puede concluir que, para muchos, el BIM requiere de mayor trabajo, pero a su vez facilita la construcción de los proyectos al poder reducir los costos del mismo. (Cassino et al., 2012). Mediante la aplicación y utilización del BIM, existe una mayor oportunidad de conseguir nuevos negocios o proyectos constructivos, razón por la que también lo hace bastante atractivo para algunas compañías.

Ahora, de acuerdo a las definiciones estudiadas del BIM, se puede concluir que la intención del BIM es integrar la arquitectura, la ingeniería y la construcción, para obtener a cabo un resultado eficiente, innovador y colaborativo de los procesos de edificación;

evitando así la pérdida de valor en la producción y gestión de la información (Martínez Torres, 2015).

Para evitar este tipo de pérdidas, el arquitecto Mac Leamy, jefe ejecutivo de la empresa Building Smart, ha desarrollado un gráfico que ha sido de gran utilidad para el mundo del BIM, y constata algunas de las ventajas expuestas anteriormente:

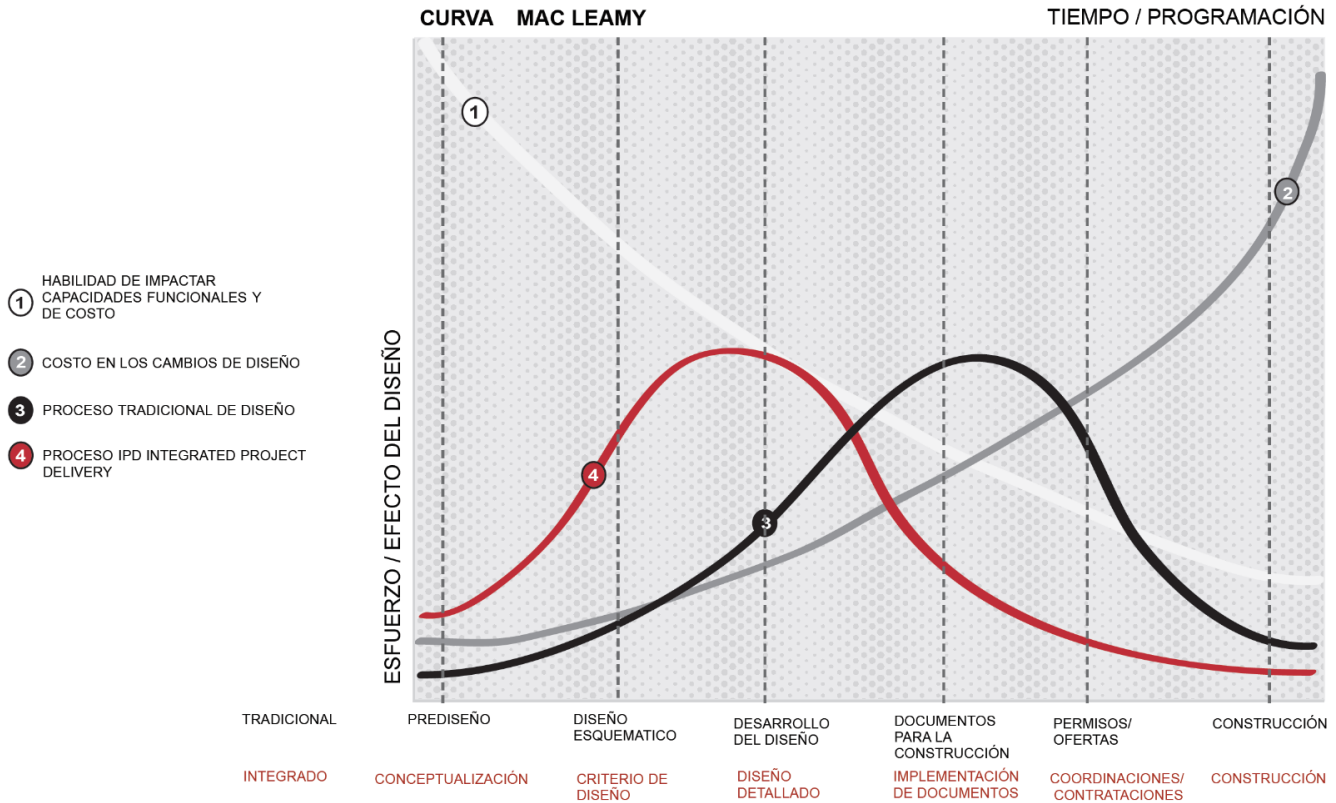


Ilustración 14. Curva Mac Leamy.

Tomado de <http://www.msa-ipd.com/MacleamyCurve.pdf>. Traducido por (Martínez Torres, 2015).

En la anterior gráfica se aprecia el proceso tradicional de diseño para llevar a cabo un proyecto de construcción, comparado con el método integrado propuesto por IPD (Integrated Project Delivery) en español "Entrega Integrada de Proyectos", que según el AIA (The American Institute of Architects) (AIA, 2007) es una metodología de entrega de proyectos que integra personas, sistemas, estructuras y prácticas comerciales en un proceso que aprovecha de manera colaborativa los talentos y las ideas de todos los participantes para optimizar los resultados del proyecto, aumentar el valor para el

propietario, reducir el desperdicio y maximizar eficiencia a través de todas las fases de diseño, fabricación y construcción.

Al traslapar las gráficas se aprecia que bajo el modelo IPD, el esfuerzo inicial en las etapas de diseño es bastante alto y demanda tiempo, pero puede ser menos costoso, por ende más rentable. A su vez, hacer un cambio con anticipación resulta más rápido y fácil.

En el método tradicional los diseños se demoran más, incurriendo en una disminución de la rentabilidad del mismo. A su vez, cualquier cambio tendrá un mayor costo, dada la cantidad de tiempo consumido y el avance del proyecto.

2.9. Barreras o dificultades del BIM

Razones para no adoptar BIM, desventajas. Según los NO usuarios. (2009-2012)

McGraw-Hill Construction, 2012

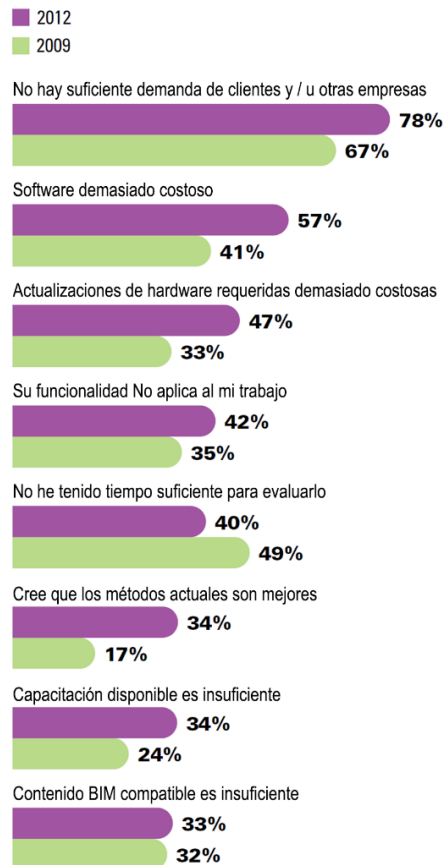


Ilustración 15. Razones para no adoptar BIM, desventajas.
Tomada de MC Graw Hill 2012, Smart Market Report.

En este gráfico se observan algunas de las mayores dificultades que tiene la implementación del BIM en los proyectos de construcción. Entre ellas se destaca la poca demanda del BIM y el alto costo del software necesario para la modelación y la resistencia al cambio de algunas personas o entidades (Cassino et al., 2012)

Según (Prieto, 2017), algunas de las mayores barreras que tiene la implementación del BIM, se traducen en:

- Costo de adopción.

Este aspecto es el principal obstáculo para una implementación de la metodología BIM en las pequeñas y medianas oficinas de diseño. Lo primero que se debe tener en cuenta es que para poder usar esta metodología se debe realizar una inversión inicial alta para la adquisición de los diferentes programas y de equipos que cuenten con las características específicas para el flujo de trabajo, los cuales deben estar conectados por un servidor potente que permita la elaboración del modelo y una copia de seguridad que respalde todo el proceso. Dependiendo del tamaño del proyecto también se debe contemplar la posibilidad de generar puestos adicionales de trabajo para cumplir con la nueva carga que éste demanda. Adicionalmente, es necesario capacitar a los profesionales que harán parte del equipo de trabajo, pues cada uno debe conocer muy bien tanto el programa de modelado como la metodología que se empleará para el desarrollo de proyectos, teniendo un retorno de la inversión a largo plazo cuando la metodología BIM se pueda aplicar plenamente en grandes proyectos.

- Generación completa de los modelos con altos niveles de precisión.

En un proyecto realizado con BIM, la documentación técnica de construcción en dos dimensiones y en papel debe ser preparada a partir del modelo en tres dimensiones, y para lograr esto el modelo tiene que ser completado en su totalidad. Además, el proyecto debe modelarse con una precisión total para que

los datos obtenidos coincidan con la realidad, lo cual a menudo no es posible de lograr por la complejidad y los altos estándares que exigen para su ejecución los proyectos de construcción actuales.

- Cambios en las metodologías personales de trabajo.

La metodología BIM requiere que todos y cada uno de los miembros del equipo abandonen los planes de trabajo individual específicos de la disciplina o de la oficina particular de diseño, y se deben establecer normas y reglas estrictas en el equipo para trabajar de acuerdo con las normas BIM, ya que esto afecta la eficacia y el resultado final del proyecto.

Algunas otras dificultades de la implementación del BIM son:

- Información incompleta entre plataformas BIM.

Un problema común en el desarrollo de proyectos usando varias plataformas BIM es conseguir que los diferentes formatos de archivo funcionen correctamente al crear un modelo con información combinada del edificio, lo que en ocasiones genera inconsistencias en la información técnica que se extrae de dicho modelo. Esto podría, por ejemplo, relacionarse con el cálculo de los volúmenes de materiales. Cuando los datos se han tomado de los modelos de información de la construcción originales se obtiene cierto valor, y cuando se toma de datos después que los modelos se han convertido en el formato de archivo IFC, un valor diferente se puede generar (Fazli, Fathi, Enferadi, Fazli, & Fathi, 2014)

- Falta de regulación legal.

Actualmente no existe una regulación legal para la aplicación de la metodología BIM en el desarrollo de proyectos de construcción, lo cual puede generar conflictos y malos entendidos entre los participantes del proyecto que podrían ocasionar retrasos en las obras de construcción, lo que conlleva en aparición de costos adicionales o incluso demandas; razón que no estimularía la aplicación de la metodología BIM en el mercado actual de la construcción. Adicionalmente, se

tendrían serios problemas en los temas relacionados a la propiedad intelectual, pues en comparación con los dibujos y especificaciones de dos dimensiones, los modelos BIM contienen una enorme cantidad de información electrónica que se puede transmitir rápidamente, de manera eficiente, y se puede extraer y reutilizar en su totalidad o en parte, con facilidad (Porwal & Hewage, 2013).

En el siguiente gráfico se aprecian algunas de las bondades que el BIM tiene para ofrecerle a aquellas personas que no ven su beneficio o que se resisten al cambio.

Principales beneficios que influirían en los NO usuarios para que consideren adoptar BIM

Source: McGraw-Hill Construction, 2012

(2009 - 2012)

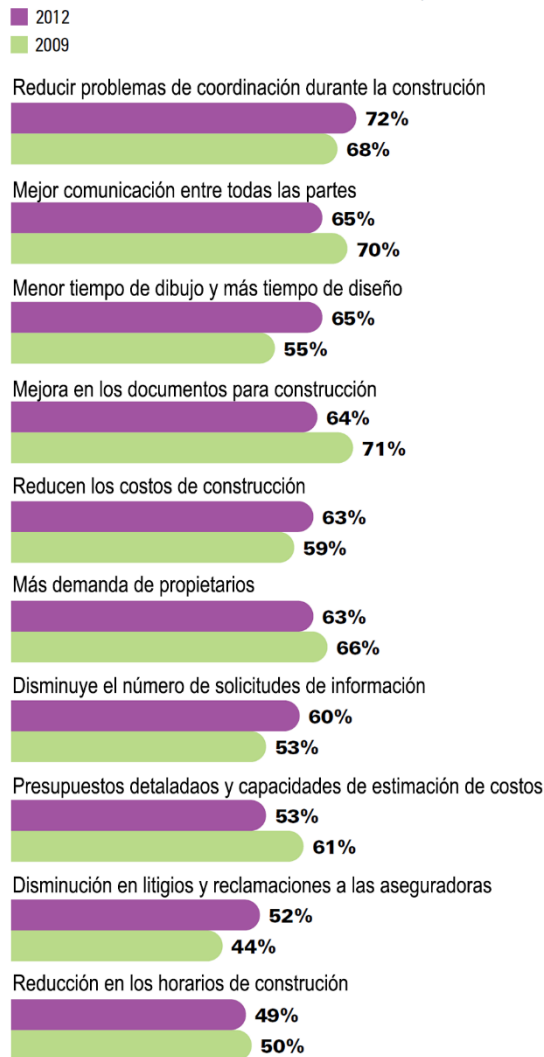


Ilustración 16. Principales beneficios que influirían en los NO usuarios para que consideren adoptar BIM.

Tomada de MC Graw Hill 2012, Smart Market Report

Existen posibilidades de poder incursionar en el mundo del BIM, sin necesidad de tener que comprar software, equipos, ni capacitar al personal de trabajo o incurrir en otros costos iniciales asociados con la implementación de BIM. Una de ellas es la externalización o subcontratación de una empresa tercera, para que lleve a cabo el proceso del modelado BIM, a proyectos específicos suministrados por el contratante. De esta manera, las ventajas del BIM se puede apreciar también, pero no de la misma manera, pues se deja a un lado la posibilidad de crear un ambiente laboral y una cultura o forma de pensar nueva para las empresas contratantes (Fountain & Langar, 2018).

2.10. Normatividad del BIM

En el tema de regulación y normatividad se ha realizado un avance significativo por parte de varios países donde se busca profundizar y regular con normatividad el uso de BIM, para los diferentes proyectos de ingeniería y construcción (Universidad Politécnica de Valencia, 2019).

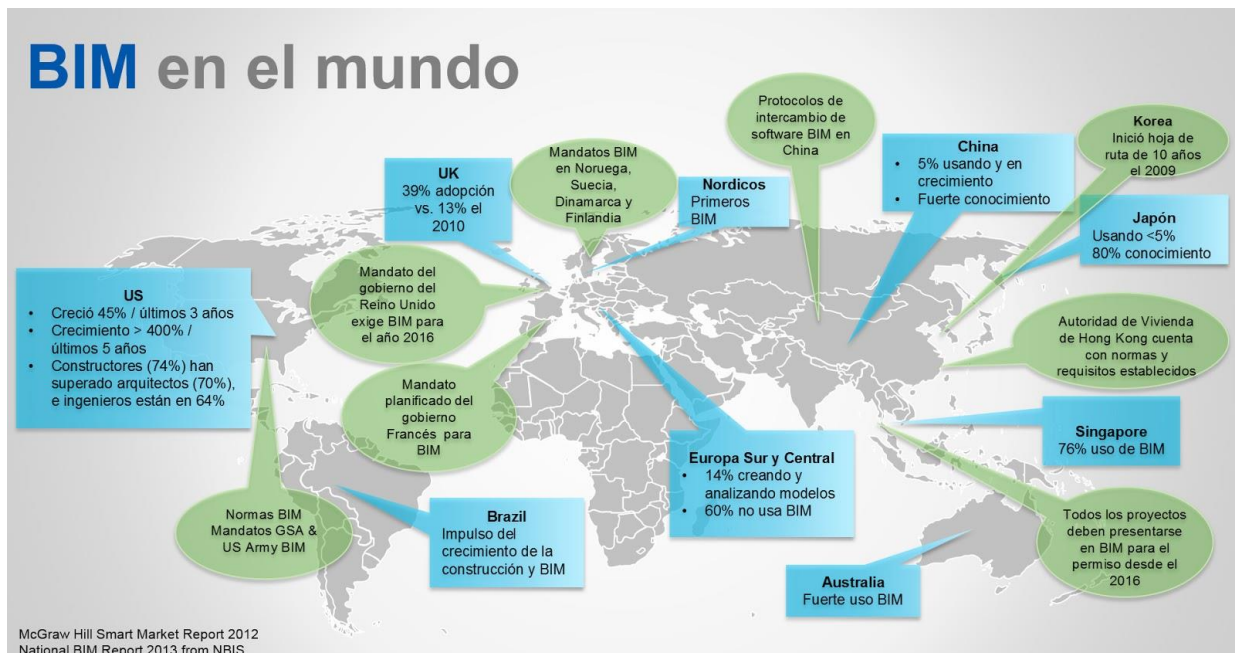
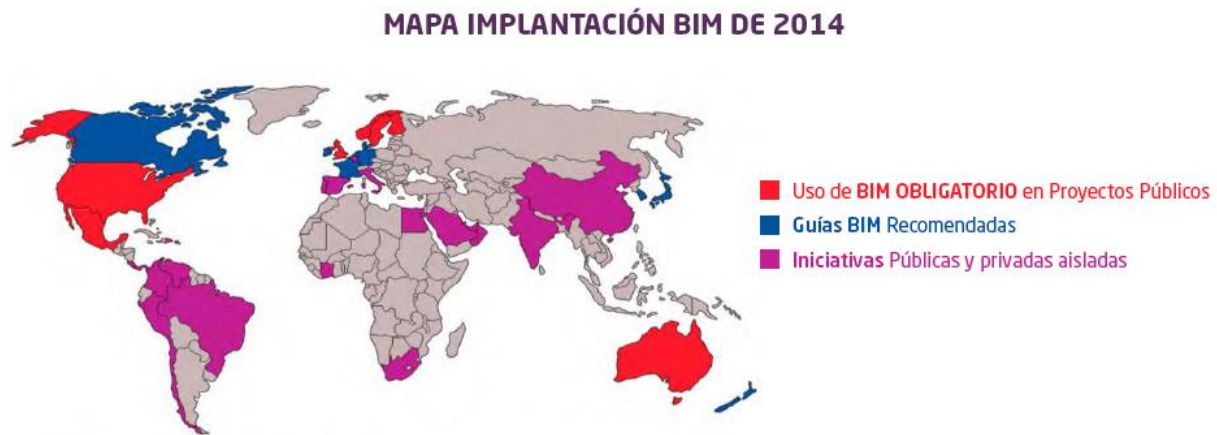


Ilustración 17. Estado del BIM en el mundo.
Tomado de (Universidad Politécnica de Valencia, 2019).

El BIM está siendo impulsado, acompañado y dirigido por los países que entienden esta metodología como un medio de avance significativo para el desarrollo de la infraestructura, bien sea pública o privada, cómo se observa a continuación:



Fuente: Dossier de la Comisión BIM, del Ministerio de Fomento - Estudio McGraw Hill

*Ilustración 18. Mapa de implementación del BIM en el mundo.
Tomado de (Universidad Politécnica de Valencia, 2014).*

Las normativas existentes son estándares internacionales y lineamientos legales que delimitan las reglas de manejo, bases de datos y estandarización de procesos, que debe seguir la metodología BIM (López, 2017). Entre ellas se destacan algunas normas ISO (ISO ORG, 2017):

- ISO 16739:2016. Industry Foundation Classes (IFC) para el intercambio de datos en el sector de la construcción e instalaciones.
- ISO 12006-3: 2016. Organización de información relativa a la construcción.
- ISO 12006-3: 2007. Esquema para la información orientada a objetos.
- ISO 29481-2: 2016. Manual de distribución de las informaciones.
- ISO 29481-1: 2010. Especificación de una metodología y el formato para la elaboración de un manual de entrega de información (IDM). En ella se explica una metodología que une el flujo de los procesos de construcción con la información requerida para el desarrollo del proyecto, y también la forma en que la información debe ser detallada, al igual que la descripción de los procesos dentro de un ciclo

de vida de la construcción. Esta norma tiene por objeto también facilitar la interoperabilidad entre aplicaciones de software utilizadas en el proceso de construcción, para promover la colaboración digital entre los actores en el proceso de construcción y para proporcionar una base para el intercambio de información precisa, confiable, repetible y de alta calidad.

- ISO 19650-2. El ISO (International Organization for Standardization) publicó un proyecto normativo a nivel internacional en donde se especifican los requisitos necesarios para la gestión de la información durante la fase de entrega del proyecto al utilizar BIM. La norma puede aplicarse a todos los activos, tipos y tamaños de organizaciones, independientemente de la estrategia de adquisición de esta metodología.

2.11. Software BIM

Hace algunos años, cuando su uso no era tan recurrente, se asociaba al BIM con un software más de dibujo. Hoy en día esta percepción ha cambiado, y existen varias marcas de software para llevar a cabo modelos bajo la metodología BIM. A continuación se listan algunas de ellas (Monfort Pitarch, 2015)

- **Revit (Autodesk).**

Es una herramienta informática de dibujo asistido por ordenador que permite diseñar elementos de modelación paramétricos basados en objetos inteligentes y en tres dimensiones. Esta casa provee una asociación completa de orden bidireccional. Gracias al motor de cambios paramétricos de Revit, cualquier cambio del proyecto, significa un cambio en todos los lugares instantáneamente, sin que el usuario tenga que realizarlo. A pesar de existir desde 1997, se popularizó en 2002 cuando su empresa desarrolladora, Revit Technology Corporation fue comprada por Autodesk Inc. Sus principales versiones:

- REVIT Architecture
- REVIT Structure
- REVIT MEP

- **ArchiCAD (Graphisoft)**

Graphisoft nació en 1982 en Budapest, Hungría, y en 1984 sacó al mercado la aplicación Radar CH, también conocida como ArchiCAD 1.0, el primer software de CAD en 3D. Al igual que Revit, ArchiCAD se organiza en torno a un archivo único, con un sistema de librerías que puede ser referido a archivos externos o que pueden pertenecer al propio proyecto. Pero a diferencia de Revit, mantiene algunas herramientas tradicionales de CAD, como el sistema de capas, o el ploteado según conjuntos de plumillas.

- **Allplan (Nemetschek).**

Allplan es otro software de diseño asistido por computadora 2D/3D paramétrico para arquitectura e ingeniería desarrollado por la empresa Nemetschek, fundada en 1963. En 1984 lanzaron su primer software de CAD, Allplan V1, y con el tiempo han ido incorporando procedimientos BIM en él. No obstante, la estructura de documentación de Allplan es totalmente diferente a las otras aplicaciones BIM ya que los proyectos se guardan en carpetas que contienen multitud de archivos con la información del modelo, que se organizan por plantas y categorías de objetos. Esto lo hace mucho menos ágil a la hora de navegar por el proyecto, si se compara con las demás aplicaciones desarrolladas.

- **Tekla**

Es otra importante empresa en el mundo BIM. Su nombre es la abreviación de la expresión finlandesa 'Teknillinen Laskenta Oy'. Es uno de los softwares más especializados en el cálculo y diseño de estructuras de acero. Los modelos Tekla contienen información detallada, confiable y precisa.

Existen muchas otras y diversas extensiones que complementan al software principal como Robot (cálculo de estructuras), Presto (realización de mediciones), 3DMax (modelado tres Dimensiones y renderizado), MS Project (programación de obra), Medit (mediciones de proyectos), etc.

3. ESTADO DEL ARTE

En el presente capítulo se profundizará en el estado actual del conocimiento de la metodología BIM en el mundo y los temas de interés más tratados recientemente. Para ello se realizaron búsquedas de revistas científicas, libros y actas de congresos; en bases de datos importantes a nivel mundial, como: Scopus, Web of Science, ScienceDirect, Google Scholar, y el repositorio de la universidad EAFIT.

3.1. Introducción

¿Cómo transmitir la esencia de la configuración de los proyectos a través de la representación gráfica y cómo se puede conceptualizar todo el proceso constructivo que requiere la materialización de los ideales de diseño? Indudablemente aparece la necesidad de buscar un método que admita realizar cambios en cualquiera de las dimensiones de los proyectos y que estos a su vez se reflejen las documentaciones relacionadas; además permita entender los procesos de construcción, coordinación con disciplinas afines, programación de actividades para su ejecución, materiales, cruces de instalaciones, cantidades de materiales y elementos, análisis de eficiencia energética, despieces, planos de taller, planos constructivos etc. Es entonces cuando los profesionales durante su formación pasan del diseño a lápiz y papel al dibujo asistido por computadora (CAD) hasta llegar a conocer el BIM de manera aislada (López, 2017).

Una de las actividades que más repetición de procesos presenta con el flujo de trabajo tradicional basado en las plataformas CAD, es la pérdida de tiempo destinada a rehacer juegos completos de planos por la falta de elementos paramétricos que enlacen todos los datos de diseño, como lo son las tablas de cantidades y planimetrías. Los atributos tipo dato en estos elementos de diseño son aquellos que dan información actualizada y útil para su interpretación y construcción, para tener así información más precisa. Este tipo de elementos paramétricos facilitan el análisis y administración integral de los proyectos de diseño, desde un modelo tridimensional (Eastman et al., 2015).

3.2. Discusión actual

Actualmente en Colombia es común que no se dedique gran cantidad de tiempo y esfuerzos a la fase de planificación, por lo que comúnmente se derivan problemas de falta de productividad, retrasos y sobrecostos. En el caso puntual de los diseños del proyecto, normalmente no se depuran hasta que se inicia su construcción y generalmente las interferencias entre éstos se resuelven sobre la marcha y no las resuelve la persona idónea para esto, generando sobrecostos, retrasos o productos de mala calidad (Aguilar, 2015).

Con la aplicación y el uso de la metodología BIM se pudieran mejorar estos aspectos, y los proyectos de construcción serían llevados a cabo con mayor confianza, certidumbre y asertividad, como se demuestra en varios casos exitosos (Azhar, 2011). Pero uno de los principales problemas para su implementación en Colombia son los altos costos de adopción e implementación, en empresas medianas al igual que la gran resistencia al cambio que presentan algunos diseñadores, al no querer salirse de su línea de confort (Prieto, 2017).

Es paradójica la resistencia al cambio y a la adopción de nuevas metodologías que ayudarían notablemente al mejor desempeño de la construcción, sabiendo el punto álgido que más sobrecosto genera es la falta de coordinación técnica inicial y el análisis previo de los impactos que tendrá la construcción en su lugar de emplazamiento, provocando la falta de estrategias que permitan la validación exhaustiva de la integración multidisciplinaria de los proyectos (Takim, Harris, & Nawawi, 2013).

Otro de los grandes problemas que se enfrentan en los proyectos constructivos es, según Manuel Reyes, la carencia de comunicación entre las distintas disciplinas que participan en el proceso. Aunque la comunicación es de vital importancia en los proyectos de construcción, la industria de la construcción se enfrenta a grandes dificultades de comunicación y un uso ineficaz de las tecnologías de la información (Martínez Torres, 2015).

Los problemas e impactos generados por la separación de las etapas de diseño y construcción son muy notorios. Los principales problemas detectados son: (a) la poca interacción entre ambas etapas, diseño y construcción, y (b) la poca interacción entre los diversos proyectistas (especialistas) encargados del proyecto. Esta situación obliga en la siguiente etapa a iniciar la construcción del proyecto con deficiencias en los documentos de diseño e ingeniería, ya que estos están incompletos, los planos no están compatibilizados y existen interferencias entre los planos de las distintas disciplinas del proyecto. Estas deficiencias en los documentos de diseño frecuentemente son detectadas y resueltas en campo (obra) en plena ejecución del proyecto, en la etapa menos indicada, ya que es en la etapa de construcción donde todo cambio cuesta más (Alcántara, 2013).

3.3. “Prevención de colisiones” en vez de “detección de colisiones”

Actualmente las prácticas de diseño y coordinación BIM de un proyecto aún dependen de la detección de colisiones y la literatura contemporánea se enfoca mucho en este tema. La colaboración temprana es crucial para que el diseño final sea libre de colisiones y con los procesos de automatización a través de BIM, existe la capacidad de reducirlos mediante la coordinación del diseño 3D.

¿Pero por qué esperar para detectar las colisiones y no más bien prevenirlas o evitarlas desde el principio? Un ingrediente clave y necesario para lograr modelos BIM 3D sin colisiones es desalentar el "trabajo aislado". Esto podría lograrse a través de plataformas que permiten la colaboración sincrónica en tiempo real para que todos los participantes posean la misma información y el mismo nivel de conciencia sobre el proyecto. Además, la participación temprana de diseñadores relevantes con el proyecto pudiera hacerse, según reciente estudio del autor Akponeware, a través de una metodología “open work-in-progress” (OWIP), en español “trabajo abierto en curso”, el cuál generará transparencia y creación conjunta con diseñadores capaces de revisar, modificar o recomendar cambios de diseño, desde el verdadero comienzo del diseño y a medida que este progresa (Akponeware & Adamu, 2017).

Consecuentemente, es indispensable que cada diseñador que intervenga en las diferentes especialidades del proceso de diseño y modelado, en especial las técnicas, esté sumamente capacitado y tenga los conocimientos suficientes de cómo funciona y se opera de manera correcta lo que se está diseñando, para poder llegar un alto nivel de detalle, donde no falte ningún elemento por modelar adecuadamente. Sólo de esta manera se pudiera confiar plenamente en la detección y prevención de colisiones que arroje el software utilizado, porque de lo contrario, se tendrían que hacer dichas comprobaciones de manera manual, tradicional, con planos en 2D, o bien sea en obra durante la ejecución del proyecto (Leite, Akinci, & Garrett, 2009).

En encuestas realizadas por la compañía McGraw-Hill (Morton & Ramos, 2014) (ver imagen) a tres grupos de personas (arquitectos, ingenieros, propietarios), se puede observar que:

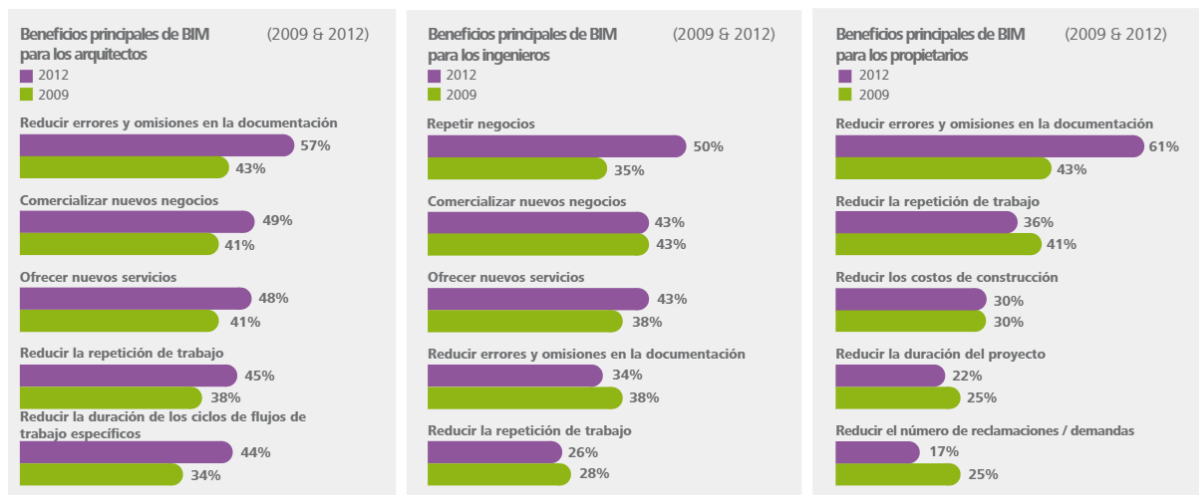


Ilustración 19. Beneficios del BIM para arquitectos, ingenieros y propietarios.
Tomado de (Morton & Ramos, 2014)

- Uno de los grandes beneficios de implementar la metodología BIM en los proyectos, es reducir los errores y omisiones en la documentación.
- Del año 2009 al 2012 se ha incrementado la percepción positiva respecto a los beneficios de implementar la metodología BIM en proyectos arquitectónicos.
- Con una buena implementación de BIM, se pueden reducir los costos y los tiempos de construcción.

Sin embargo, algunos autores reconocidos por sus aportes y estudios realizados sobre la metodología BIM, como Weisheng Lu (Lu, Fung, Peng, Liang, & Rowlinson, 2014), sugieren que algunos beneficios del BIM se presentan como exagerados, puesto que, por ejemplo, los ingenieros están en la capacidad de utilizar su experiencia para detectar una colisión y no necesitan de un software para detectarla. Por otro lado, hay otros autores quienes afirman que, si bien se mencionan muchos beneficios y factores en la literatura, hay muy poco a modo de investigación para evaluar la importancia real del desempeño del BIM (Eadie, Browne, Odeyinka, McKeown, & McNiff, 2013).

3.4. Retorno de la inversión

El análisis del retorno de la inversión (ROI) es una de las muchas formas de evaluar una inversión propuesta, en este caso el uso de BIM para proyectos de construcción. Dicho análisis compara la ganancia anticipada (o lograda) de una inversión con el costo de la inversión (es decir, $ROI = \text{ganancia} / \text{costo}$) (Rae, 2014).

En el estudio realizado por Salman Azhar (Holder Construction Company, Atlanta, GA.), se adquirieron datos de costos detallados de 10 proyectos para realizar el análisis BIM ROI. Los resultados se muestran en la siguiente tabla y arrojan que el ROI BIM para diferentes proyectos varió de 140,0% a 39.900%. En promedio, fue de 1.633% para todos los proyectos y 634,0% para proyectos que no tuvieron en cuenta las fases de “planificación” y de “análisis de valor”. Debido a la gran dispersión de datos, es difícil concluir un rango específico para BIM ROI y la razón probable de esta gran diferencia es el alcance variable que puede tener BIM en diferentes proyectos. También se debe tener en cuenta que ninguna de estas cifras de costos tuvo en cuenta los ahorros de “costos indirectos” es decir, costos de diseño, construcción, administrativos o similares, que se pudieron haber obtenido como resultado de la implementación de BIM. Por lo tanto, el BIM ROI real puede ser mucho mayor que el que se informa en la tabla. (Azhar, 2011).

Year	Cost (\$M)	Project	BIM scope	BIM cost (\$)	Direct BIM savings (\$)	Net BIM savings (\$)	BIM ROI (%)
2005	30	Ashley Overlook	P/PC/CD	5,000	(135,000)	(130,000)	2600%
2006	54	Progressive Data Center	F/CD/FM	120,000	(395,000)	(232,000)	140%
2006	47	Raleigh Marriott	P/PC/VA	4,288	(500,000)	(495,712)	11560%
2006	16	GSU Library	P/PC/CD	10,000	(74,120)	(64,120)	640%
2006	88	Mansión on Peachtree	P/CD	1,440	(15,000)	(6,850)	940%
2007	47	Aquarium Hilton	F/D/PC/CD	90,000	(800,000)	(710,000)	780%
2007	58	1515 Wynkoop	P/D/VA	3,800	(200,000)	(196,200)	5160%
2007	82	HP Data Center	F/D/CD	20,000	(67,500)	(47,500)	240%
2007	14	Savannah State	F/D/PC/VA/CD	5,000	(2,000,000)	(1,995,000)	39900%
2007	32	ÑAU Sciences Lab	P/CD	1,000	(330,000)	(329,000)	32900%
Total all types				260,528	4,516,620	4,256,092	1633%
Totals without planning/VA phase				247,440	1,816,620	1,569,180	634%

Note: CD = construction documentation; D = design; F = feasibility analysis; FM = facilities management; GSU = Georgia State University; NAU = Northern Arizona University; P = planning; PC = preconstruction Services; ROI = return on investment; VA = value analysis.

*Tabla 2. Estudio de retorno de la inversión ROI.
Tomado de (Azhar, 2011).*

Generar un método universal para medir los ahorros de usar BIM para un cliente o para los proyectos en general es casi imposible, debido a que no hay dos proyectos de construcción que sean exactamente iguales. Aun así, se pudo comprobar en el estudio que la inversión hecha en procesos BIM se libra fácilmente con los ahorros obtenidos antes de construir y durante la construcción. Según Brittany K Giel, existen otros métodos de ahorro que son difíciles de medir, pero están implícitos en el modelado BIM: la detección más rápida de errores y omisiones en los planos de construcción 2D; y la disminución de los “RFIs” (requests for information), en español “solicitudes de información”, que son dispendiosas y demandan mucho tiempo de los diseñadores técnicos (costos indirectos) (Giel & Issa, 2013).

De igual manera, para Peter Love los costos indirectos asociados con la adopción de BIM también son más significativos que los costos directos. Sin embargo, es la naturaleza esquiva de estos costos lo que hace que su identificación y control sean difíciles de determinar y gestionar. Los costos indirectos incluyen tanto los costos de organización como los costos humanos. Los costos organizacionales se relacionan con la transformación de las antiguas prácticas de trabajo a nuevas prácticas y la influencia que

BIM puede tener en las actividades de trabajo durante la construcción y operación del activo. Con la introducción inicial de BIM, se podrá experimentar una pérdida temporal de productividad, ya que los empleados pasan por una curva de aprendizaje mientras se adaptan a nuevos sistemas y procedimientos. Esto implica que los empleados estén capacitados y entrenen a otros para usar y explotar el modelo desarrollado en todo su potencial. (Love, Simpson, Hill, & Standing, 2013).

Un factor determinante para obtener un BIM ROI atractivo es el tiempo. El impacto de BIM en la prevención y disminución real de retrasos en los cronogramas de obra tiene una de las mayores influencias en el aumento del ROI (Azhar et al., 2016). Aun así, el factor del BIM ROI es una de las grandes variables que alienta o desalienta a los constructores convencionales sobre la implementación del BIM, puesto que algunos lo ven como un alto costo adicional a los proyectos de construcción, que no se puede librar o justificar fácilmente (Monfort Pitarch, 2015). Es precisamente este tipo de pensamiento el que se debe cambiar para lograr en un futuro una muy buena acogida e implementación de la metodología BIM a nivel mundial.

Se debe tener en cuenta que la primera implementación de la tecnología BIM en proyectos de construcción, puede no resultar tan beneficiosa e incluso experimentar algunas desventajas. Al sumar el costo de la inversión en TIC (tecnología en información y comunicación), el tiempo de capacitación, los reprocesos obtenidos en la curva de aprendizaje de su implementación, los errores de los usuarios y el aumento del estrés (Remenyi, Bannister, & Money, 2007), el BIM ROI puede dar muy bajo o en un plazo muy prolongado de tiempo (Azhar et al., 2016). Si no hay disposición y no existe persistencia en dicha implementación, toda la inversión se perderá.

Se puede comprender que la inversión y adopción del BIM posiblemente se de en un mayor porcentaje en aquellas personas o empresas que tengan suficientes recursos económicos y tiempo para poder implementar BIM y medir sus resultados. Es decir, la adopción del BIM tiende a estar ampliamente relacionada con el tamaño de las empresas interesadas (Arayici et al., 2011). Es por ello que las empresas más pequeñas tienden a

equiparar y a utilizar el BIM sólo con el modelado 3D, mientras que las grandes empresas lo perciben como una forma de administrar el diseño y la construcción en sí mismos, así como también los costos, los cronogramas y el intercambio de información. Adicionalmente, la mayoría de estudios y adopción BIM se ha llevado a cabo en empresas grandes (Bryde et al., 2012).

Este panorama no es muy alentador para empresa pequeñas y proyectos pequeños, pero no significa esto que no puedan implementar BIM. Se espera que con el tiempo, las grandes empresas que utilizan BIM de manera privada y en la contratación pública, comiencen a divulgar las ventajas y la familiaridad del uso del BIM, alentando así a que más usuarios lo implementen, en especial aquellos pequeños usuarios (Burt & Purver, 2014).

3.5. Trasfondo del BIM

Las definiciones de BIM son bastante amplias, algunas efímeras, pero al día de hoy no existe una única definición que recoja y traduzca lo que significa BIM. Al no existir una entidad que regule el BIM a nivel mundial, cada país y cada entidad particular podrá dar su propia definición de BIM, como sucede actualmente.

En el marco teórico de este estudio se planteó una definición de BIM, sus características y ventajas, desde un punto de vista netamente del diseño, técnico y funcional de su aplicación. Pero hace falta conocer algunas bondades más humanas, que poco se habla de ellas, pero que están implícitas en BIM. Su implementación proporciona las bases para nuevas capacidades de construcción y cambios en los roles y las relaciones entre los diferentes equipos que intervienen en un proyecto (Eastman et al., 2015).

Es precisamente esta interdisciplinaridad, la interacción y la mezcla de los equipos de trabajo (diseño, obra, técnicos) la que hace que el BIM pueda tener resultados aún mayores, de los que no mucha gente está consciente, entre ellos (Khemlani, 2009):

- Mayor participación de los conocimientos y habilidades de construcción en el proceso de diseño.
- Desarrollos de diseños detallados desde una etapa mucho más temprano.
- Introducción de nuevos roles, como gerentes o consultores BIM.

Esta interrelación de las diferentes áreas genera otra gran ventaja para las empresas y para los diseñadores BIM en general, puesto que constantemente éste personal se está capacitando y aprendiendo nuevos conceptos de: cómo se hacen las cosas, al tener que diseñarlas; cómo se construyen, al tener que socializar con el personal técnico. Quiere decir que las empresas, con un caso exitoso de BIM tendrán éxito no sólo en el proyecto sino a nivel humano, de personal, de equipo de trabajo, cada vez más capacitado (Khemlani, 2009).

Hacer un buen uso del modelado y diseño BIM de por sí sólo garantiza buenos resultados y existen numerosos caso de éxito (Azhar, 2011), pero al combinarlo e integrarlo con buenas prácticas de obra como el LEAN construction (construcción sin pérdidas) se obtiene un potencial completo para mejorar los proyectos de construcción (Sacks, Koskela, Dave, & Owen, 2010). Es decir, cualquier compañía o proyecto que utilice LEAN pudiera mejorar seriamente sus resultados con el uso de BIM para LEAN, y viceversa.

Para obtener una comprensión completa de los beneficios y los cambios en los procesos de información, las herramientas BIM en sí mismas y por supuesto los principios de construcción LEAN, se debe conocer el valor de la teoría de la producción en la construcción (Sacks et al., 2010).

3.6. Estado del BIM a nivel mundial.

A nivel mundial son muchas las entidades tanto públicas como privadas que están proponiendo documentos e iniciativas que ponen en conocimiento y reafirman los beneficios obtenidos al utilizar la metodología de trabajo BIM en los proyectos de

construcción, argumentando que se obtienen mejoras significativas, tanto técnicas como económicas en su desarrollo (Salazar, 2017).

El crecimiento generalizado en el uso de la metodología de trabajo BIM en todo el mundo, y las perspectivas económicas esperadas alrededor de esta tecnología están fundamentadas en las ventajas competitivas que potencialmente pueden adquirir las empresas que implementen en su cadena de procesos dicha metodología (D'paola Puche, 2014). A continuación, se especifican algunos de los países que más desarrollo y aplicación tienen sobre el tema, según (Salazar, 2017), (Tamames & Mieza, 2018) y (Sanz, 2017).

3.6.1. Europa

Reino Unido.

Es quizás el país que tiene uno de los proyectos más ambiciosos de implementación de BIM impulsado por entes gubernamentales en el mundo. La estrategia se empezó a implementar por el gobierno de Reino Unido desde el 2011 con el fin de que en el 2016 todos los proyectos de construcción financiados con dineros públicos se realizaran con BIM. Efectivamente, desde el 2016 el uso del BIM es de obligado cumplimiento para proyectos gubernamentales, y aproximadamente un 80% de las empresas trabajan con algún proyecto BIM.

Reino Unido es el 'caso país' que mejor explica los desafíos presentes en el despliegue BIM y cuyo modelo manifiesta una mayor capacidad para compartir, de forma abierta, los avances del sector AEC. El Reino Unido lidera, en el mundo y en Europa, las iniciativas relacionadas con BIM. El NBS (National Building Specification) es un sistema de especificación de construcción del Reino Unido utilizado por arquitectos y otros profesionales de la construcción para describir los materiales, las normas y la mano de obra de un proyecto de construcción. Fue lanzado en 1973 y ahora es utilizado por más de 5000 oficinas.

Región Escandinava (Noruega, Dinamarca, Finlandia).

La dirección de Obras Públicas del gobierno noruego exige su uso en todos sus edificios. Este país empezó en 2007 con algunos proyectos BIM, y para el 2010 muchos estaban usando el formato IFC (Industry Foundation Classes) que se basa en el BIM. A la fecha están haciendo hincapié en la eficiencia energética, la coordinación y la optimización de errores.

Noruega, Dinamarca, y Finlandia, que adoptaron tempranamente el programa ArchiCAD, se encuentran entre los primeros países en adoptar el diseño basado en modelos, defendiendo la interoperabilidad y los estándares abiertos, convirtiéndose en parte integral del desarrollo de Industry Foundation Classes (IFC) y otras iniciativas relacionadas con los temas de interoperabilidad. El uso de BIM es obligatorio en esta región para los proyectos públicos.

Holanda

Para el año 2015, el 76% de las prácticas fueron realizadas en BIM, desde la fase de diseño hasta el mantenimiento.

Alemania

En este país, los clientes privados son los que más exigen el uso de BIM, en un 90% de los casos, una demanda superior a la que exige el gobierno, quien todavía no implementa BIM en sus proyectos públicos.

España

Comenzará a implementar BIM cuando los equipamientos y las infraestructuras públicas de presupuestos sean superiores a dos mil millones de Euros, donde debe producirse en BIM las fases de diseño y construcción en la modalidad de obra nueva. En 2020, será para todas las fases, incluido el mantenimiento y tanto para obra nueva como rehabilitación.

3.6.2. Estados Unidos de América

Los EE. UU. son pioneros en esta metodología desde el 2003 con su Programa Nacional 3D-4D BIM y llevan años expandiendo el BIM en grandes proyectos públicos los cuales poseen diversos protocolos BIM según sus estados, diversas rutas y estándares para el ciclo de vida de un proyecto de construcción. En comparativa entre EEUU y Europa se devela que, en el año 2009, el 49% de las empresas americanas habían implementado BIM, en cambio en el 2010, era tan solo el 36% de las empresas europeas las que lo habían hecho.

A través de la Administración de Servicios Generales (o GSA por sus siglas en inglés) Estados Unidos ha desarrollado una serie de estándares como el National BIM Standard para la implementación de BIM en proyectos de construcción, convirtiéndose en un líder global en el desarrollo e implementación de BIM en la industria de la construcción

Por otro lado Canadá, no fue sino hasta el 2015 que impuso estándares BIM en su gobierno.

3.6.3. Oceanía

Desde el 2014 Australia y Nueva Zelanda ofrecen una guía BIM para planificación, transporte e infraestructuras para agencias gubernamentales, consultores y contratistas. También han hecho público que en 15 años todo proyecto deberá ser realizado en BIM. En Nueva Zelanda funcionan de manera similar y además publicaron un libro BIM Handbook, documentando los proyectos de manera eficiente.

3.6.4. Asia

Desde el 2013, los proyectos de Dubái son BIM de manera obligatoria. Singapur tiene una ruta de guía BIM que pretende estandarizar la industria a partir del 2015, y que estipula el uso BIM para proyectos de más de 5.000 m². China también ha desarrollado una Guía BIM en un plan nacional y en 2014 ya desarrollaron una estrategia de implantación BIM, donde se espera que en 2019 un 30% de los proyectos se realicen bajo este estándar. Hong Kong y Taiwán lideran la migración BIM.

Todos los proyectos públicos de más de cincuenta millones de dólares en Corea Del Sur son BIM de manera obligada desde el 2016. El gobierno lleva desde 2010 promoviendo proyectos BIM. En Japón, desde el 2017, el 46% de las empresas han trabajado ya con la metodología BIM.

3.6.5. Latinoamérica

La integración del BIM en los grandes proyectos latinoamericanos no está siendo homogénea. En países como Chile, Colombia o Perú es ya una realidad, con mucha aceptación en grandes proyectos públicos y un alto índice de contratación de profesionales BIM. Sin embargo, esta implementación no crece al mismo ritmo en todo el continente, y lo cierto es que en la mayoría de países de habla hispana el paso al BIM sigue una progresión muy lenta.

Chile

El nuevo modelo de construcción aplicado por la metodología BIM está revolucionando el sector chileno. Este es uno de los países con mejor aceptación de esta novedosa forma de trabajo. Organizaciones como Plan BIM, impulsadas por el Programa Estratégico “Construye 2025” tienen como objetivo promover el uso del BIM tanto en instituciones públicas como en el sector privado. BIM será una realidad en el sector público chileno en el año 2020, cuando pasará a ser obligatoria en proyectos públicos. Se deberá esperar hasta el 2025 para que su implementación sea completa en el sector privado.

Panamá

En este país actualmente no existe ninguna iniciativa pública por parte del gobierno ni a nivel Municipal. Fueron las firmas privadas quienes a nivel individual decidieron migrar a metodología BIM. A través de unos cuantos participantes de la Cámara Panameña de la Construcción, se creó en 2015 el BIM Fórum Panamá. Se trata de un consejo técnico de carácter permanente que convoca a los principales profesionales e instituciones relacionadas a Building Information Modeling (BIM).

México

La Fundación de la Industria de la Construcción (FIC) de dicho país está coordinando los trabajos a fin de tener una norma llamada NMXBIM, la primera en Latinoamérica. En el ámbito académico se está introduciendo BIM como materia obligatoria en las Universidades como el Tecnológico de Monterrey, Universidad Iberoamericana, Universidad La Salle y la UNAM. La rápida adopción de esta plataforma apuesta por el desarrollo y la competitividad de los diferentes sectores de la industria en México. A corto plazo es muy posible realizar proyectos de construcción con el uso del BIM, bajo normas que actualmente ya están en proceso de creación.

3.7. Cómo se está implementando el BIM en Colombia

El desarrollo de proyectos de arquitectura, ingeniería, construcción y administración de inmuebles (AEC/FM) mediante el BIM, seduce rápidamente a los profesionales actuales por sus grandes ventajas. Sin embargo, entre estos existe un gran porcentaje que por temor, precaución o desconocimiento, o por los costos asociados al cambio de tecnología desaprovechan las ventajas del BIM (Botero, Isaza Pulido, & Vázquez Hernández, 2015).

A pesar del gran uso del BIM en el mundo, Colombia se aproxima tímidamente a su adopción como lo comprueban las encuestadas realizadas por (Botero et al., 2015), donde el 94% manifestó que tarde o temprano los modelos de BIM serán una práctica generalizada en los proyectos de AEC/FM, aunque solamente el 18% lo utiliza siempre o frecuentemente. Sin embargo los encuestados también manifestaron que las prácticas de BIM permitieron la toma de decisiones importantes que incidieron significativamente en el resultado final de los proyectos, aunque las características más avanzadas del BIM como los modelos 4D, 5D, 6D y 7D no son valoradas o son desconocidas por la mayoría de los usuarios. Son varias las razones que argumentan para el bajo nivel de utilización y adopción del BIM como una práctica generalizada. Entre las barreras se destacan los costos asociados a los cambios de tecnología, el tiempo invertido en el aprendizaje, la falta de claridad sobre las ventajas de su utilización y los cambios que se deben realizar

al interior de las organizaciones para adoptar este nuevo ambiente de trabajo colaborativo que significa el BIM (Botero et al., 2015).

Temas como la elaboración de presupuestos y cronogramas de obra, implementación de planes de seguridad en la obra, la prefabricación de elementos y el análisis energético son algunos de los temas que están teniendo un mayor auge con la implementación de BIM y el manejo de los modelos de información que esta metodología de trabajo permite tener (Salazar, 2017). Pero el auge y el avance no ha sido suficiente. Si los sistemas de diseño y construcción en Colombia persisten en mantenerse en los sistemas CAD, la pérdida de competitividad será paulatina, ya que empresas con sistemas gerenciales de BIM procedentes de otras naciones, podrán competir con alta calidad y eficiencia financiera en comparación con empresas tradicionales del sector de la construcción (Ocampo, 2014).

Este podría ser el panorama que le espera al país de Colombia si no se hace un replanteamiento radical en los pénsum académicos de las universidades que a nivel de pregrado ofrecen programas de diseño y arquitectura, los cuales sí poseen cursos de representación digital CAD y algunas veces 3D, pero meramente representativos y visuales. Este tipo de cursos son necesarios para instruir y familiarizar a los estudiantes en el mundo digital y el manejo de software 3D, pero en semestres superiores debería implementarse un acercamiento al BIM, por lo menos introductorio, para que al momento de graduarse sea más beneficioso para ellos y para las empresas de arquitectura y construcción emplearlos, pues son estas empresas quienes mueven la infraestructura de la construcción en el país. Por tanto, los profesionales egresados estarían contribuyendo a una mejora sustancial de la construcción al plantear diseños rigurosos, con información completa y concisa para que el sector de la construcción pueda ejecutar proyectos donde se reduzca la incertidumbre, los reprocesos, los sobrecostos y los contratiempos.

3.7.1.ASOBIM (Asociación Colombiana de BIM)

Es una asociación sin ánimo de lucro de la cual hacen parte varias empresas de la construcción y entidades académicas, cuyo objetivo es la implementación del BIM, que

consiste en la promoción y la integración de algunos procesos de la industria de la construcción (edificios, activos, redes e infraestructuras) durante su ciclo de vida (diseño, construcción, explotación, mantenimiento, demolición) a través de la gestión, el uso y el intercambio coordinado de la información asociada a dichos procesos. Se pretende mejorar la eficiencia, productividad y calidad de los productos del sector del diseño y la construcción y permitir la difusión de los conocimientos en el uso de la tecnología digital, en los procesos incorporados al implementar un sistema BIM (“ASOBIM COLOMBIA,” 2016).

3.7.2. BIM Fórum Colombia

Se realizó en 2018 bajo el nombre “BIM Fórum Colombia, Digitalización en la Construcción”, y fue organizado por la Cámara Colombiana de la Construcción (Camacol). Este fue el primer encuentro de iniciativa pública a nivel nacional donde se pretendía propiciar la implementación y estandarización del BIM en Colombia. BIM fórum es un evento académico en el que se presentarán los principales retos en torno a la adopción de BIM y el papel de los distintos actores de la cadena de valor. El evento nace como resultado del esfuerzo colectivo de actores que creen en la digitalización de la industria como un camino explícito para la mejora de la competitividad y productividad de la actividad edificadora (Forero, 2018).

3.7.3. Camacol Innova 2020

Es un proyecto de la Cámara Colombiana de la Construcción en el que se busca generar cultura de la innovación en el sector de la construcción; entendiendo la innovación como crear valor a través de la transformación de ideas o conocimientos en nuevos bienes, servicios, procesos, métodos de comercialización y métodos organizacionales. De este proyecto hace también parte el CPNAA (Consejo Nacional De Arquitectura y sus profesiones Auxiliares) (CAMACOL, 2018).

Tomando en cuenta estos precedentes y analizando las iniciativas y ofertas BIM que tiene el país, algunas empresas colombianas del sector de la construcción han tomado la iniciativa de exigir que la información que necesitan para construir esté concebida bajo la

metodología BIM, bien sea que deban capacitar a sus áreas de diseño para que puedan trabajar de esta manera, o que subcontraten empresas de diseño que ofrezcan estos servicios.

3.8. Cómo aplica el BIM a diseñadores y constructores

En el campo profesional, los arquitectos se enfrentan a retos contractuales del campo competitivo y ven la inminente trascendencia de conceptos que son internacionales como el BIM. El contexto colombiano, intentando adaptarse a esta nueva tendencia, tiene la dificultad de adopción por la falta de estándares y metodologías que organicen los proyectos y que correspondan a las necesidades de nuestra industria (recursos, procesos constructivos, nomenclaturas de componentes y materiales, etc.). Se requiere de forma urgente de profesionales en las aéreas que intervienen en la edificación de proyectos de construcción con conocimientos en el manejo de proyectos que integren BIM (López, 2017).

Algunas empresas de diseño y construcción desarrollan sus proyectos mediante la utilización de herramientas y software de representación digital, donde se puede visualizar en 3D, y aseveran estar utilizando la metodología BIM; pero en muchos casos, el modelado no trasciende ni llega a ser BIM, por la falta de información y parametrización de cada uno de sus elementos, que al no tener suficiente información ni nivel de desarrollo (LOD), no es útil para obtener cantidades de obra, ni ser modificado por otros autores, ni ser parametrizable para una programación de obra, ni asignarle costos, ni conocer su fabricante o manual de mantenimiento.

Según Ana P. Prieto, el objetivo principal del de BIM es gestionar de forma eficiente la información producida durante el proceso de construcción y permitir una coordinación de la construcción más eficaz a través de una mejor comunicación y colaboración. Tal vez el punto más importante es que el uso de la metodología BIM mejora la capacidad de integrar todos los miembros de los equipos de proyecto. Por tanto, el concepto fundamental BIM que se enseña y se aprende es la colaboración. Esto aporta una

disminución de los tiempos de ejecución y optimización en la utilización de recursos (Prieto, 2017).

Si la metodología BIM es implementada por los arquitectos y los diseñadores, pero los constructores no se abren y acoplan a esta metodología, no será posible apreciar el buen resultado de su implementación. Los constructores, en las obras que manejen, deberían contar al menos con una persona conocedora del tema. En caso de no tenerla, sería fundamental capacitarla, para sacar el máximo provecho a la metodología.

Pero BIM no solo se trata de una metodología con herramientas tecnológicas, software y capacitaciones. Según Christian Salgado, consultor de Autodesk AEC (Salgado, 2017), cuando en un ambiente laboral el acrónimo BIM es pronunciado y escuchado, la mayoría de quienes están involucrados en el negocio del diseño y la construcción, piensan inmediatamente en tecnología, lo que no es del todo errado, pero tampoco es del todo correcto.

Si bien es cierto que el asidero de esta nueva forma de trabajo que promete cambiar el negocio de la construcción, es la tecnología; también es cierto que para que funcione correctamente y logre los resultados esperados, más que hardware, software e infraestructura física, hace falta tal vez el componente más importante; el ser humano, en todas sus dimensiones, personal, profesional y hasta aspiracional. Lo anterior es un llamado a la reflexión profunda, pues implica el rescate de temas asociados a la interrelación entre seres humanos y los procesos que realizan, que en el ámbito laboral son comúnmente relacionados de forma equivocada, únicamente con calidad, certificaciones, normas, etc.

Alcances, actividades, tareas, controles, indicadores, estos son apenas algunos de los tópicos que se incluyen en el desarrollo de proyectos. El alineamiento de los seres humanos con el objetivo de los logros es vital para el éxito en el cumplimiento de la misión y el logro de cualquier objetivo, y como es de esperarse, BIM no escapa a ello.

La necesaria integración de diversos equipos de trabajo, diversas culturas y diversas formas de pensamiento y hasta diversos usos horarios, implica más que normas y estándares, las cualidades correctas que permitan entender al otro y por qué no, muchas veces pensar como él, para poder llegar a acuerdos que generen mayor conocimiento y evolución. Si, actitud y aptitud, (actitud=personalidad, aptitud=talento), dos cualidades claves comúnmente asociadas a la productividad y a la competitividad, que al momento de hablar de BIM, se convierten en vitales para el desarrollo de un sistema de trabajo que implica más que unos y ceros.

Si agregamos a la receta del BIM, la actual coyuntura laboral donde hay una importante masa de nuevos profesionales, que hacen parte del llamado grupo “millennial o milénicos en Español”, (nacidos entre 1984 y 1995), encontramos otros factores importantes a tener en cuenta, como la pasión por los retos, el deseo de estímulos, la incesante búsqueda de libertad, independencia y flexibilidad, entre muchas otras características que poco a poco ponen a las organizaciones contra las cuerdas y a los departamentos de recursos humanos en crisis, pues todo esto se traduce en una altísima rotación laboral, que deja muy poco espacio y margen para maniobrar. Es por todo lo anterior, que el llamado y objetivo de estas líneas, no es otro que ampliar el horizonte de directivos y gerentes sobre el significado BIM, es el llamado a entender que las máquinas son eso, máquinas, y entender que la correcta alineación del equipo que las controla al igual que desarrolla los procesos que lo hacen posible, es de vital importancia, estratégica por decir lo menos. Porque al fin y al cabo BIM, es más que un sistema de trabajo, es toda una experiencia. (Salgado, 2017).

4. MARCO PRÁCTICO

El presente estudio es de carácter cualitativo. En este capítulo se pretende materializar lo estudiado en el marco práctico (filosofía y metodología BIM) y aplicarlo en un caso de estudio de la empresa OA+M, donde se van a conocer técnicas y prácticas que nunca antes la empresa ha utilizado.

4.1. Actividades a desarrollar

- Presentar una reseña e introducción de la empresa de arquitectura y construcción llamada OA+M y exponer su metodología de trabajo actual.
- Diseñar un proyecto arquitectónico y modelarlo en 3D, con altos grados de especificación y detalle (LOD 400), bajo la metodología BIM y mediante la utilización del software Revit Architecture. Todos los elementos a modelar deberán ser nombrados de acuerdo con la estructura de nomenclatura que utilice el presupuestador, para que las tablas con cantidades de obra que arroje el modelo 3D sean compatibles y de gran utilidad para el presupuestador, en aras de facilitar el trabajo y hacer que el presupuesto se haga con mayor precisión.
- Posteriormente, se realizará en Revit Architecture la modelación 3D de las diferentes disciplinas técnicas. Luego se identificarán las diferentes colisiones e interferencias que puedan existir entre todas las disciplinas involucradas en el software Navisworks, las cuales serán socializadas y solucionadas con cada uno de los profesionales, mediante una coordinación técnica.
- Con el modelo 3D en cero colisiones, se construirá un modelo 4D en el software Navisworks, que permita visualizar y simular la secuencia constructiva teórica del proyecto, para garantizar su constructibilidad. Para ello se realizará una programación de obra, la cual será suministrada por el área técnica de OA+M.

- Las cantidades de obra para la elaboración del presupuesto serán extractadas en su gran mayoría desde el modelo 3D y se entregarán en tablas de cantidades editables en el software Microsoft Excel.

Una vez culminado el proceso se evaluará el resultado obtenido de haber diseñado un proyecto arquitectónico bajo la metodología BIM, comparado con las prácticas tradicionales de trabajo de la empresa OA+M hasta este momento, y se elaborará un nuevo flujo de trabajo para sus futuros proyectos, que se podrá evidenciar en el capítulo Propuesta de implementación.

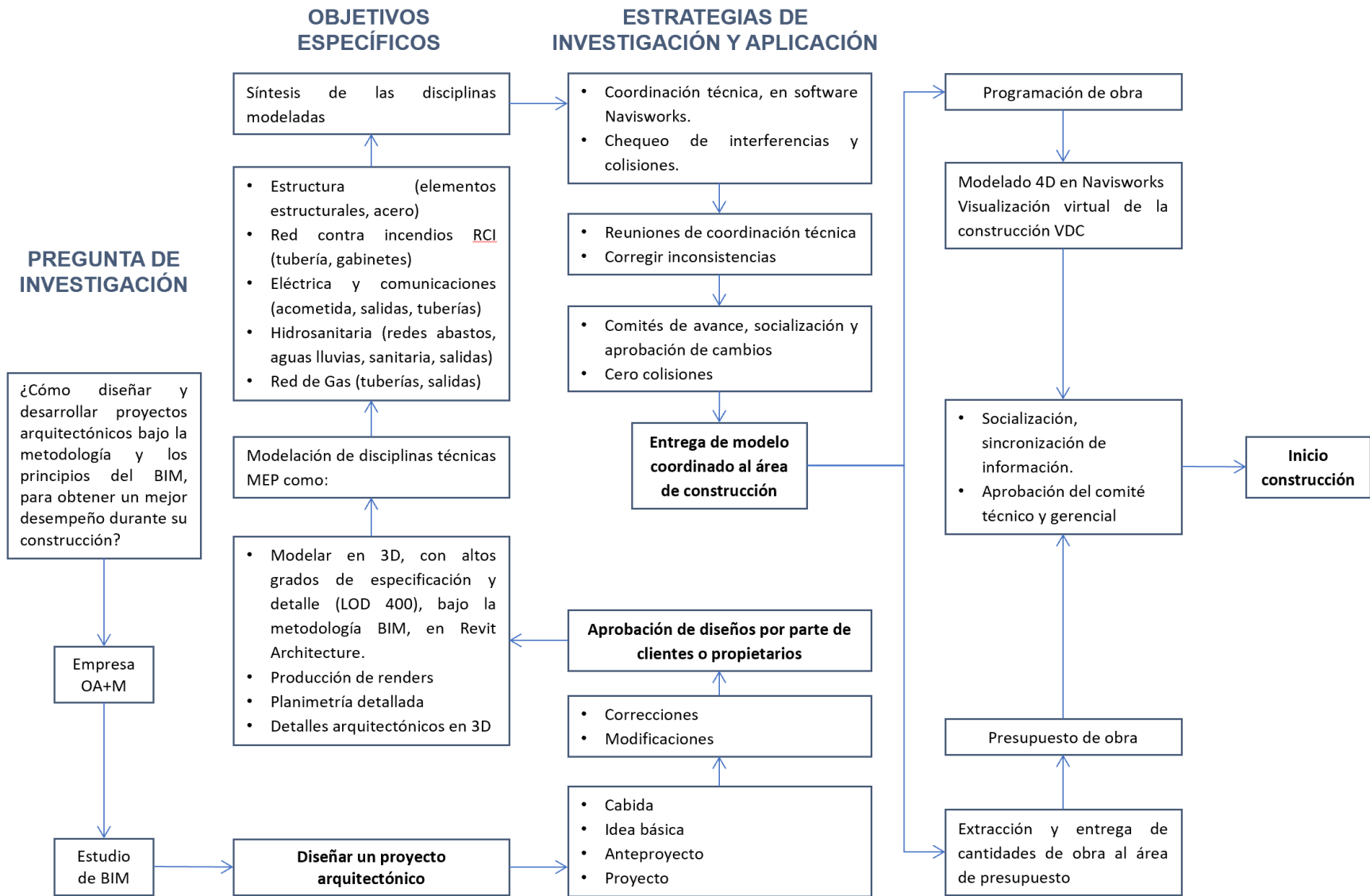


Ilustración 20. Esquema de actividades a desarrollar.
Elaboración propia

4.2. La empresa OA+M

OA+M es una empresa de diseño y construcción de proyectos arquitectónicos, con 10 años de experiencia. Sus socios anteriormente laboraban de forma independiente, pero se vieron en la necesidad de trabajar en equipo con el objetivo de llevar a cabo sus proyectos de diseño y construcción de una manera sólida y eficaz, para entregar productos reconocidos en el mercado por su calidad. De allí en adelante la empresa ha venido desarrollando proyectos, desde su fase de diseño hasta su construcción, con múltiples usos y propósitos. Algunas de ellos son propios, otros son de clientes externos.

La empresa está ubicada en la ciudad de Medellín y se apoya en un equipo interdisciplinario del área de la construcción y sus complementos, con más de 20 empleados directos para el correcto desarrollo de sus proyectos. Para el año 2020 busca ser una empresa especializada en el desarrollo de proyectos de construcción, reconocida en el mercado nacional por su calidad, eficiencia e innovación.

Para poder llevar este objetivo de la empresa a cabo, se debe capacitar su personal en temas de vanguardia para poder afrontar el mercado actual y responder de acuerdo a sus necesidades de tiempo/plazo, estándares de alta calidad, presupuestos etc. Con esta investigación se pretenden aportar bases y conceptos tangibles, que ayuden a dicho objetivo y que se puedan demostrar y comprobar.



*Ilustración 21. Logo de la empresa OA+M.
Propio.*

4.2.1. Flujo de trabajo actual en OA+M

DIAGRAMA FLUJO TRABAJO, METODOLOGÍA BIM EN OA+M

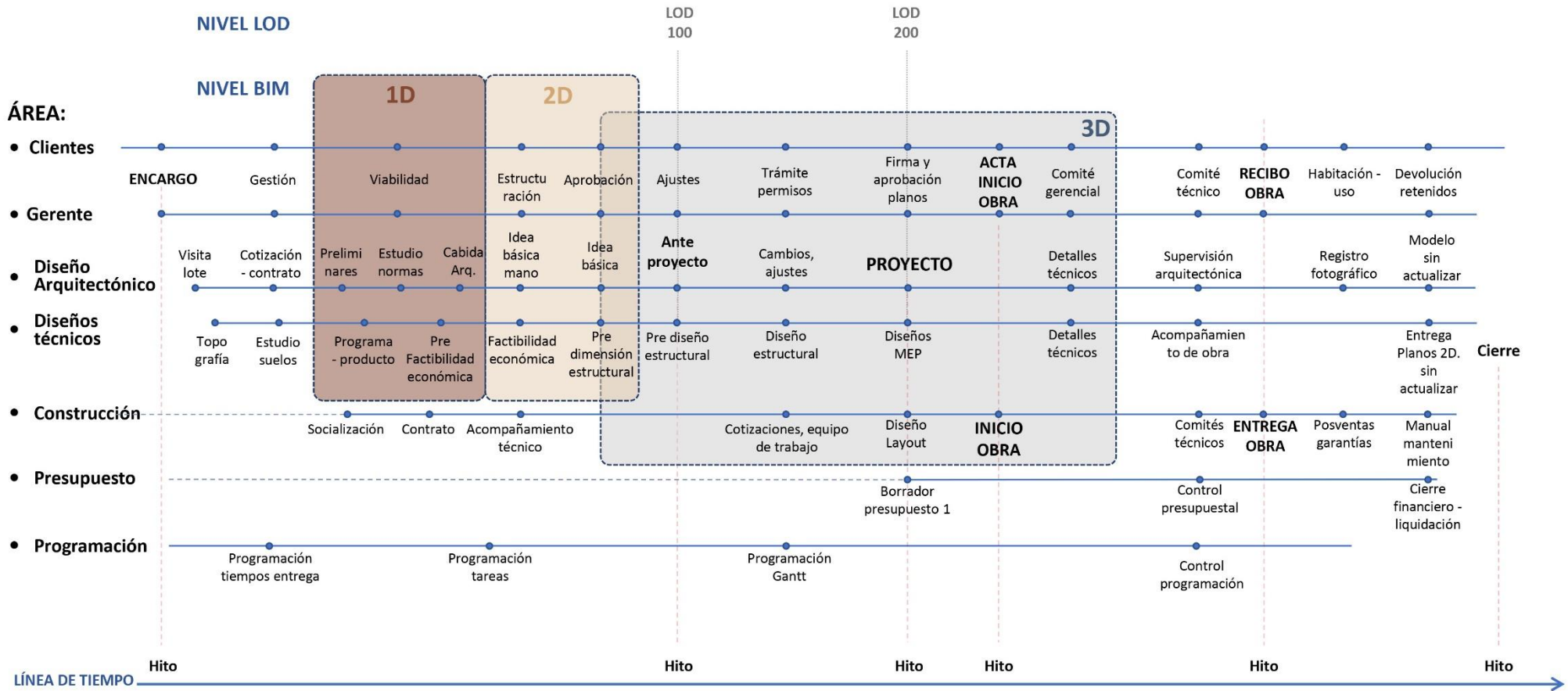


Ilustración 22. Flujo de trabajo actual en OA+M.
Elaboración propia.

La gráfica anterior explica cuál es el flujo de trabajo actual de la empresa y cómo participa y se involucra cada una de las diferentes áreas profesionales o interesadas en los proyectos arquitectónicos.

El eje X es la línea de tiempo del proyecto. En el eje Y se aprecian las diferentes áreas intervinientes en el proyecto. A medida que se avanza en el tiempo van apareciendo tareas o actividades que son asignadas a cada área. Algunas de las tareas pertenecen a cierto nivel BIM.

El momento cero se asume como el encargo del cliente y los primeros acercamientos a qué es lo que desea diseñar. Posteriormente se van haciendo diferentes tareas técnicas y normativas, que comienzan a definir el proyecto.

Se observa que el nivel BIM 3D comienza después de que el producto está definido, tanto en cabida como en idea básica. Es decir, la modelación comienza algo tarde y sólo por este hecho, ya se incurre en el reproceso de tener que convertir información de 2D a 3D, donde por lo general, surgen bastantes dudas y errores, sobre todo en las dimensiones y escalas reales de lo planteado en 2D.

Desde hace 1 año la empresa comenzó a implementar en sus modelos la metodología BIM, básica, a nivel de 3D, con LOD 200, donde sólo se involucra la arquitectura con la estructura (sin acero de refuerzo, sólo volumetría, sin información). Se evidencian algunos beneficios al detectar visualmente algunas colisiones e inconsistencias. Pero al no estar las disciplinas técnicas MEP involucradas, y al no tener un software para detectar interferencias y realizar coordinación técnica para solucionarlas, el modelado BIM quedaba meramente estético y para producción de detalles arquitectónicos, que si bien sirven bastante para realizar la construcción de los proyectos, dejan de aportar información valiosa a los constructores, que se pudiera lograr si se involucraran las demás disciplinas técnicas y se aumentara el nivel LOD.

Para el presupuesto y la programación de obra, los planos deben ser exportados a otro archivo digital en 2D, sea tipo PDF o tipo CAD, para que los profesionales, que no tienen conocimiento del Revit, puedan llevar a cabo sus labores de la manera que siempre lo han sabido hacer. Esto inicialmente acarrea una pérdida de tiempo para el área de arquitectura, al tener que exportar y reconvertir planos. También conlleva a errores en comunicación y versionamiento de archivos, puesto que el modelo constantemente se está actualizando, mientras la información 2D queda estática. Consecuentemente, el cruce de correos para actualizar información y versión de los planos es alto, y existe una gran posibilidad de que se pase por alto dicha información.

Una vez terminados los diseños arquitectónicos, se procede a brindar un acompañamiento “arquitectónico”, según lo vaya requiriendo la obra, donde se envían detalles de lo que solicite el constructor. En muchos casos surgen dudas e inquietudes durante la construcción, que necesitan ser resueltas con urgencia, pero los constructores deben esperar un poco a que el arquitecto pueda reunirse, o visitar la obra, o enviarle los detalles, o imprimirle los planos. Es tiempo valioso que se pierde para un correcto avance de la obra.

A la hora de terminar los proyectos, el alcance del modelado BIM actual de la empresa no llega hasta actualizar la información ni entregar la planimetría con los planos record o as built, quedando el proyecto con información desactualizada.

A continuación se comenzará a abordar la nueva implementación de la metodología BIM que se aplicará en un proyecto caso de estudio de la empresa, donde se utilizarán los conceptos estudiados en los capítulos “marco práctico” y “estado del arte” del presente estudio.

4.3. Generalidades del proyecto

Para implementar la metodología BIM y poder evaluar sus resultados, es necesario seleccionar un proyecto arquitectónico de la empresa OA+M, donde se pueda aplicar dicha metodología y que cumpla preferiblemente con todas las siguientes características:

- Estar en fase de diseño arquitectónico, en la etapa de “idea básica”. Esto es ideal para poder implementar BIM desde el comienzo del mismo.
- Poder llevar a cabo el diseño arquitectónico de principio a fin, y obtener un modelo 3D, LOD 400.
- Se debe contar con una participación activa en la estructuración del equipo de diseños técnicos y su posterior ejecución.
- Tener autonomía para llevar a cabo la coordinación de diseños técnicos.
- Tener contacto directo con el constructor para llevar a cabo el modelo 4D (programación de obra virtual) y algunos insumos del modelado 5D, para la elaboración del presupuesto.

Para ello se escogió un proyecto inmobiliario de vivienda unifamiliar que cumplía con los requisitos anteriormente mencionados, cuyo diseño arquitectónico está a cargo de OA+M. Es un edificio de 5 pisos, del cual se profundizará en los siguientes capítulos.

Vale la pena aclarar que en este caso de estudio existirán algunos reprocesos, puesto que los diseños técnicos fueron contratados en 2D y no 3D. Consecuentemente deberán ser modelados en 3D a partir de la información planimétrica suministrada por cada profesional. Este no es el deber ser, pero es necesario para poder llevar a cabo un buen modelo BIM 3D, y una correcta coordinación 4D.

4.4. Proceso de estructuración del proyecto

La estructuración del proyecto se refiere a la conformación del equipo de profesionales que intervendrá en algún proceso del proyecto a concebir, en los que se destacan:

- Área de promoción y gerencia.
- Dependencia financiera y legal.
- Inversionistas o grupo de inversionistas.
- Grupo de ventas.
- Diseñadores arquitectónicos, técnicos, consultores.
- Constructor, técnicos, consultores, contratistas proveedores.

Para concebir el proyecto caso de estudio de esta investigación, se conformó y estructuró un equipo de trabajo que se seleccionó a conveniencia del proyecto, bien sea por mejor oferta económica que debió haber sido evaluada en comité de socios, o porque formaba parte del grupo de promotores o inversionistas, y su gestión fue elegida por ser participe del proyecto. El grupo de profesionales actual se resume en siguiente personal:

Equipo de trabajo	
Área	Encargado
Gerente y promotor	Promotora Senderos
Cliente e inversionistas	Promotora Senderos, OA+M
Arquitecto diseñador	OA+M
Ingeniero calculista.	Diseña Ingeniería
Diseñador hidráulico	Farlemir Domínguez A
Diseñador eléctrico	Diego Valenzuela Gómez
Publicidad	Triangulo Visual
Renders	331
Coordinación técnica	OA+M
Constructor	OA+M

*Tabla 3. Equipo de trabajo del proyecto.
Elaboración propia.*

- **Gerente y promotor. Promotora Senderos.**

Empresa encargada de definir el proyecto desde la parte administrativa, financiera y legal. Gestionar el crédito constructor de ser necesario y tramitar la licencia de construcción. En este caso se encarga también de las ventas del proyecto.

- **Cliente e inversionistas. Promotora Senderos, OA+M.**

Personas dispuestas a invertir en un negocio inmobiliario para obtener una utilidad. En este caso, fueron también los promotores del proyecto quienes se encargaron de buscar el lote, conformar el equipo de trabajo, establecer un modelo financiero y definir el producto a vender.

- **Arquitecto diseñador. OA+M**

Empresa a cargo de plasmar en un diseño las necesidades de los clientes y del mercado, que cumpla con todas las normativas vigentes y requerimientos técnicos, quepa en el lote, funcione y sea construible.

- **Ingeniero calculista. Diseña Ingeniería.**

Empresa a cargo de realizar el cálculo y el diseño estructural del edificio, bajo las normativas vigentes, que debe garantizar la estabilidad del proyecto.

- **Diseñador hidráulico. Farlemir Domínguez A.**

Persona encargada del diseño de las redes hidrosanitarias del proyecto. Entrega diseños de agua potable, agua residual, aguas lluvias, red de ventilación, red de incendio si es necesario, memorias de cálculo, etc. En este caso, también diseño las redes de gas. Se debe acomodar a la estructura y la arquitectura actual, de la manera más estética y eficiente. Debe firmar sus diseños y memorias ante la autoridad competente para la conexión de dichos servicios públicos.

- **Diseñador eléctrico. Diego Valenzuela Gómez.**

Persona encargada del diseño de las redes eléctricas del proyecto. Entrega diseño de redes primarias, acometida, subestación y transformación, iluminación, comunicaciones,

televisión, internet, energía, CCTV, apantallamiento, memorias de cálculo, detección de incendios. Se debe acomodar a la estructura y la arquitectura actual, de la manera más estética y eficiente. Debe firmar sus diseños y memorias ante la autoridad competente para la conexión de dichos servicios públicos.

- **Publicidad. Triangulo Visual.**

Empresa encargada de la comunicación e imagen del proyecto, diseño de brochures, volantes, pasacalles, etc., cumpliendo normativas del estatuto del consumidor y similares.

- **Renders. 331.**

Empresa encargada de la imagen foto realista del proyecto, para ayudar a mostrar y vender mejor el proyecto a clientes interesados. Es un insumo digital para imprimir en brochures y volantes, y así poder mostrar de una manera más acertada el producto a vender; y también para ser compartido de manera digital, en redes sociales y páginas web.

- **Coordinación técnica. OA+M.**

Empresa encargada de gestionar y coordinar las diferentes disciplinas del modelo BIM. Debe trabajar con el equipo técnico del proyecto, realizar análisis de las colisiones o interferencias, documentar los hallazgos y facilitar su solución técnica.

- **Constructor. OA+M.**

Empresa a cargo de la ejecución y edificación del proyecto, según los diseños técnicos y parámetros establecidos. Debe manejar el personal involucrado durante la obra, encargarse de las compras y el avance del mismo, cumplir con las fechas de entrega, presupuesto y las especificaciones de los espacios a construir.

4.5. Descripción del proyecto

Para el año 2017, los clientes Promotora Senderos y OA+M deseaban llevar a cabo un proyecto inmobiliario de vivienda unifamiliar en un sitio no muy saturado, que fuera apetecido, que tuviera potencial, futuro desarrollo y crecimiento, y que estuviera cerca de Medellín (ciudad base de OA+M) y fuera de fácil acceso.

Luego de hacer un breve sondeo y un estudio propio de mercado, fue escogido el municipio de El Retiro (Antioquia) para llevar a cabo dicho proyecto. Para darle un valor agregado al proyecto, se hizo una consulta con la alcaldía de El Retiro sobre futuros desarrollos e inversiones en el municipio, como equipamientos comerciales o viales destacados, entre los que destaca la futura vía San Rafael - Martin Pescador - Unidad deportiva del municipio de El Retiro, que pasa por el río Pantanillo y la quebrada La Agudelo, con una longitud aproximada de 2,4 kilómetros (COLOMBIA LICITA, 2019), que a enero de 2019 se encuentra en construcción.

Con esta información se procedió a buscar lotes que se vieran beneficiados por esta vía. Uno de ellos está ubicado en la Calle 24 #25-11, El Retiro - Antioquia (Colombia), donde se pretendía construir la segunda etapa del actual proyecto FORESTA, pero por diferentes razones no se construyó. Se presentó allí una oportunidad de negocio, se hicieron averiguaciones y estudios pertinentes, y luego de tener una cabida arquitectónica, se resolvió comprar el lote.

Posteriormente se decide hacer un sondeo para determinar cuál podría ser un producto atractivo para el público que desea vivir o invertir en apartamentos en El Retiro. Se determinó que el valor de los apartamentos debería tener un valor máximo cercano a los \$300.000.000 (trescientos millones de pesos, moneda local). Por ello se determinó desarrollar productos y tipologías de apartamentos con áreas entre los 47 m² y 80 m², cada uno con 1 celda de parqueo y 1 cuarto útil.

A raíz de esta investigación nació el proyecto de vivienda “Avanti”, un edificio con 1 sótano de parqueaderos y 4 pisos de apartamentos, para un total de 32 apartamentos, con 4 tipologías diferentes.

Carta descriptiva	
Ítem	Descripción
Nombre	Avanti
Ubicación	El Retiro, Antioquia
Uso	Vivienda unifamiliar
Tipología	Edificio apartamentos
1 alcoba	47.50 m2 (16 und)
2 alcobas	59.34 m2 (4 und)
2 alcobas + estudio	68.75 m2 (4 und)
3 alcobas	79.57 m2 (8 und)
Niveles	5
Área construida	3.000 m2

Tabla 4. Carta descriptiva del proyecto.
Elaboración propia.

4.6. Proceso de diseño arquitectónico del proyecto

El proceso de diseño y concepción arquitectónica del proyecto lo realizó la empresa OA+M, y se llevó a cabo de la siguiente manera:

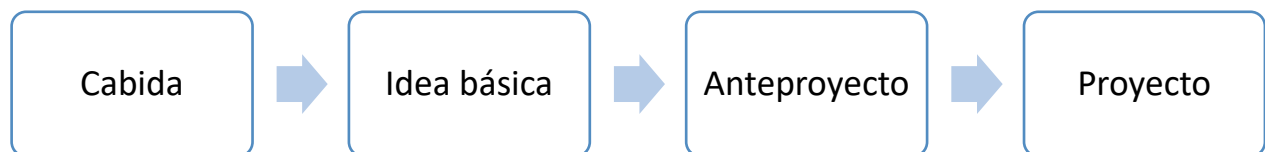


Ilustración 23. Esquema diseño en OA+M.
Elaboración propia.

Primero se reúne el equipo de diseñadores de la empresa, para hacer cabida inicial de acuerdo a los requerimientos de los clientes y propietarios del proyecto.

Posteriormente hacen una actividad que denominan “taller”, donde se reúnen en una mesa de trabajo, se hace una lluvia de ideas de manera individual, como lo llaman, de dibujos hechos a mano alzada, esquemas, conceptos, rayones, sketch. Luego se hace una socialización de las ideas de cada diseñador, exponiendo su pensar y argumentando su propuesta en el centro de la mesa, sus pros y sus contras. Cuando han sido expuestas todas las propuestas, por consenso y mejor resultado, se escogen de 1 a 2 propuestas para desarrollar, que se denominan “idea básica”

A continuación se procede a desarrollar el anteproyecto, donde se materializa y se vuelve funcional la idea básica concebida. En esta etapa se hace el primer acercamiento a las herramientas y software de diseño y modelado. En este caso se modela en 3D, utilizando el software Revit Architecture.

Para ello deben llevar a cabo los siguientes pasos:

- Prediseños: pre-dimensionamiento, modelos básicos.
- Modelado de topografía con base en levantamiento de topógrafo.
- Modelado del anteproyecto de arquitectura.
- Modelado de pre-dimensionamiento de estructura, desde el punto de vista arquitectónico.

Esta información y estos resultados son presentados y socializados con los clientes, quienes por lo general hacen ajustes y observaciones que se van solucionando durante los comités de diseño que sean necesarios hasta lograr el producto deseado. En este proceso también se invita al diseñador estructural y se escuchan sus comentarios, peticiones y ajustes de ser necesarios, para proceder a entregarle el diseño y el modelo arquitectónico 3D, o sea, el proyecto.

Vale la pena anotar que antes de esta investigación, la empresa OA+M modelaba en 3D sus proyectos arquitectónicos, pero realmente estos modelos, por más trabajo y detalle que tuvieran, no dejaban de ser simples modelos 3D, lejos del BIM, porque en realidad sus elementos no contenían suficiente información y parametrización, para poder ser aceptado como un modelo BIM 3D. En otras palabras y como se expuso en el marco teórico de esta investigación, estos modelos 3D contenían bastante Nivel de Detalle (concepto revaluado), pero muy poco Nivel de Desarrollo.

En esta investigación se decide cambiar el esquema tradicional de diseño 3D de la empresa OA+M, y se comienza a modelar desde el comienzo un modelo 3D BIM con suficiente información y parametrización para que los demás profesionales que intervienen en el proyecto se les facilite llevar a cabo sus labores, tanto presupuestadores, constructores, consultores, diseñadores técnicos, etc. A continuación se explican los procesos a seguir.

4.6.1. Volumetría básica – idea básica

La idea del proyecto es aprovechar de la manera más eficiente la morfología del lote, teniendo en cuenta sus condicionantes de tamaño y forma alargada, con 2 ángulos muy claros y definidos. El acceso vehicular será compartido, a través de la actual vía vehicular del proyecto Foresta.

Se aprovechó la pendiente de la topografía para generar el único sótano para estacionamiento de vehículos privado. Su vía principal de acceso llamada San Rafael - Martín Pescador - Unidad Deportiva Del Municipio De El Retiro, actualmente se encuentra en construcción.

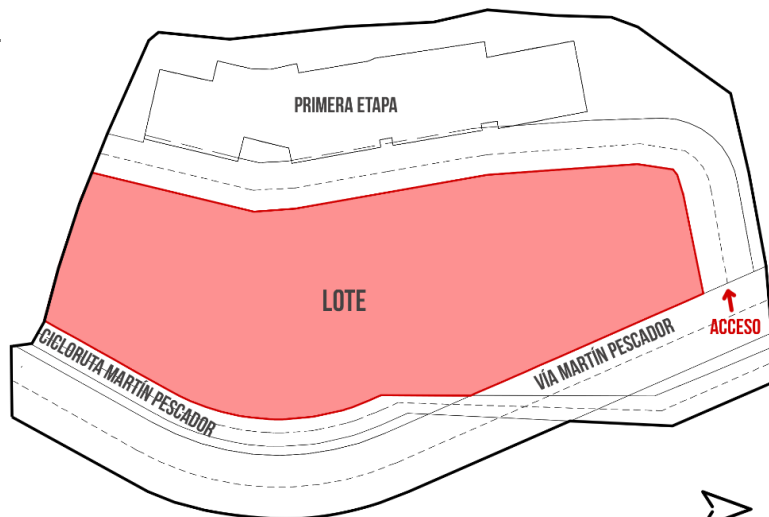


Ilustración 24. Área bruta del lote (planta), en medio del proyecto vecino Foresta y la futura vía Martín Pescador. Elaboración propia.

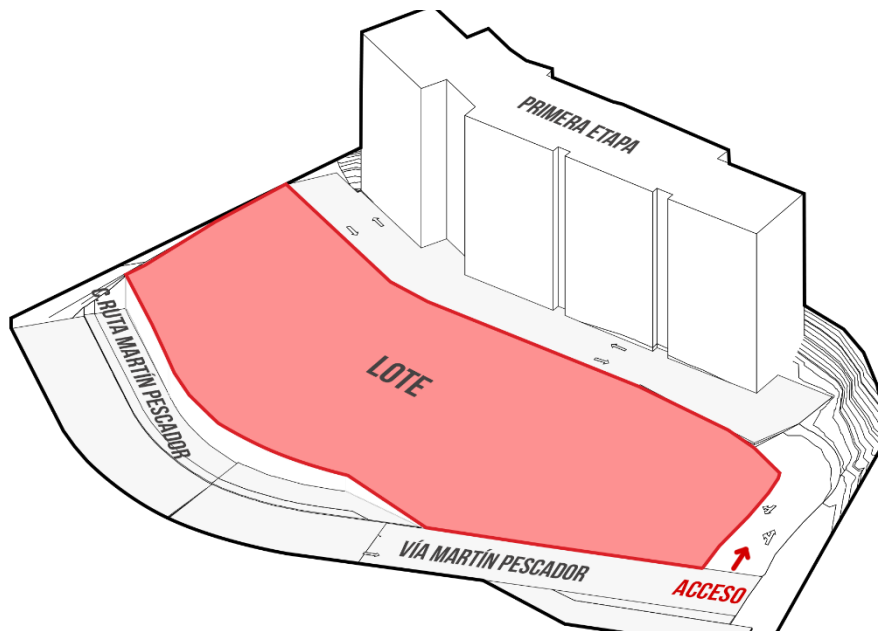
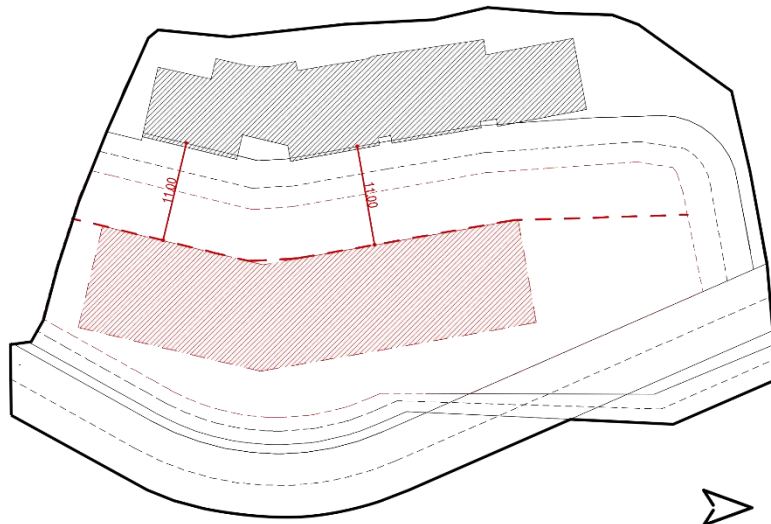
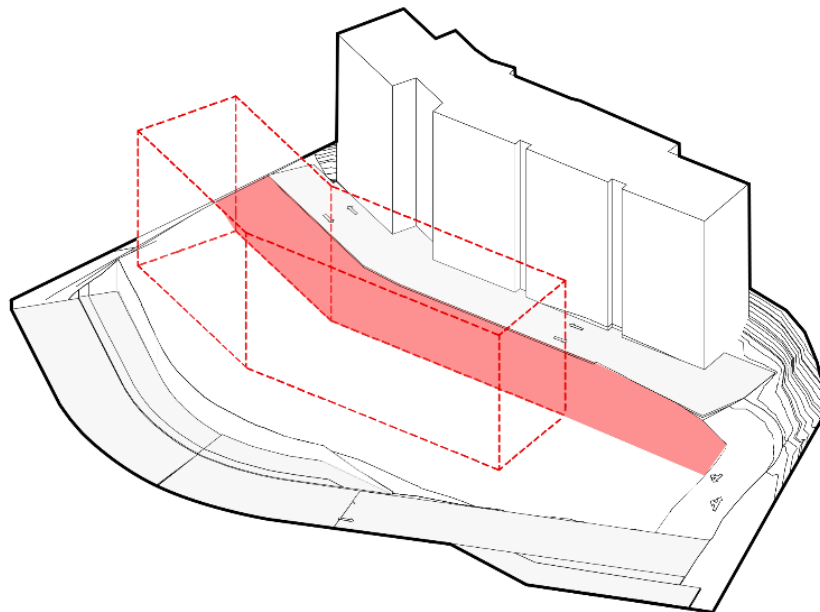


Ilustración 25. Área bruta del lote (isométrico), en medio del proyecto vecino Foresta y la futura vía Martín Pescador. Elaboración propia.

El lote contaba con una serie de afectaciones que disminuían o condicionaban la implantación del edificio. Por un lado, la vecindad con el edificio Foresta hacía necesario un retiro de 11.00 metros entre el paramento del edificio vecino y la fachada del nuevo proyecto. Por otro lado, el municipio de El Retiro solicitaba una cesión de terreno para la futura vía y ciclorruta Martín Pescador. Entre estas 2 condicionantes, el lote se vio reducido en su ancho, resultando en una morfología que condicionaba la forma del proyecto a realizar.

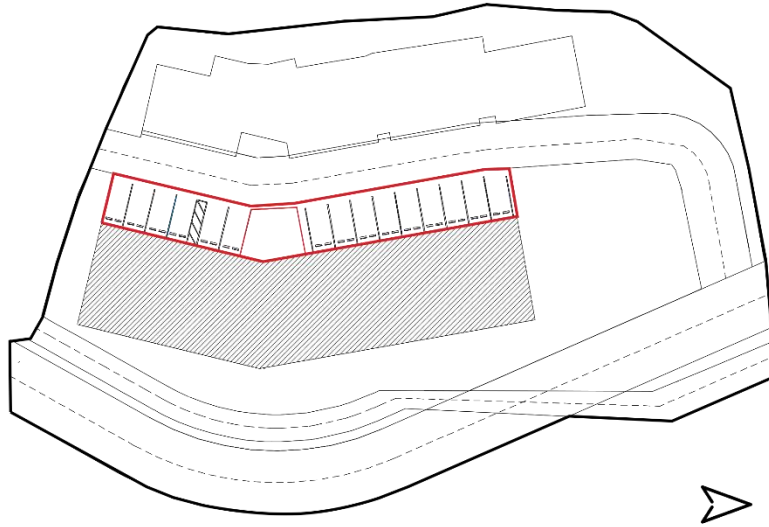


*Ilustración 26. Porción de lote útil (planta) con retiros a edificio vecino y forma inicial del proyecto.
Elaboración propia.*

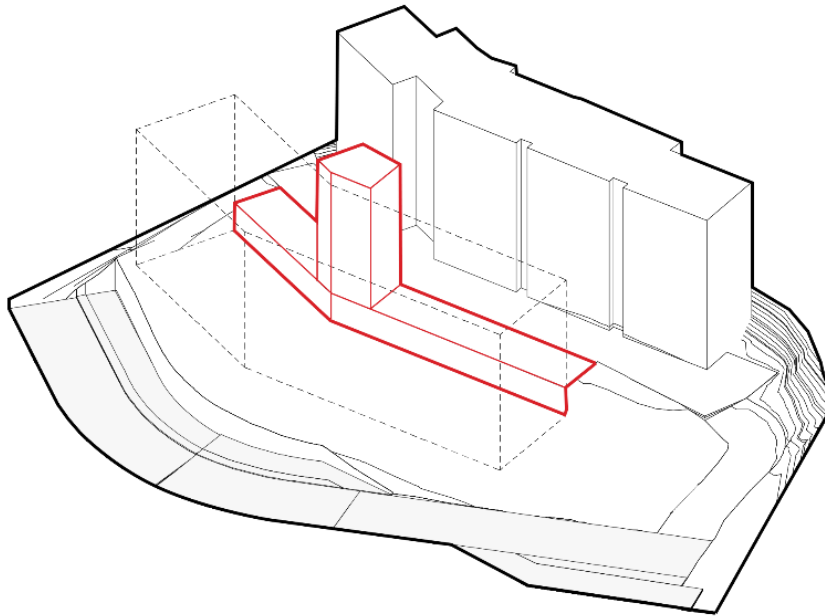


*Ilustración 27. Porción de lote útil (isométrico) con retiros a edificio vecino y forma inicial del proyecto.
Elaboración propia.*

Respondiendo a la condicionante del retiro al edificio vecino y teniendo en cuenta el aprovechamiento de la vía de acceso ya construida, se proyectan parte de los parqueaderos en esta franja tanto en sótano como en primer piso y se ubica el acceso y la circulación, tanto horizontal como vertical en este mismo costado.



*Ilustración 28. Ubicación de parqueaderos y circulación (planta).
Elaboración propia.*



*Ilustración 29. Ubicación de parqueaderos y circulación (isométrico).
Elaboración propia.*

Como resultado de lo anterior, la fachada opuesta al edificio vecino se convierte en la fachada principal del proyecto donde se ubican los principales vanos, aprovechando la visual que tendrá hacia el frente (oriente). Teniendo en cuenta una premisa de diseño de proteger el interior de los espacios del exceso de luz solar, y generar un contacto de los habitantes con la naturaleza, se proyectan una serie de jardineras embebidas en losa y balcones que, además de dinamizar la fachada, cumplen con la premisa impuesta, resultando en la volumetría básica del proyecto.

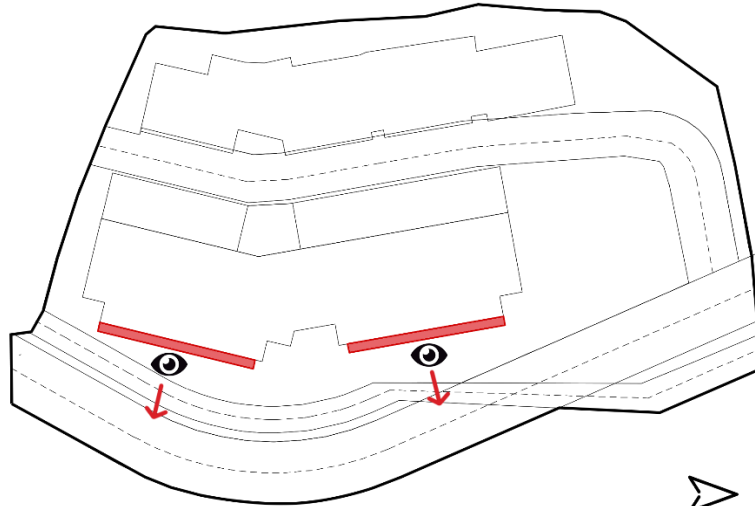


Ilustración 30. Visuales aprovechadas y balcones con jardineras propuestas (planta).
Elaboración propia.

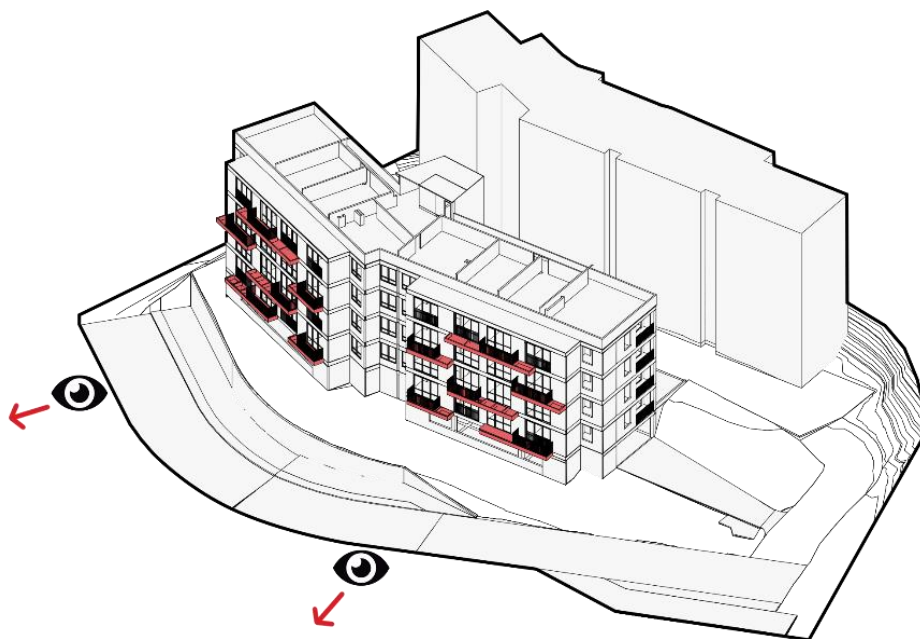


Ilustración 31. Visuales aprovechadas y balcones con jardineras propuestas (isométrico).
Elaboración propia.

4.6.2. Síntesis proyectual - anteproyecto

Luego de plantear la composición general del proyecto, se continúa con el diseño arquitectónico y funcional al interior del proyecto. Se procede con el diseño de las tipologías teniendo en cuenta el sondeo que se realizó previamente, resultando en 4 tipologías:

- 1 alcoba: 47.50 m²
- 2 alcobas: 59.34 m²
- 2 alcobas más estudio: 68.75 m²
- 3 alcobas: 79.57 m²

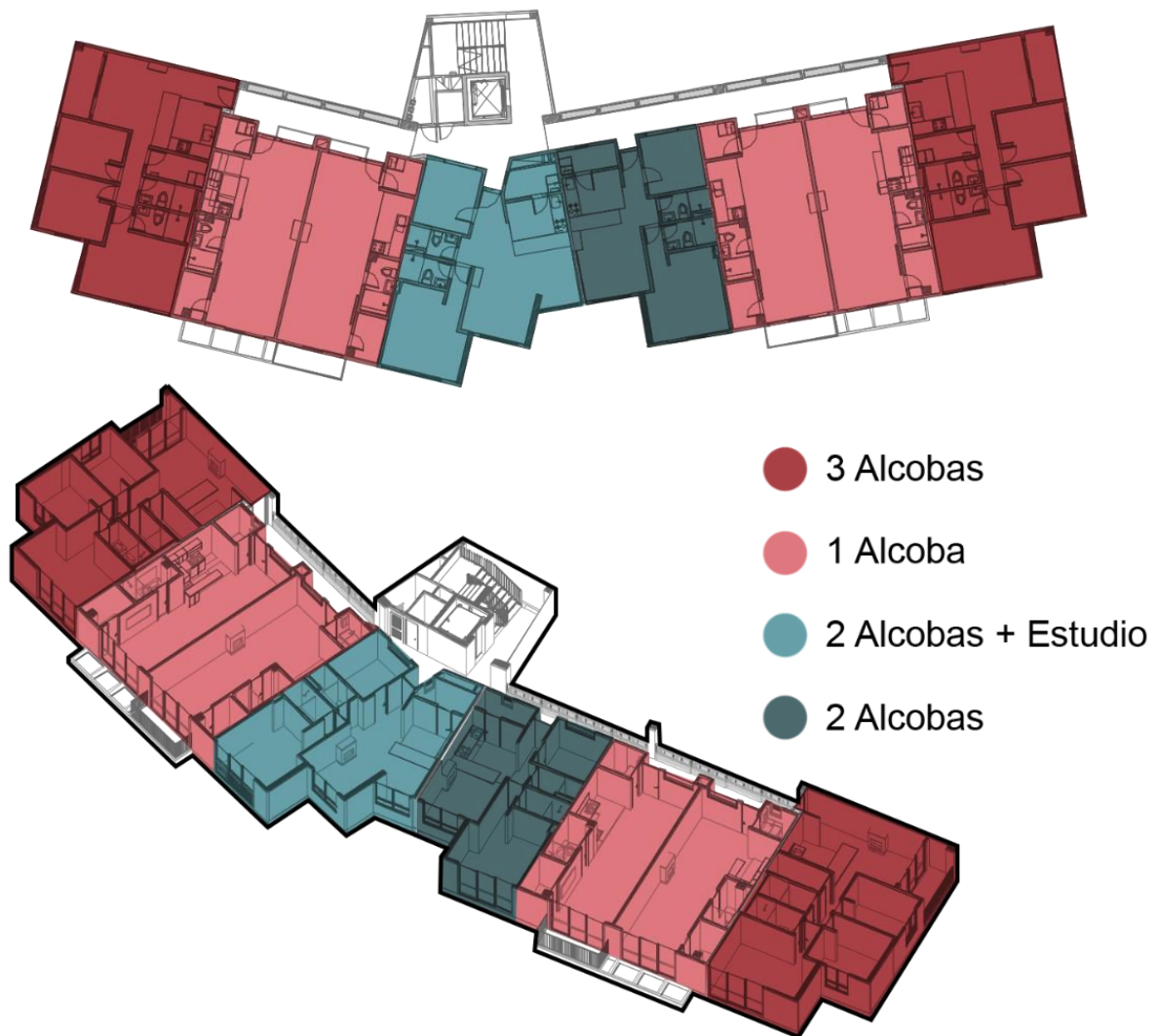
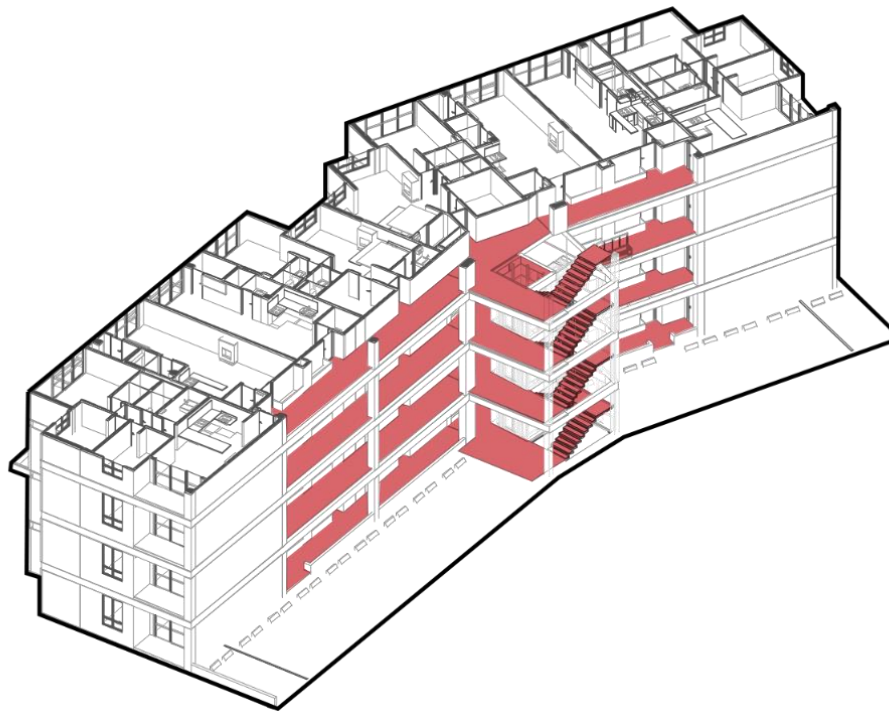


Ilustración 32. Tipologías por nivel típico del proyecto.
Elaboración propia.

Luego se comienzan a definir las circulaciones horizontales y verticales en el costado colindante con el proyecto vecino, donde se ubica el punto fijo del ascensor, escalas y espacios con destinación técnica. Tiene una sola circulación horizontal con 2 quiebres resultantes de la forma preliminar, que permite llegar a cada apartamento de una manera eficiente.



*Ilustración 33. Esquema de circulación horizontal y vertical (planta).
Elaboración propia.*



*Ilustración 34. Esquema de circulación horizontal y vertical (isométrico).
Elaboración propia.*

Finalmente se definen las fachadas buscando cumplir con la premisa de proteger el interior de los espacios del exceso de luz solar y generar un contacto de los habitantes con la naturaleza, impuesta en la etapa inicial del proyecto. Consecuentemente se crean una serie de jardineras y balcones en la fachada principal y otras jardineras interiores que cumplen, a su vez, la función de pasamanos en la fachada de la circulación.



*Ilustración 35. Jardineras y balcones (planta).
Elaboración propia.*



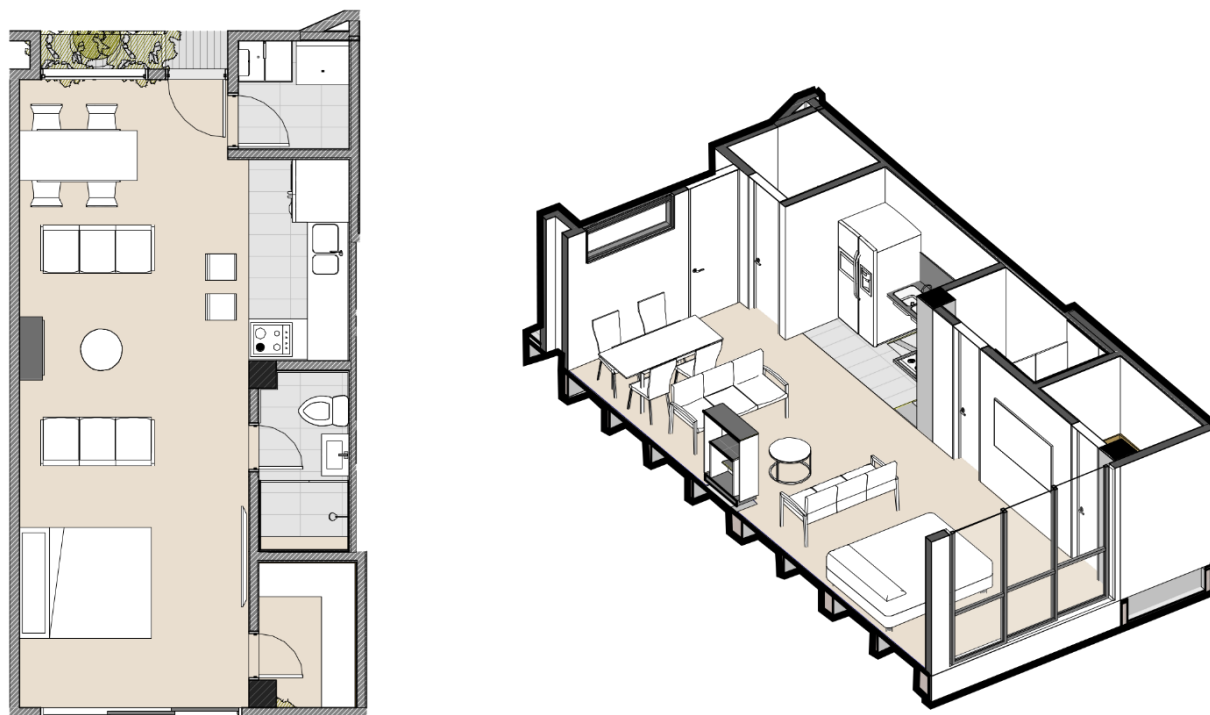
*Ilustración 36. Jardineras y balcones (isométrico).
Elaboración propia.*

4.7. Programa arquitectónico - proyecto

El programa arquitectónico es lo que los arquitectos diseñadores denominan el estudio y solución espacial de las necesidades del cliente, que comprende la vinculación y jerarquización de cada uno de los espacios y elementos que compondrá el proyecto. Para este proyecto particular, se puede interpretar como la distribución espacial interna de cada uno de los apartamentos.

Avanti, en sus 4 pisos típicos de vivienda desarrolla 4 tipologías diferentes. Las tipologías desarrolladas y sus respectivas áreas son las siguientes:

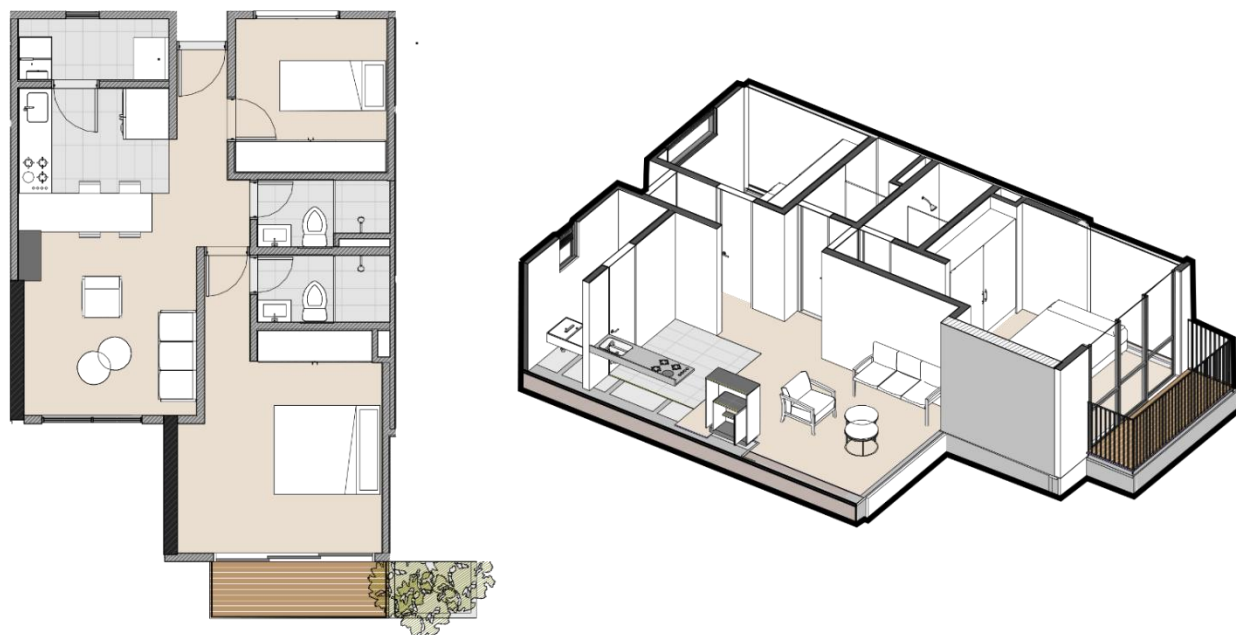
4.7.1. Tipología de 1 alcoba



*Ilustración 37. Tipología de 1 alcoba: planta e isométrico.
Elaboración propia.*

Tipología de 47.50 m², se distribuye de forma lineal, con la zona social y dormitorio en un costado y zona húmeda en el otro. Cantidad total de apartamentos: 16 unidades.

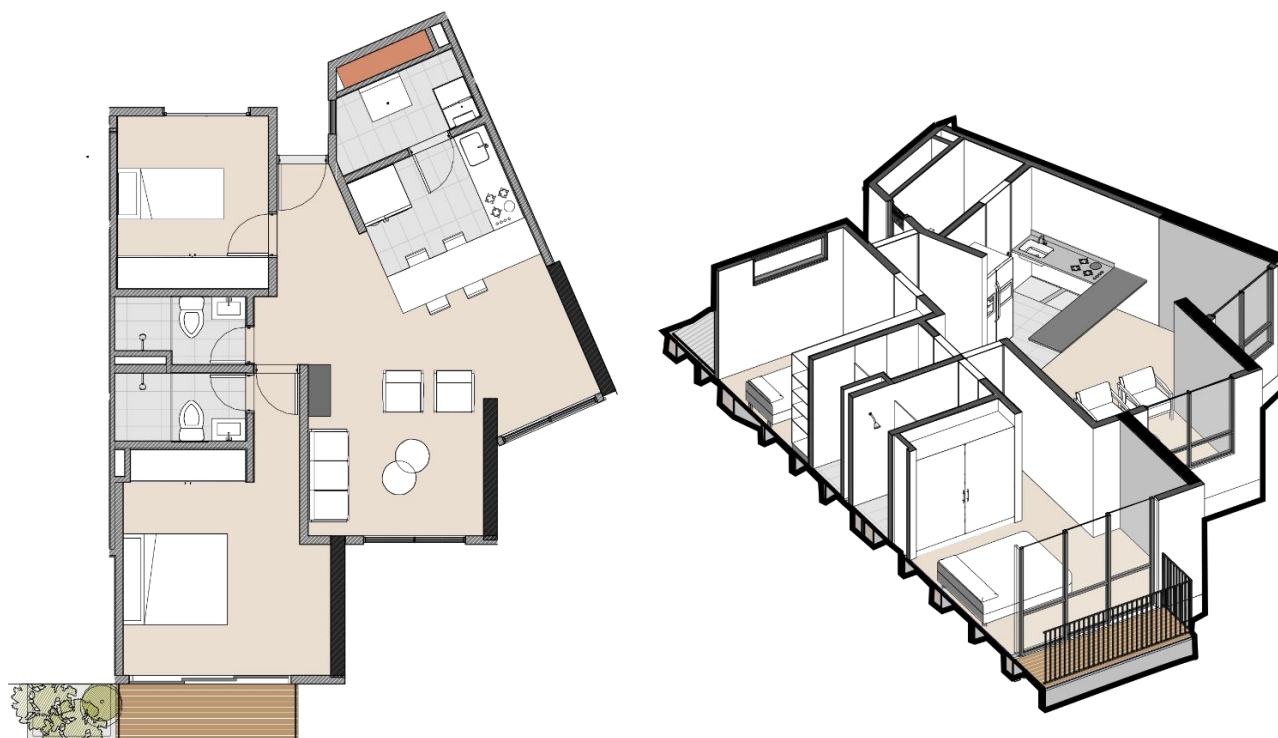
4.7.2. Tipología de 2 alcobas



*Ilustración 38. Tipología de 2 alcobas: planta e isométrico.
Elaboración propia.*

Tipología de 59.34 m², 2 alcobas independientes, zona social integrada con la cocina.
Cantidad total de apartamentos: 4 unidades.

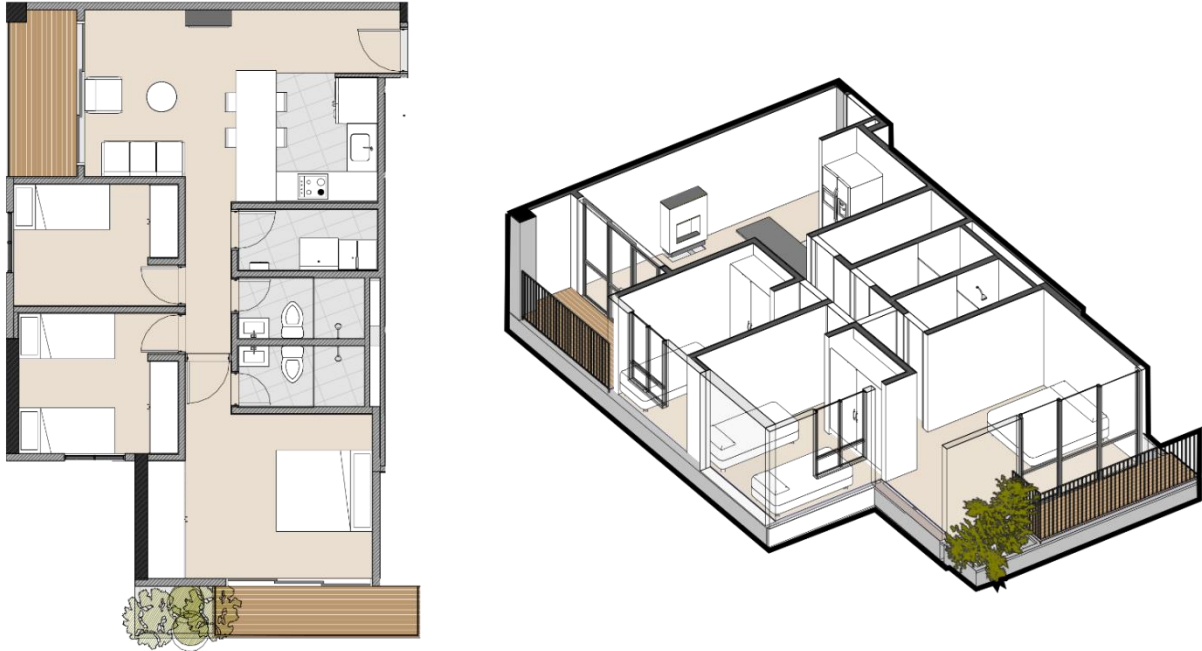
4.7.3. Tipología de 2 alcobas + estudio



*Ilustración 39. Tipología de 2 alcobas + estudio: planta e isométrico.
Elaboración propia.*

Tipología de 68.75 m², se basa en la distribución anterior, pero se acopla con la transición geométrica de las 2 alas del proyecto, generando un estudio en esta área adicional. Cantidad total de apartamentos: 4 unidades.

4.7.4. Tipología de 3 alcobas



*Ilustración 40. Tipología de 3 alcobas: planta e isométrico.
Elaboración propia.*

Tipología de 79.57 m², se ubica en los extremos del proyecto, dándole la posibilidad de tener 2 fachadas, lo que permite ubicar 3 habitaciones y un balcón adicional en la habitación principal.

Cantidad total de apartamentos: 8 unidades.

4.7.5. Renders – imágenes fotorrealistas

Una vez modelado el proyecto y bien detallado el exterior y el interior, a un nivel LOD 400, se pueden producir con más facilidad algunas imágenes realistas para apoyar el área de ventas y facilitar la comprensión del proyecto y del producto a todos los clientes interesados; otra ventaja del modelado BIM. Analizando el modelo y los puntos más interesantes del proyecto, se escogieron 5 vistas o cámaras para llevar a cabo las siguientes imágenes foto realistas, por la empresa 331, que otorgó un muy descuento al proyecto al estar modelado a tal punto de detalle, porque les facilitaba notoriamente el trabajo:



*Ilustración 41. Render exterior.
Elaborado por 331.*



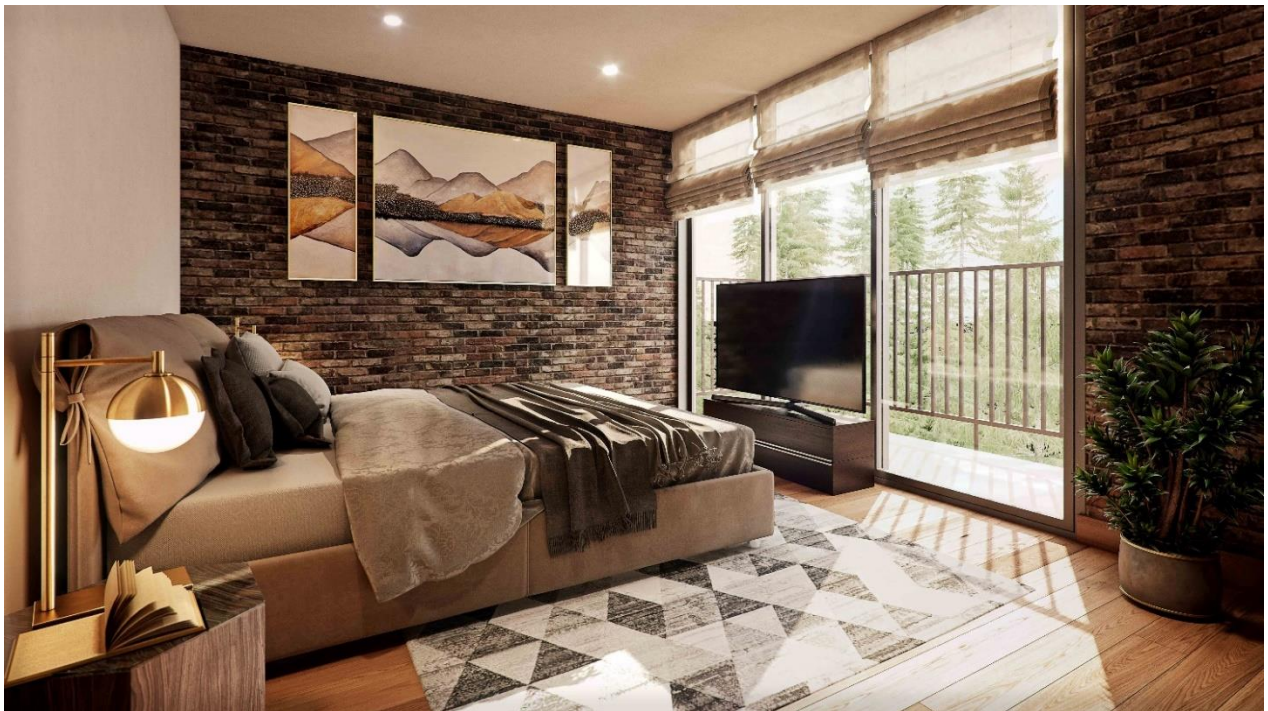
*Ilustración 42. Render de sala del apartamento 201.
Elaborado por 331.*



*Ilustración 43. Render de habitación del apartamento 202.
Elaborado por 331.*



*Ilustración 44. Render de sala del apartamento de 1 alcoba.
Elaborado por 331.*



*Ilustración 45. Render de alcoba del apartamento 101.
Elaborado por 331.*

4.8. Modelación de disciplinas técnicas

4.8.1. Capacitación en modelado BIM

Para la correcta implementación de los objetivos de la presente investigación fue necesario llevar a cabo las siguientes investigaciones y tareas autónomas:

- Asistencia a curso básico, presencial, de modelado BIM y BIM MEP (Mechanical, Electrical, Plumbing).
- Aprendizaje autónomo, mediante video tutoriales disponibles en internet, sobre el uso y manejo de Autodesk Revit Architecture y Navisworks (versiones estudiantiles)
- Estudio de proyectos reales modelados con la metodología BIM, donde se lleven a cabo estudio de colisiones e interferencias.
- Modelado de otro proyecto particular de la empresa con la metodología BIM.

4.8.2. Actividades previas

Durante el proceso de construcción virtual del modelo tridimensional surgen diferentes ciclos que ayudan a estructurar su desarrollo. Para llevar a cabo satisfactoriamente estas etapas es imprescindible definir los flujos de trabajo que se deben establecer como reglas de proyecto necesarias para obtener los mejores resultados de los modelos de información que están próximos a construirse. Una vez aclarado lo anterior, existe un concepto fundamental dentro de la metodología BIM que se asocia al trabajo en colaboración. Este concepto dentro de las etapas de modelación es la base para dar inicio a un flujo continuo de comunicación e información entre los diferentes agentes que intervendrán en los procesos de diseño.

Lo anterior se traduce en un archivo central que tiene la posibilidad de estar alojado en un servidor físico al que se accede mediante conexión por cableado WAN O LAN, o un servidor virtual que puede estar en la nube. Cualquiera que sea la opción que se elija para almacenar el archivo central, dependerá de la ubicación de los actores que intervendrán en los diseños del proyecto; es decir, el espacio físico de trabajo de cada participante es un factor decisivo para la selección de una u otra opción.

4.8.3. ¿Modelar BIM o re-modelar?

Lo que la metodología BIM busca definir con el concepto de trabajo colaborativo, en palabras técnicas es: crear un único archivo de trabajo al que todos los diseñadores tengan acceso. Una vez definida la ubicación del archivo central, dar acceso a los diseñadores a la red local o virtual en la que podrán trabajar desde sus ordenadores los modelos tridimensionales correspondientes a cada disciplina, sincronizar sus avances, trabajar en línea, ver los avances de los demás, hacer correcciones, estar al día.

En este caso de estudio no fue posible trabajar de la manera expuesta anteriormente, puesto que el costo de los diseños técnicos modelados en 3D y bajo metodología BIM, era bastante alto y excedía los rubros disponibles por el gerente en su prefactibilidad. En algunos casos, la diferencia entre el costo de los diseños en 2D o en 3D, era 3 veces mayor en 3D.

Como se exponía en el capítulo “Estado del Arte”, el costo de los diseños BIM es uno de las principales razones que impiden su implementación a nivel nacional. A la fecha de este estudio, la oferta de diseñadores técnicos que ofrezcan y trabajen bajo la metodología BIM es poco amplia y a su vez costosa. Se espera que con el paso del tiempo y a medida que se vayan demostrando las ventajas del BIM, a través de casos exitosos, se haga más popular y a su vez más económica su implementación, hasta el punto que se vuelva obligatoria, como ha sucedido en distintos países, como Dinamarca y Finlandia, entre otros.

Por el momento, el panorama nacional en cuanto a la implementación del BIM, en muchos casos sucede como el presente estudio, donde los diseños técnicos se contratan en 2D, y luego deben ser modelados en 3D por una persona o empresa, en un solo modelo local.

El deber ser, sería contratar todos los diseños en BIM 3D, donde cada diseñador disponga del tiempo necesario para asistir a comités de coordinación técnica, y así dar celeridad a los proyectos de construcción.

En este estudio no fue posible dicho ideal. Por lo tanto, fue necesario re-modelar la información entregada por cada diseñador, desde 2D a BIM 3D. Aunque se invirtió una buena cantidad de tiempo en este proceso, o más bien “re proceso”, los resultados obtenidos fueron bastante satisfactorios, como se muestra a continuación por cada especialidad técnica:

4.8.4. Estructura

Luego de tener la arquitectura más definida y contar con un esquema arquitectónico inicial de cómo podría ser la disposición de la estructura, es necesario hacer un primer acercamiento con los diseñadores estructurales para darle viabilidad técnica al proyecto.

En el primer encuentro y por petición de la empresa la empresa *Diseña Ingeniería*, que fue previamente seleccionada para llevar a cabo el cálculo y el diseño estructural del edificio, es necesario exportar los planos del modelo arquitectónico actual (que está en Revit 3D) al formato 2D, tipo CAD, al ser esta la herramienta digital que ellos utilizan para hacer planos estructurales.

La primera entrega digital en 2D que hizo la empresa calculista a la empresa de arquitectura OA+M, se importó tal cual al modelo 3D del proyecto como una referencia externa. Desde antes de modelar la estructura en 3D, se pudieron evidenciar algunos errores de comunicación o interpretación, producto de la conversión de planos arquitectónicos entregados al diseñador estructural (de 3D a 2D), tales como:

- Fallas en diseño de jardineras, que son casetones invertidos en la losa, para poder generar espacio para la tierra y sustrato de las plantas.
- Los buitrones técnicos previstos para las redes del edificio se vieron interrumpidos por las vigas de concreto planteadas.
- Las escalares se inhabilitaban por una viga de concreto que las atravesaba, al igual que el foso del ascensor.

Al socializar estas inconsistencias y algunas otras, se solicitó a la empresa calculista hacer dichos ajustes para no sacrificar la arquitectura y funcionamiento del edificio. Pasado un tiempo entregaron la planimetría que se muestra a continuación:

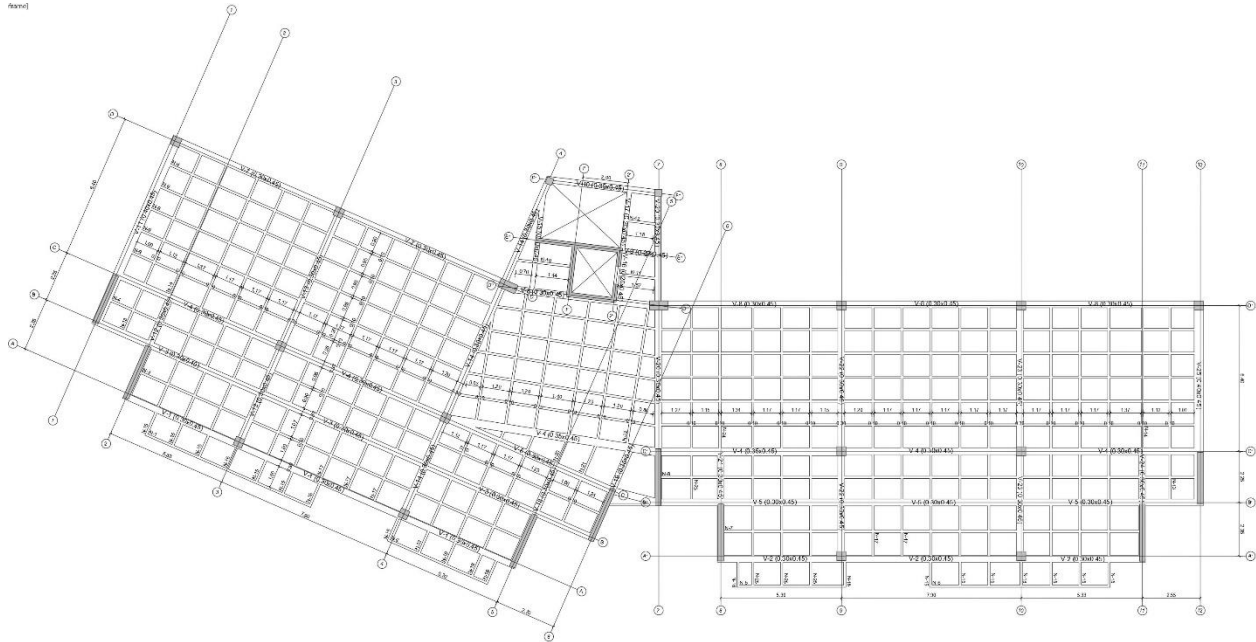


Ilustración 46. Planta en 2D de la estructura del nivel 3.
Elaborado por Diseña Ingeniería.

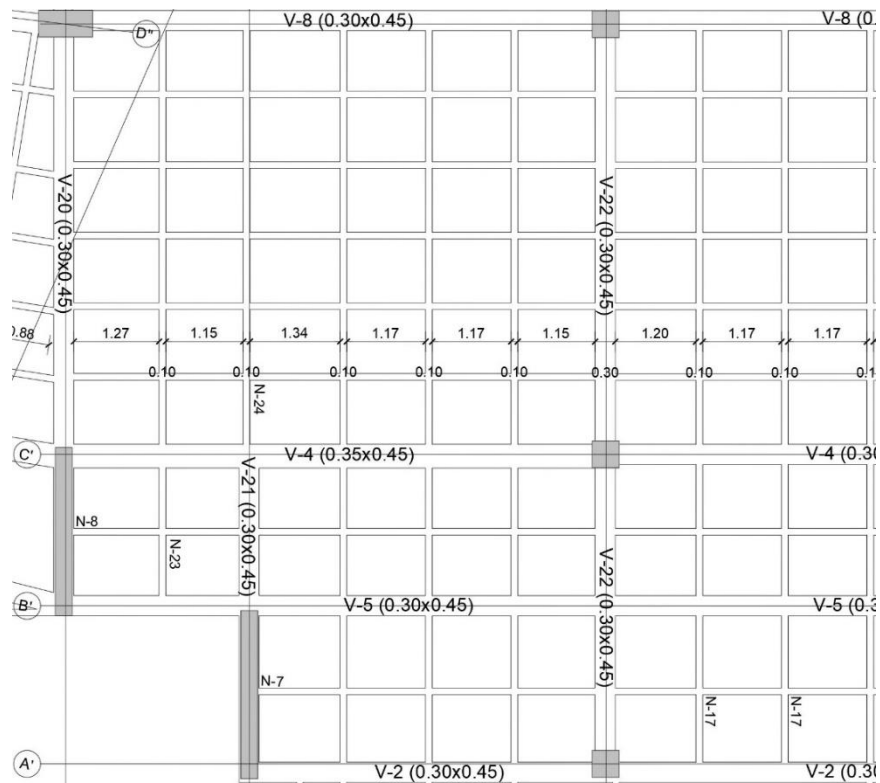
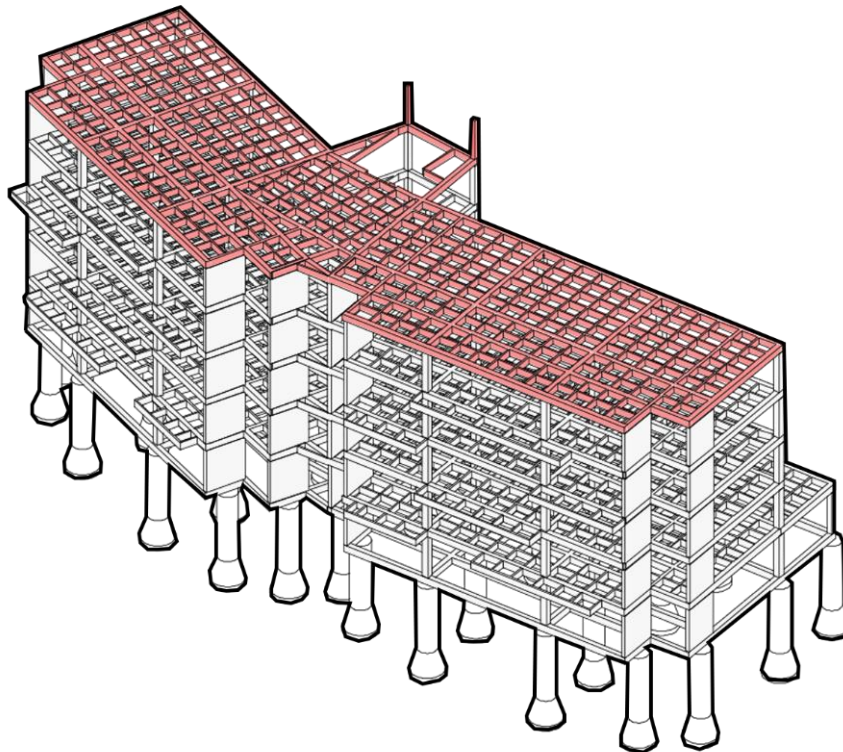
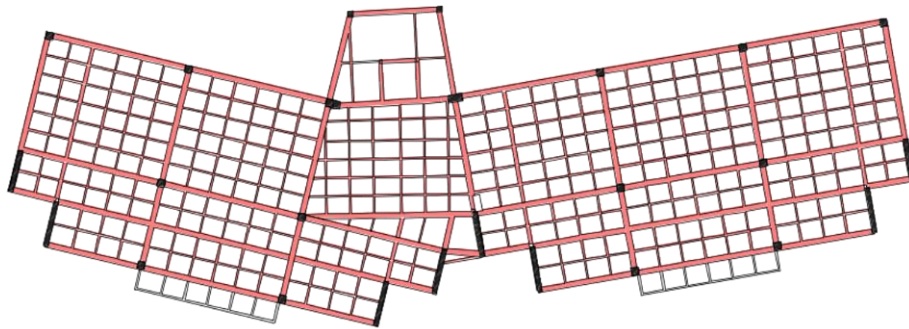
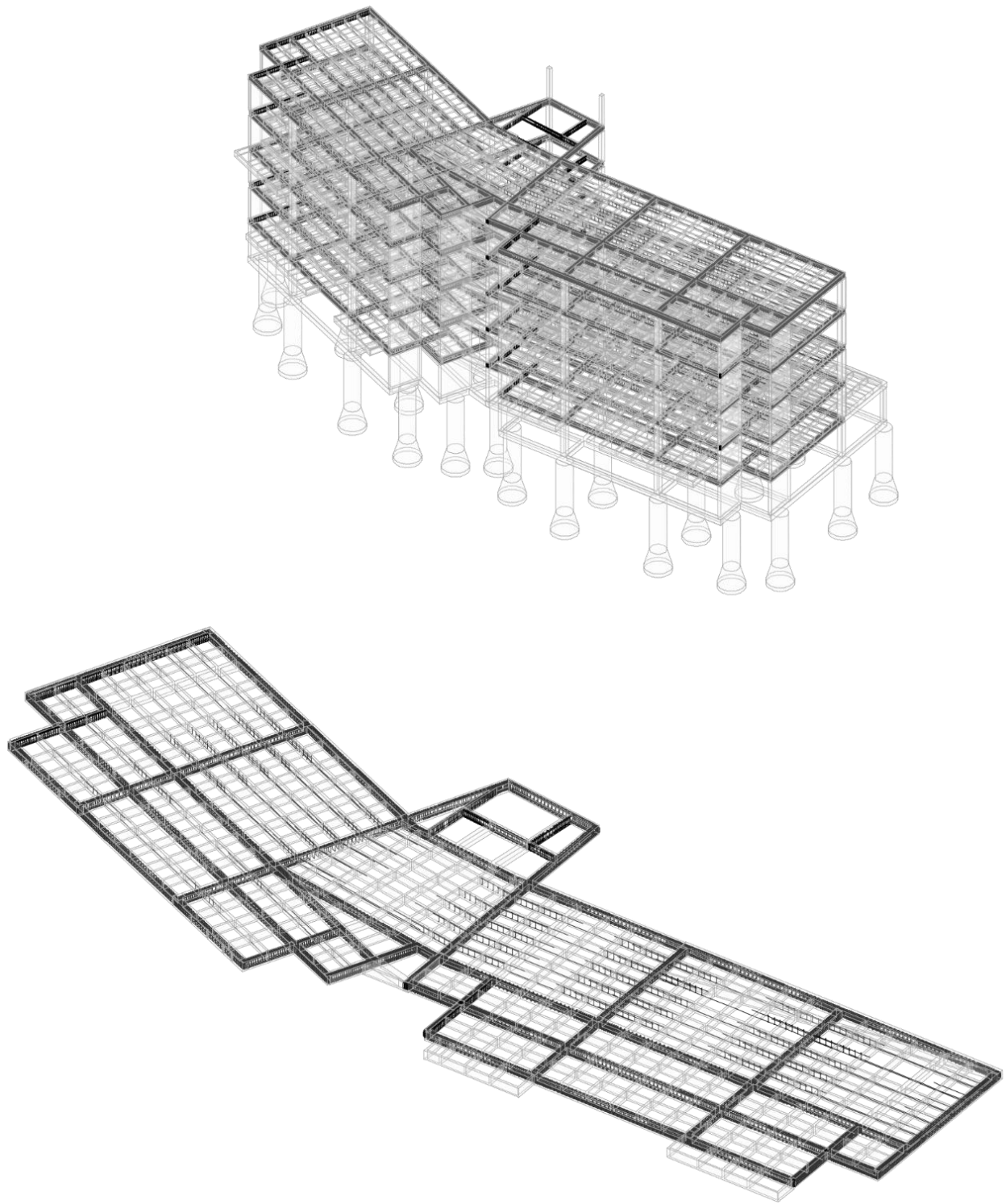


Ilustración 47. Plano en 2D de la estructura de un apartamento.
Elaborado por Diseña Ingeniería.

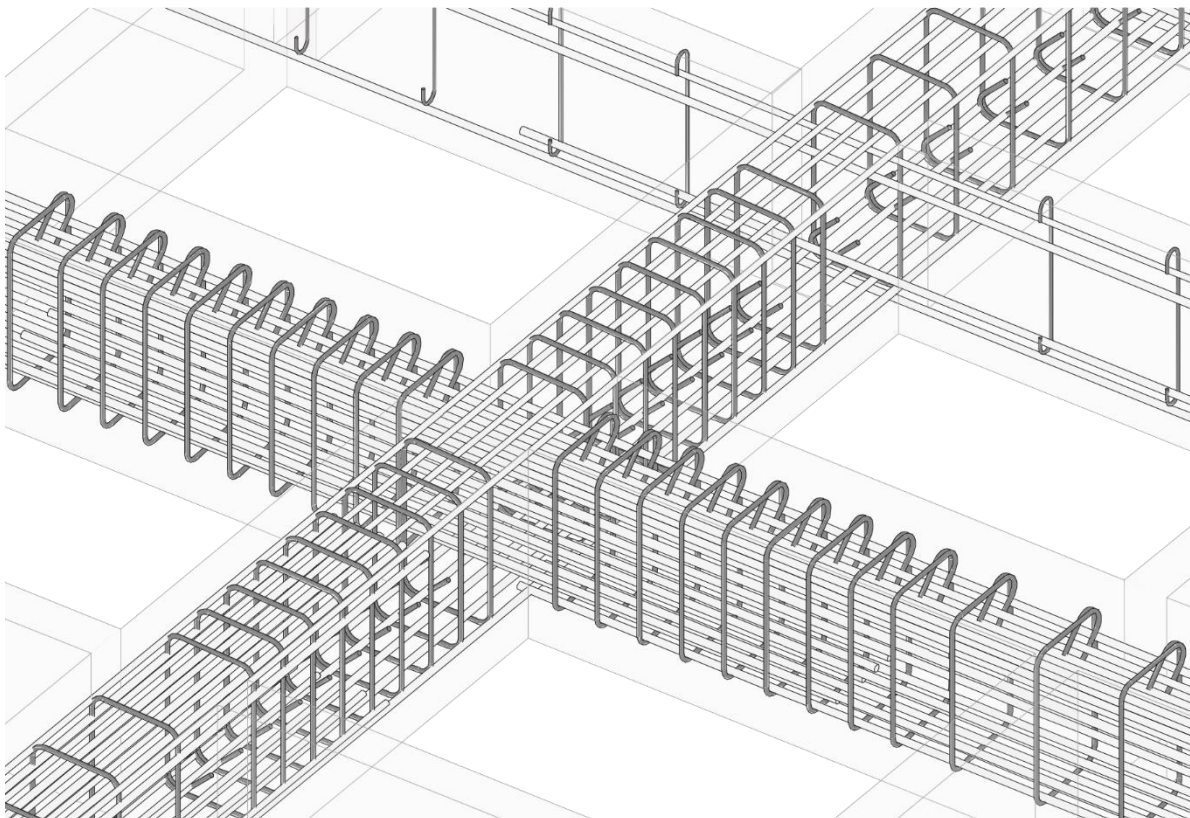
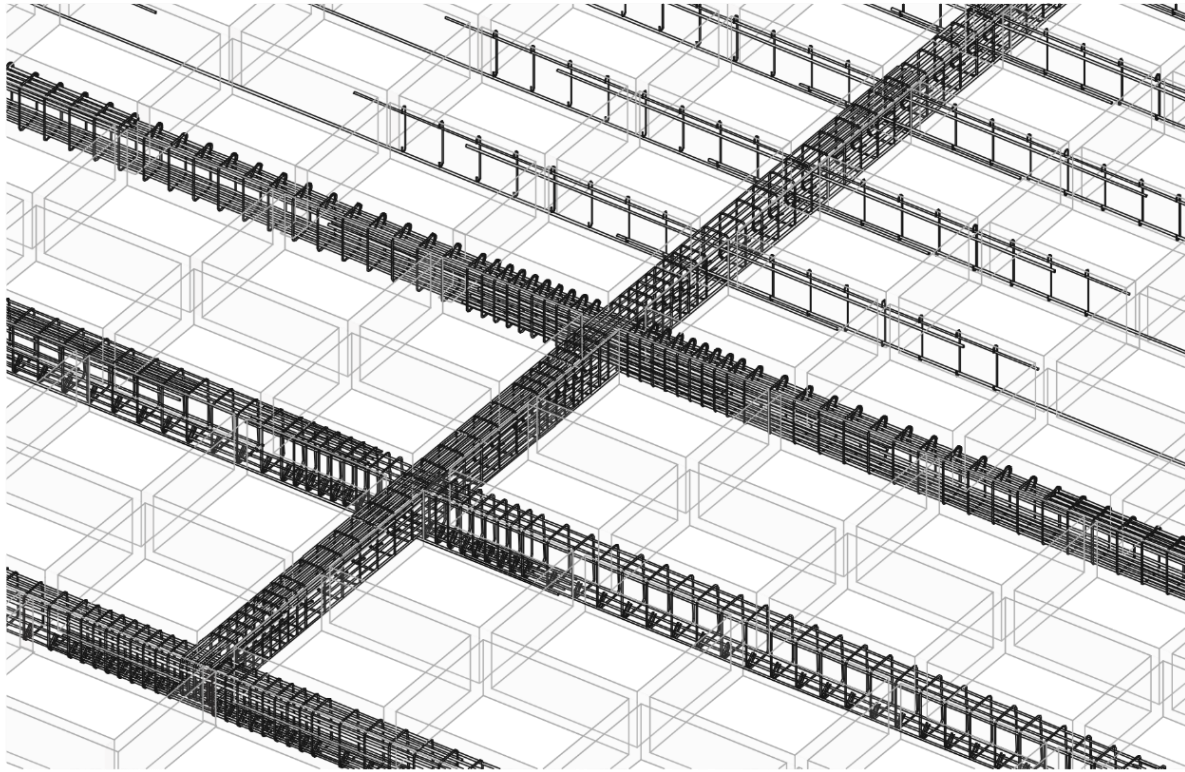
Una vez revisados dichos ajustes, se realiza el respectivo modelado 3D BIM de los elementos estructurales (fundaciones, vigas, losas, nervios, columnas) sobre el modelo arquitectónico en Revit. También se nombra con código único cada uno de los elementos estructural, incluyendo el acero de refuerzo de los mismos, para poder extraer información de obra y coordinar los demás aspectos técnicos cómo cantidades de obra, presupuesto y programación.



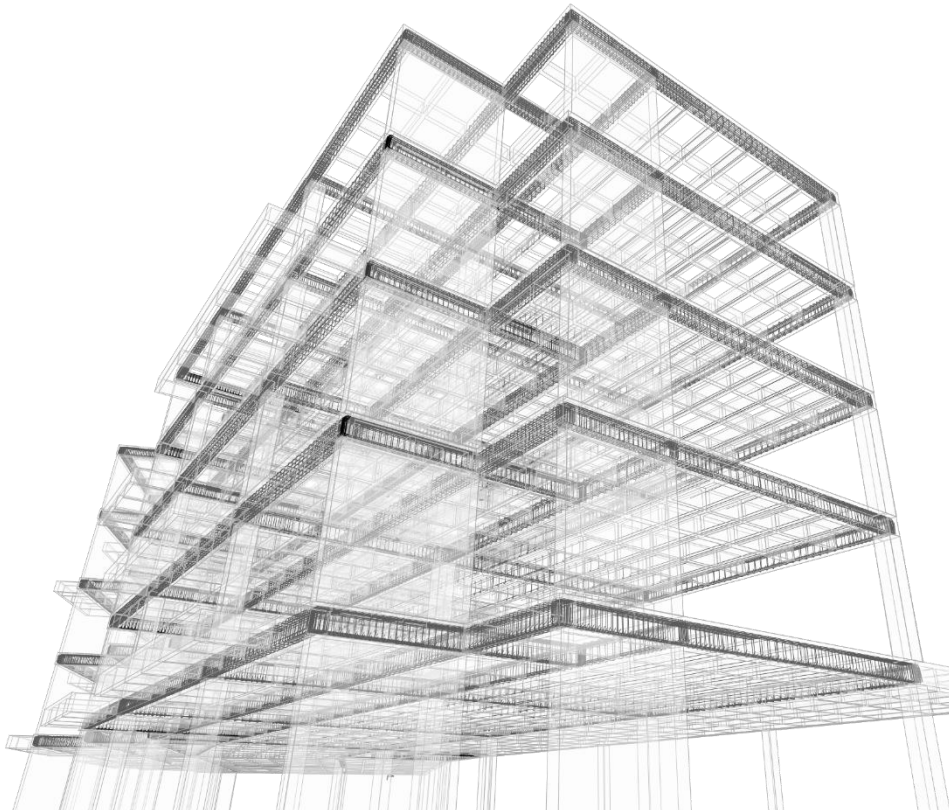
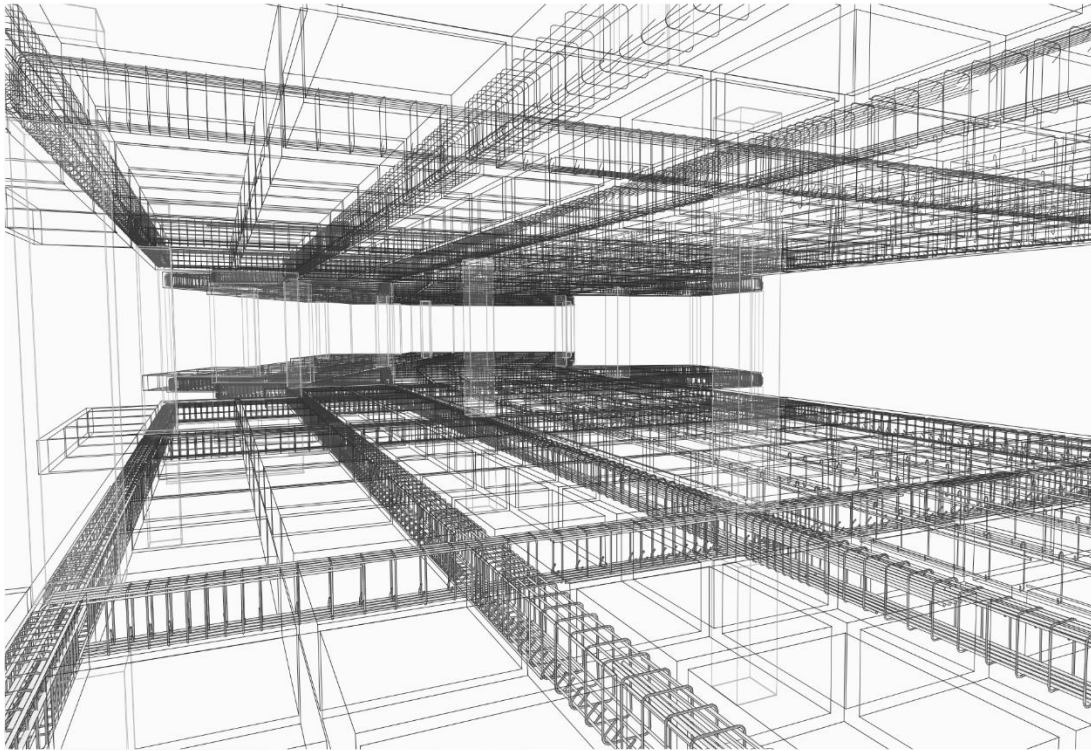
*Ilustración 48. Estructura modelada en Revit: fundaciones, vigas y columnas.
Elaboración propia.*



*Ilustración 49. Estructura con refuerzo de vigas en Revit.
Elaboración propia.*



*Ilustración 50. Detalle en 3D de elementos estructurales, en Revit.
Elaboración propia.*



*Ilustración 51. Esquemas de estructura en perspectiva, refuerzo de vigas en Revit.
Elaboración propia.*

En los siguientes esquemas se puede apreciar del detalle de la viga de concreto número V-25 del nivel 03, en 2D, vs el mismo detalle modelado en 3D, perspectivado. Ambos detalles son bastante necesarios, pero el 3D permite visualizar mejor el desarrollo y la escala real de la viga, sus traslajos, el confinamiento de los estribos y el cuerpo del elemento como tal.

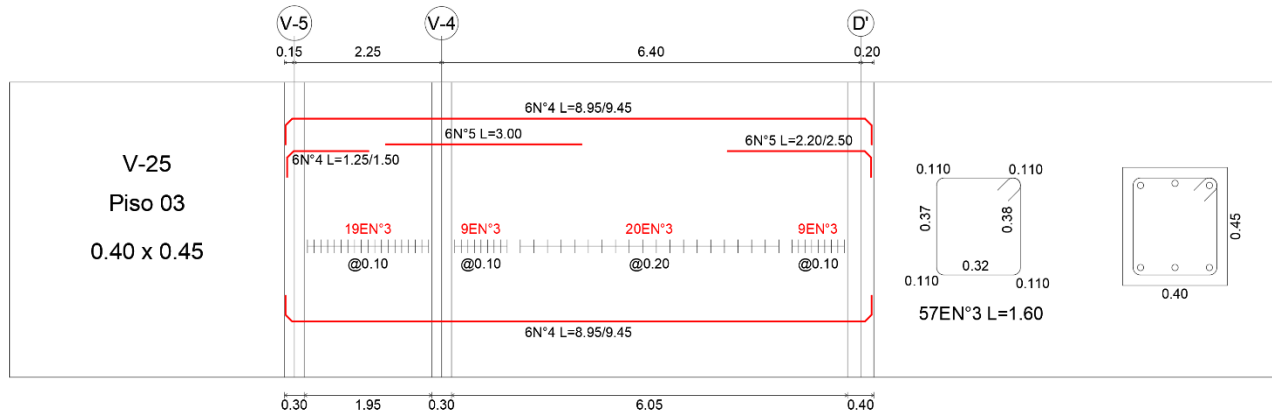


Ilustración 52. Detalle de Viga V-25 en 2D, según planos estructurales.
Elaborado por Diseña Ingeniería.

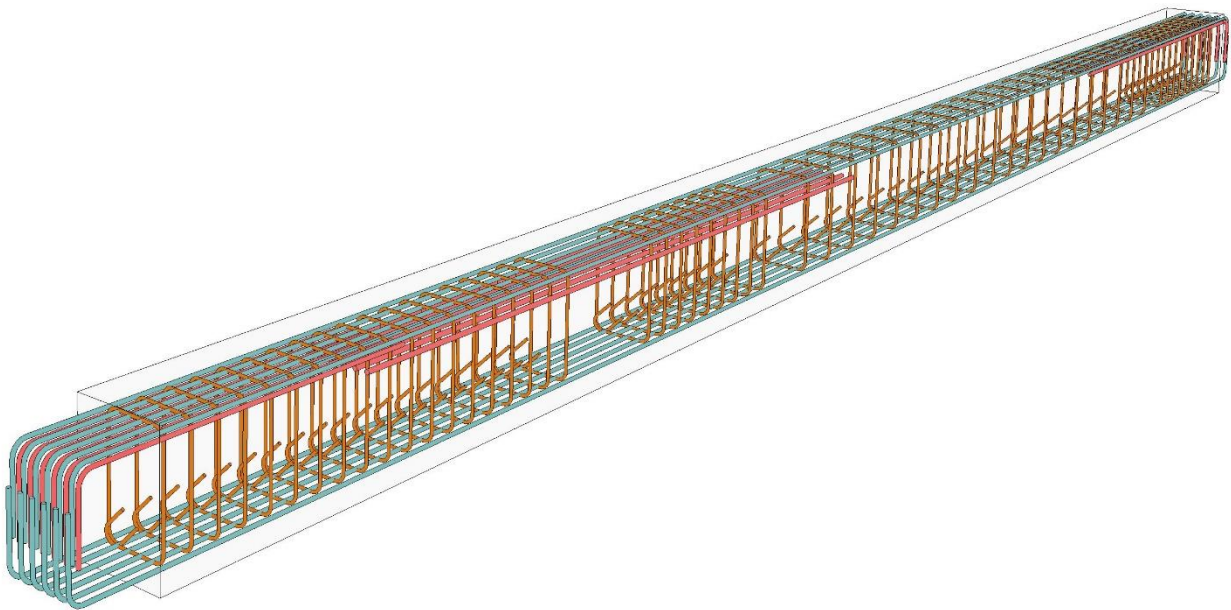


Ilustración 53. Detalle 3D de Viga V-25, en Revit.
Elaboración propia.

En la siguiente tabla se puede apreciar el nivel de detalle con el que el software genera las cartillas de despiece. En este caso se detalla la información del acero de la viga V-25, del nivel 03. Se aprecian las figuras, cantidades, diámetros, longitudes, separación, etc. Es de gran utilidad para presupuestadores y para la compra del material.

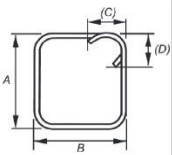
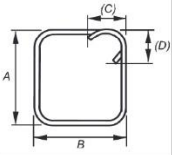
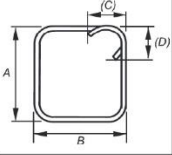
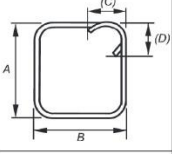
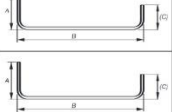
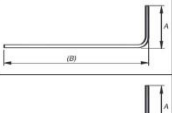
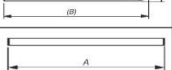


Rebar Schedule												
Family and Type	Schedule Mark	Partition	Total Bar Length	Bar Length	Bar Diameter	Quantity	Spacing	Shape	A	B	C	Shape Image
Rebar Bar: Structural Rebar ESTRIBO 3/8" - 0.22 x 0.37 - gancho	V-25 P3	PISO 3-A	12,01 m	1,33 m	10 mm	9	0,10 m	M_T1	0,37 m	0,22 m	0,11 m	
Rebar Bar: Structural Rebar ESTRIBO 3/8" - 0.22 x 0.37 - gancho	V-25 P3	PISO 3-A	26,67 m	1,33 m	10 mm	20	0,20 m	M_T1	0,37 m	0,22 m	0,11 m	
Rebar Bar: Structural Rebar ESTRIBO 3/8" - 0.22 x 0.37 - gancho	V-25 P3	PISO 3-A	11,99 m	1,33 m	10 mm	9	0,10 m	M_T1	0,37 m	0,22 m	0,11 m	
Rebar Bar: Structural Rebar ESTRIBO 3/8" - 0.22 x 0.37 - gancho	V-25 P3	PISO 3-A	25,32 m	1,33 m	10 mm	19	0,10 m	M_T1	0,37 m	0,22 m	0,11 m	
Rebar Bar: VARILLA no. 4 - 1/2 "	V-25 P3	PISO 3-A	56,31 m	9,38 m	13 mm	6		M_17B	0,25 m	8,95 m	0,25 m	
Rebar Bar: VARILLA no. 4 - 1/2 "	V-25 P3	PISO 3-A	56,31 m	9,38 m	13 mm	6		M_17B	0,25 m	8,95 m	0,25 m	
Rebar Bar: VARILLA no. 4 - 1/2 "	V-25 P3	PISO 3-A	8,80 m	1,47 m	13 mm	6		M_17A	1,25 m	0,25 m	0,00 m	
Rebar Bar: VARILLA no. 5 - 5/8 "	V-25 P3	PISO 3-A	14,78 m	2,46 m	16 mm	6		M_17A	2,20 m	0,30 m	0,00 m	
Rebar Bar: VARILLA no. 5 - 5/8 "	V-25 P3	PISO 3-A	18,00 m	3,00 m	16 mm	6		M_00	0,00 m	3,00 m	0,00 m	

Ilustración 54. Cartilla de despiece de acero de viga V-25, nivel 3.
Elaboración propia.

Luego de llevar a cabo esta actividad se puede concluir que el modelado en 3D del acero de refuerzo en Revit, demanda bastante tiempo. Si todos los niveles fueran estructuralmente típicos, el tiempo de modelado sería mucho menor, pero como en algunos casos existen diversas especificaciones de acero en ciertos elementos, el tiempo de modelado juega en contra.

La utilidad de la modelación de dicha disciplina técnica en este caso de estudio, se limita a la generación de cartillas de despiece, eso sí, con bastante información (como se exponía anteriormente), la cual se actualiza automáticamente si existe alguna variación en el modelo. La inversión de tiempo en la etapa inicial es bastante alta, pero en etapas posteriores es casi cero, y es allí donde se aprecia su beneficio (Maia, Mêda, & Freitas, 2015).

Las metodologías tradicionales de despiece, manuales, son bastante más rápidas pero estáticas, y no se pueden visualizar los elementos modelados ni se actualizan automáticamente con cambios realizados. Sin mencionar que pueden suceder errores en los cálculos de las cantidades.

Existen algunos softwares de diseño estructural que exportan la estructura junto con el refuerzo a Revit. Esta sería la manera ideal y sería bastante beneficioso, pues las cartillas de despiece se obtendrían en Revit al instante, y no tocaría invertir exceso de tiempo en re-modelar el acero. Entre ellos se destacan los softwares: Tekla, Allplan, Autodesk Robot.

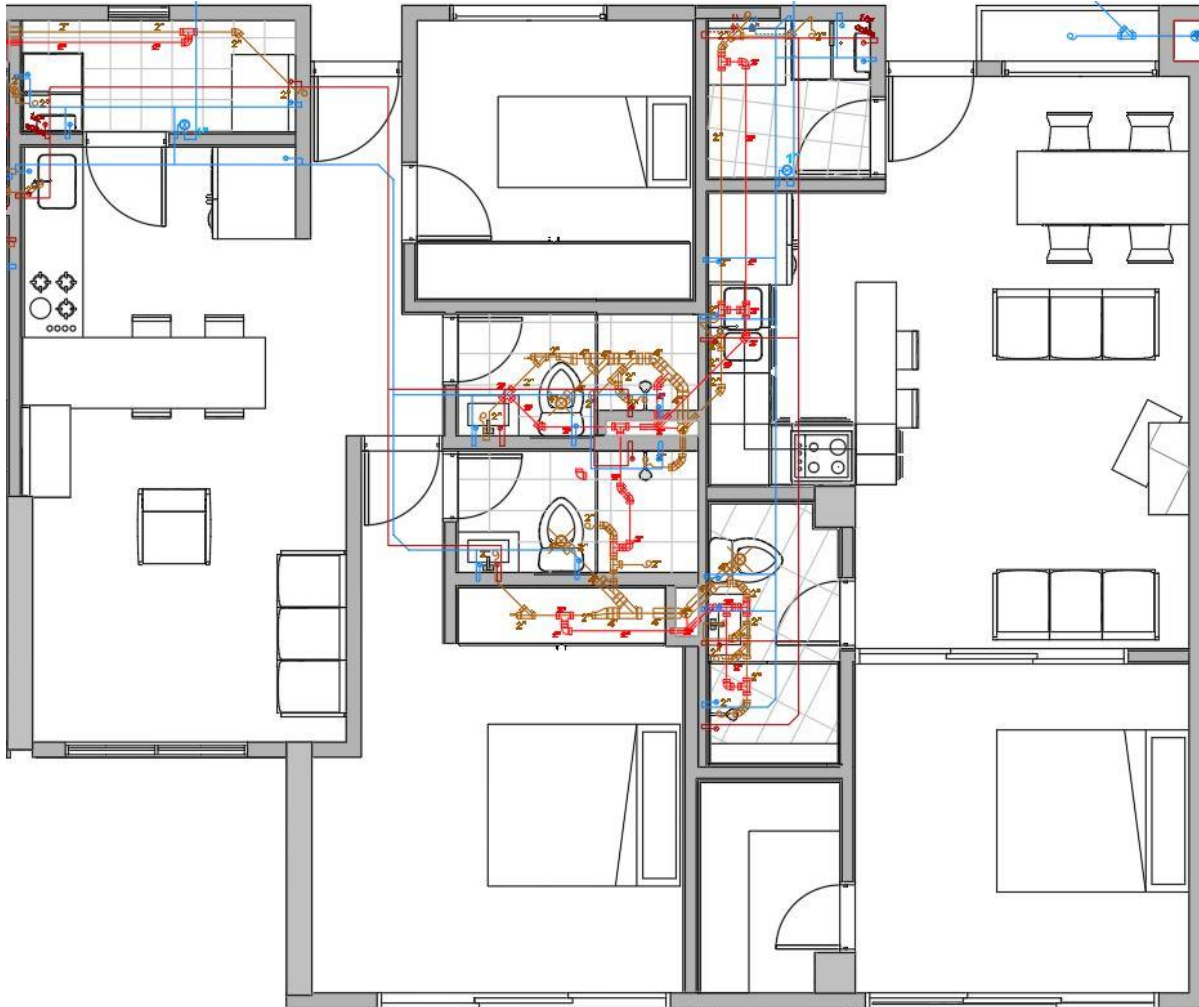
Una de las grandes ventajas inherentes a este proceso de re modelación de la estructura en 2D a 3D es que se pueden programar los pedidos de acero y obtener las cartillas de despiece, de una partición o etapa específica del proyecto, para un mejor manejo y control del mismo.

4.8.5.Red hidrosanitaria

Para el diseño de las redes hidrosanitarias se llevó a cabo una reunión con el área de ingeniería sanitaria, donde se exponía el proyecto, sus necesidades y requerimientos particulares. Gracias al modelo 3D era simple y rápido visualizar la ubicación exacta de las tomas de agua, ubicación de medidores, gabinetes, buitrones, aparatos hidráulicos etc. Aun así, fue necesario entregar la planimetría en 2D porque los diseñadores desconocían el uso de las herramientas y software 3D, además no lo ofrecían dentro del alcance de su propuesta económica. Los entregables por el diseñador hidráulico fueron: diseño de red de abastos de agua, red de aguas lluvias, aguas residuales, re ventilación, cálculo de consumos, diseño de tanques de almacenamiento, etc., como se observa a continuación

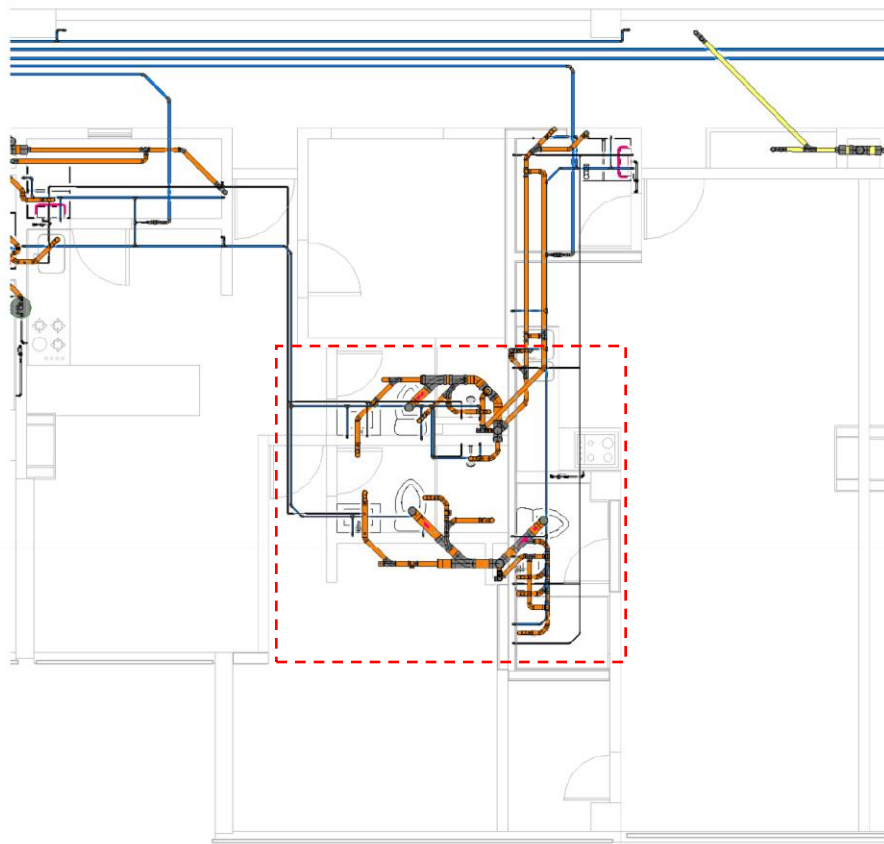
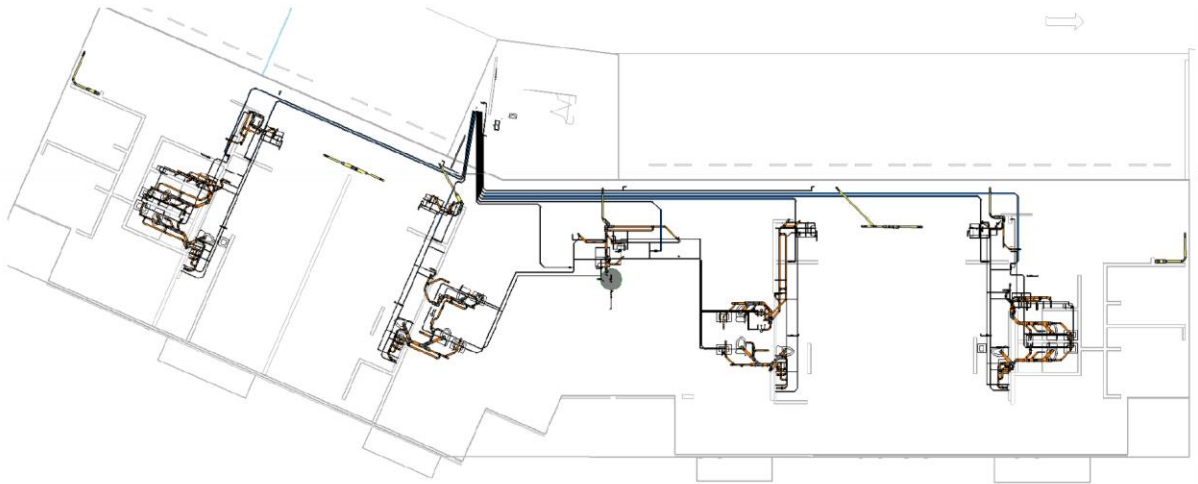


*Ilustración 55. Planta general en 2D de la red hidrosanitaria del proyecto.
Elaborado por Farlemir Domínguez A.*

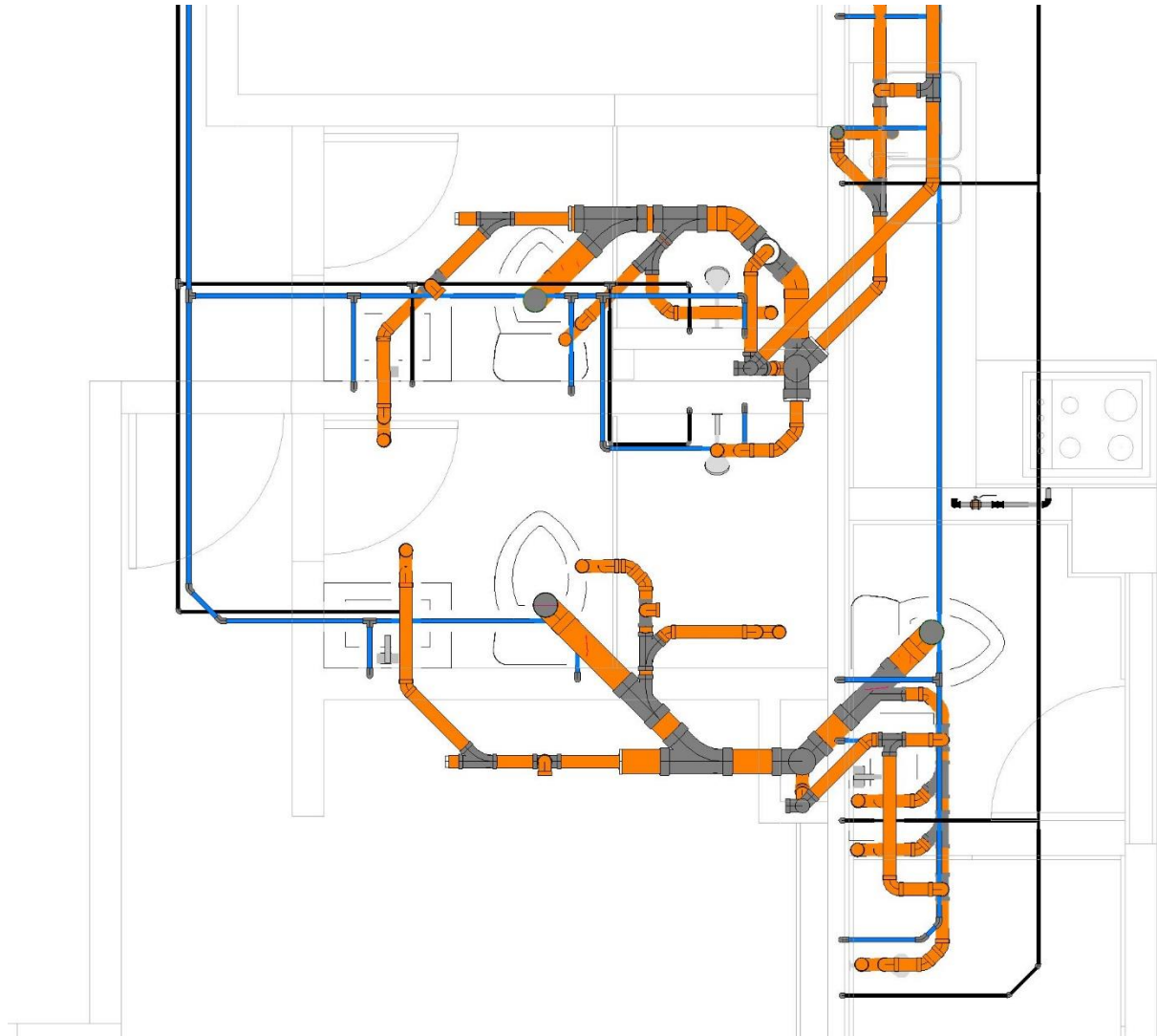


*Ilustración 56. Planta en 2D de la red hidrosanitaria de 2 apartamentos.
Elaborado por Farlemir Domínguez A.*

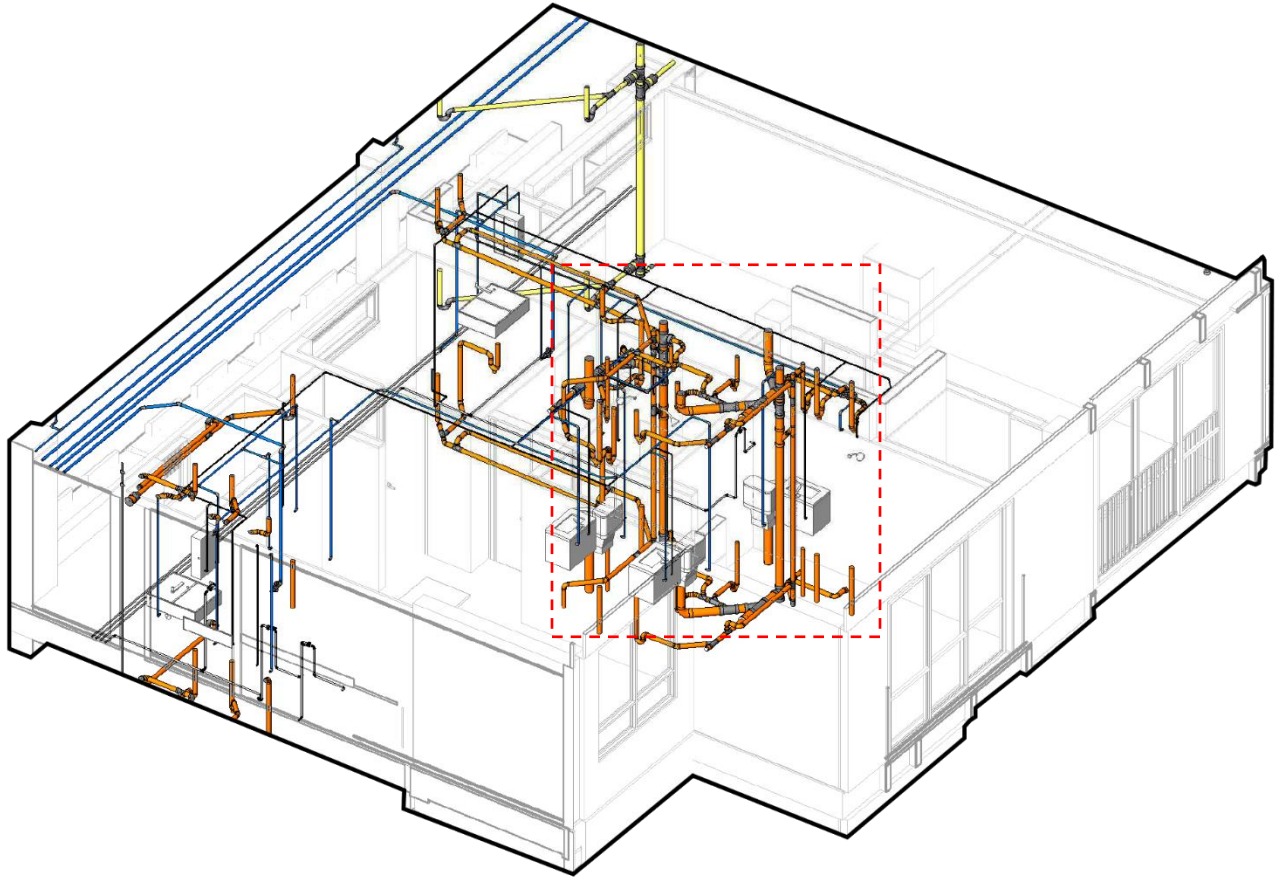
Tradicionalmente se han realizado la mayoría de los proyectos en Medellín con esta metodología de dibujo en 2D. Sin embargo, esta carece de muchas ventajas que el modelado BIM incorpora, donde además de poder obtener información de diferente índole como cantidades de obra, precio, etc., brinda también la posibilidad de coordinar las diferentes redes técnicas involucradas en un proyecto arquitectónico. A continuación se aprecian los planos y esquemas obtenidos tras modelar en 3D las redes hidrosanitarias, utilizando Revit.



*Ilustración 57. Planta en 2D de la red hidrosanitaria de 2 apartamentos. Modelado en Revit.
Elaboración propia.*

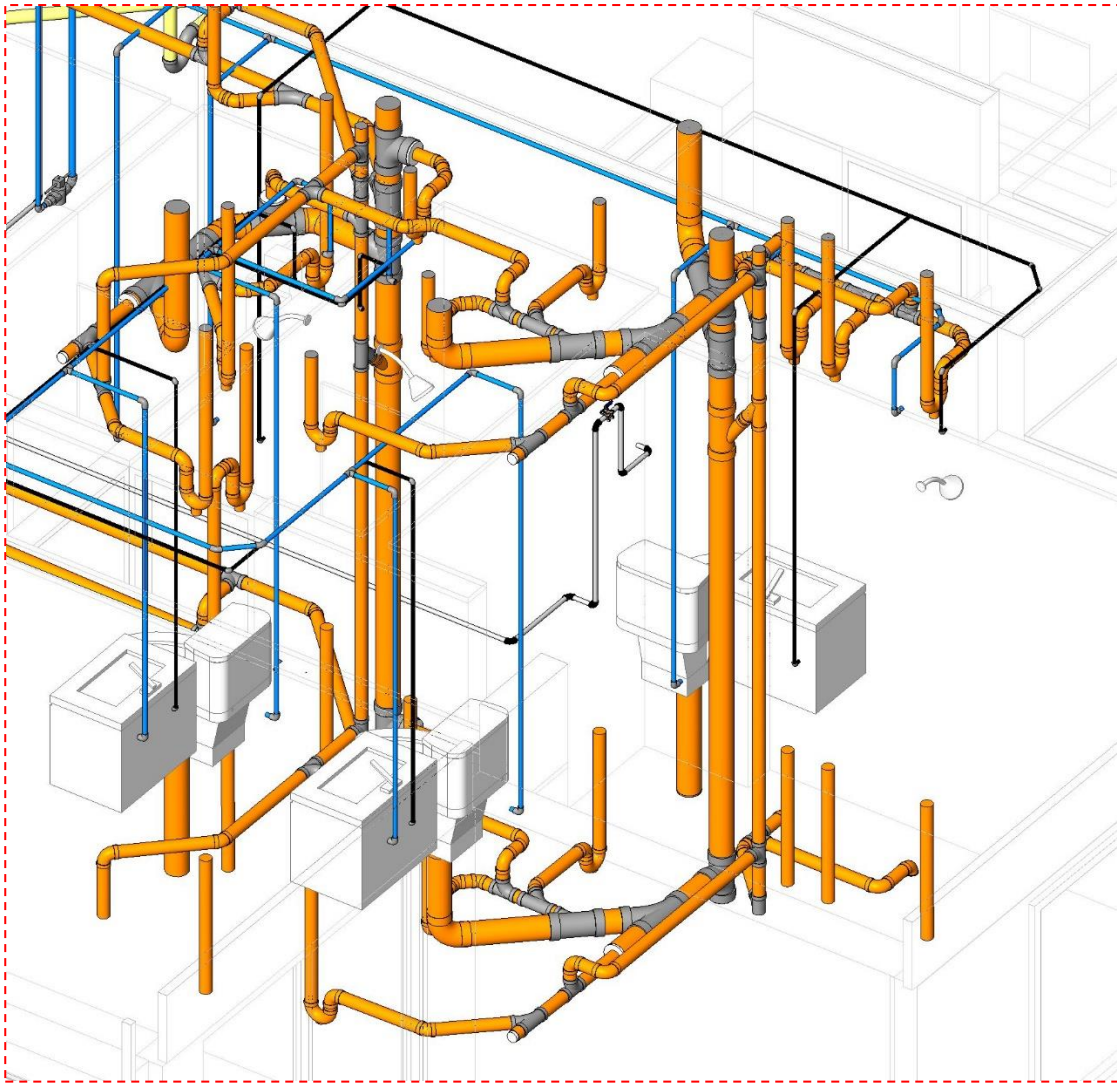


*Ilustración 58. Detalle en 2D de la red hidrosanitaria de 1 apartamento, modelado en Revit.
Elaboración propia.*



*Ilustración 59. Esquema en 3D de la red hidrosanitaria de 2 apartamentos, modelado en Revit.
Elaboración propia.*

Para el proceso de modelación de las redes hidrosanitarias, se tomó la información original entregada por el diseñador hidráulico en 2D y se modeló en el software Revit Architecture, tal cual indicaban los planos, utilizando familias de la marca PAVCO. A todos estos elementos se les asignó una nomenclatura única para tener un mejor control técnico del proyecto, en términos de cantidades, costos, volumen a tener en cuenta para almacenar accesorios y tuberías en obra, calcular material sobrante y dónde pudiera ser reutilizado, entre muchas otras virtudes expuestas en el marco teórico.



*Ilustración 60. Esquema en 3D, detalle de la red hidrosanitaria de 2 apartamentos, modelado en Revit.
Elaboración propia.*

En este detalle del muñeco sanitario (o armazón de plomería) se alcanzan a apreciar algunas colisiones entre la red de agua potable y la red sanitaria, aun siendo diseño del mismo contratista. Con este tipo de esquemas se puede apreciar con mayor facilidad la distribución y recorrido de las redes hidrosanitarias, al igual que la cantidad de accesorios, que, al estar parametrizadas, permite hacer un desglose de materiales certero y completo. Hacer este tipo de modelos se convierte en una especie de auditoría para los contratistas y sirve para exigirles más rigor en sus diseños, y quizá motivarlos a migrar de software y metodologías.

4.8.6.Red eléctrica

Al diseñador eléctrico se le hizo entrega de planos de iluminación arquitectónicos, con ubicación de switches, tomas y tableros eléctricos. Ellos se encargaron de darle viabilidad al proyecto desde la parte técnica, y adquirieron el compromiso de entrega: planos de iluminación, switches, tomas y salidas eléctricas, televisión, comunicaciones, tableros eléctricos, contadores, medidores, cuadros de carga, apantallamiento, detección de incendios, etc.

En la primera entrega de la información se pudo apreciar que el diseño de las rutas del cableado eléctrico, estaban representados por líneas curvas que sugerían una ruta conveniente a seguir para cada circuito. En ella no se especifican las cajas de empalme y cajas de paso necesarias para la construcción de dicha red, ni la ruta real a seguir. Al solicitar dichos ajustes, la respuesta del diseñador eléctrico fue que las rutas debían ser definidas en obra, según el criterio y conveniencia del contratista eléctrico, al igual que la cantidad de cajas y su ubicación. Consecuentemente, OA+M presentó un esquema organizado de rutas, que fue validado por un contratista eléctrico y por el mismo diseñador eléctrico.



*Ilustración 61. Plano en 2D de la red eléctrica de un nivel.
Elaborado por Diego Valenzuela Gómez.*

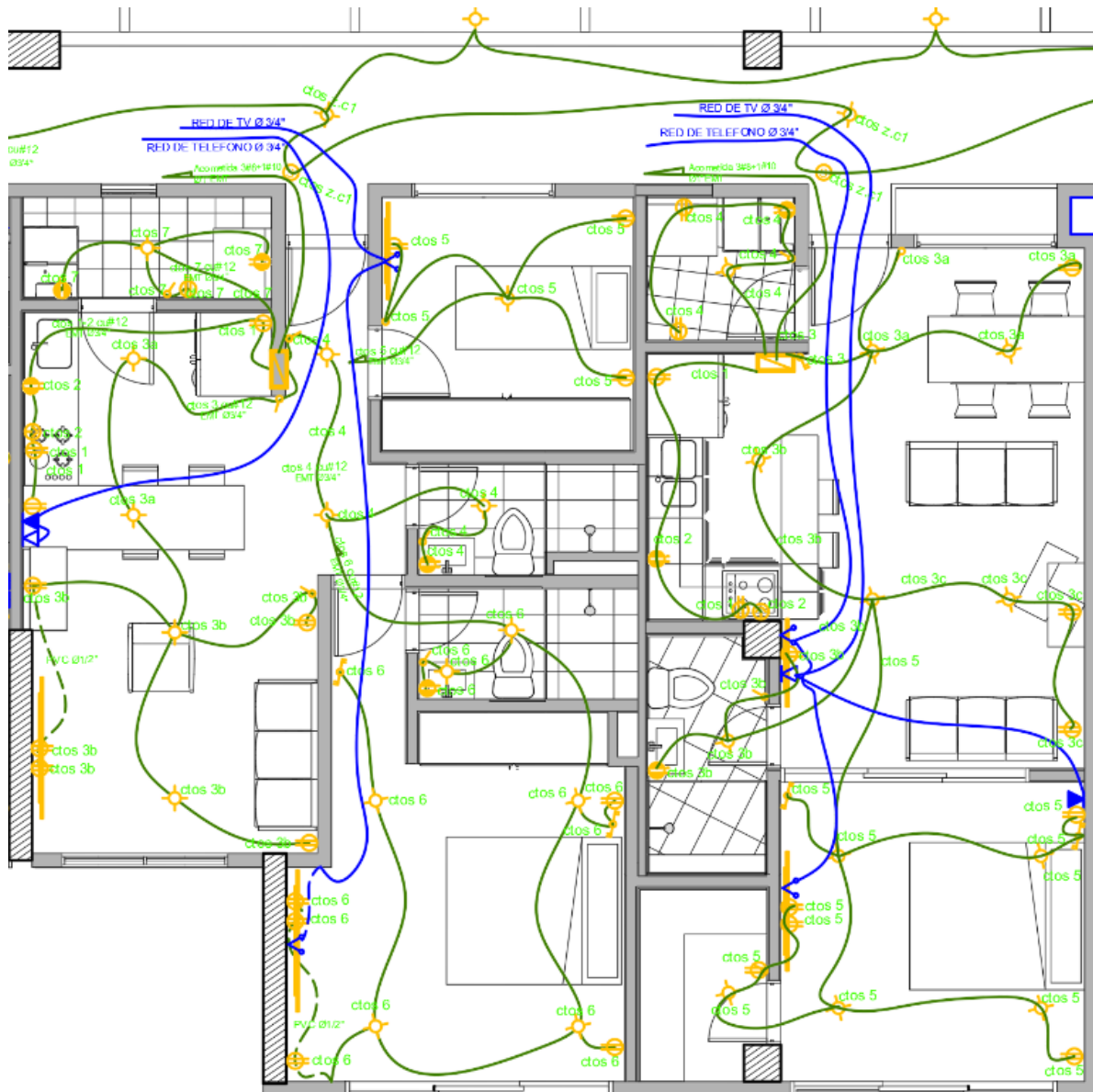
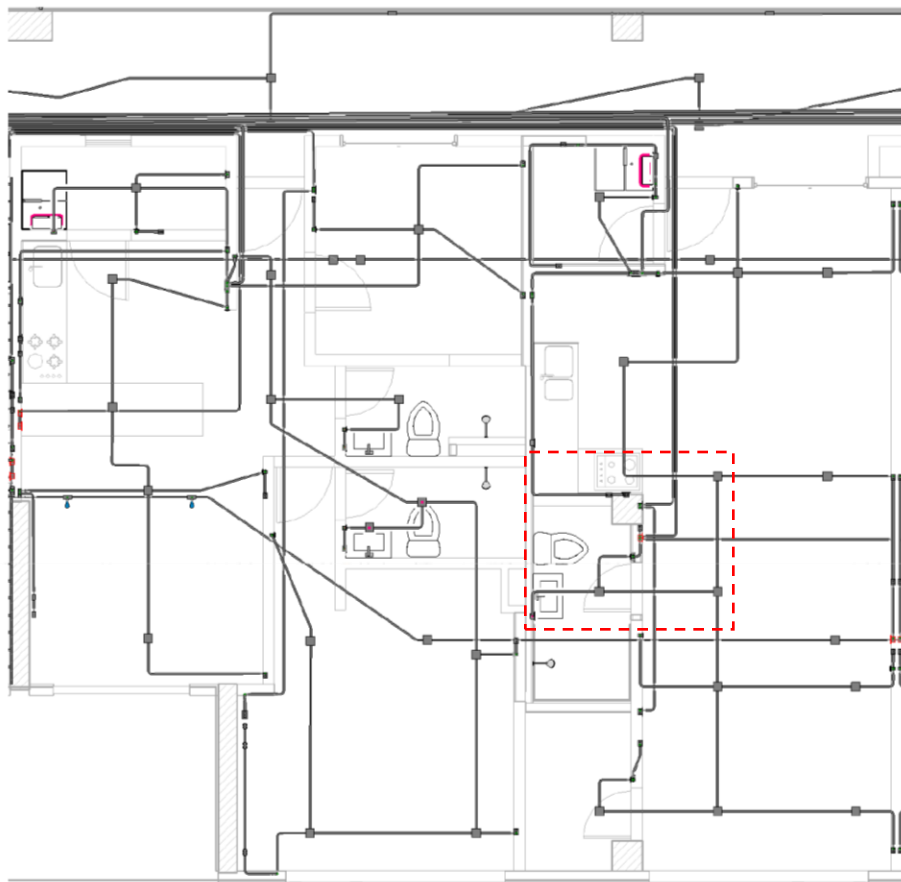
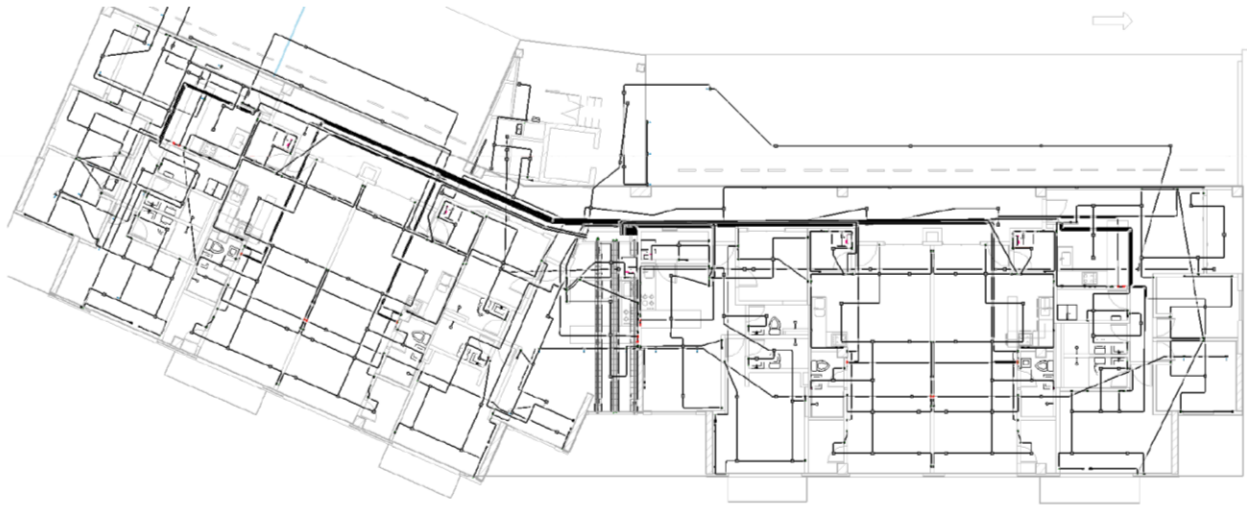
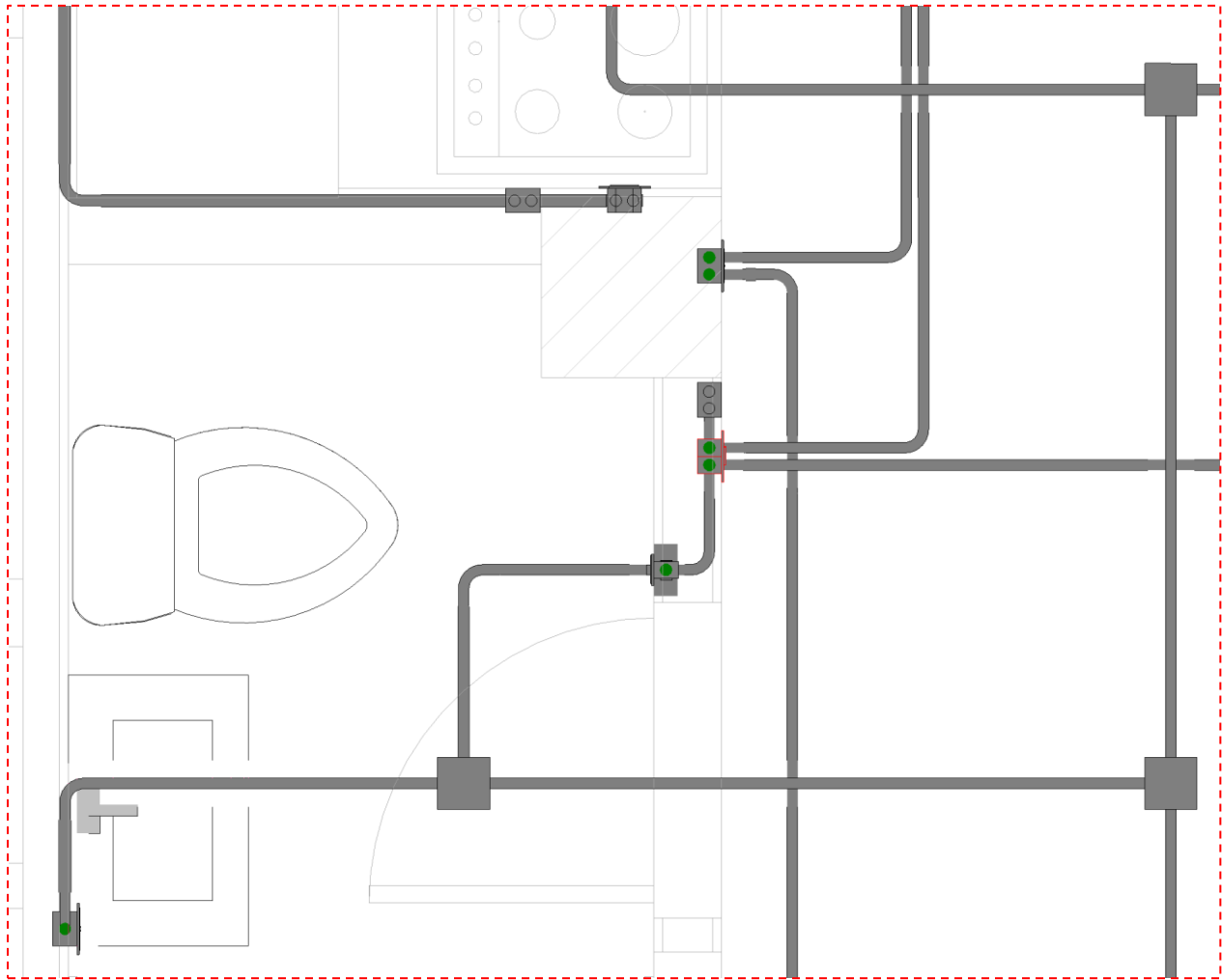


Ilustración 62. Plano en 2D de la red eléctrica de 2 apartamentos.
Elaborado por Diego Valenzuela Gómez.

En esta ilustración se aprecia un poco de confusión en las rutas reales del recorrido de las tuberías y el cableado eléctrico. Tampoco se alcanza a entender con total claridad el recorrido que debe hacer la acometida de cada uno de los apartamentos hacia los buitrones o medidores eléctricos. En este caso, si no se lleva a cabo la modelación de redes, quedaría a libre interpretación del contratista eléctrico las rutas a seguir, ocasionando posible interferencias y conflictos durante la obra, que al final se traducen en sobrecostos y retrasos.

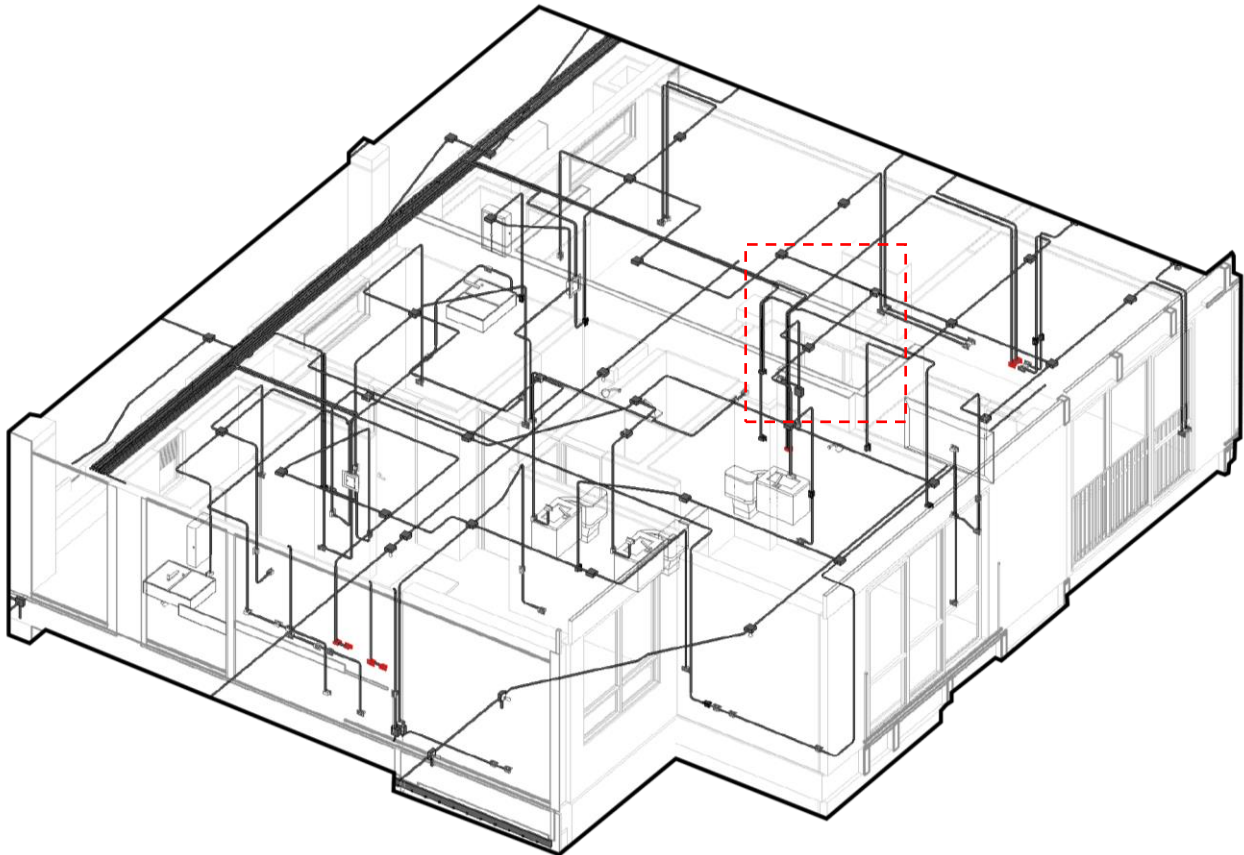


*Ilustración 63. Plano en 2D de la red eléctrica de 2 apartamentos, modelado en Revit.
Elaboración propia.*

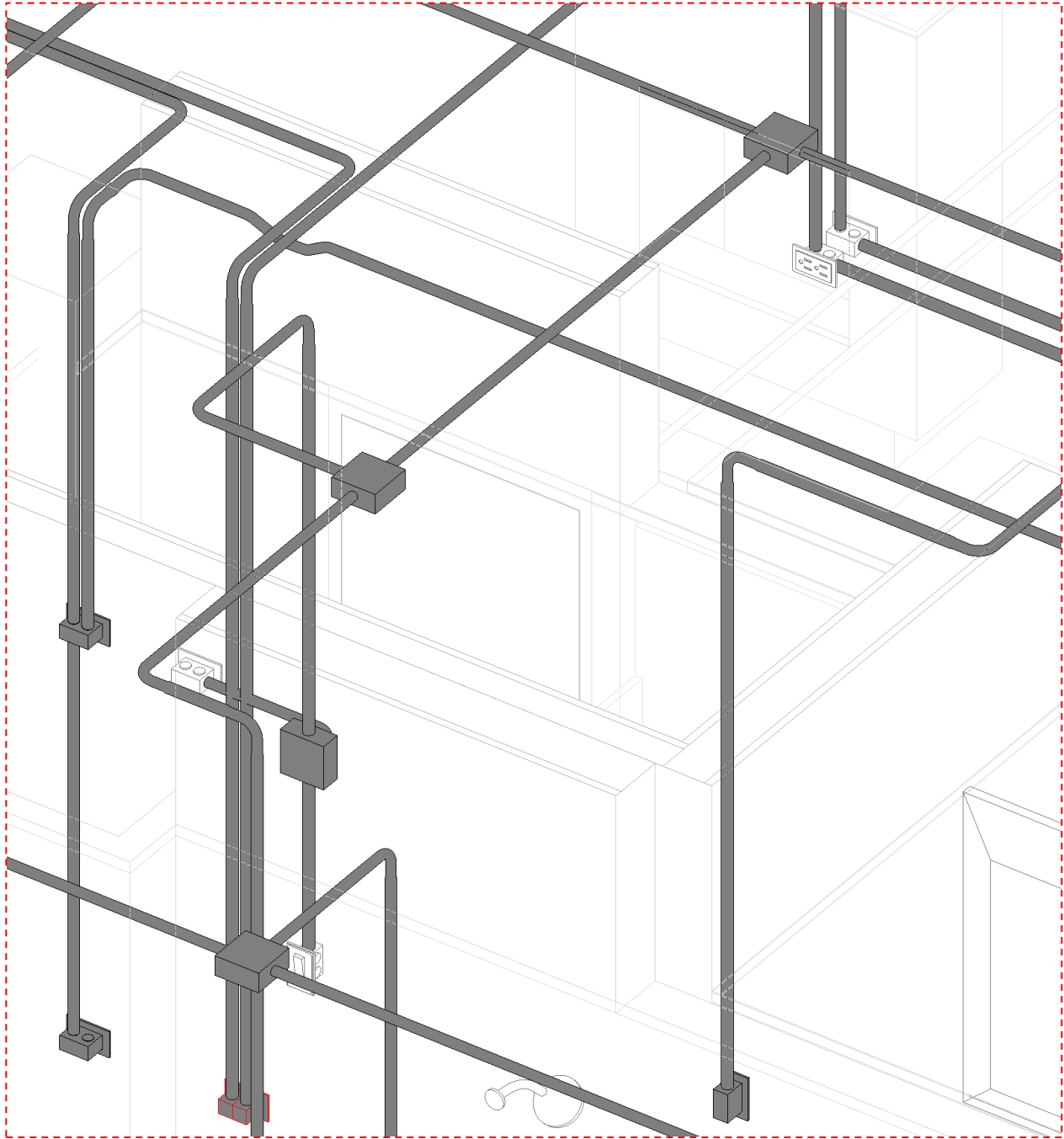


*Ilustración 64. Detalle en planta de la red eléctrica de 1 apartamento, modelado en Revit.
Elaboración propia.*

Al modelar los planos y la información eléctrica con herramientas BIM, fue más sencillo determinar las rutas de cada circuito, la ubicación de las cajas de paso y cajas de empalme con su respectiva altura, y la localización de cada una. También le fue asignada información paramétrica (proveedor, especificación, dimensiones, localización en el proyecto).



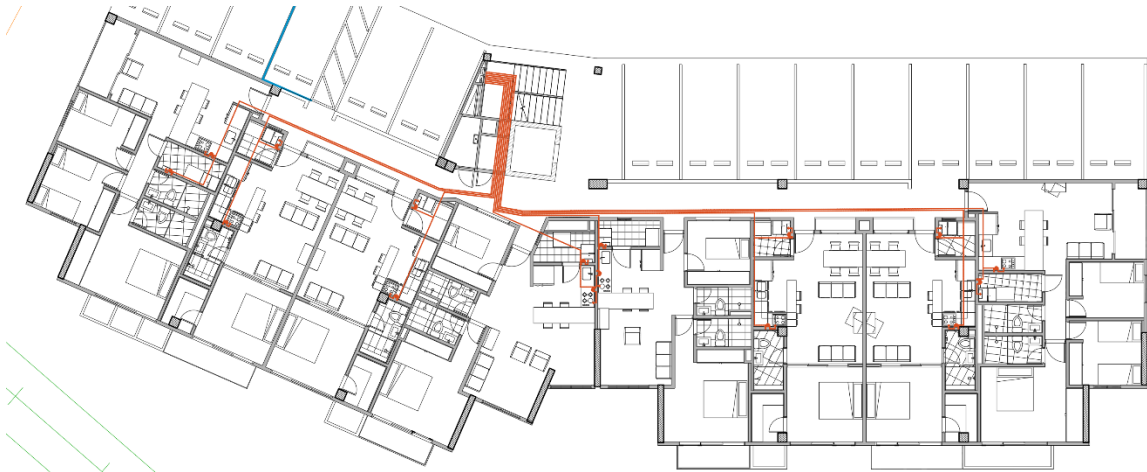
*Ilustración 65. Esquema en 3D de la red eléctrica de 2 apartamentos, modelado en Revit.
Elaboración propia.*



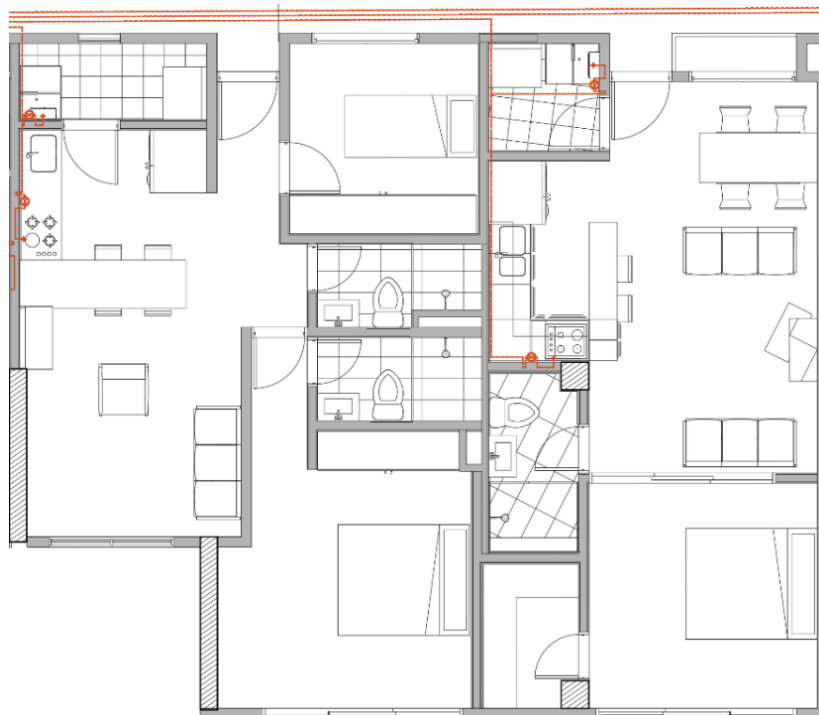
*Ilustración 66. Detalle 3D de la red eléctrica de 1 apartamento, modelado en Revit.
Elaboración propia.*

4.8.7.Red de gas

El diseño de la red de gas del proyecto no es muy compleja ni robusta. Consta de 2 salidas de gas para cada apartamento: una para el calentador de agua en la zona de ropas y otra para la cubierta-fogón en la cocina. Las acometidas vienen desde el gabinete de medida, ubicado el buitrón central en el punto fijo, y se distribuyen hacia cada apartamento, embebidas en el mortero de la circulación.



*Ilustración 67. Plano en 2D de la red de gas de un nivel.
Elaborado Farlemir Domínguez A.*



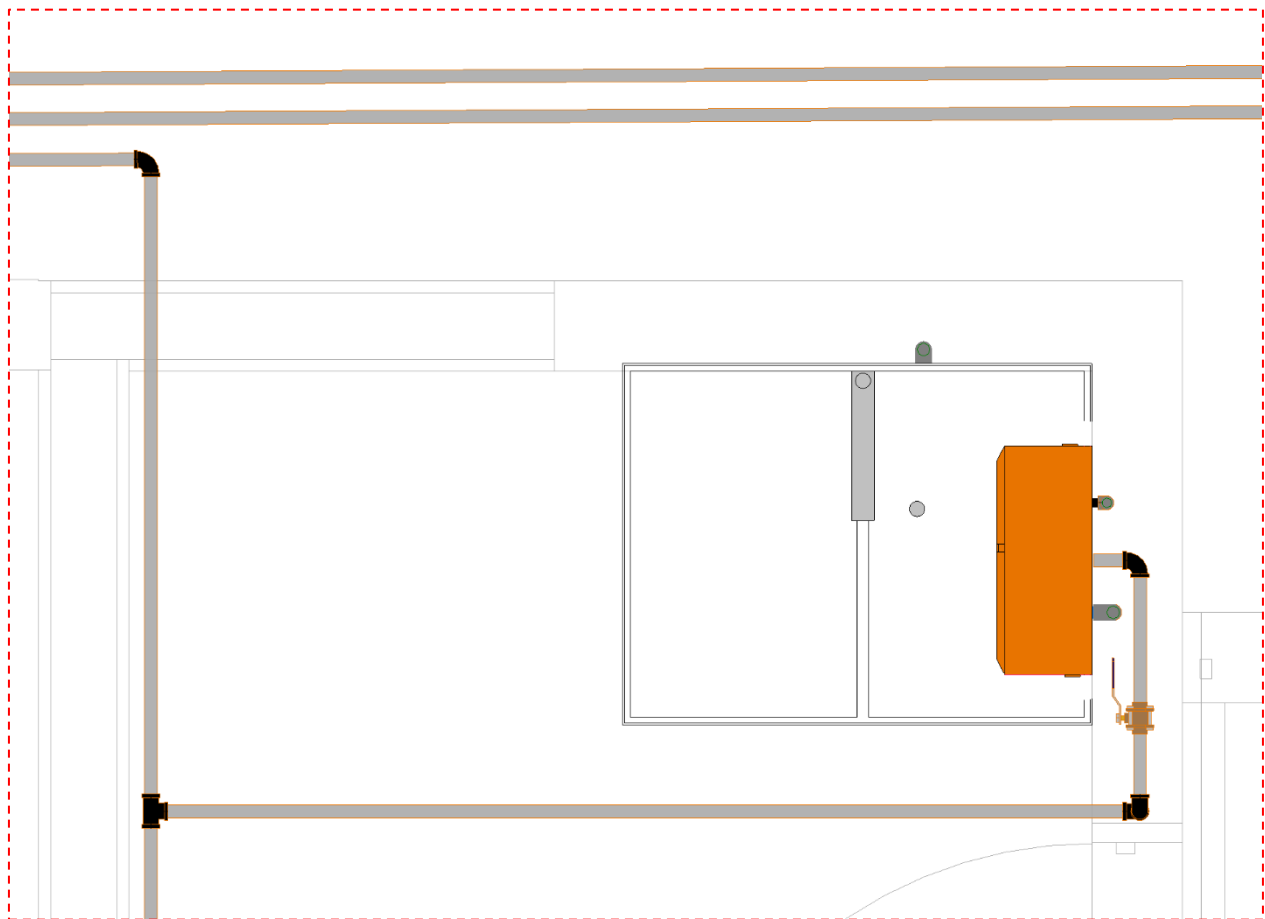
*Ilustración 68. Plano en 2D de la red de gas de 2 apartamentos.
Elaborado por Farlemir Domínguez A.*

A continuación, imágenes de la red de gas modelada en 3D, con Revit.

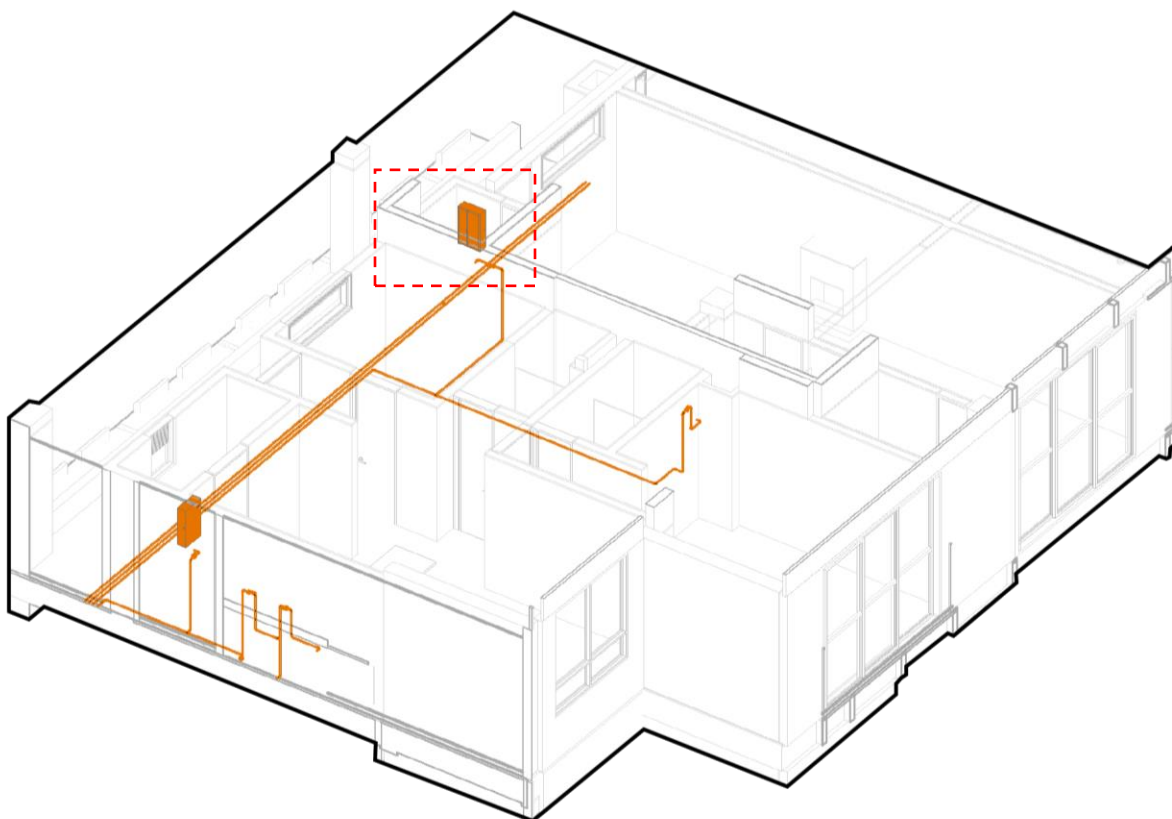


*Ilustración 69. Plano en 2D de la red de gas de 2 apartamentos, modelado en Revit.
Elaboración propia.*

Comparando los planos de CAD 2D entregados por el diseñador de redes de gas, con los realizados en 3D con Revit por OA+M, se pueden apreciar más fácilmente los diferentes elementos de la instalación, su verdadera dimensión y posicionamiento, como también los espesores de las tuberías utilizadas, las rutas horizontales y los recorridos verticales, al igual que su relación con la arquitectura y los elementos estructurales.

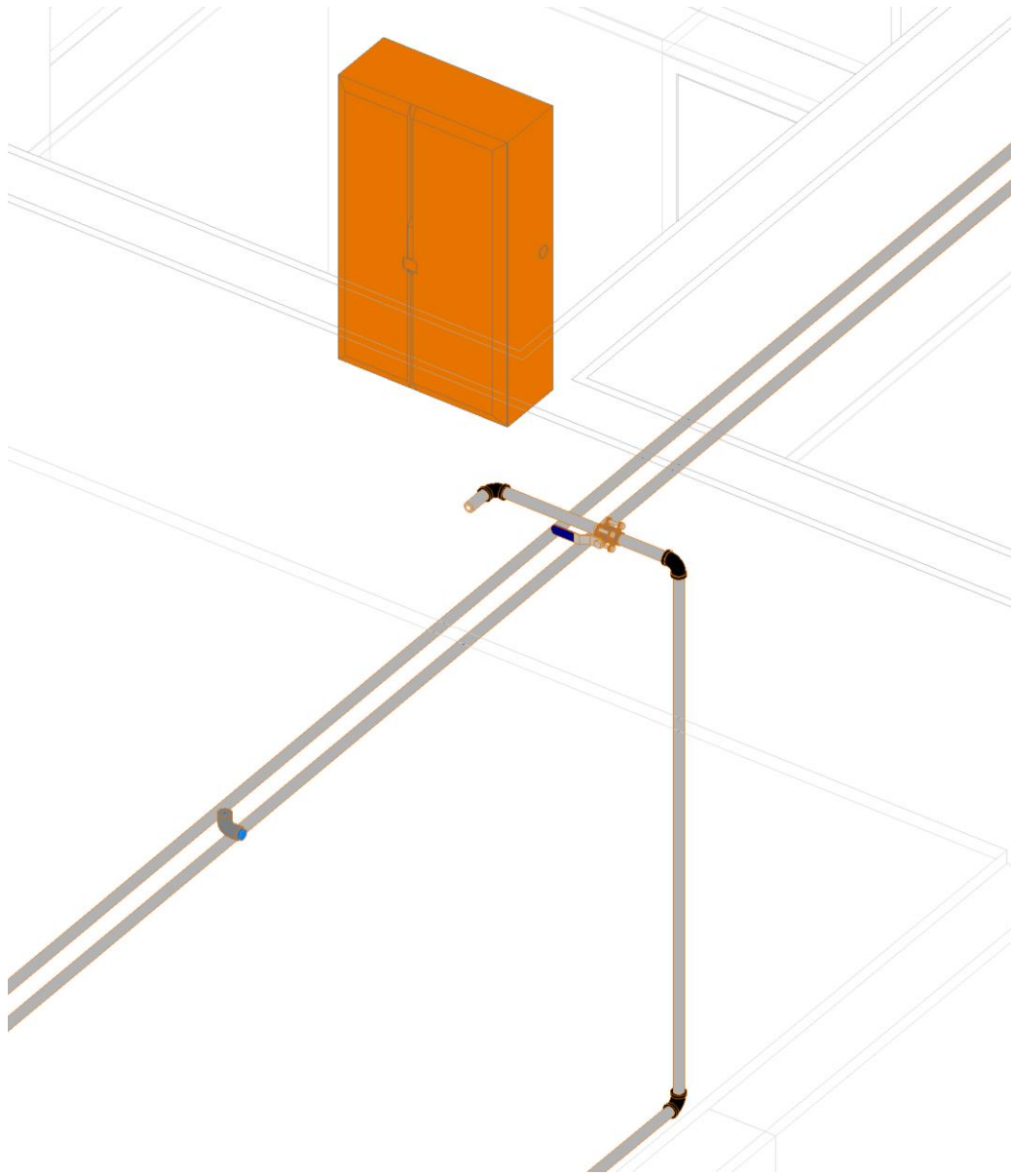


*Ilustración 70. Plano en detalle 2D de la red de gas de 2 apartamentos, modelado en Revit.
Elaboración propia.*



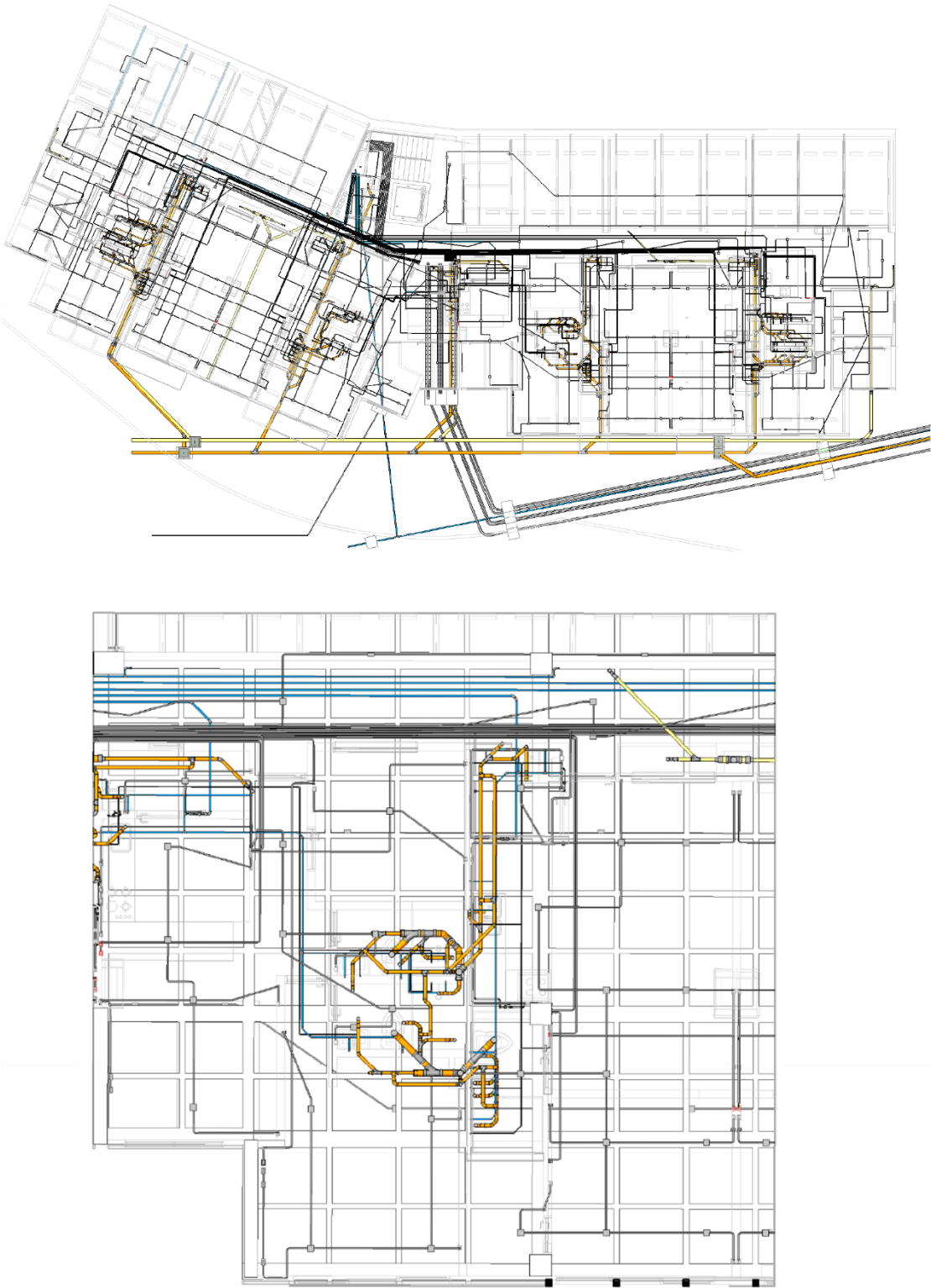
*Ilustración 71. Esquema en 3D de la red de gas de 2 apartamentos, modelado en Revit.
Elaboración propia.*

Con el modelo de Revit es posible realizar esquemas 3D que se pueden anexar a los planos técnicos de obra y así facilitar al contratista que construye la red de gas, la comprensión de cada detalle: desde dónde viene la tubería, dónde hay desvíos, empalmes, accesorios etc. También determinar la cantidad de materiales a utilizar, e identificar las paredes y rutas por donde el contratista debería construir su red.

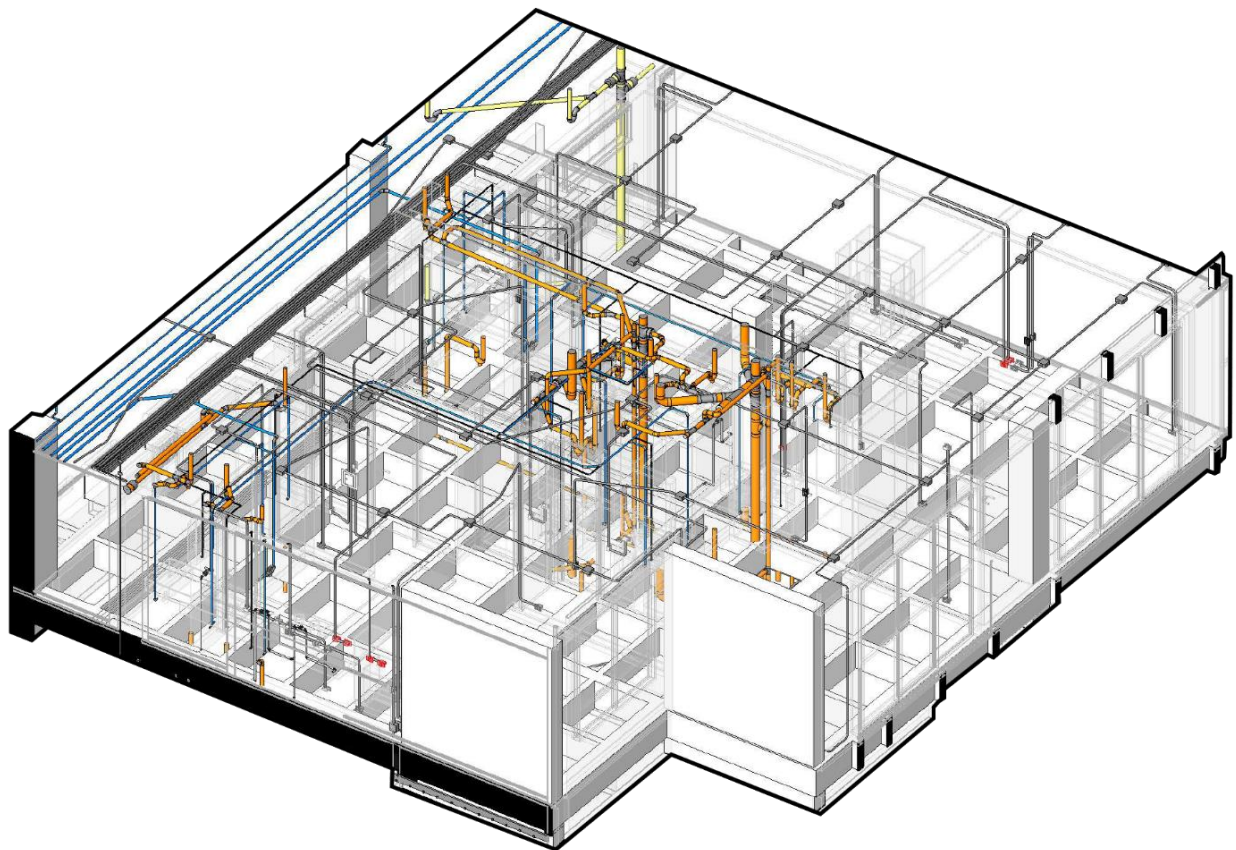


*Ilustración 72. Detalle 3D de la red de gas de 1 apartamento, modelado en Revit.
Elaboración propia.*

4.8.8. Síntesis de las redes modeladas.

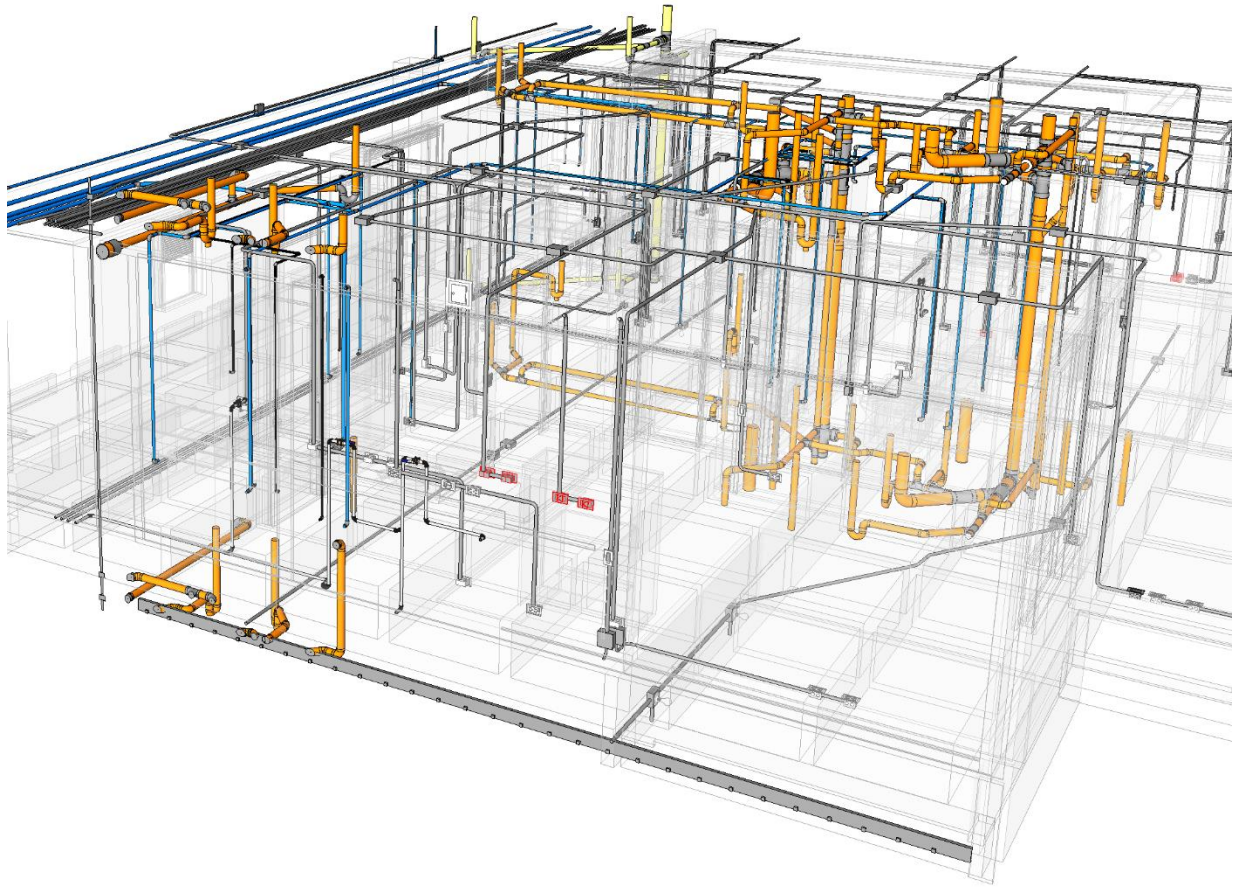


*Ilustración 73. Plano en 2D de las disciplinas técnicas de 2 apartamentos, modelado en Revit.
Elaboración propia.*



*Ilustración 74. Esquema en 3D de las disciplinas técnicas de 2 apartamentos, modelado en Revit.
Elaboración propia.*

Al terminar con el modelado 3D de todas las redes e información, tal y como están diseñadas en los planos 2D de las diferentes disciplinas técnicas que intervienen en el proyecto, se tiene la posibilidad visualizar el edificio con la distribución de redes en su totalidad. Esto permite hacerse la imagen de cómo quedará construido el proyecto en un futuro y cuáles son las rutas que cada red debe tomar. También se comprende el grado de complejidad de la construcción.



*Ilustración 75. Vista perspectivada de las disciplinas técnicas de 2 apartamentos, modelado en Revit.
Elaboración propia.*

A simple vista se aprecian algunas colisiones entre las diferentes disciplinas. El paso a seguir en este caso de estudio es elaborar un análisis de colisiones, con el fin de cuantificar, verificar y solucionar las interferencias que puedan existir, a través de la metodología BIM, para que posteriormente, el área de diseño pueda entregar un paquete completo de información a los constructores y así procurar simplificar la construcción del edificio.

4.9. Coordinación técnica

Como se exponía en capítulos anteriores, los errores de diseño y las diferentes colisiones que se presentan en los diseños, se pueden identificar con antelación al realizar la coordinación técnica bajo la metodología BIM. Una vez encontradas y cuantificadas las colisiones, se pueden coordinar reuniones con los profesionales involucrados para encontrar solución a las inconsistencias. Con una buena coordinación técnica, previa a la construcción, se pueden evitar estos contratiempos y solucionarlos, en cuanto a: cambios de diseño, ajustes en obras, demoliciones, desperdicios, nuevos materiales, demora en tiempo de ejecución, obras detenidas, entre otras actividades en las que se incurra para llevar a cabo la solución de dichas colisiones; que al final del ejercicio de obra, suman una cifra significativa en los proyectos constructivos.

En esta etapa se llevó a cabo la detección de interferencias entre los modelos correspondientes a las diferentes disciplinas del proyecto. En esta revisión el software utilizado, Navisworks, detecta por ejemplo, cada vez que las redes entre ellas se intersectan o en los casos en los que estas se cruzan con otros elementos, como los estructurales (fundaciones, dados, vigas, nervios, columnas).

La coordinación técnica del proyecto Avanti se realizó mediante comités técnicos donde se discutió con los diseñadores técnicos las diferentes interferencias que se detectaron en los modelos tridimensionales. Luego se socializaron las posibles soluciones con cada diseñador del proyecto con la finalidad de realizar las correcciones necesarias de manera oportuna en los modelos, siempre verificando la factibilidad de los nuevos cambios y documentando los hallazgos, como se puede ver en los siguientes subcapítulos.

Para el proyecto Avanti se trabajó con metodología tradicional (archivos en CAD) y de allí se realizó el modelado 3D en plataforma Revit, de las diferentes disciplinas técnicas del proyecto. Al tener este modelo se realizó el chequeo de colisiones o detección de interferencias en la plataforma Navisworks. Este es considerado uno de los mejores potenciales para la usabilidad de los modelos BIM 3D; prevenir con anticipación los

elementos que puedan causar demoras o sobrecostos en las obras de la industria de la arquitectura, la ingeniería y la construcción (AIC).

4.9.1. Detección de inconsistencias y colisiones

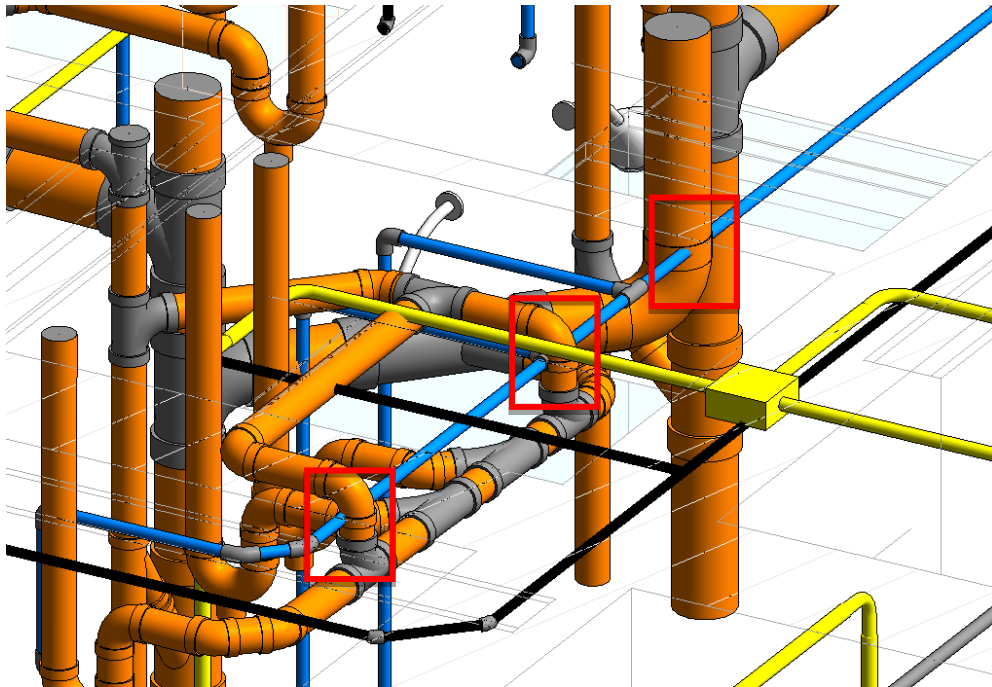
Durante el modelado tridimensional de la estructura y de las redes del proyecto Avanti, correspondientes a los diseños entregados por los diseñadores técnicos, se encontraron múltiples colisiones. Uno de los factores que con mayor frecuencia buscan las compañías al implementar BIM, es reducir los errores técnicos que se puedan generar en cada una de las disciplinas que integran el proyecto, debido a la falta de coordinación que entre ellas se presenta.

El análisis de colisiones se llevó a cabo en el software Navisworks Manage, donde se confrontaron una a una las diferentes disciplinas modeladas, con una tolerancia de 1,00 cm, es decir, el programa identifica y marca como colisión, todos los elementos que se toquen o traslapen con una distancia mayor o igual a 1,00 cm. Previamente consultado con los constructores y contratistas del proyecto, para ellos es sencillo mover 1,00 cm alguna tubería o elemento de su competencia, siempre y cuando no afecte su funcionamiento. Los hallazgos encontrados se pueden evidenciar en la siguiente tabla:

Name	Status	Clashes	New
Estructura Vs Aguas negra	Done	696	696
HidroSanitaria Vs Hidrosa	Done	138	138
Estructura vs abastos	Done	152	152
Estructura vs Gas	Done	574	574
Estructura vs Electrico	Done	99	99
Cielo vs Redes	Done	770	770
HidroSanitaria vs Redes	Done	428	428
Abastos vs Gas y electrico	Done	324	324
Electrico vs Electrico	Done	300	300
Abastos vs Abastos	Done	48	48

Tabla 5. Detección de colisiones del proyecto Avanti.
Elaboración propia.

El total de colisiones antes de realizar la coordinación técnica era de **3.529**. Es importante tener en cuenta que no todas las colisiones identificadas, efectivamente son reales (Akponeware & Adamu, 2017) . El programa Navisworks puede informar una misma colisión varias veces (“MICROCAD, BIM,” 2018). Por ejemplo, para una sola colisión del área de plomería el software tiene en cuenta: tubería, codos y uniones, como colisiones independientes, aunque sean en el mismo sitio y se trate de una sola gran colisión, como se ejemplifica a continuación.



*Ilustración 76. Colisión de tubería de abastos con tubería de desagües.
Elaboración propia.*

Con la corrección de la colisión del tubo de abastos color azul con el resto de las redes, se solucionan múltiples colisiones identificadas por el software. Y son aún más si dicha colisión se repite en las plantas y los niveles típicos del proyecto. Consecuentemente, a medida que se van solucionando, el número total de colisiones va disminuyendo considerablemente.

4.9.2. Reuniones de coordinación técnica y documentación

Una vez detectadas las colisiones e inconsistencias entre las diferentes disciplinas técnicas, se realizó un primer informe de coordinación en el cual se plasmaron algunos de los hallazgos por cada disciplina.

Posteriormente se citó a en un solo comité de coordinación técnica a cada diseñador, en las instalaciones de OA+M, donde se expusieron las inconsistencias para que entre todos los participantes se hicieran las consultas y se tomaran las decisiones más favorables para el proyecto, con el objetivo de minimizar las colisiones identificadas. Los asistentes fueron, por disciplina: arquitectura, construcción, electricidad, plomería, gas. (estructura estuvo ausente porque su disciplina no tuvo cambios representativos).

Entre el equipo de trabajo se identificaban y sugerían las mejores maneras de solucionar las colisiones. Cada diseñador tomó nota de sus cambios, pues es finalmente el responsable de hacer las modificaciones y garantizar la estabilidad y el correcto funcionamiento de su diseño en 2D. El área de coordinación sólo puede sugerir cambios, más no hacerlos (en algunos casos, cambios menores puede hacerlos el coordinador, sí y solo si el diseñador técnico autoriza por escrito).

Vale la pena recalcar que el deber ser, según la metodología BIM es: trabajar un modelo centralizado, correr el modelo con el análisis de colisiones, marcar a cada diseñador sus inconsistencias, y que éste desde su propio equipo y en su modelo 3D de su disciplina se encargue de realizar los cambios. En este caso de estudio no fue posible de esta manera, porque los diseñadores contratados sólo trabajan en 2D, por lo que el área de arquitectura debió de modelar en 3D todas las disciplinas, y realizar estos análisis y reuniones de coordinación, al igual que las correcciones necesarias para llevar el modelo a cero colisiones.

En total se hicieron 4 comités de coordinación. A continuación se muestra el informe del primer comité de coordinación, con hallazgos, sugerencias, compromisos y firmas:

4.9.3. Solución de colisiones

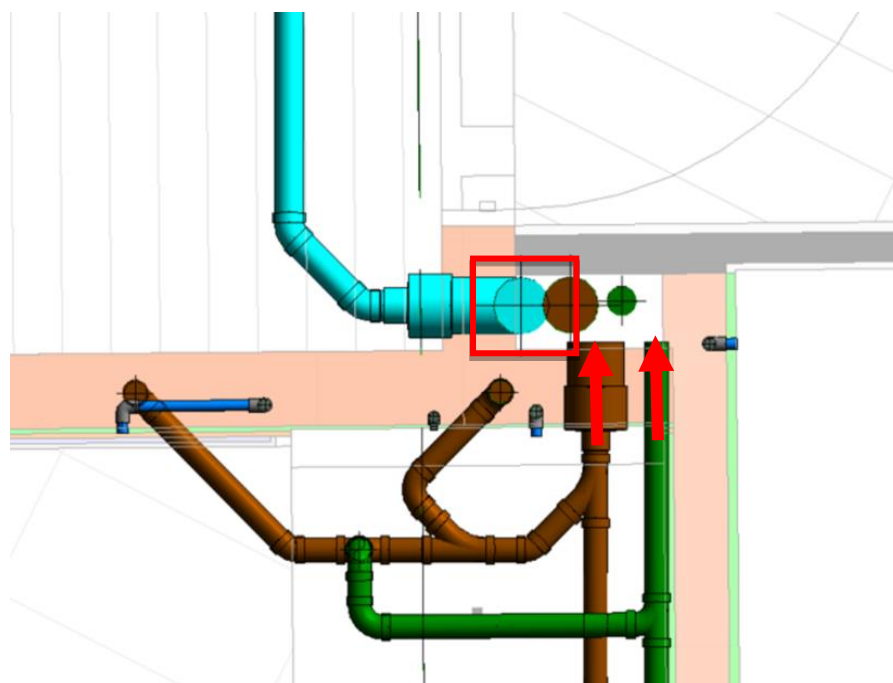
En este subcapítulo se presentarán algunas de las colisiones más representativas encontradas durante la detección de interferencias de las disciplinas modeladas, con su respectiva solución. En la siguiente tabla se resume: la ubicación de la colisión, descripción, nivel, y su solución.

Resumen colisiones y soluciones							
#	Ítem	Descripción	Referencia	Ubicación	Niveles	Solución 1	Solución 2
A	Estructura vs Aguas negras	Desagües sanitarios, aguas de lluvia y ventilación, colisionan con mampostería y estructura	Eje 10 - D'	Apto 3 alcobas	1, 2, 3, 4	Desplazar mampostería	Desplazar borde de losa
B	Hidrosanitario vs Redes eléctricas	Bandeja portacables colisiona con red sanitaria y lluvias.	Eje 6 y 7	Hall parqueadero	-1	Desplazar bandeja portacables 25 cm a la izquierda	Bajar red sanitaria y lluvias 20cm
C	Hidrosanitario vs Redes eléctricas	Tubería de iluminación colisiona con red sanitaria	Eje 3 - C	Cuartos útiles, parqueadero	-1	Desplazar tubería de iluminación 25 cm a la izquierda	-
D	Hidrosanitario vs Redes eléctricas	Cajas eléctricas colisionan con cajas hidráulicas	Eje B - 12	Portería	Acceso	Desplazar cajas y tubería hidráulica	-
E	Hidrosanitario vs Redes eléctricas	Tuberías eléctricas, colisionan con red de abastos	Eje 7 - D'	Punto fijo torre	1, 2, 3, 4	Desplazar tubería EMT por fuera el buitrón	-
F	Hidrosanitario vs Redes eléctricas	Tomacorriente colisiona con válvula de corte abastos	Eje 6 y 7	Apto 2 alcobas + estudio	1, 2, 3, 4	Desplazar tomacorriente 20cm a la derecha	-
G	Hidrosanitario vs Redes eléctricas	Tomacorriente colisiona con llave galápago de abasto nevera	Eje 4 - D	Apto 1 alcoba	1, 2, 3, 4	Desplazar llave galápago y tubería de abastos 20cm a la izquierda	-
H	Estructura vs Aguas negras	Sifones de aguas residuales colisionan con nervios de losas	Eje 4 - D / Eje 6 y 7	Apto 2 alc.+ est. / Apto 1 alcoba	1, 2, 3, 4	Ubicar sifones debajo del lavaplatos	-
I	Estructura vs Aguas negras	Sifones de aguas residuales colisionan con nervios de losas	Eje 5 - D'	Apto 2 alcobas + estudio	1, 2, 3, 4	Desplazar sifón 50cm a la izquierda	Subir sifones 35cm, escondidos en casetón
J	Eléctrico vs eléctrico	Bandeja portacables colisiona con red eléctrica	Eje 7 - C	Cuartos útiles	-1	Bajar tubería de redes eléctricas, nueva altura: 2,30m	-
K	Hidrosanitario vs Redes eléctricas	Tubería eléctrica colisiona con tubería abastos	Eje 8 - C	Apto 2 alcobas	1, 2, 3, 4	Realizar un desvío de la red de abastos, con 2 medios codos	-
L	Hidrosanitario vs Redes eléctricas	Tubería eléctrica colisiona con tubería abastos	Eje 7 - C'	Apto 2 alcobas + estudio	1, 2, 3, 4	Realizar un desvío de la red de eléctrica, doblando tubos	-
M	Hidrosanitario vs hidrosanitario	Tubería de aguas negras colisiona con tubería de abastos	Eje 8 - C	Apto 2 alcobas	1, 2, 3, 4	Desplazar tubería de abastos 5 cm a la derecha	-
N	Hidrosanitario vs hidrosanitario	Tubería de aguas negras colisiona con tubería de abastos	Eje 10 - C'	Apto 1 alcoba	1, 2, 3, 4	Desplazar tubería de abastos 5 cm a la derecha	Bajar tubería de abastos 2cm

Tabla 6. Resumen de colisiones y soluciones.
Elaboración propia.

A.

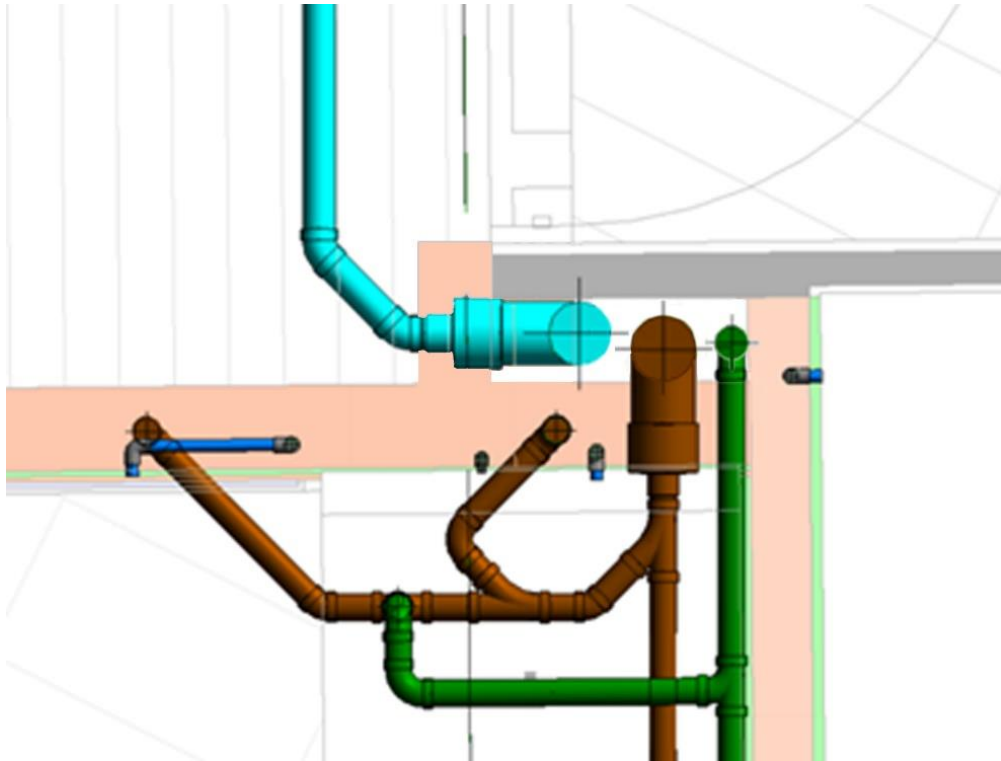
Los bajantes de plomería (desagües sanitarios, aguas de lluvia y red de ventilación), ubicados en las cercanías de la intersección de los ejes 10-D', pisos 1, 2, 3 y 4, se encuentran colisionando con el buitrón por el cual deben ser conducidos. Además, las redes de aguas negras y ventilación no pueden conectarse con dichos bajantes debido al poco espacio que existe dentro del buitrón.



*Ilustración 78. Colisión del bajante de aguas de lluvias con buitrón; desconexión de la red horizontal con los bajantes.
Elaboración propia.*

Solución:

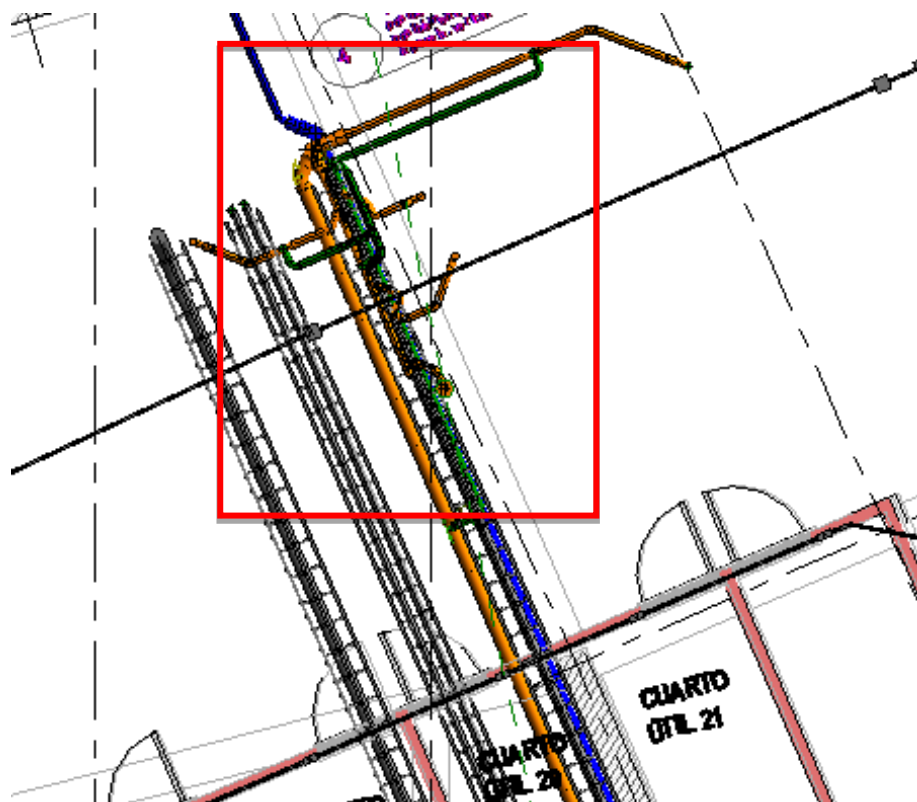
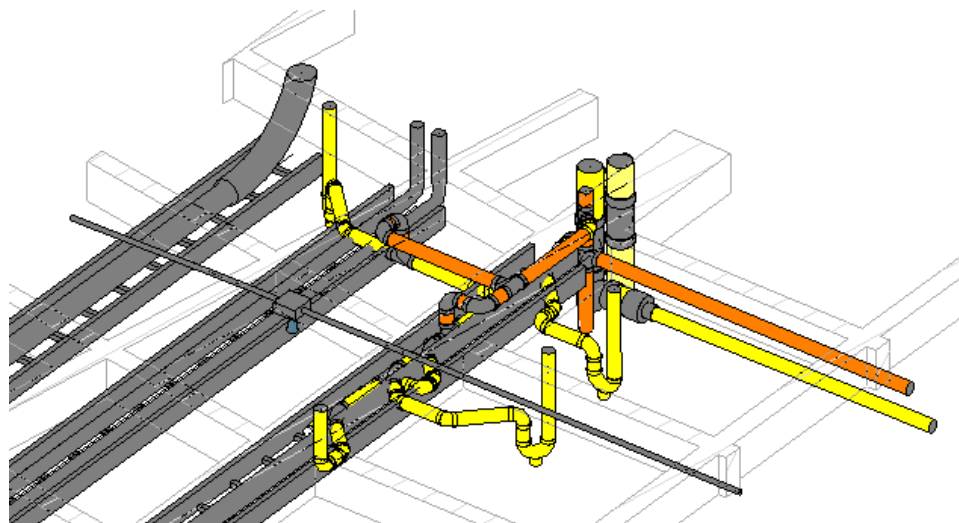
Se sugiere modificar desde el área de arquitectura el tamaño del buitrón en donde se ubican dichos bajantes, aumentado su dimensión en el ancho de 0.60 m a 0.75 m, dado que las tuberías no caben dentro del buitrón y no es posible acercarlas debido a los accesorios de la misma red.



*Ilustración 79. Solución de colisión del bajante de aguas de lluvias con buitrón.
Elaboración propia.*

B.

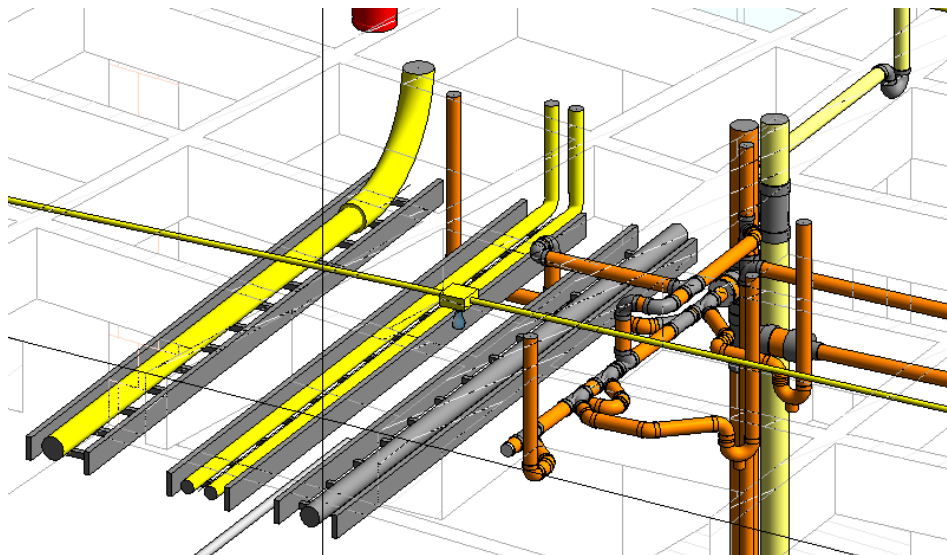
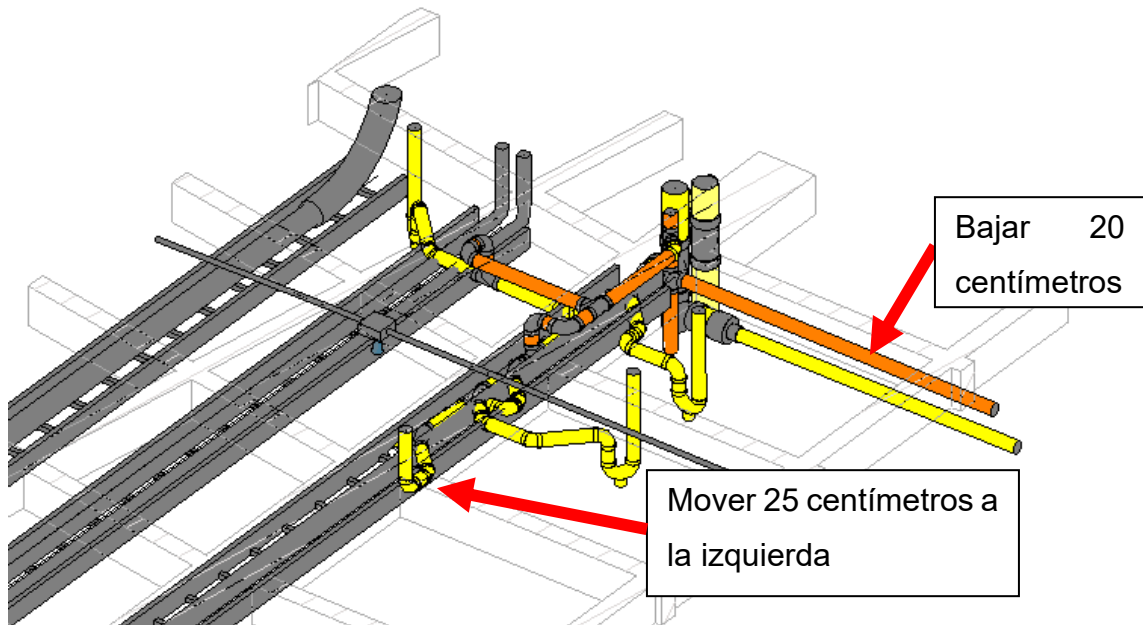
En el nivel del parqueadero, en la zona cercana a la intersección de los ejes 6 – 7, se encuentra una colisión entre las bandejas portacables y las tuberías de desagüe, reventilación y aguas lluvias.



*Ilustración 80. Colisión entre tubería sanitaria y bandejas portacables en parqueaderos.
Elaboración propia.*

Solución:

Se sugiere mover la bandeja portacables hacia la izquierda un total de 25 cm y bajar 20 cm las redes hidrosanitarias para que queden debajo de las bandejas portacables, y así evitar colisiones y garantizar buen funcionamiento.



*Ilustración 81. Solución de colisión entre tubería sanitaria y bandejas portacables en parqueaderos.
Elaboración propia.*

Con esta nueva configuración de altura, la parte más baja de la tubería con respecto al nivel -1, Parqueadero, es de 2.20 m.

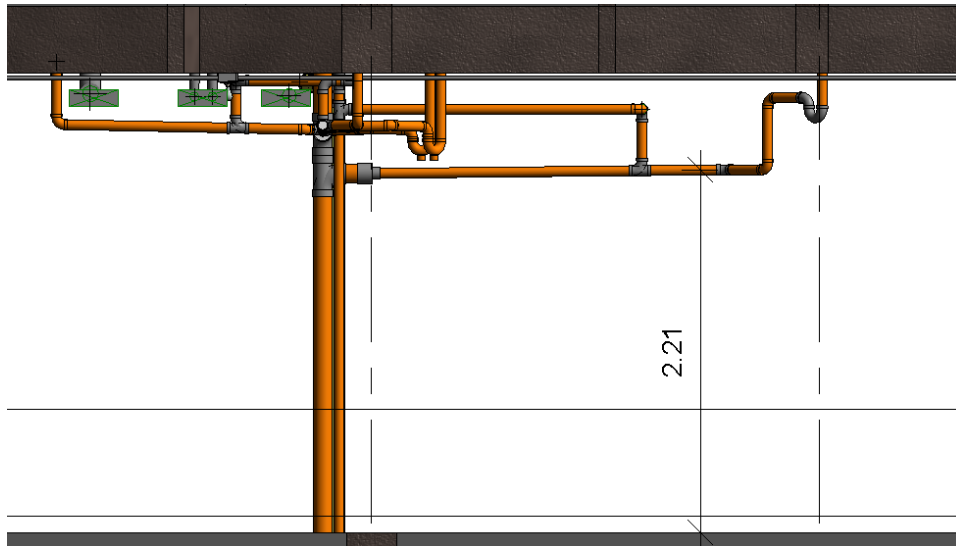


Ilustración 82. Solución de altura en colisión entre tubería sanitaria y bandejas portacables. Elaboración propia.

C.

En el nivel del parqueadero, en la zona cercana a la intersección de los ejes C – 3, se encuentra una colisión entre una tubería de iluminación y los bajantes de las tuberías de aguas residuales y reventilación.

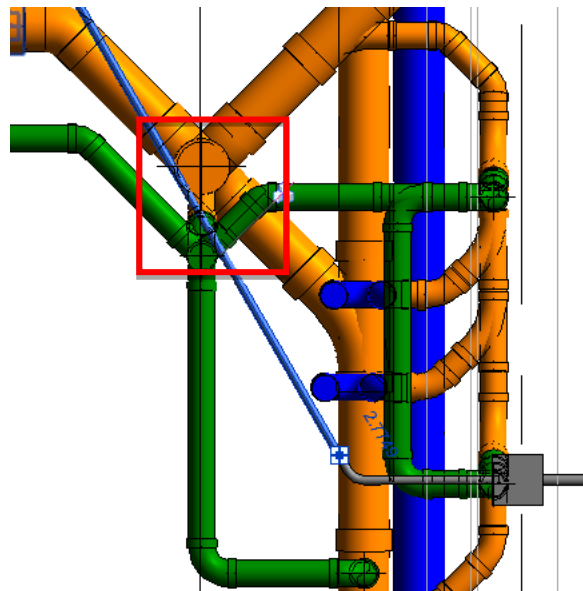
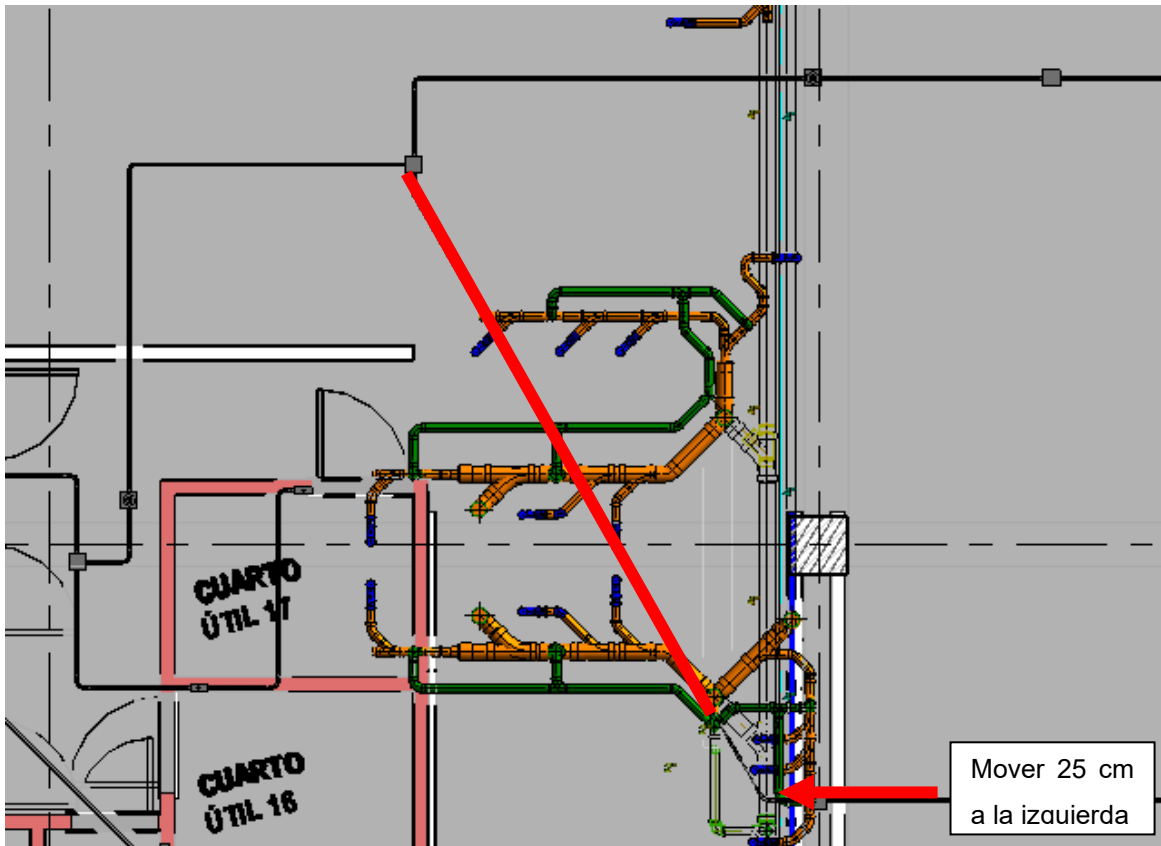


Ilustración 83. Colisión entre tuberías sanitarias y tubería eléctrica, en parqueaderos. Vista en planta. Elaboración propia.

Solución:

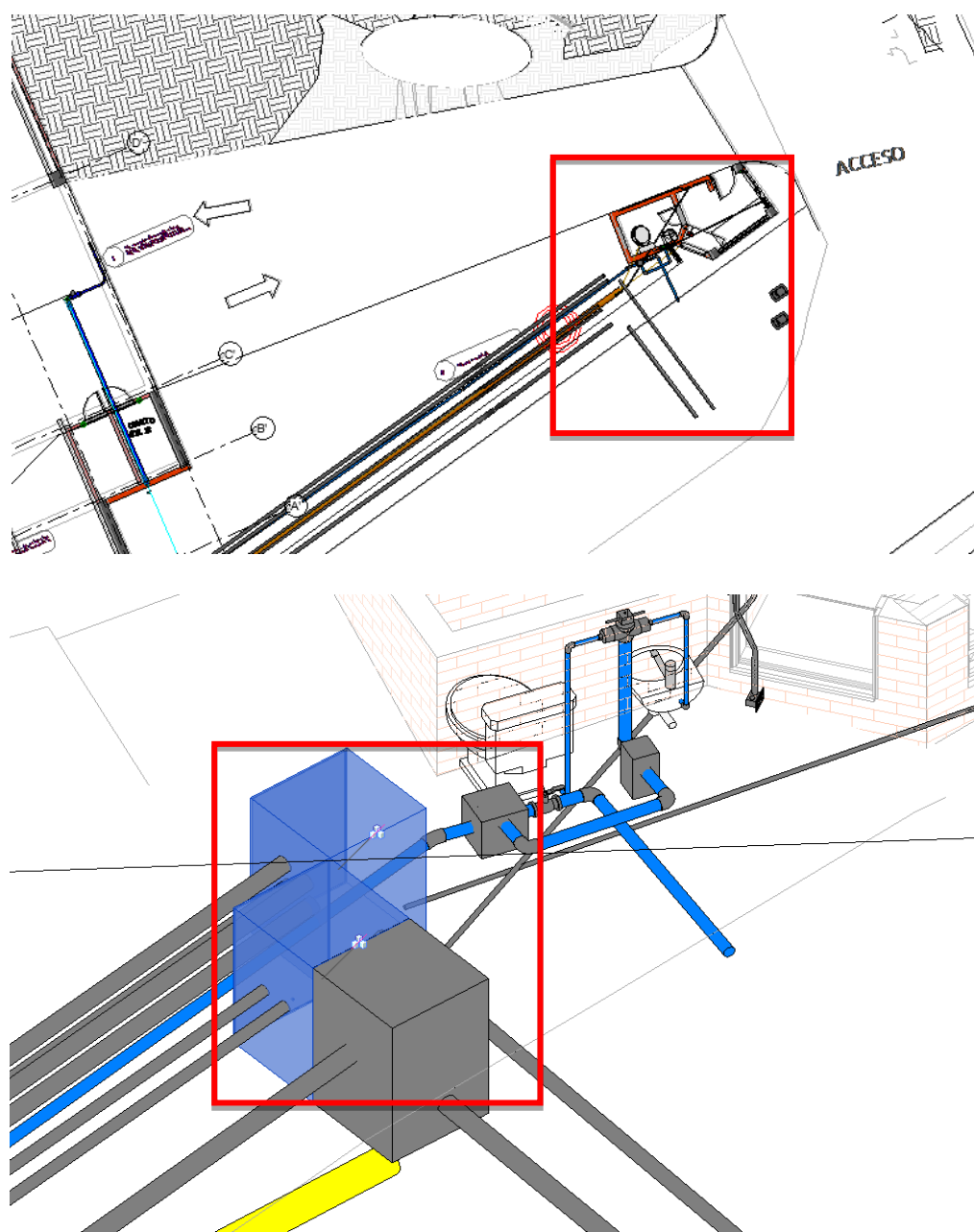
Se sugiere mover la tubería de iluminación 25 centímetros hacia la izquierda para esquivar tubería de plomería.



*Ilustración 84. Solución de colisión entre tuberías sanitarias y tuberías eléctricas, en parqueaderos. Vista en planta.
Elaboración propia*

D.

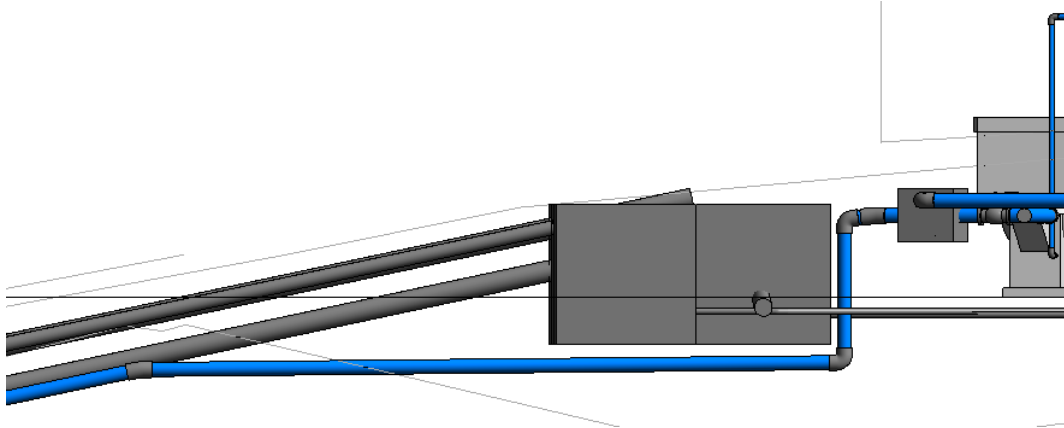
En el nivel del parqueadero, en la portería de acceso, cercana a la intersección de los ejes B – 12, se encuentran una colisión entre los ductos de energía y las tuberías de abastos.



*Ilustración 85. Colisión de tubería abasto con caja eléctrica, en portería.
Elaboración propia.*

Solución:

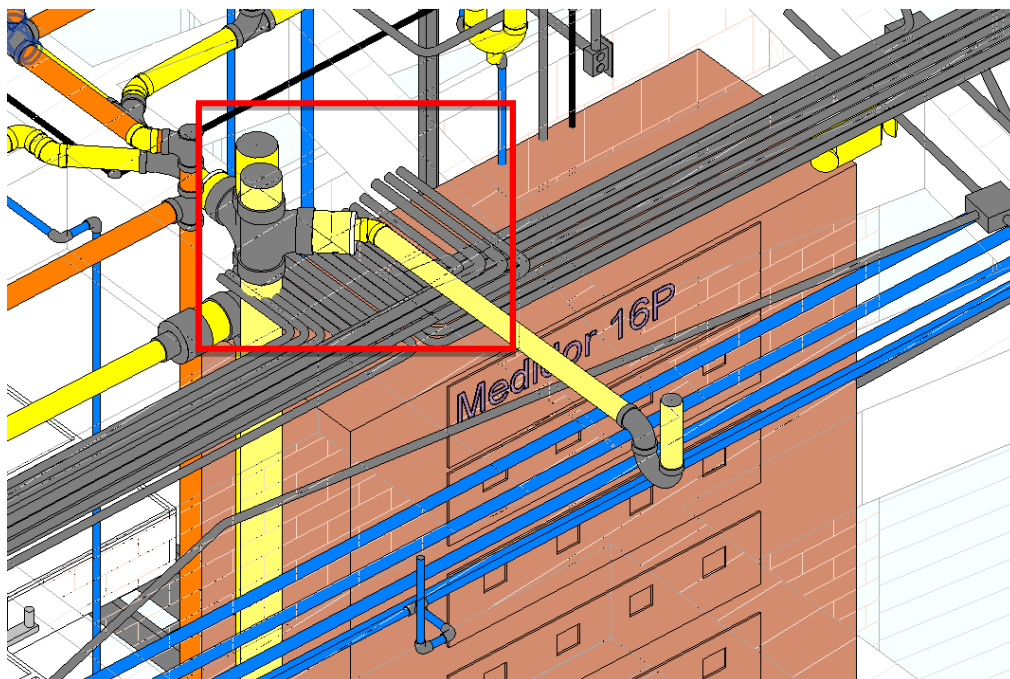
Se sugiere realizar el paso de la tubería de abastos por debajo de la caja de la red eléctrica.



*Ilustración 86. Solución a colisión de tubería abasto con caja eléctrica, en portería.
Elaboración propia.*

E.

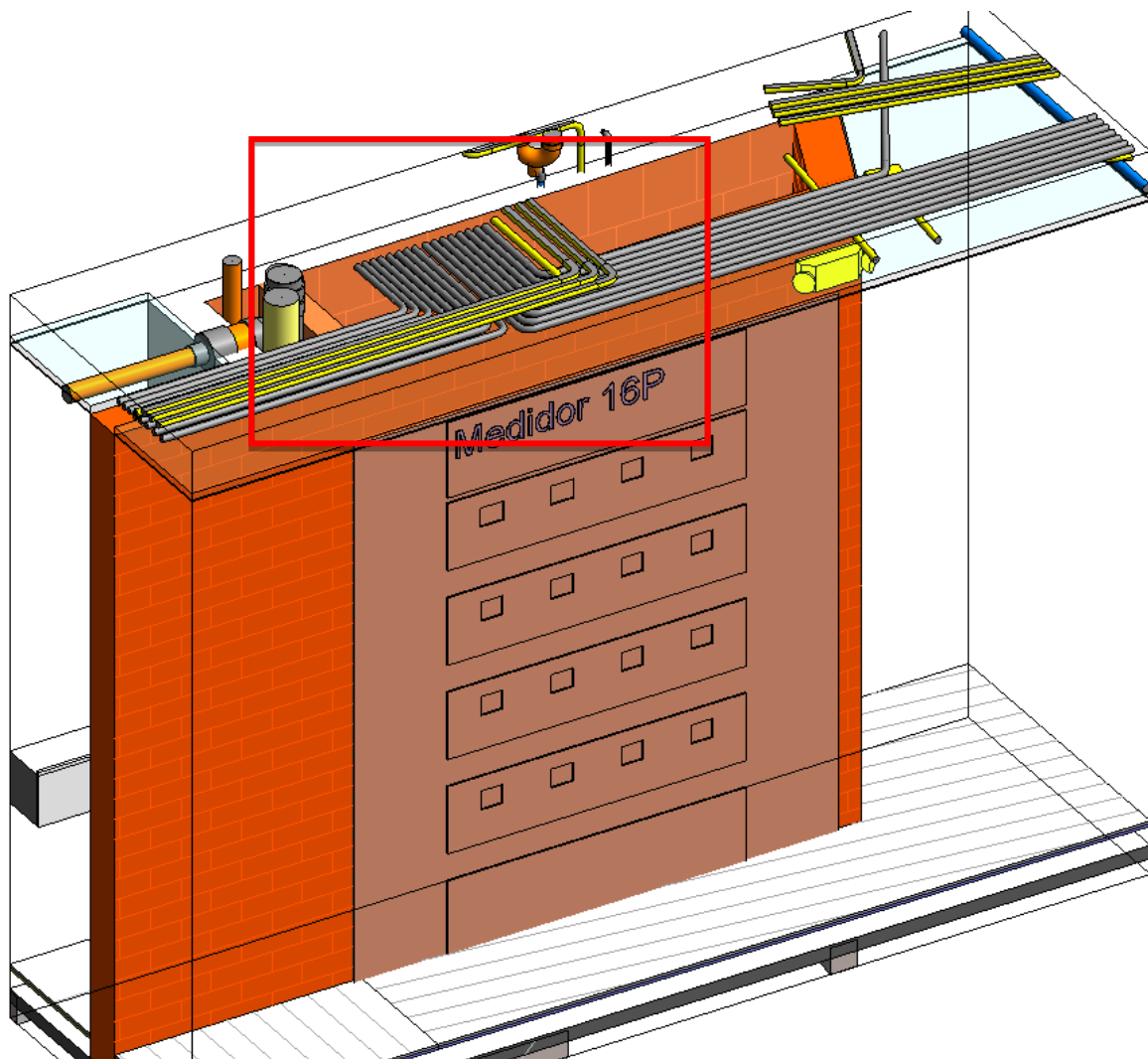
Se encuentran varias colisiones en los niveles 1, 2, 3 y 4, en el tablero eléctrico de medida # 16P, cercana a la intersección de los ejes 7- D', entre las salidas de la red eléctrica y el bajante de agua lluvia y aguas residuales.



*Ilustración 87. Colisión de tubería de aguas lluvias con caja eléctrica.
Elaboración propia.*

Solución:

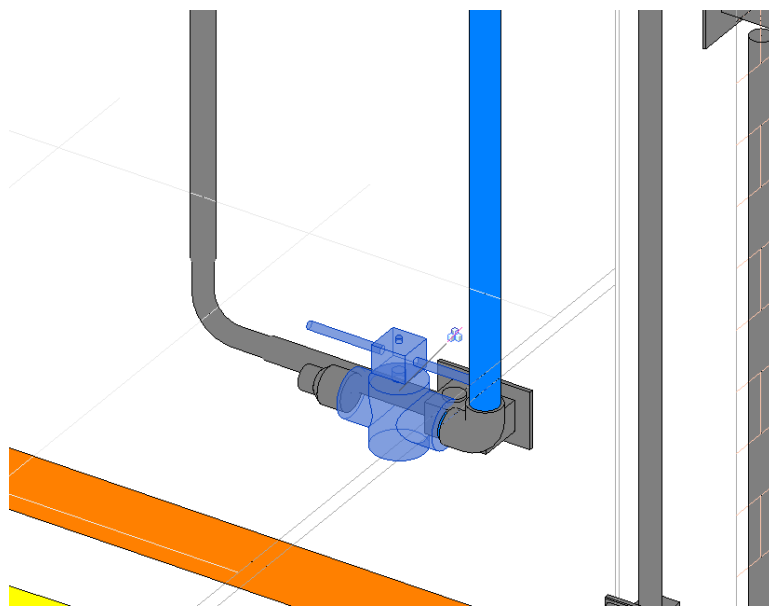
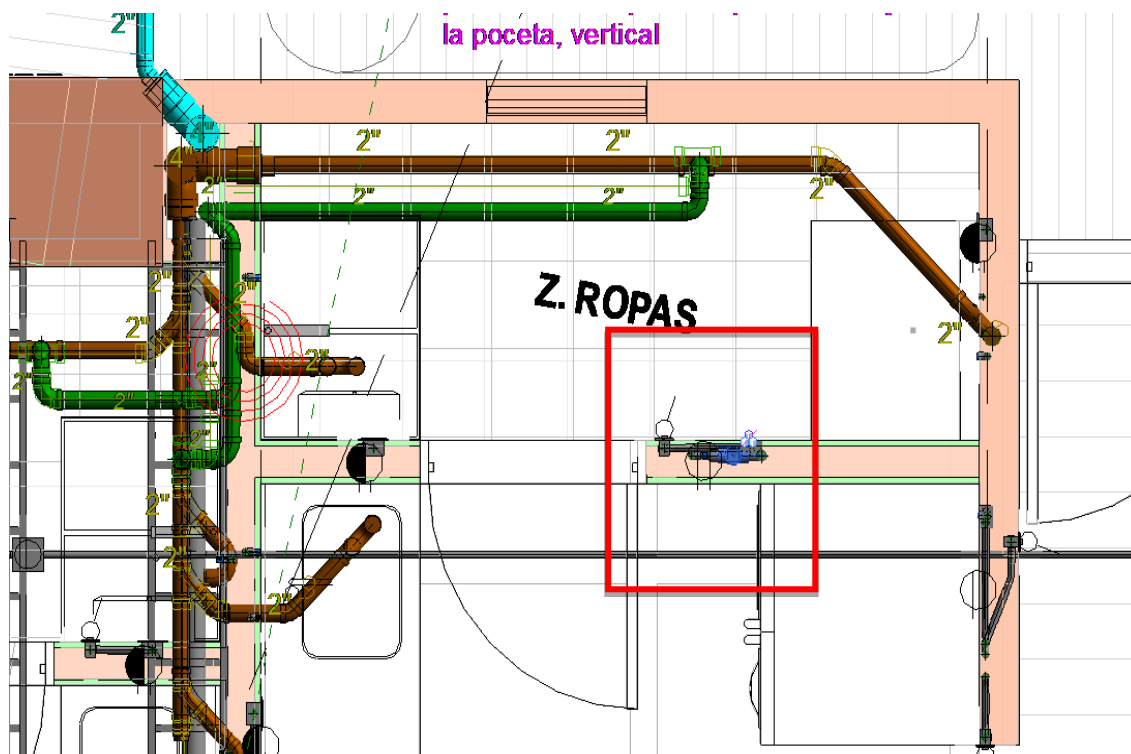
Se sugiere mover las tuberías EMT de telefonía y televisión, por fuera del buitrón, pues estas no deben llegar al tablero eléctrico de medida #16P, además de estar colisionando con los bajantes de aguas lluvias.



*Ilustración 88. Solución de colisión de tubería de aguas lluvias con caja eléctrica.
Elaboración propia.*

F.

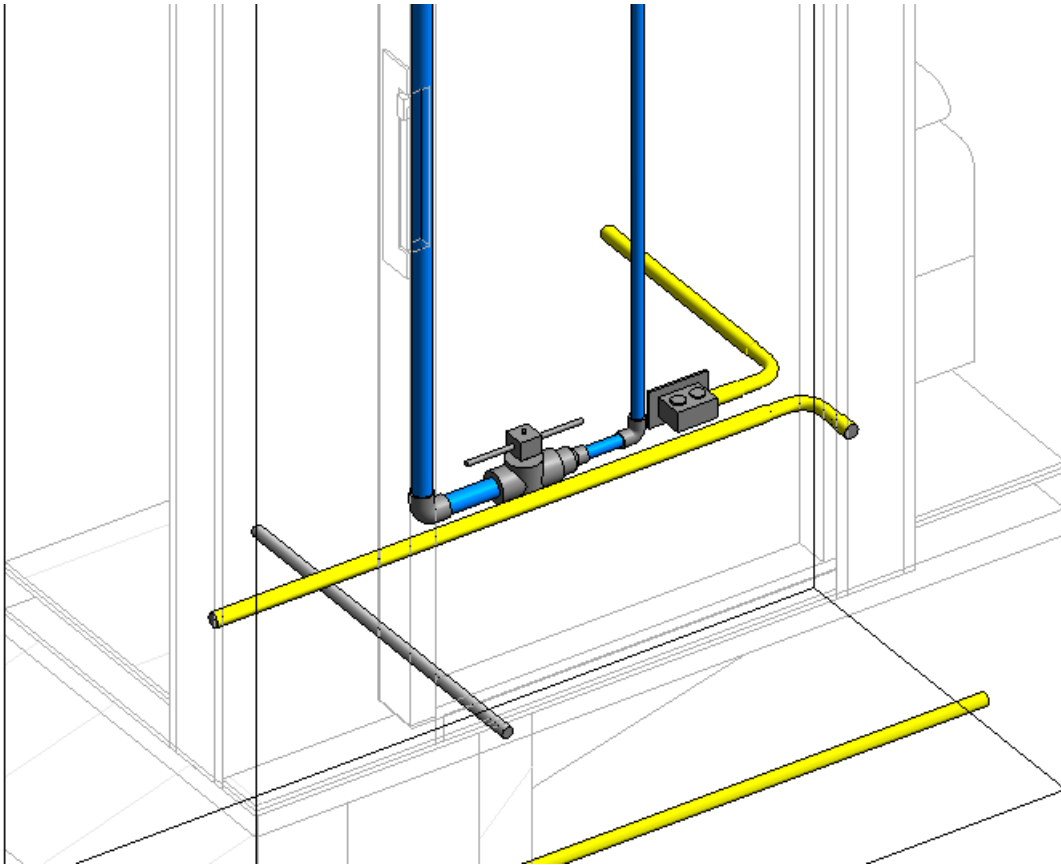
Se encuentran varias colisiones en los niveles 1, 2, 3 y 4, en la habitación de la zona ropas, cercana a la intersección de los ejes 6 – 7, D – 3, D – 4, entre la válvula de corte y un tomacorriente.



*Ilustración 89. Colisión tubería de abasto con caja eléctrica.
Elaboración propia.*

Solución:

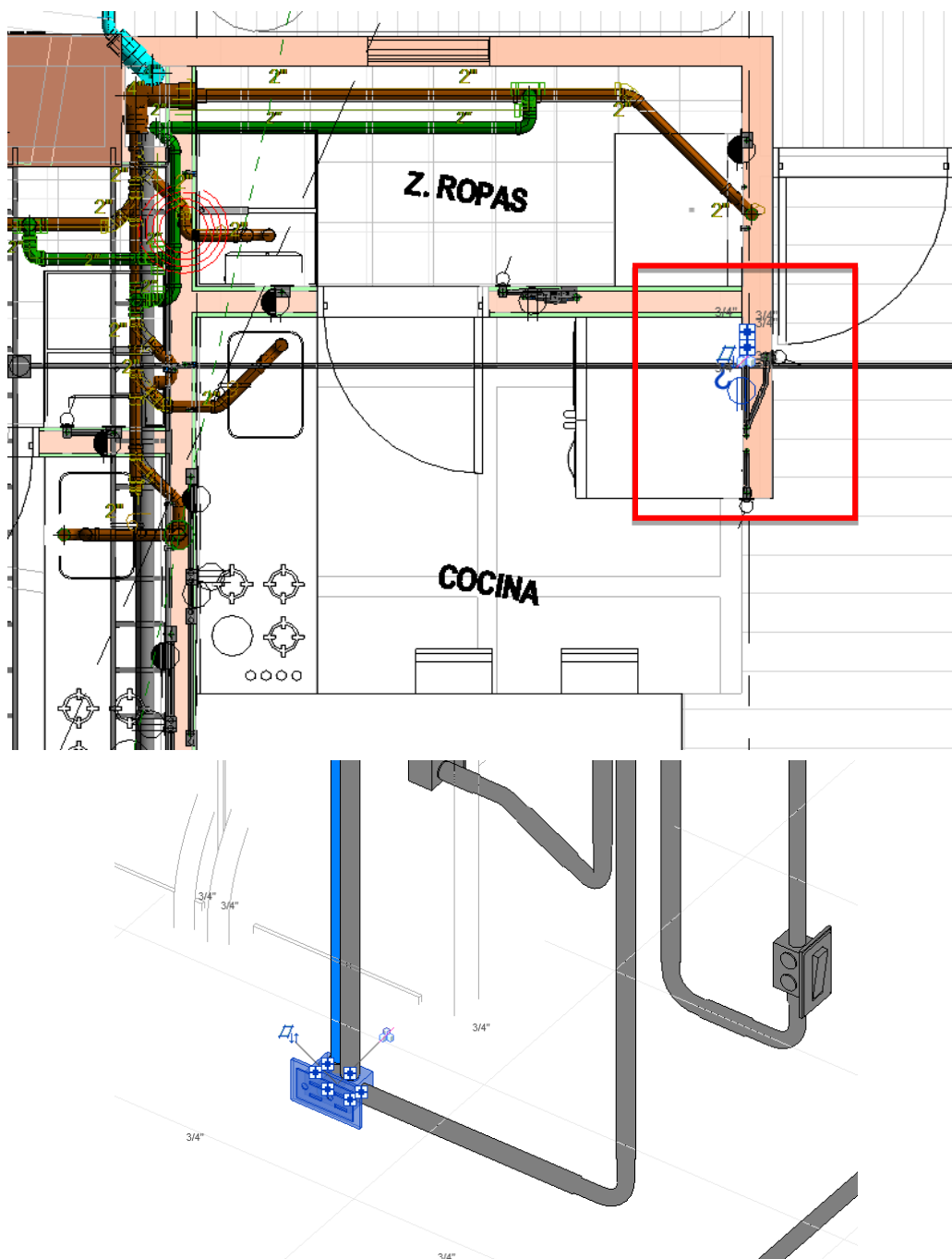
Se sugiere mover 20 cm la caja del tomacorriente para evitar la colisión con la válvula de corte y la tubería de abasto.



*Ilustración 90. Solución de colisión tubería de abasto con caja eléctrica.
Elaboración propia.*

G.

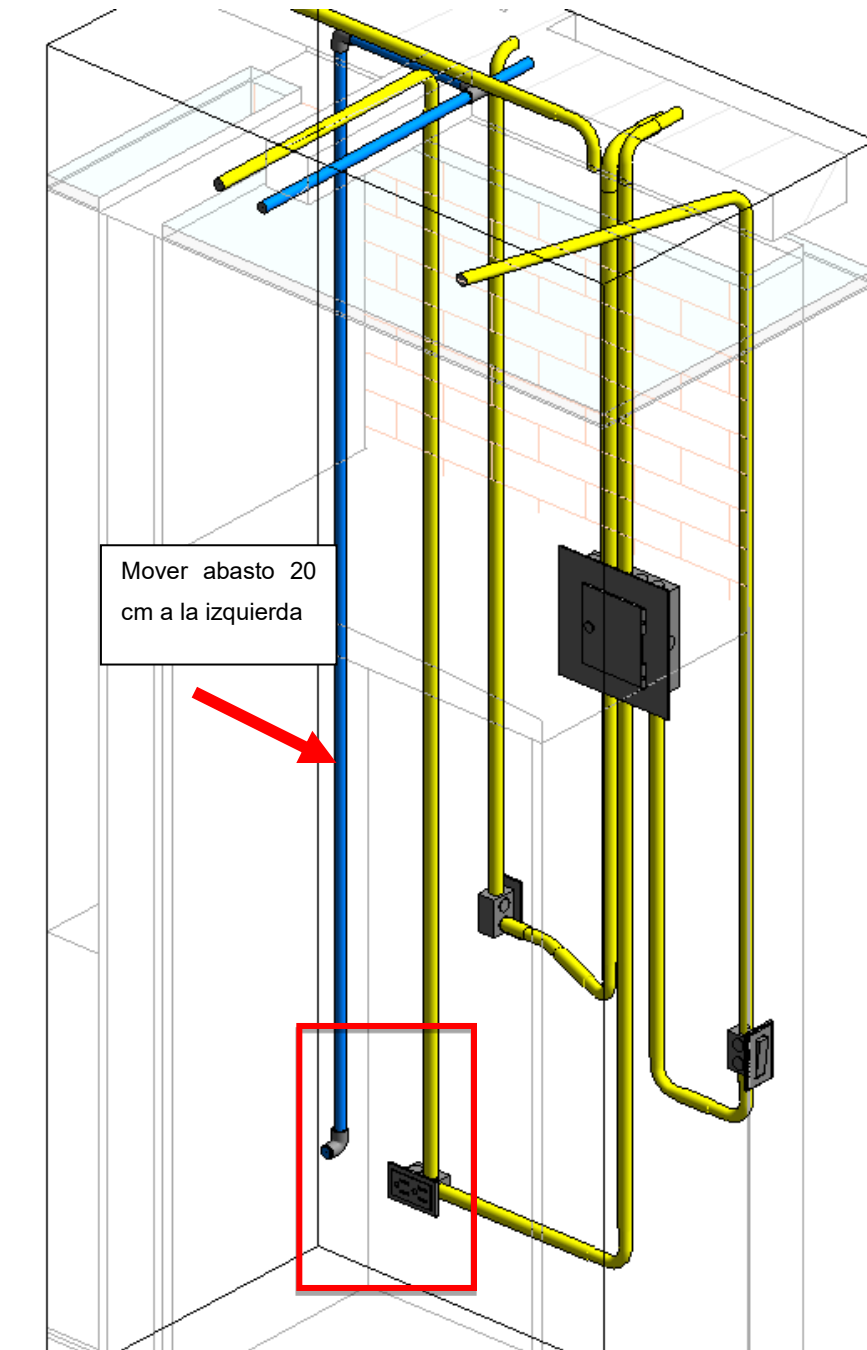
Se encuentran varias colisiones en los niveles 1, 2, 3 y 4, en la cocina, detrás de la nevera, cercana a la intersección de los ejes 6 – 7, D – 4, entre la llave de agua para la nevera tipo galápago y un tomacorriente.



*Ilustración 91. Colisión de llave de abasto de nevera con tomacorriente.
Elaboración propia.*

Solución:

Se sugiere mover la tubería de agua fría 20 cm a la izquierda para evitar la colisión con la toma eléctrica.



*Ilustración 92. Solución de colisión de llave de abasto de nevera con tomacorriente.
Elaboración propia.*

H.

Dentro del proyecto en general se están presentando colisiones entre la estructura y los sifones de los lavaplatos, debido a que los sifones se encuentran por debajo de la losa, el paso libre para las redes (espacio entre cielo falso y viguetas) es de apenas 20 cm.

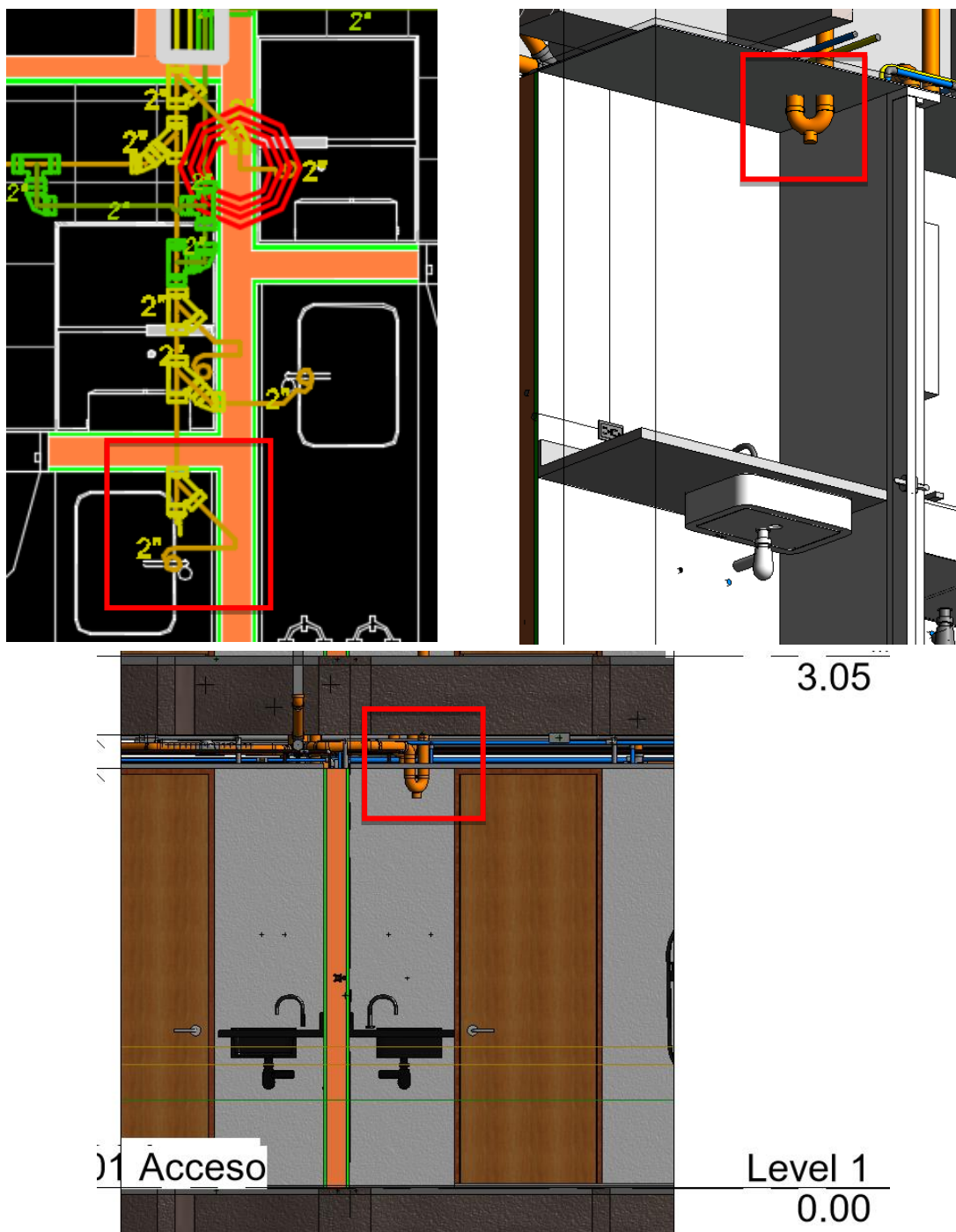
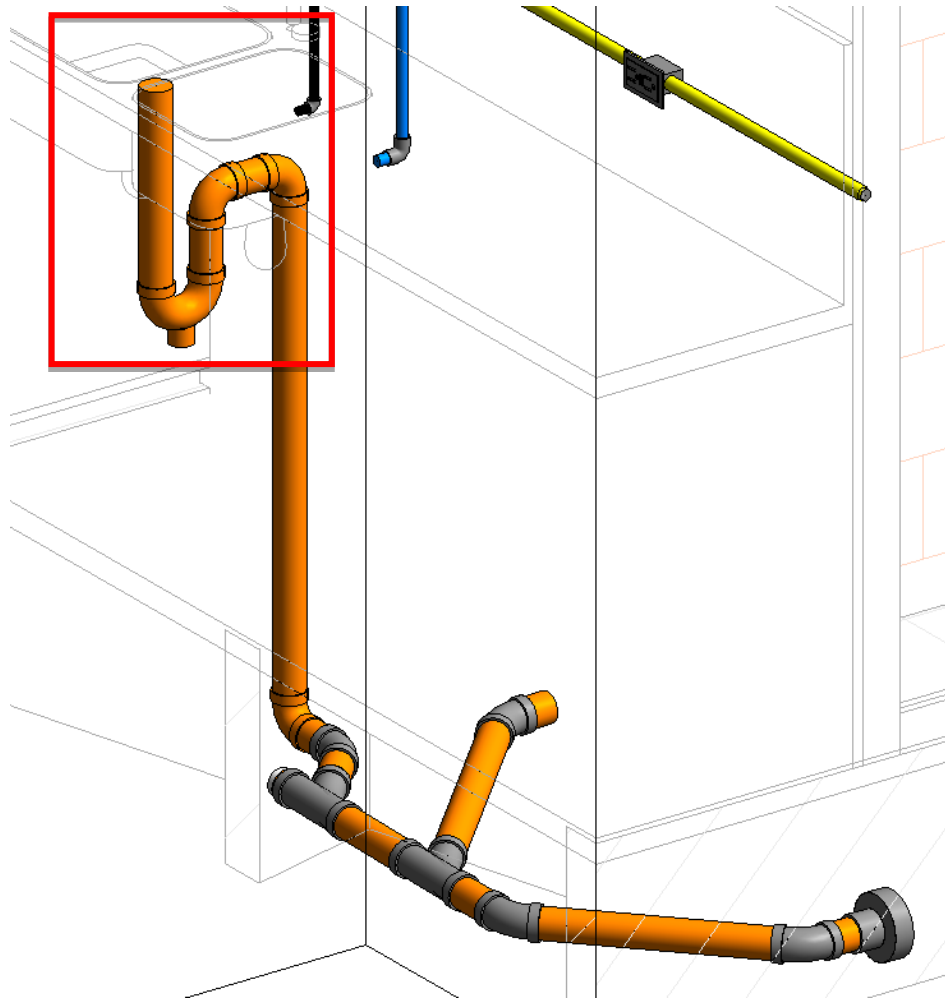


Ilustración 93. Colisión de sifones de cocina con cielo falso.
Elaboración propia.

Solución:

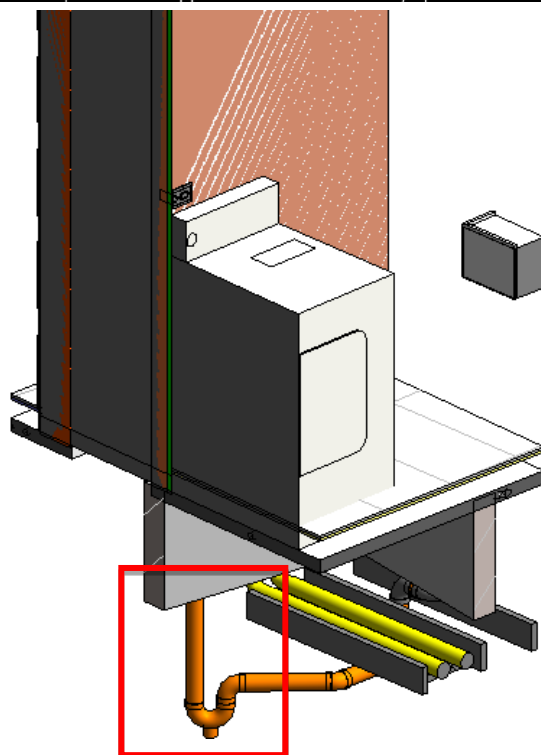
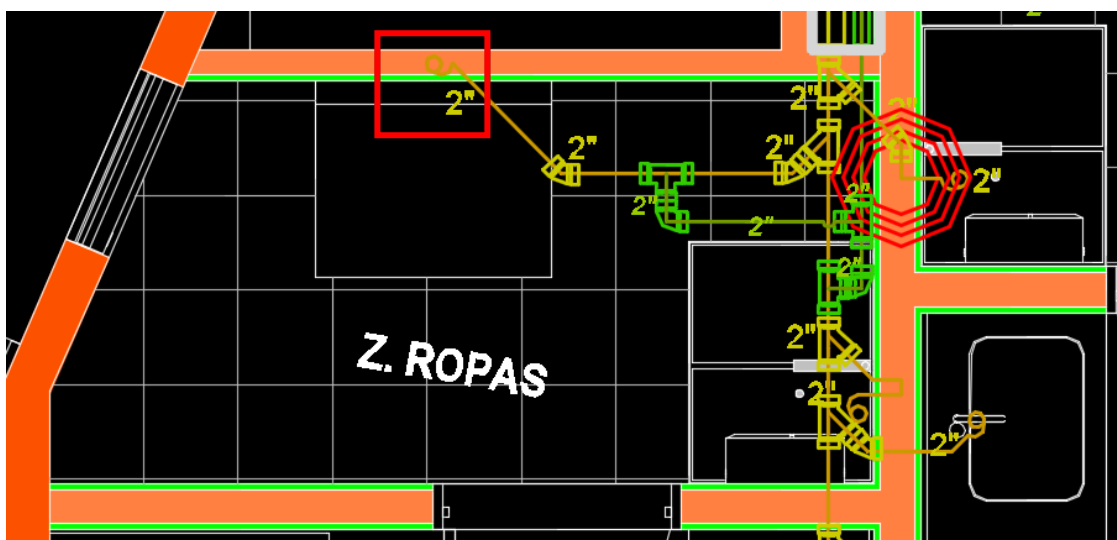
Se sugiere ubicar el sifón por debajo del lavaplatos, para evitar modificar el nivel del cielo falso en drywall.



*Ilustración 94. Solución de colisión de sifones con cielo falso.
Elaboración propia.*

I.

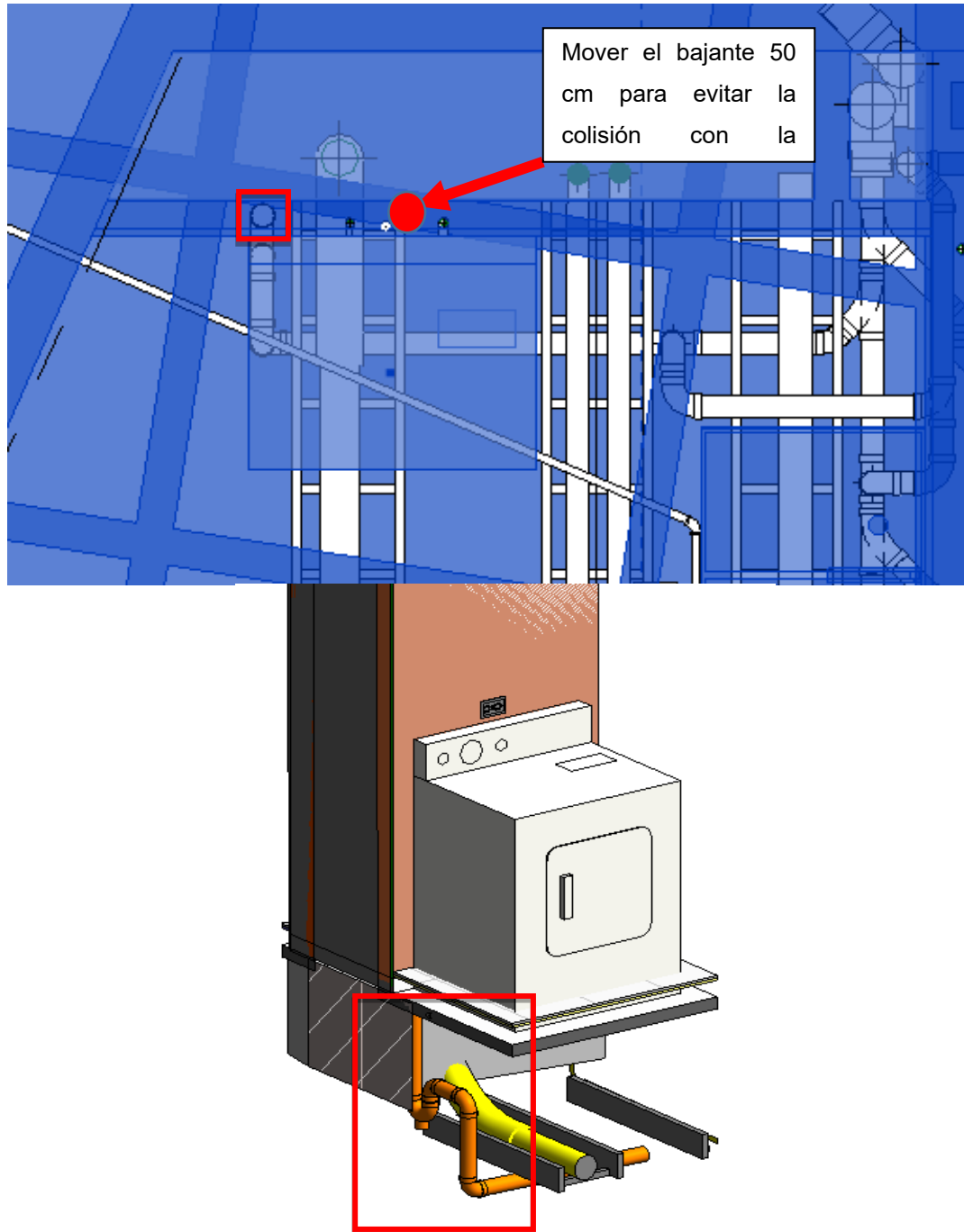
Dentro del cuarto de ropas, aledaño al eje 5-D', en el nivel 1, 2, 3 y 4, se presenta una colisión entre el desagüe de la lavadora y una vigueta estructural (nervio). Además, el sifón queda por fuera del cielo falso en drywall del nivel inferior.



*Ilustración 95. Colisión de sifón con elementos estructurales y cielo raso.
Elaboración propia.*

Solución:

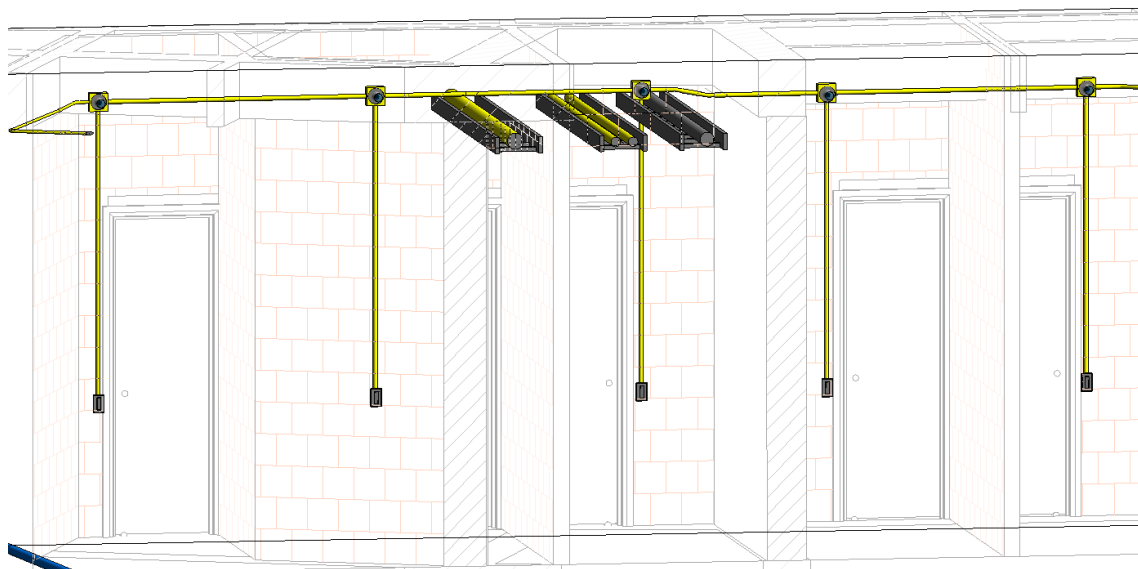
Se sugiere mover la tubería de desagüe de la lavadora 50 cm hacia la izquierda para esquivar la vigueta. También ubicar el sifón más arriba, adentro de un casetón, para no afectar el área libre del cielo falso inferior.



*Ilustración 96. Solución de colisión de sifón con elementos estructurales y cielo raso.
Elaboración propia.*

J.

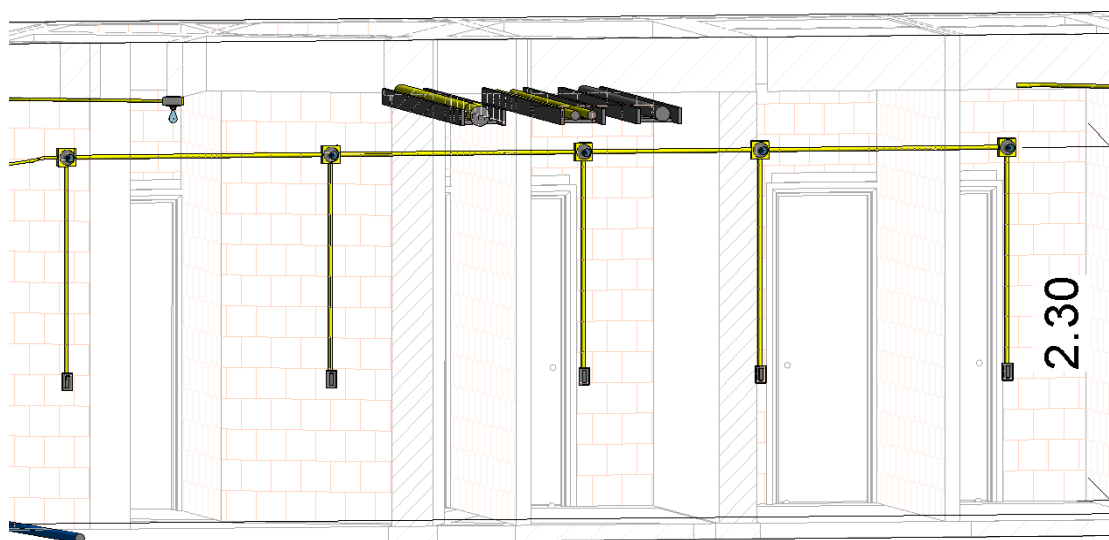
Dentro de los cuartos útiles adyacentes al eje 7-C', en el nivel -1 de parqueaderos, se presenta una colisión entre la bandeja porta cables y las luminarias.



*Ilustración 97. Colisión de bandeja porta cables con luminarias, en parqueaderos.
Elaboración propia.*

Solución:

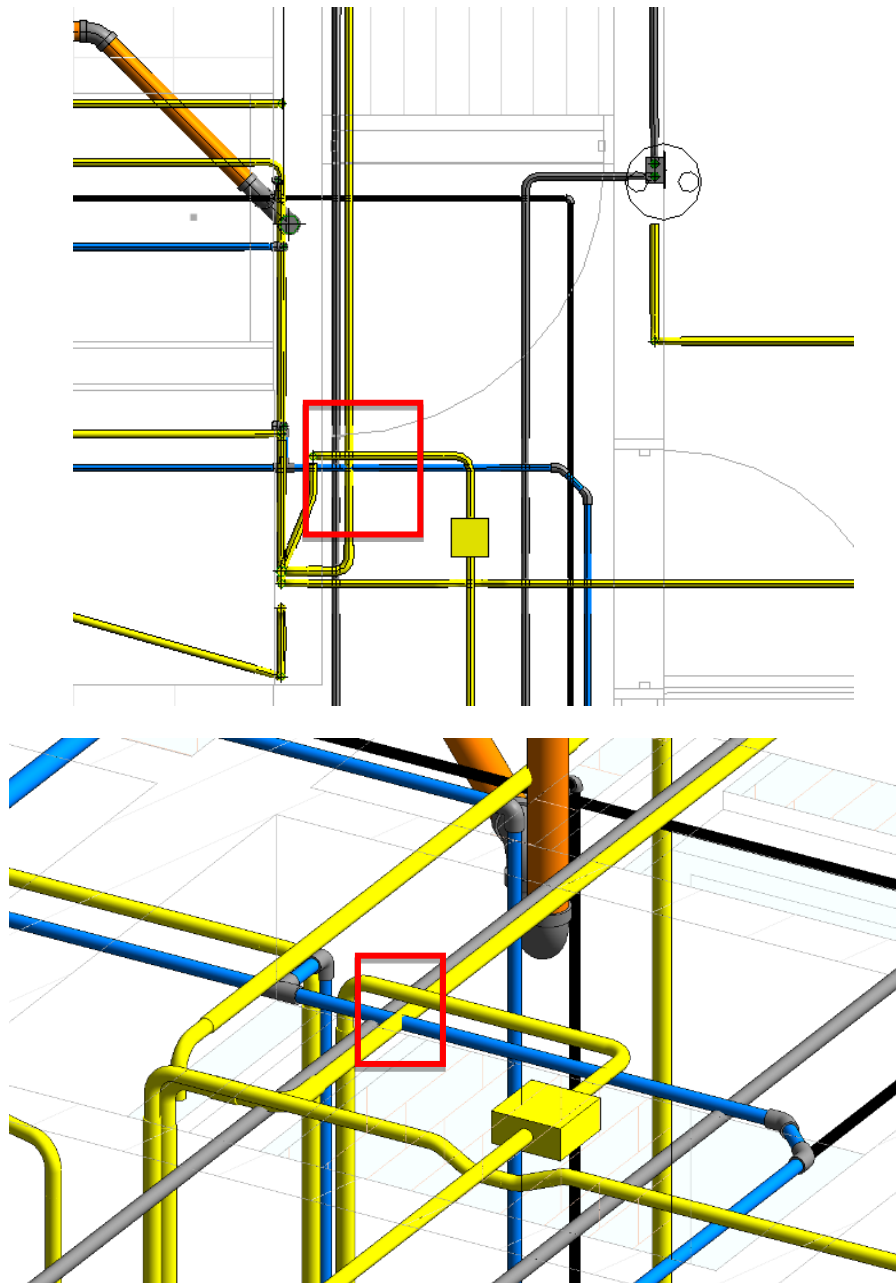
Se sugiere bajar la altura de las tuberías, las cajas y las lámparas de los cuartos útiles, ubicándolas a una altura de 2.30 m.



*Ilustración 98. Solución de colisión de bandeja porta cables con luminarias, en parqueaderos.
Elaboración propia.*

K.

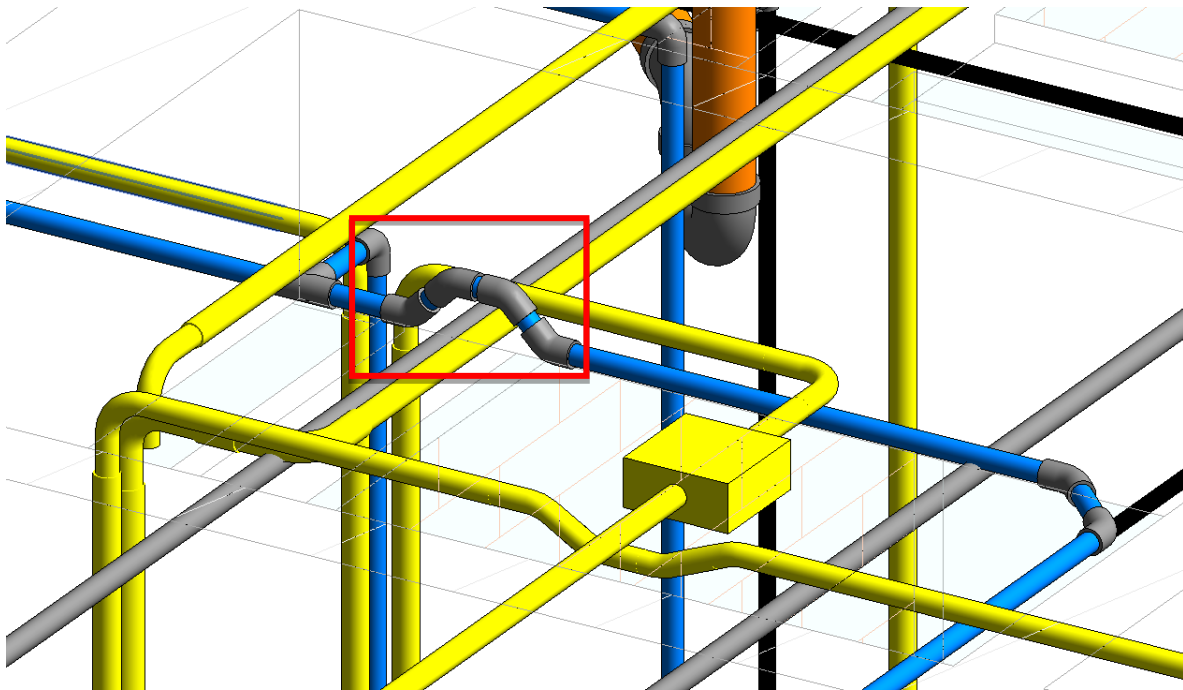
Al lado de las cocinas, aledañas al eje 8, en el techo de los niveles 1, 2, 3 y 4, se presenta una colisión entre las tuberías EMT de energía y la red de abastos.



*Ilustración 99. Colisión de tubería eléctrica con tubería hidráulica.
Elaboración propia.*

Solución:

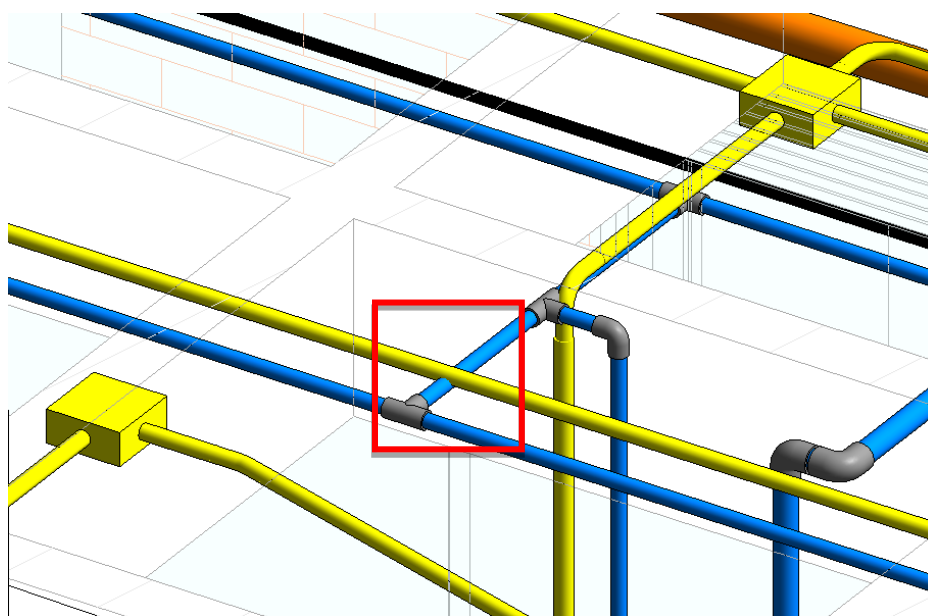
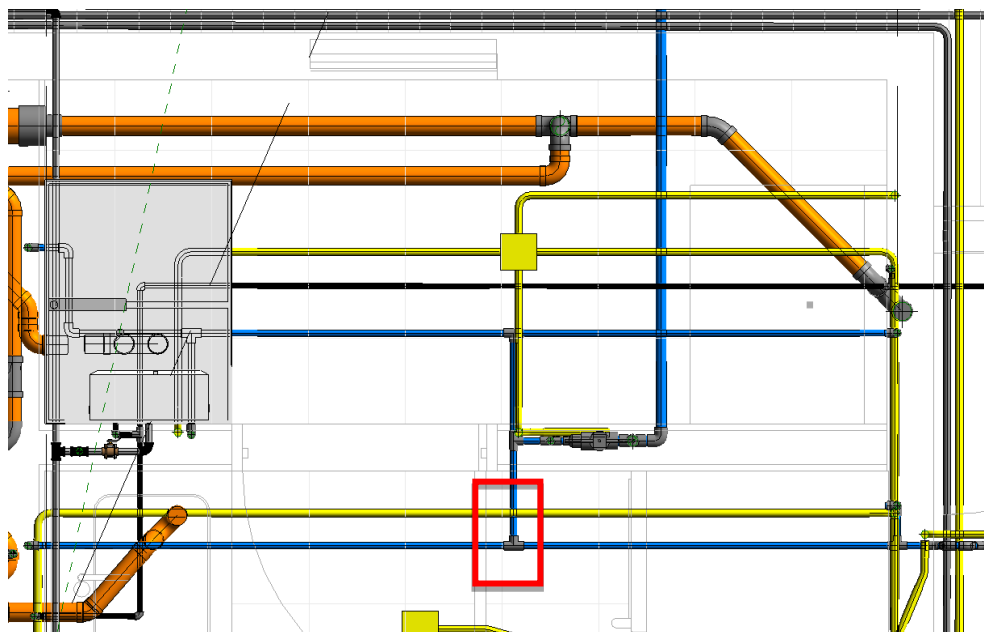
Se sugiere realizar un desvío (quite) en la red de abastos, pues se trata de una colisión menor entre los dos sistemas.



*Ilustración 100. Solución de colisión de tubería eléctrica con tubería hidráulica.
Elaboración propia.*

L.

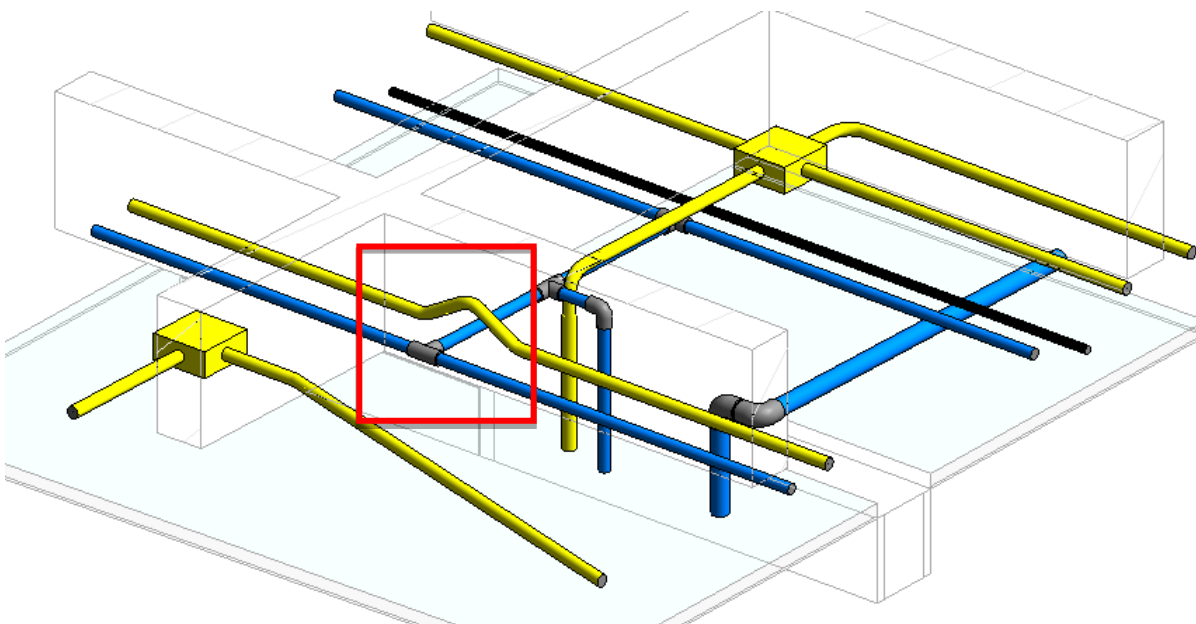
Cerca de la cocina aledaña al eje 7, en el techo de los niveles 1, 2, 3 y 4, se presenta una colisión entre las tuberías Conduit de energía y la red de abastos.



*Ilustración 101. Colisión de tubería eléctrica con tubería hidráulica.
Elaboración propia.*

Solución:

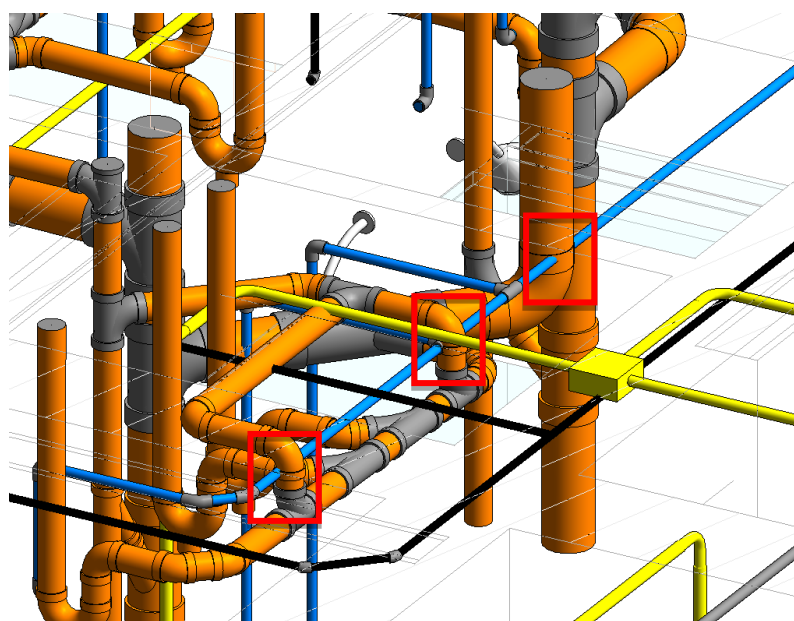
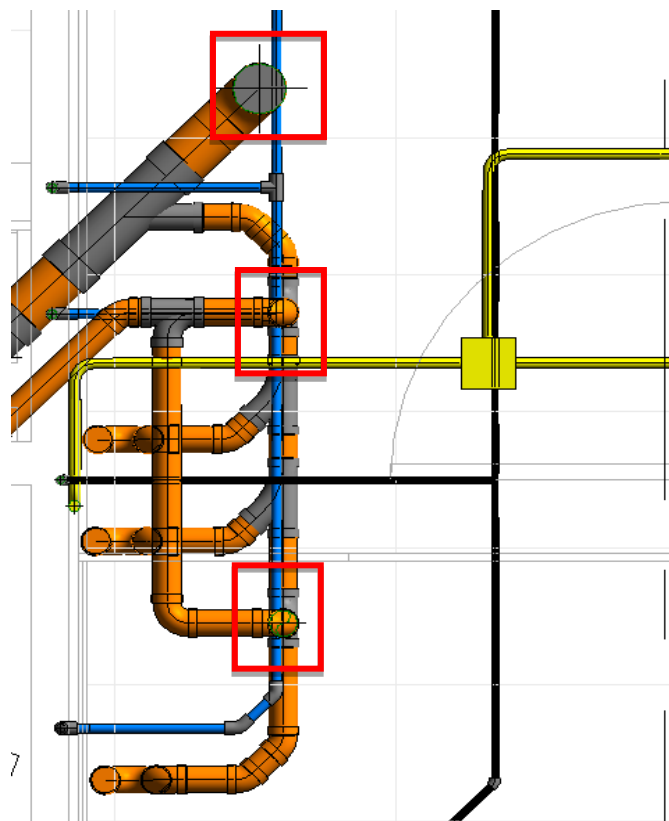
Se sugiere realizar un desvío (quite) en la red eléctrica, pues se trata de una colisión menor entre los dos sistemas.



*Ilustración 102. Solución de colisión de tubería eléctrica con tubería hidráulica.
Elaboración propia.*

M.

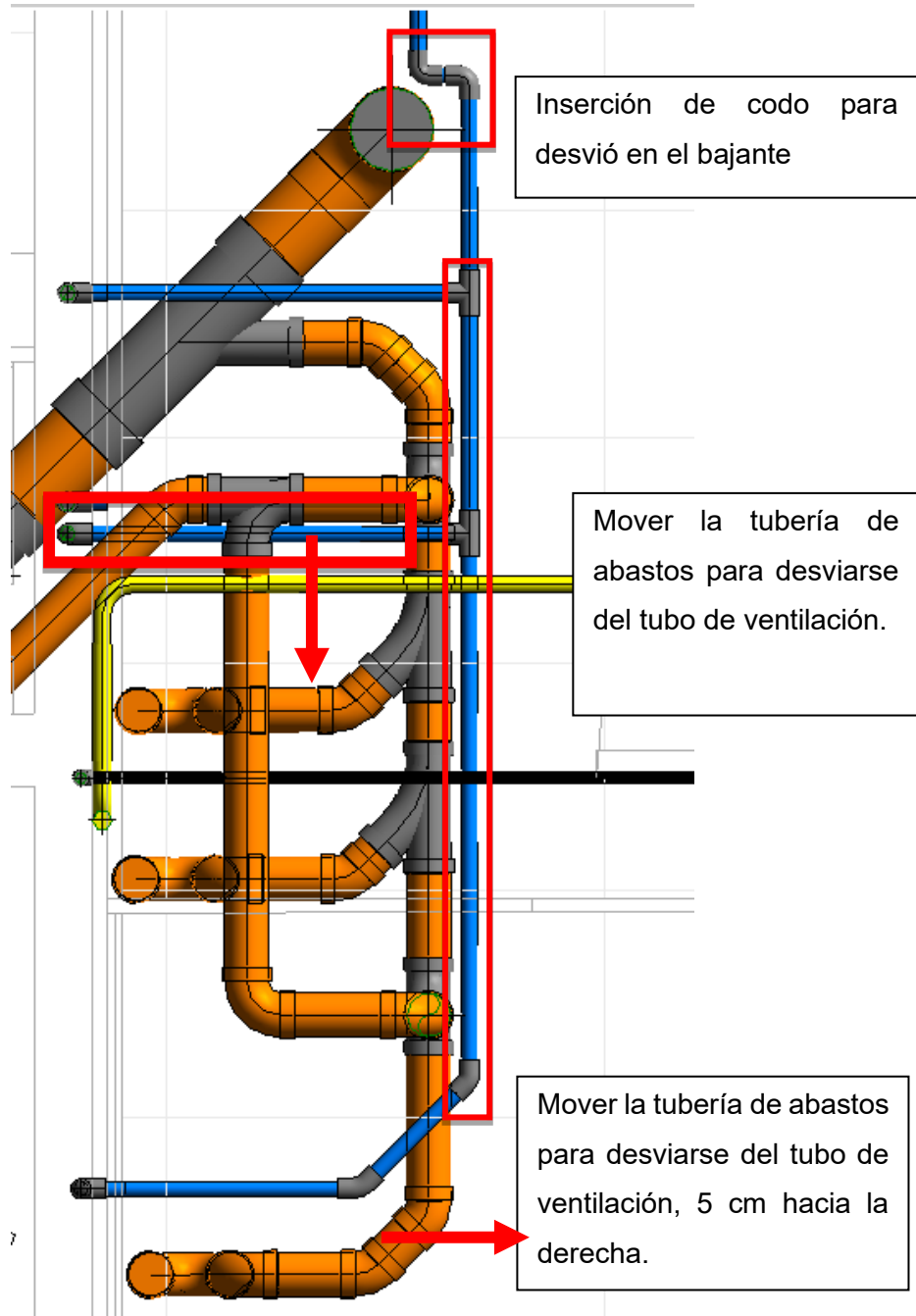
En el baño aledaño al eje 8, en el cielo de los niveles 1, 2, 3 y 4, se presenta una colisión entre los bajantes de la tubería de desagüe y la red de abastos.



*Ilustración 103. Colisión de tubería de abastos con tubería de desagües.
Elaboración propia.*

Solución:

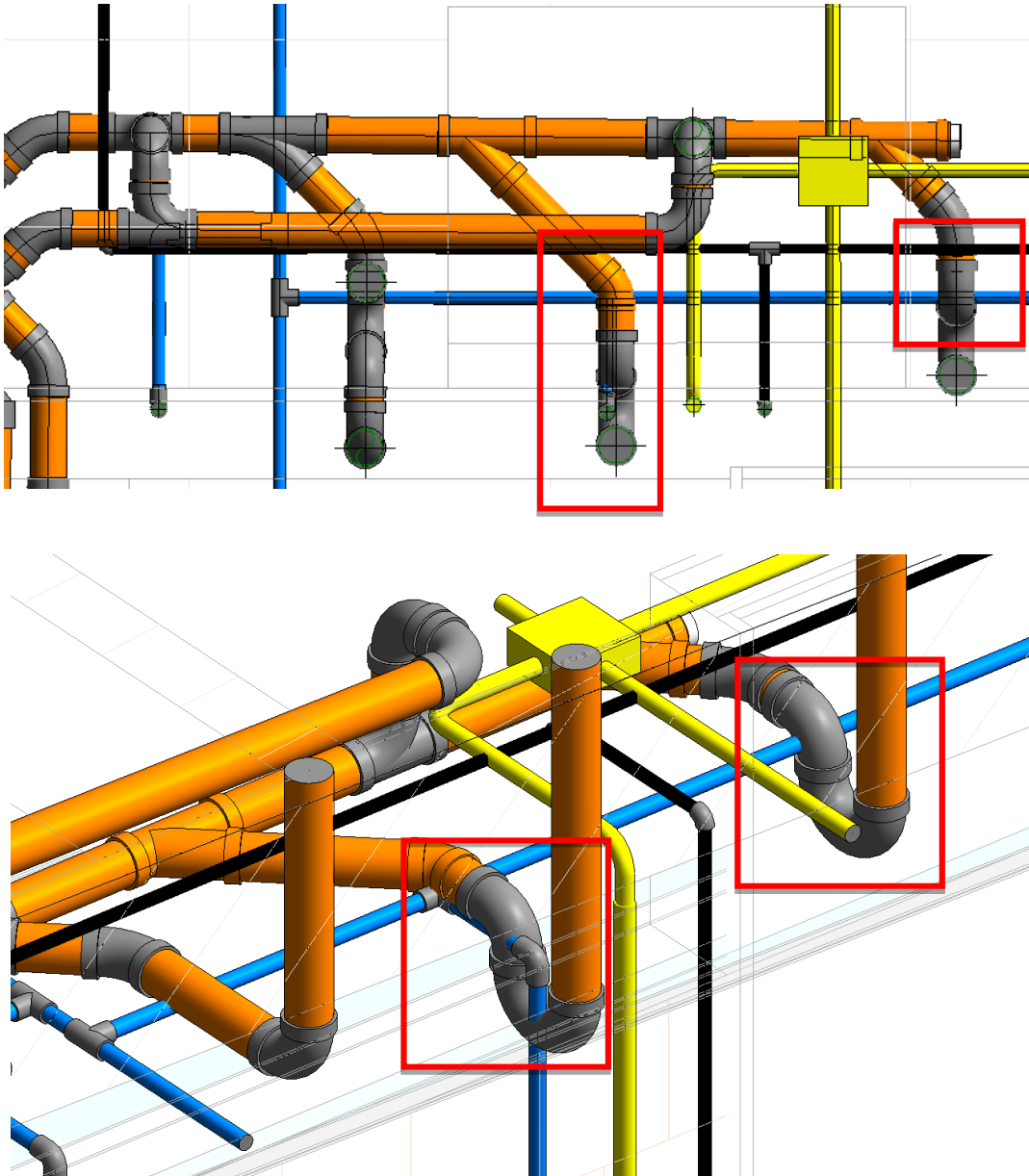
Se sugiere realizar un desvío (quite) en la red de abastos, al momento de llegar al bajante del sanitario. Además de mover fragmentos de la tubería de abastos en los puntos donde colisiona con las uniones de la red de ventilación. Tal y como se muestra en la siguiente imagen.



*Ilustración 104. Solución de colisión de tubería de abastos con tubería de desagües.
Elaboración propia.*

N.

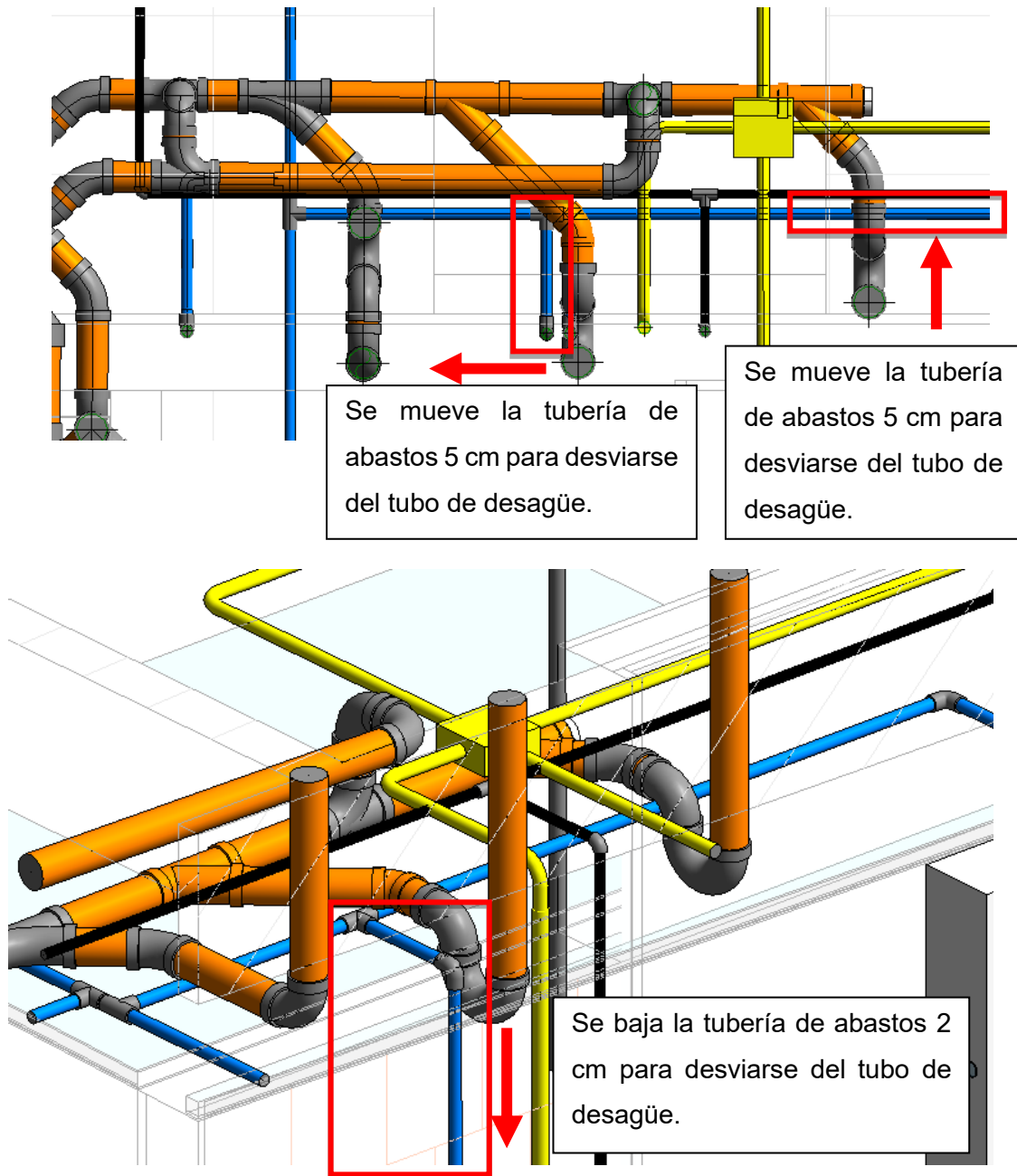
En el baño aledaño al eje 10 – C', en los niveles 1, 2, 3 y 4, se presentan dos colisiones entre los bajantes de la tubería de desagüe y la red de abastos.



*Ilustración 105. Colisión de tubería abastos con tubería de desagües.
Elaboración propia.*

Solución:

Se sugiere bajar 2 cm la tubería de abastos con el fin de no colisionar con los accesorios de la red sanitaria. Además, mover 5 cm las dos tuberías de abastos en los puntos donde colisiona con las uniones de la red de sanitaria, como se muestra en la siguiente imagen:



*Ilustración 106. Solución de colisión de tubería abastos con tubería de desagües.
Elaboración propia.*

4.10. Programación de obra

En un proyecto de construcción, se entiende la programación de obra como el proceso de ordenar en el tiempo de forma lógica y secuencial la ejecución de cada una de las actividades necesarias para poder llevar a buen término dicho proyecto. Es necesario realizar primero una estructura de división del trabajo; posteriormente, se debe hacer el cronograma de ejecución del proyecto (Aguilar, 2015).

En este capítulo se llevó a cabo la programación detallada de obra del proyecto Avanti, caso de estudio. El área de construcción de la empresa OA+M, visualizando el modelo 3D para conocer la magnitud, tamaño y alcance del proyecto, se encargó de realizar la división del trabajo, estimar los tiempos de cada capítulo y actividad involucrada durante la futura construcción de este proyecto, y de plasmar esta información en una programación de obra tipo Diagrama de Gantt, en el software Microsoft Project.

El resultado obtenido se muestra a continuación.

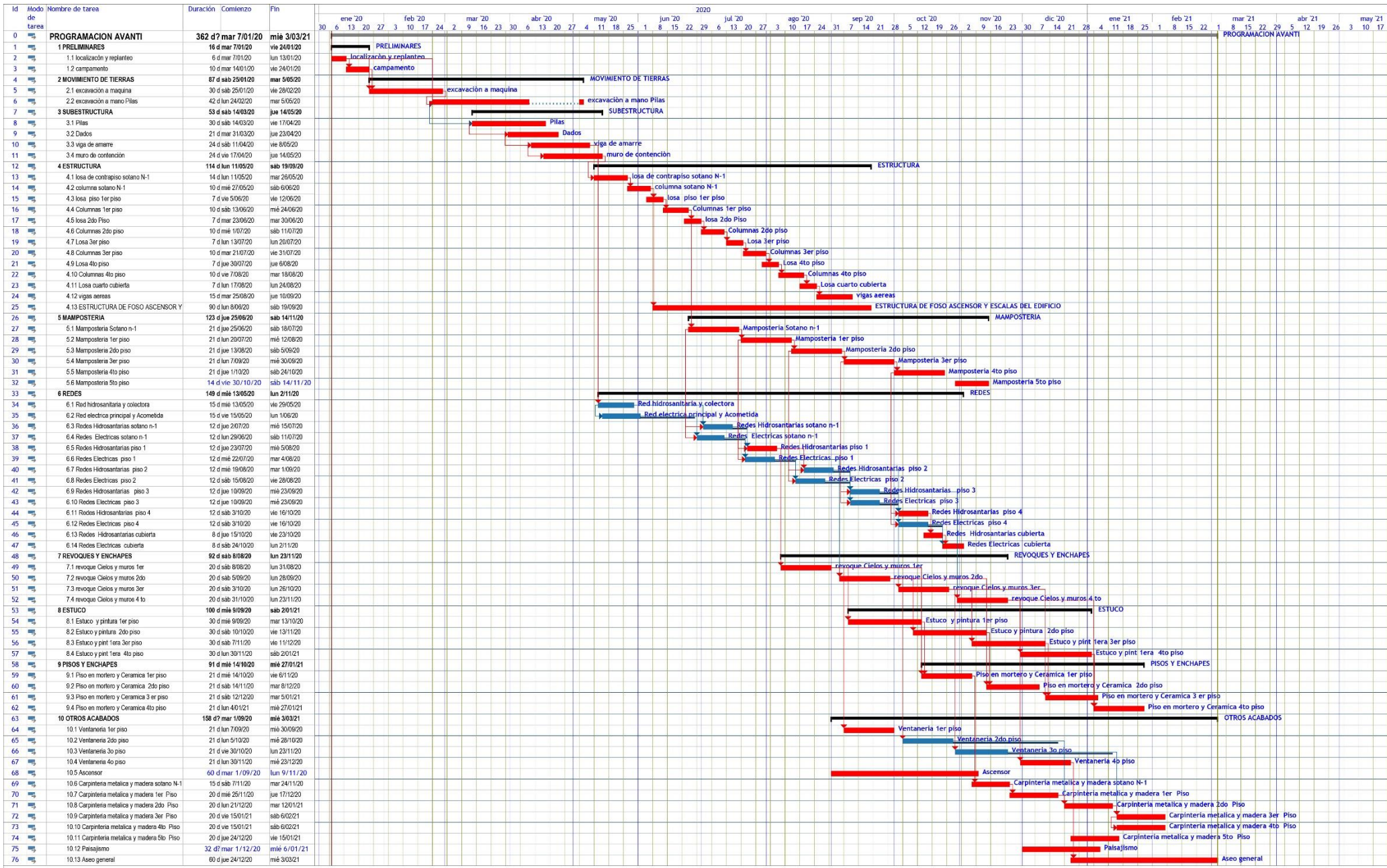


Ilustración 107. Programación de obra 001.
Elaboración propia.

Para constatar que la programación propuesta inicialmente fuera lo suficientemente eficiente, se hizo una contrapropuesta de programación. Para este caso se utilizó el método de programación con “línea de balance”, muy afín con la filosofía LEAN construction. Se utilizó el software “Vico Control”. Dicho software también está basado en la modelación BIM, desde las dimensiones 3D, 4D hasta 5D. Al terminar la programación bajo esta metodología se pudo concluir que:

- Existen actividades que se pueden comenzar antes de lo previsto.
- Algunas actividades se cruzan con otras, lo que a futuro ocasionaría una pérdida de tiempo en obra al no poder ejecutar las 2 actividades cómodamente al mismo tiempo. Lo anterior se traduce en sobrecostos por actividades detenidas. Este tipo de situaciones no son fáciles de prever ni en un presupuesto ni en una programación tipo Gantt.
- El tiempo que tardan algunos capítulos en culminar es bastante alto, por lo que se debe incrementar el rendimiento, bien sea aumentando el número de cuadrillas de la actividad o involucrando mano de obra y personal más eficiente.
- La negociación del ascensor debe hacerse con más antelación para liberar otras actividades y evitar los cuellos de botella.
- En la programación general, se pueden crear capítulos más específicos y desglosados, para tener un mejor control y visualización. En este caso, aparecería una línea nueva (capítulo).

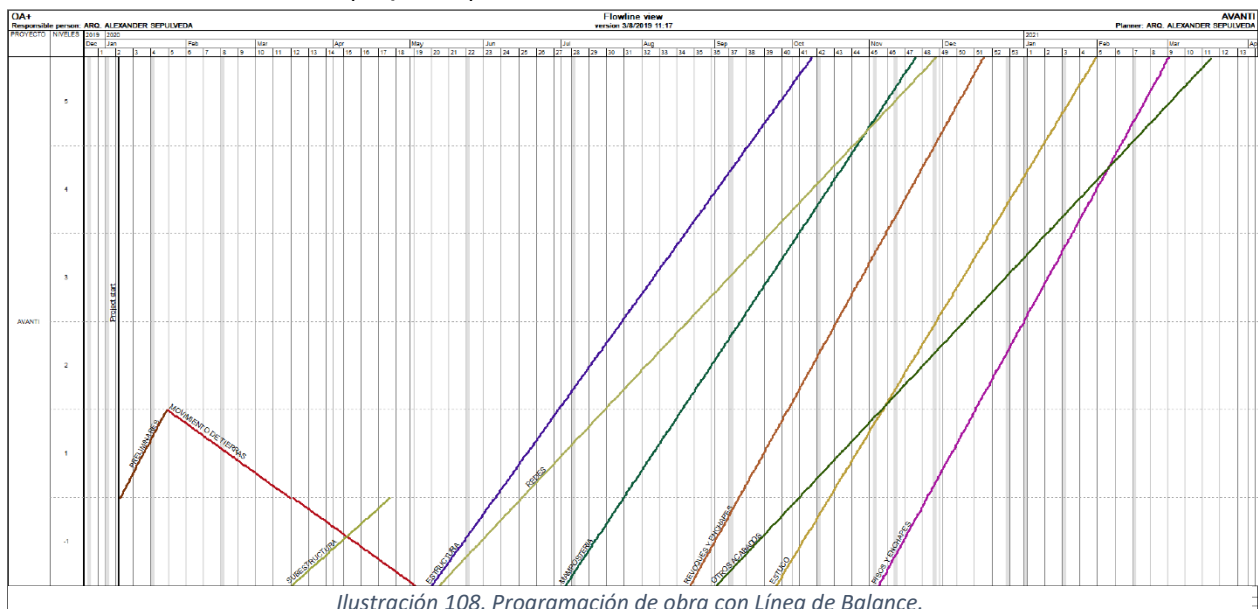


Ilustración 108. Programación de obra con Línea de Balance.
Elaboración propia.

4.11. Modelado 4D

4.11.1. Introducción al modelado 4D

La evaluación del progreso de la construcción consiste en medir periódicamente el progreso y el avance real de un proyecto de construcción y luego compararlo con el progreso estimado o previsto. El progreso de un proyecto se expresa en términos de porcentaje de actividades completadas (Kim, Son, & Kim, 2013).

Con el software Navisworks Manage, de la casa Autodesk, se llevó a cabo el modelado 4D del proyecto caso de estudio, Avanti. Como se explicaba en el marco teórico del presente estudio, la modelación 4D sirve para simular teóricamente el avance constructivo y la programación de proyectos, de una manera virtual (VDC). En ella se puede evidenciar el avance de obra en una fecha específica, prever actividades futuras, comparar con el avance real de obra, actualizar programación, ver costos del proyecto a la fecha, entre algunas otras ventajas.

4.11.2. Metodología

Para llevar a cabo el modelado 4D se importaron al modelo de Navisworks las siguientes disciplinas, anteriormente modeladas:

- Arquitectura. Modelada en Revit, 3D
- Estructura. Modelada en Revit, 3D
- Redes hidrosanitarias. Modelada en Revit, 3D
- Redes eléctricas. Modelada en Revit, 3D
- Redes de gas. Modelada en Revit, 3D
- Programación de obra. Modelada en Microsoft Project (con costos incluidos)

Posteriormente se organizan uno a uno todos los ítems del proyecto, clasificándolos por diferentes atributos (sets):

- Capítulo o actividad
- Subcapítulo
- Nivel o piso al cual corresponden

Una vez estén ordenados jerárquicamente, se asigna cada set a la programación de obra, de acuerdo al capítulo que corresponda. En la siguiente imagen se aprecia el nivel 01 del modelo, ordenado por sets, listo para ser asignado a la programación de obra:

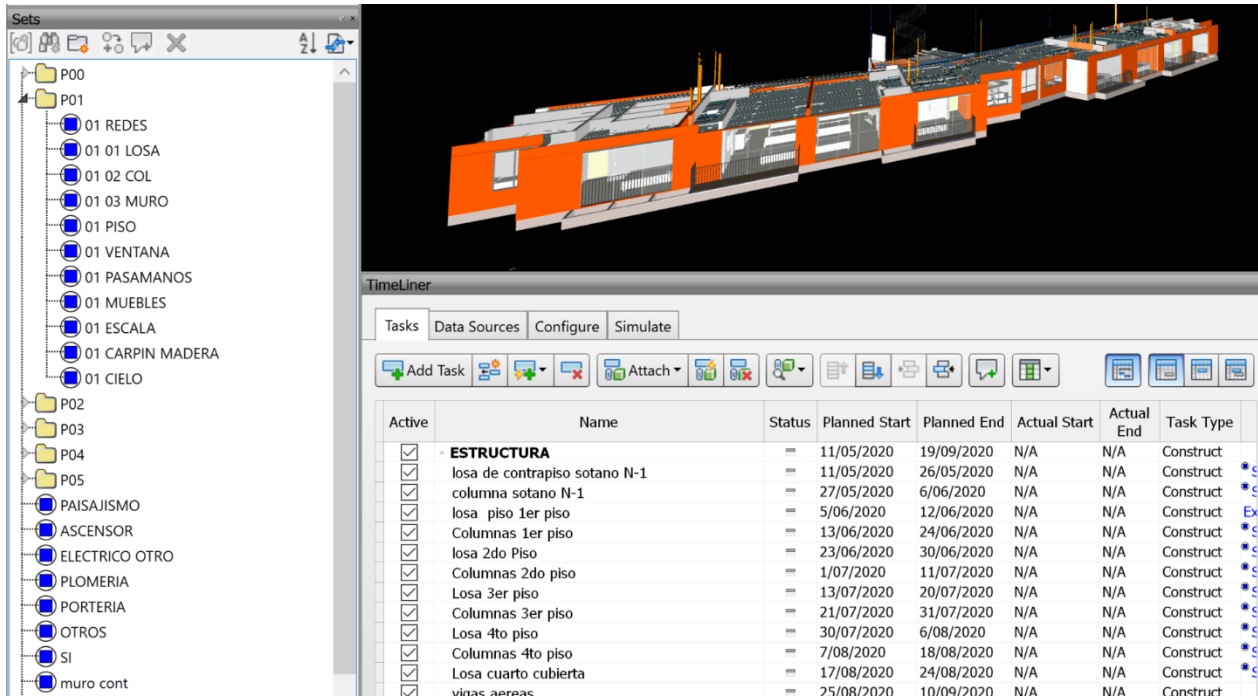


Ilustración 110. Sets del nivel 01. Navisworks.
Elaboración propia.

A continuación se mostrarán apartes de la modelación 4D con su respectiva simulación teórica del avance que debería tener la obra en ciertas fechas. Como el presupuesto hace parte de la dimensión 5D, el costo que se observa en las imágenes es tentativo.



Ilustración 111. Imagen del edificio completo, terminado. Navisworks.
Elaboración propia

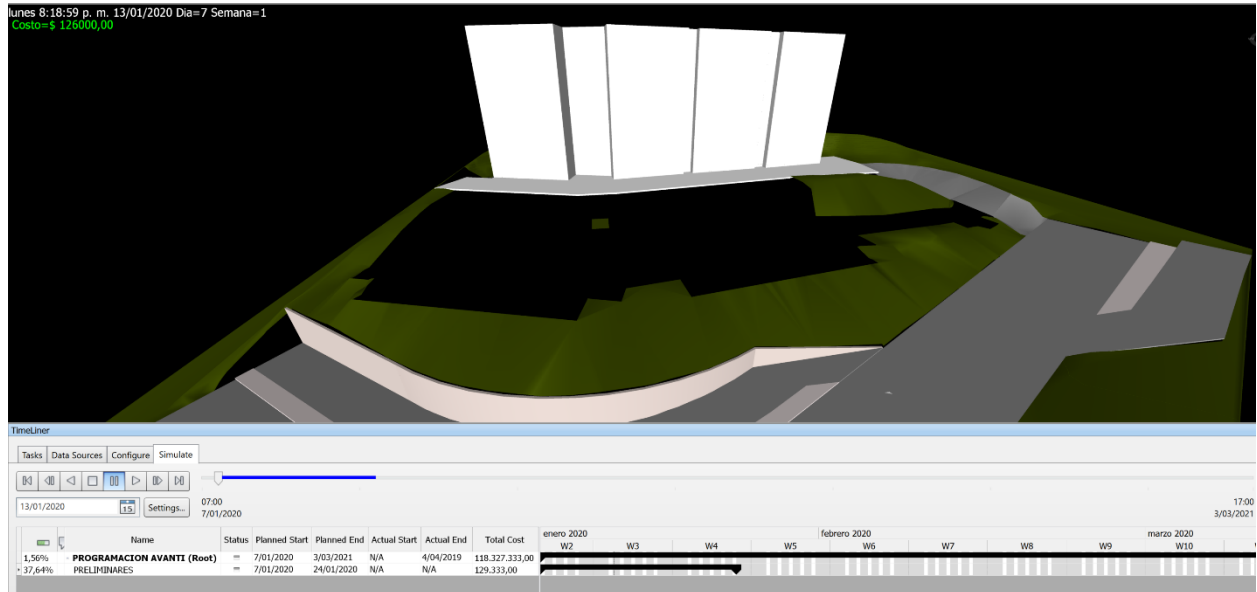


Ilustración 112. Proceso 01. Excavación de tierra. Construcción de campamentos de obra, preliminares. Navisworks. Elaboración propia.

Comienza la construcción. Se excava la zona donde se va a edificar. Se construyen los preliminares de acuerdo al layout de construcción.

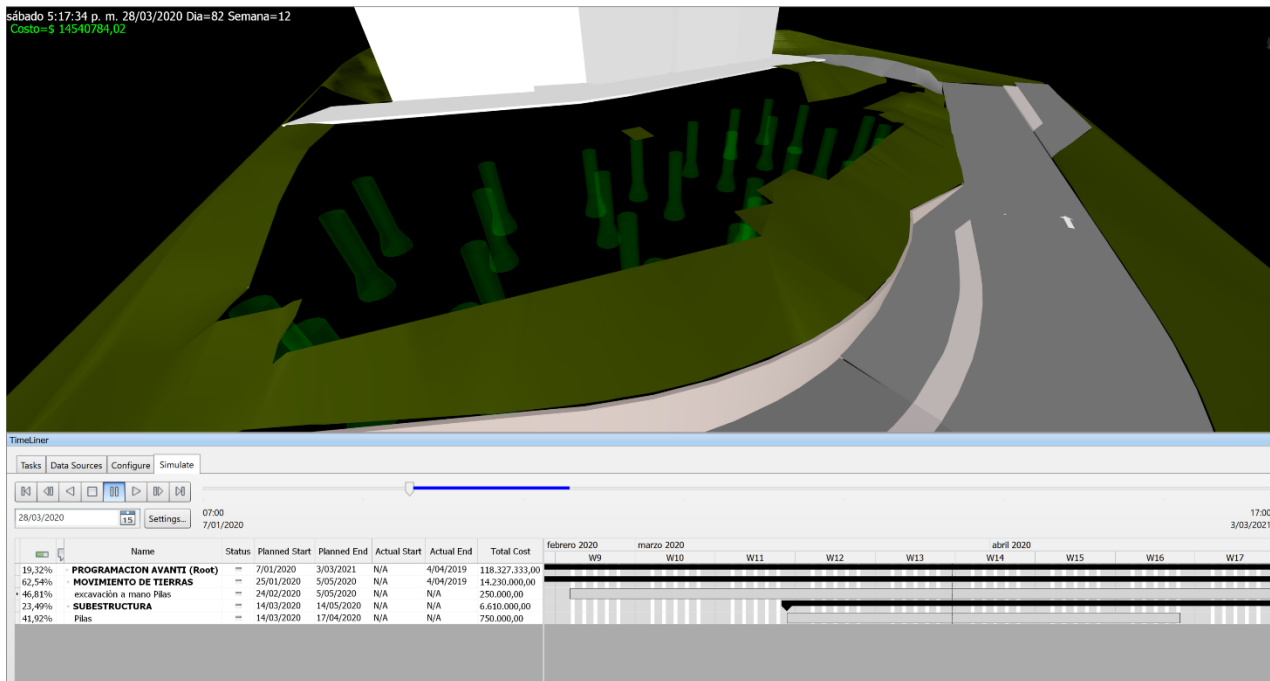


Ilustración 113. Proceso 02. Excavación manual, armada y vaciada de pilas, subestructura. Navisworks. Elaboración propia.

Se hace marcación topográfica del proyecto en general y de la cimentación. Comienza excavación manual de de pilas.

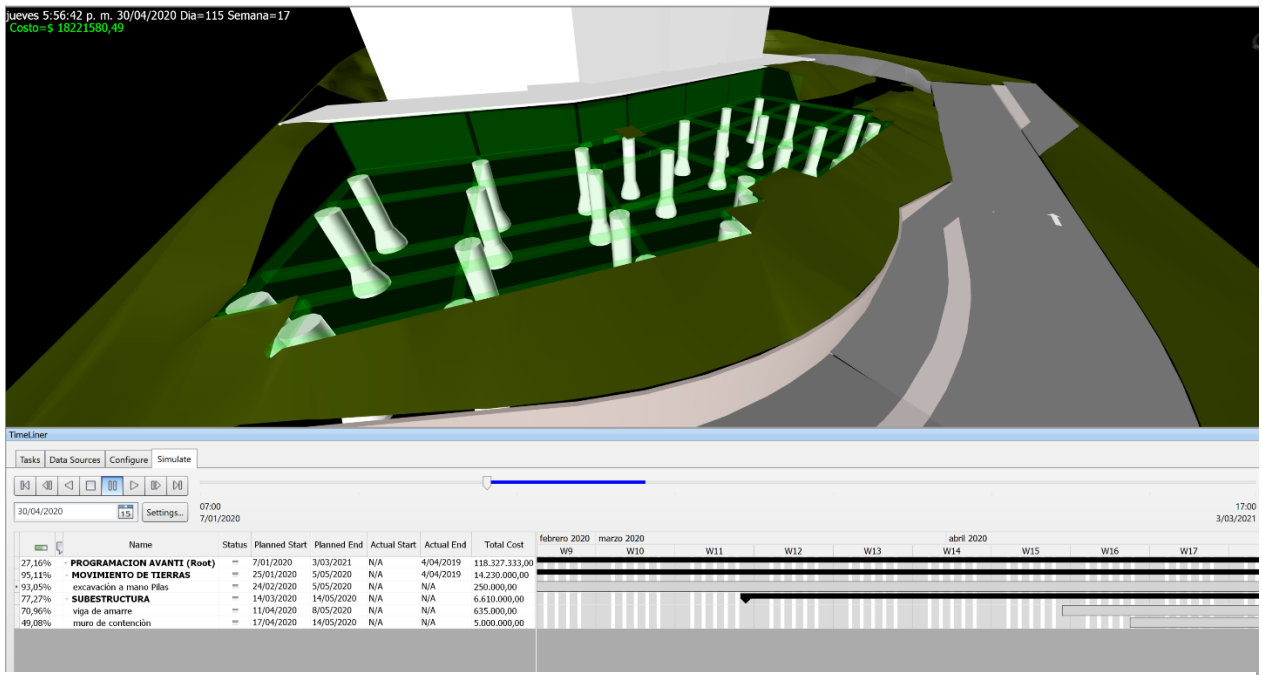


Ilustración 114. Proceso 03. Excavación manual. Vigas de fundación. Muro de contención. Navisworks. Elaboración propia.

A medida que se van vaciando las pilas ya excavadas, se van armando las vigas de la placa de fundación.

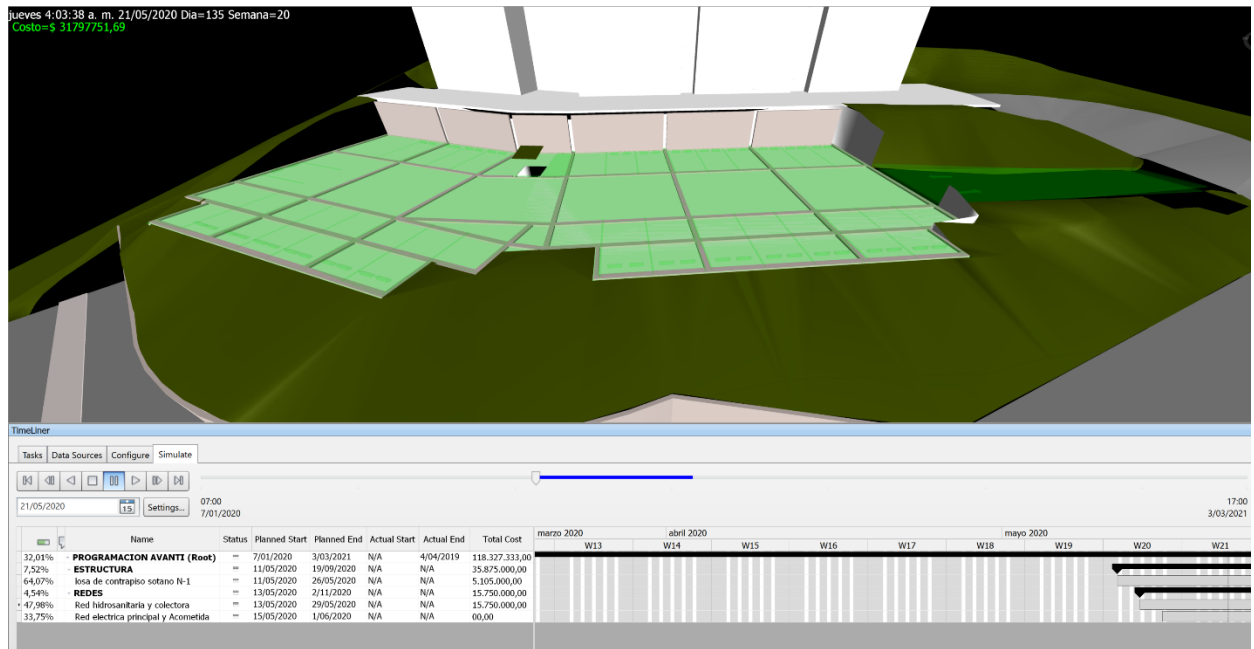


Ilustración 115. Proceso 04. Vaciado de placa de fundación, rampa de acceso a sótano. Navisworks. Elaboración propia.

Se comienza vaciado de placa de fundación y muro de contención, al igual que la rampa vehicular de acceso al sótano.

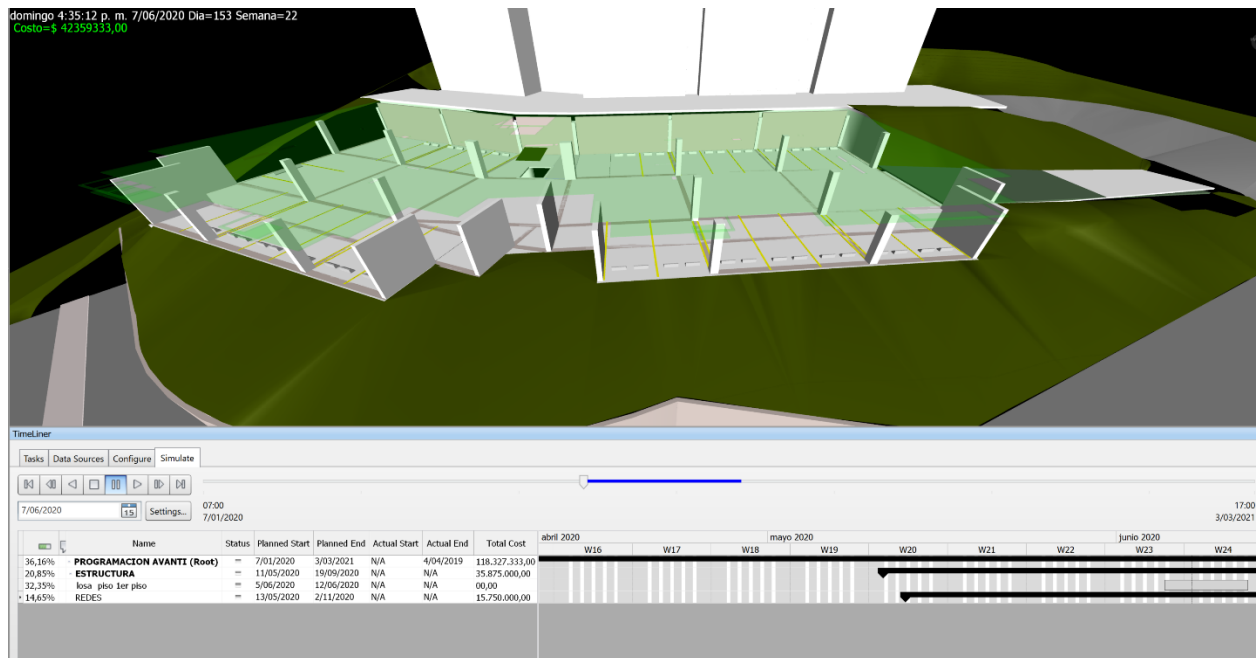


Ilustración 116. Proceso 05. Vaciado de columnas de sótano. Armada y vaciado de losa aérea nivel 1. Navisworks. Elaboración propia.

Luego de tener vaciadas las columnas del sótano, se procede a encofrar y armar la losa del nivel 1.

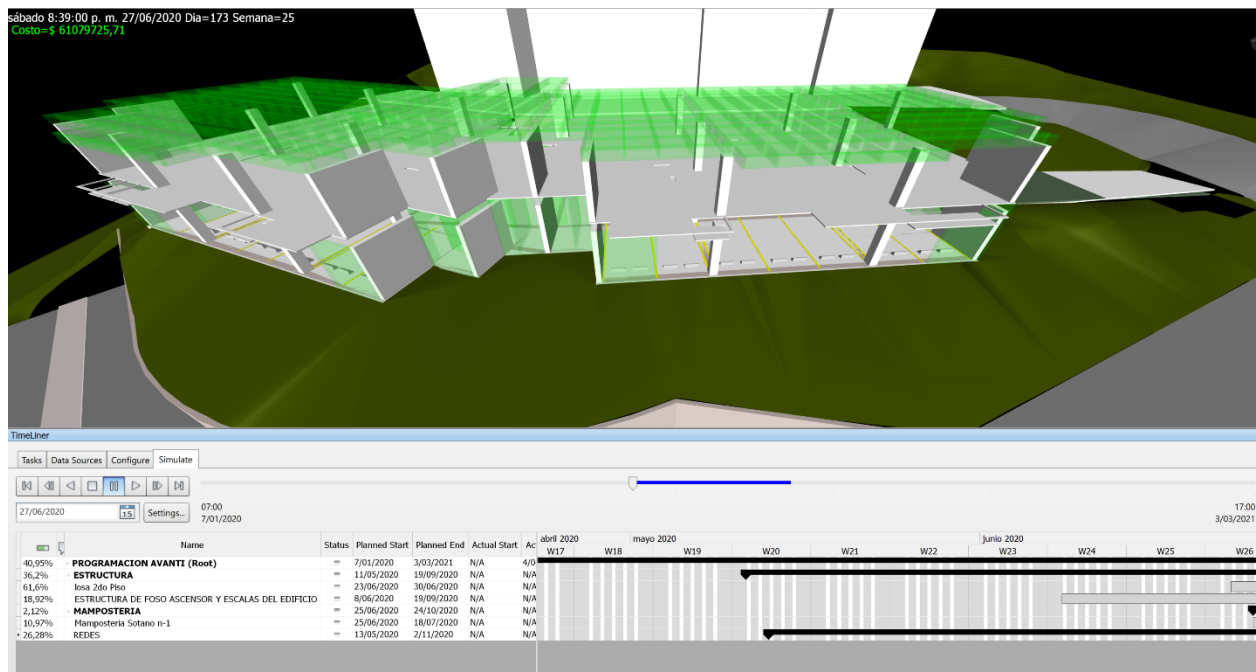


Ilustración 117. Proceso 06. Vaciado de columnas de nivel 1. Armada y vaciado de losa aérea nivel 2. Navisworks. Elaboración propia.

A medida que avanza la estructura aporricada en concreto del edificio, se comienzan a liberar otras actividades, como las redes técnicas y la mampostería del sótano.

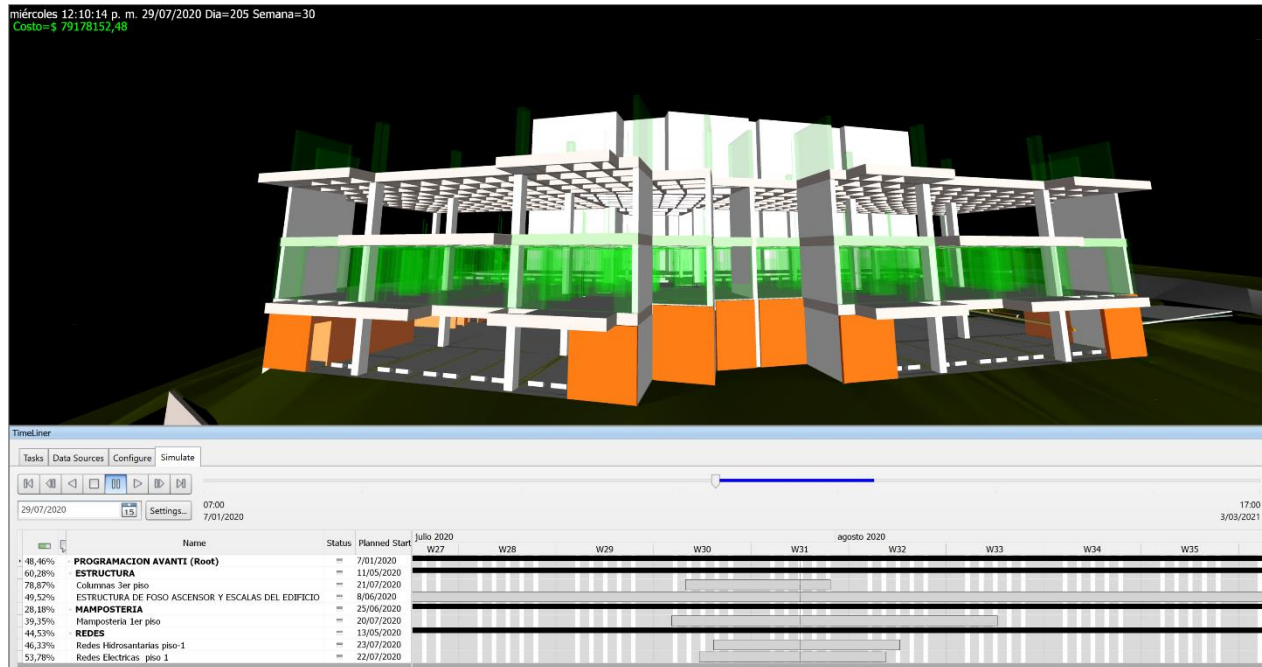


Ilustración 118. Proceso 07. Redes y mampostería. Navisworks.
Elaboración propia.

Continúa la mampostería en nivel 1, al igual que las redes técnicas. Se están encofrando las columnas del nivel 3 para vaciar.

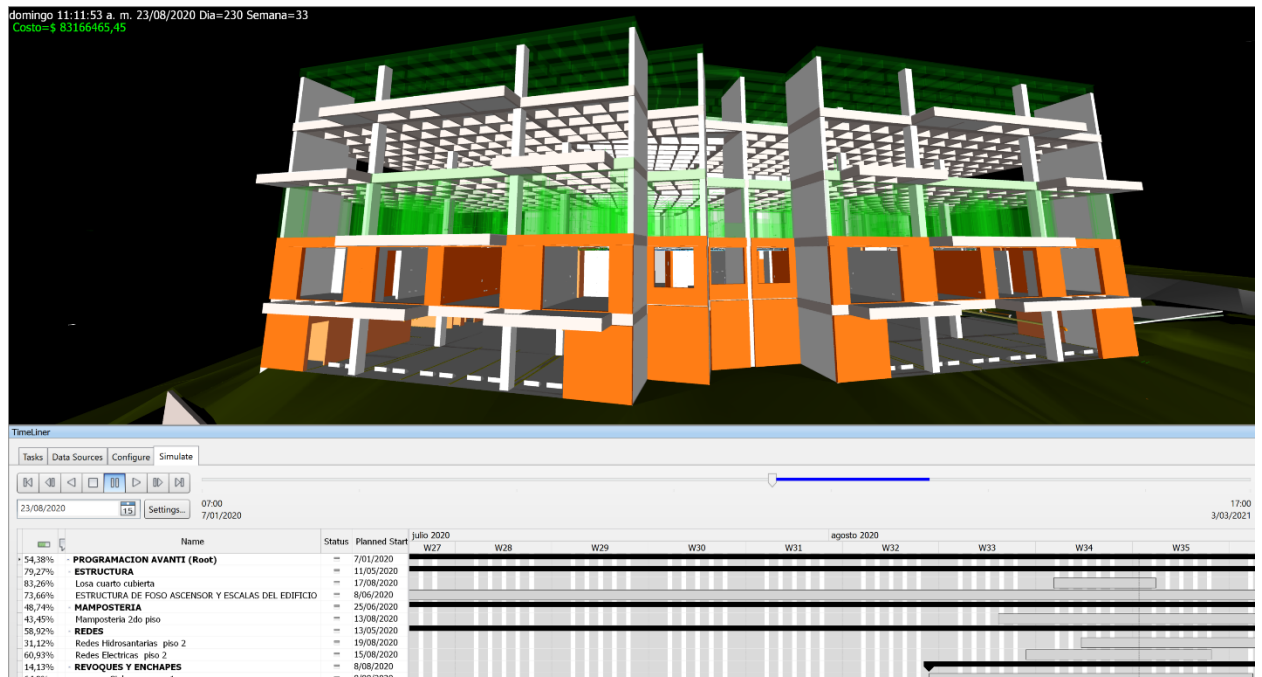


Ilustración 119. Proceso 08. Redes y mampostería. Vaciado de losa de cubierta. Navisworks.
Elaboración propia.

La estructura está terminada. La mampostería va en curso, se están pegando muros interiores de nivel 2. A su vez se van armando redes internas de nivel 2 y 3. Se aprecia cómo las redes verticales quedan embebidas en los muros y las horizontales, descolgadas de las losas. A su vez, se está vaciando la losa de cubierta.

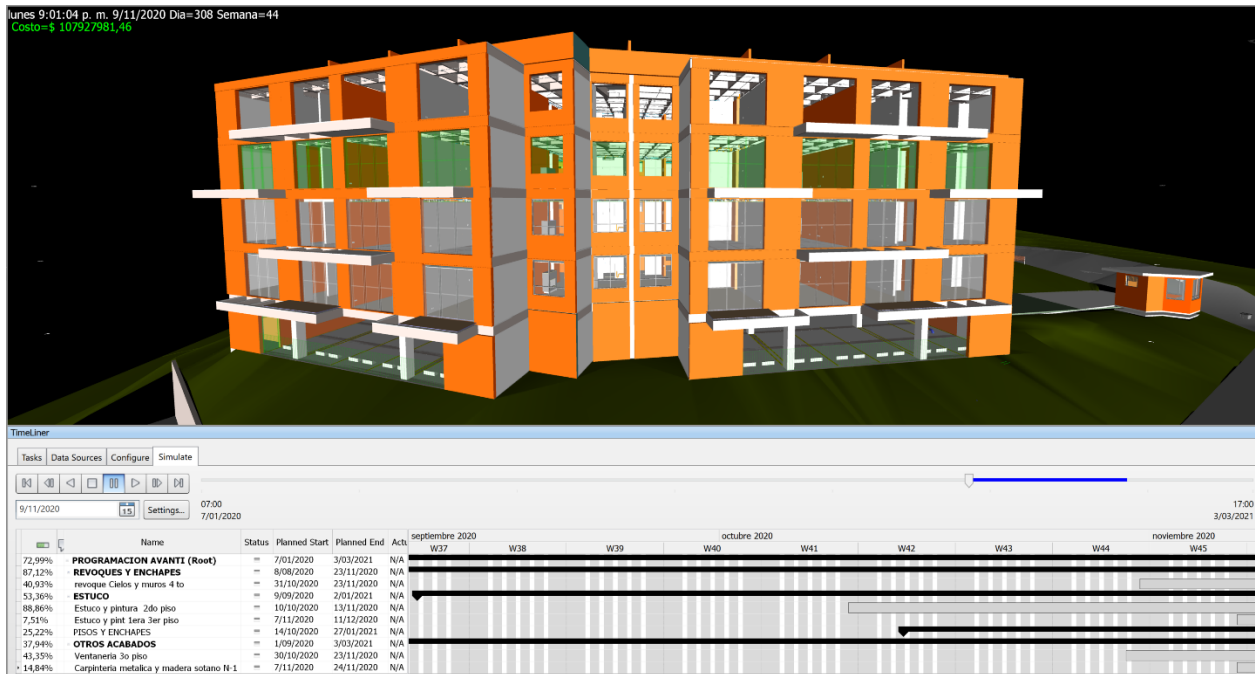


Ilustración 120. Proceso 09. Ventanería, morteros y pisos acabados. Navisworks.
Elaboración propia.

El edificio está terminado en redes y mampostería. La instalación de la ventanería va en curso. Morteros y pisos comienzan en los niveles inferiores. La portería de acceso vehicular está culminada. Se está finalizando la obra gris y dando inicio a la obra blanca.



Ilustración 121. Proceso 10. Inicio de obra blanca; pintura, carpintería, amoblamiento. Navisworks. Elaboración propia.

Se da inicio a la obra blanca, acabados. Construcción de cielos en drywall, pintura y estuco. Posteriormente comienza la actividad de carpintería y amoblamiento. Finalmente paisajismo.



Ilustración 122. Proceso 10. Aseo de construcción. Finalización. Elaboración propia.

Finalización de construcción. Se lleva a cabo el aseo final de construcción y las entregas de apartamentos a clientes.

4.12. Presupuesto, extracción de cantidades.

La estimación del costo de un proyecto de construcción, también conocida como el cálculo del presupuesto de construcción, es el proceso de predecir el costo del proyecto, con base en: los materiales, las herramientas, los equipos, la mano de obra y el transporte, entre otros, requeridos para la ejecución según los estudios y diseños del proyecto (Marzouk & Hisham, 2014).

Algunos de los problemas más importantes a la hora de laborar un presupuesto es el cálculo de las cantidades de obra y la minimización de los posibles imprevistos. Un gran inconveniente es la baja precisión en su estimación, sea positivo o negativo, que muestra la diferencia entre la variación del costo final del proyecto y el costo objetivo que se planificó para el mismo (Porrás Díaz, Sánchez Rivera, Galvis Guerra, Jaimez Plata, & Castañeda Parra, 2015).

La elaboración del presupuesto no hace parte del alcance del presente estudio, pero sí la extracción de las cantidades de materiales desde el modelo 3D, de acuerdo con una buena modelación BIM. Para ello, todos y cada uno de los ítems del proyecto en cuestión debieron ser nombrados y caracterizados de tal manera que puedan ser extractados y organizados en tablas, que permitan totalizarlos e identificar su ubicación con facilidad.

Para ello se utiliza la opción de Schedules/Quantities del software de modelado 3D, Revit Architecture, la cual permite elaborar dichas tablas de cantidades y asignar criterios como áreas, cantidades, comentarios, ubicación, entre otros. Este proceso hace parte de la dimensión 5D de la metodología BIM.

A continuación se muestran algunas imágenes de las tablas obtenidas del modelo 3D, que fueron exportadas al software Microsoft Excel y procesadas como tablas dinámicas para una mejor lectura de la información y una entrega clara al área encargada de elaborar el presupuesto del proyecto.

Cantidad Closets y Vestieres

Familia	PISO				
Item	Piso 1	Piso 2	Piso 3	Piso 4	Total general
Closet 145x055	2	2	2	2	8
Closet 175x055	2	2	2	2	8
Closet 205x055	2	2	2	2	8
Closet 235x075	2	2	2	2	8
Closet 270x055	2	2	2	2	8
Vestier Apto 45m2	4	4	4	4	16
Total general	14	14	14	14	56

Tabla 7. Cantidad de closets y vestieres.
Elaboración propia.

Cantidad Cielos y pintura

Item	Área (m2)
MP - Drywall 1/2" Ceilings	2018,54
MP - Paint - Vinyl Interior Ceiling	2018,54
MP - Stucco Drywall Ceilings	2018,54
Total general	6055,62

Tabla 8. Cantidad de cielos y pintura.
Elaboración propia.

Cantidad Material Columnas Concreto

Item	Volumen (m3) 4,000 psi
SC-Re-025x025-Con-0000	0,77
SC-Re-025x227-Con-0000	15,02
SC-Re-025x250-Con-0000	49,54
SC-Re-030x030-Con-0000	3,59
SC-Re-040x040-Con-0000	28,98
SC-Re-040x080-Con-0000	8,44
Total general	106,34

Tabla 9. Cantidad de concreto de columnas.
Elaboración propia

Cantidad Pasamanos, h: 1,20m

Item	Longitud (m)	Canr (und)
Jardinera Pasamanos 3 paraleles - OA+M	0	36
Pasamanos 120	232,55	46
Total general	232,55	82

Tabla 10. Cantidad de pasamanos.
Elaboración propia.

Cantidad Material Losas Concreto (m3)

Familia	Piso									
Item	Cubierta	Piso 1	Piso -1	Piso 2	Piso 3	Piso 4	Piso 5	0 - 20 Bombas	Total general	
I-SF05-00-MOGOP0 Losa Estructural 5		39,41		28,13	28,4	28,36	26,89		151,19	
I-SF10-00-MOGOP0 Losa Contrapiso 10			77,82						77,82	
I-SF10-00-MOGOP0 Losa Estructural 10	1						0,87		1,87	
I-SF20-00-MOGOP0 Losa Estructural 20								2,73	2,73	
Total general	1	39,41	77,82	28,13	28,4	28,36	27,76	2,73	233,61	

Tabla 11. Cantidad de concreto de losas.
Elaboración propia.

Cantidad Material Muros (m2)

Etiquetas de fila	Suma de Material: Area
Fridge Black	19,20
MP - Block Concrete 15	48,60
MP - Block Concrete 15 - Perforated	8,00
MP - Brick - Ladrillo 05 - Fachada Natural (Enchape)	70,60
MP - Brick - Ladrillo 10 - Divisorio Liso	753,10
MP - Brick - Ladrillo 15 - Divisorio Liso	1.298,80
MP - Brick - Ladrillo 15 - Fachada Natural Catalán	1.534,90
MP - Concrete - 3 Ksi - Retaining Wall 15	298,40
MP - Concrete - 3 Ksi - Structural Wall	135,60
MP - Drywall 1/2" Ceilings	2,30
MP - Drywall Fibrocemento	112,80
MP - Glass - Mirror	6,60
MP - Glass - Tempered Bathroom Cabinet	120,00
MP - Paint - Vinyl Interior - White	2.652,60
MP - Pega Ceramica	180,60
MP - Revoque Interior R1	19,80
MP - Steel - Sheet 1/4"	119,60
MP - Stucco	2.510,00
MP - Stucco Drywall Walls	140,60
MP - Tile - Baldosa Chimenea	59,60
MP - Tile - Porcelanato Madera	13,00
MP - Tile - Porcelanato Rectangular (en blanco)	2.311,20
Total general	12.523,90

Tabla 12. Cantidad de materiales de muros.
Elaboración propia.

Cantidad Material Pisos (m2)

Material: Area (m2)	Nivel						
Item	Piso 1	Piso -1	Piso 2	Piso 3	Piso 4	Total general	
MP - Tile - Baldosa Chimenea	5,20		5,20	5,20	5,20	20,80	
MP - Tile - Baldosa Punto Fijo	67,41	8,79	60,90	62,87	62,87	262,84	
MP - Tile - Baldosa Terraza	23,50		15,60	23,74	16,86	79,70	
MP - Tile - Porcelanato Baños	81,81		79,33	84,29	65,51	310,94	
MP - Tile - Porcelanato Madera	316,82		316,82	316,82	333,08	1.283,54	
Total general	494,74	8,79	477,85	492,92	483,52	1.957,82	

Tabla 13. Cantidad de materiales de pisos.
Elaboración propia.

Cantidad Material Vigas Concreto 4,000 psi (m3)

Item	Volumen (m3)
SB-Re-010x045-Con-0000	147,54
SB-Re-020x045-Con-0000	20,27
SB-Re-025x045-Con-0000	6,37
SB-Re-030x045-Con-0000	226,63
Total general	400,81

Tabla 14. Cantidad de concreto de vigas.
Elaboración propia.

Cantidad Muebles Plomería

Muebles Plomería	Nivel						
Familia	Piso 1	Piso 2	Piso 3	Piso 4	Piso 5	0-20 Bombas	Total general
Calentador Agua Paso	8	8	8	8			32
Ducha Baño Alcoba Secundaria	12	12	12	12			48
Lava Escobas 20x40	1		1				2
Lavadero 80x60	6	6	6	8			26
Lavamanos Pedestal Corona						1	1
Sanitario Baño Alcoba Principal - 6.1 Lpf	12	12	12	12			48
Sanitario Baño Alcoba Secundaria - 1.6 gpf Corona						1	1
Water Meter & Cover	1	1	1	1			4
Contador Agua general Brooks_Box_3MB_15861						2	2
Medidor de Gas. gas_meter_manifold_5854	1	1	1	1			4
Lavadero Ropas Avanti 80 x 60	2	2	2				6
Mueble Baño Alcoba Principal con Meson, Lavamanos, Griferia - 060x040	12	12	12	4			40
Mueble Baño Alcoba Principal con Meson, Lavamanos, Griferia 70 x 40				8			8
Tanque 10000 litros w/ Pump - MEP					1		1
Total general	55	54	55	54	1	4	223

Tabla 15. Cantidad de muebles de plomería.
Elaboración propia.

Cantidad Puertas

Familia	Ancho	Alto	Cant
I-DO04-050x205-10-SI-10 Puerta Cerradura Normal con Dintel 10 Ventilada Metálica	0,5	2,05	2
I-DO04-060x205-06-SI-10 Puerta Cerradura Normal con Dintel 10 Cuartos Utiles	0,6	2,05	2
I-DO04-070x205-06-SI-10 Puerta Cerradura Normal con Dintel 10 Cuartos Utiles	0,7	2,05	32
I-DO04-070x205-10-SI-10 Puerta Cerradura Normal con Dintel 10 Ventilada Metálica	0,7	2,05	4
I-DO04-070x240-06-SI-00 Puerta Cerradura Normal NO Dintel Enchapada	0,7	2,4	64
I-DO04-070x240-06-SI-10 Puerta Cerradura Normal con Dintel 10 Vidrio	0,7	2,4	1
I-DO04-080x180-10-SI-10 Puerta Cerradura Normal con Dintel 10 Ventilada Metálica	0,8	1,8	8
I-DO04-080x205-10-SI-10 Puerta Cerradura Normal con Dintel 10 Ventilada Metálica	0,8	2,05	1
I-DO04-080x240-06-SI-00 Puerta Cerradura Normal NO Dintel Enchapada	0,8	2,4	60
I-DO04-085x240-06-SI-00 Puerta Cerradura Normal NO Dintel Enchapada	0,85	2,4	4
I-DO04-090x240-06-SI-00 Puerta Cerradura Doble NO Dintel Enchapada - Entrada Principal	0,9	2,4	32
I-DO04-090x240-06-SI-00 Puerta Cerradura Normal NO Dintel Enchapada - Alcoba Ppal	0,9	2,4	8
Total general	0,77	2,31	218

Tabla 16. Cantidad de puertas.
Elaboración propia.

Cantidad Ventanas

Item	Ancho	Alto	Area	Cant	Total Area
WI00-040x040-07-LO Rejilla Ventilación	0,4	0,4	0,16	1	0,16
WI03-060x080-07-SI-FI Ventana Fija con Rejilla Ventilación Cocina	0,6	0,8	0,48	20	9,6
WI03-075x150-07-DO-CA Ventana Fija sin Sillar sin Dintel	0,75	1,5	1,13	1	1,13
WI03-120x150-07-DO-SL Ventana Doble Deslizante con Sillar Concreto	1,2	1,5	1,8	1	1,8
WI03-120x180-07-DO-SL Ventana Doble Deslizante con Montante	1,2	1,8	2,16	16	34,56
WI03-155x060-07-DO-CA Ventana Fija sin Sillar sin Dintel con Rejilla	1,55	0,6	0,93	24	22,32
WI03-170x150-07-DO-SL Ventana Doble Deslizante con Montante	1,7	1,5	2,55	1	2,55
WI03-180x180-07-DO-SL Ventana Doble Deslizante con Montante	1,8	1,8	3,24	12	38,88
WI03-290x240-07-TR-SL Puerta Ventana Triple Deslizante	2,85	2,4	6,84	8	54,72
WI03-290x250-07-TR-SL Puerta Ventana Triple Deslizante	2,9	2,5	7,25	32	232
Total general	1,81	1,59	3,43	116	397,72

Tabla 17. Cantidad de ventanas.
Elaboración propia.

Cantidad de tubería eléctrica

Item	Longitud (m)
EMT ELÉCTRICA	2.061
1"	116
1/2"	32
3"	1
3/4"	1.911
4"	1
EMT TELEFONO	168
3/4"	168
EMT TV	244
3/4"	244
PVC ELÉCTRICA	1.736
1"	12
1/2"	88
2"	22
3"	3
3/4"	1.601
4"	10
PVC RED TELEFONO	110
3"	26
3/4"	84
PVC RED TV	248
3/4"	248
Total general	4.567

Tabla 18. Cantidad de tubería eléctrica.
Elaboración propia.

Cantidad accesorios plomería, gas, incendios

Item	Cant. (und)
ACOPLAMIENTO PVC	1
ADAPTADOR DE LIMPIEZA SANITARIA	4
BUJE EXPERIMENTAL-PRESION	67
CAJA LLUVIAS 0.60x0.60m	4
CRUZ - PVC - PRESION	4
Codo CxC_Sanitario_PAVCO 4"	793
Codo CxC_Sanitario_PAVCO 2"	459
CODO PRESION - PVC 1"	548
CODO PRESION - PVC 1/2"	1.195
CODO ROSCADO-GAS 1/2"	442
I_Yee doble sanitaria Wye- PVC - Sch, 4"	84
REDUCCION - PVC - SCH40 4" x 6"	4
REDUCCION PVC 2" x 4"	139
Sifon PVC CxE 2"	76
Slfón 180 CxC_Sin Codo_Sanitaria 2"	208
TAPON TEMPORAL 1 "	4
TAPÓN TEMPORAL 1/2"	110
TEE - PVC - SANITARIO 4"	605
TEE - PVC - VENTILACION 4"	8
TEE - PVC- SCH40 x 4" pvc	277
TEE - PVC- SCH40 x 4"	104
TEE REDUCIDA - PVC - SANITARIA 4" x 2"	64
TEE REDUCIDA - PVC - VENTILACION 4" x 2"	13
TEE ROSCADA-GAS 1/2"	48
Total general	5.261

Tabla 19. Cantidad de accesorios de plomería y gas.
Elaboración propia.

Cantidad de tubería plomería PVC, gas

Item	Longitud (m)
AGUA FRÍA	1.829
1"	1.799
2"	30
AGUAS LLUVIAS	267
2"	152
4"	106
5"	1
6"	8
AGUAS RESIDUALES	8
2"	8
COBRE_AGUA CALIENTE	812
1"	812
GAS - POLIETILENO	612
1"	612
PVC sanitaria y aguas lluvia PAVCO	2.006
2"	1.506
4"	485
6"	15
PVC ventilación	738
2"	738
Total general	6.272

Tabla 20. Cantidad de tubería de plomería y gas.
Elaboración propia.

Cantidad accesorios eléctricos

Item	Cant (und)
CAJA ENERGIA 0.60x0.60x0.90	9
CAJA MACROMEDIDOR	2
CAJA TELEFONIA Y TV 0.60x0.60x0.90	4
I_Bombilla + Plafón	62
I_Bombilla + Plafón Ojo De Buey, Recesada 10W	640
Interruptor Sencillo	207
PROTEGIDO POR GFCI	113
TABLERO ELECTRICO 20 x 20	33
Toma GFCI	40
Toma normal	519
Toma trifasico	32
TOMACORRIENTE CON TAPA EXTERIOR	1
Total general	1.662

Tabla 21. Cantidad de accesorios eléctricos.
Elaboración propia.

Suma de Total Kg	Kg/piso					SOTANO	TODOS	Total general
Marca	PISO 1	PISO 2	PISO 3	PISO 4	PISO 5			
⊕ Structural Rebar ESTRIBO 1/2" - 3,87 x 0.12 - anillo						3.974		3.974
⊕ Structural Rebar ESTRIBO 3/8" - 0.12 x 0.37 - gancho	61	57	51	50	52	53		324
⊕ Structural Rebar ESTRIBO 3/8" - 0.22 x 0.22 - gancho							880	880
⊕ Structural Rebar ESTRIBO 3/8" - 0.22 x 0.37 - gancho	1.107	1.032	937	920	953	961		5.910
⊕ Structural Rebar ESTRIBO 3/8" - 0.32 x 0.32 - gancho							2.228	2.228
⊕ Structural Rebar ESTRIBO 3/8" - 0.32 x 0.37 - gancho	10	9	8	8	8	8		52
⊕ Structural Rebar ESTRIBO 3/8" - 0.72 x 0.32 - gancho							526	526
⊕ Structural Rebar ESTRIBO 3/8" - 0.82 x 0.12 - gancho							176	176
⊕ Structural Rebar ESTRIBO 3/8" - 2.20 x 0.17 - gancho							1.452	1.452
⊕ Structural Rebar ESTRIBO 3/8" - 2.22 x 0.12 - gancho							412	412
⊕ Structural Rebar ESTRIBO 3/8" - 2.42 x 0.12 - gancho							445	445
⊕ Structural Rebar ESTRIBO 3/8" - 2.42 x 0.17 - gancho							4.355	4.355
⊕ Structural Rebar ESTRIBO 3/8" - 3,87 x 0.12 - gancho							689	689
⊕ Structural Rebar GANCHO 1/4" - 0.37 - 0.07 gancho NERVIO	260	242	220	216	223	225		1.385
⊕ Structural Rebar GANCHO 3/8" - 0.37 - 0.11 gancho	9	8	7	7	8	8		47
⊕ VARILLA no. 3 - 3/8 "	317	296	269	264	273	275		1.694
⊕ VARILLA no. 4 - 1/2 "	2.623	2.446	2.220	2.179	2.258	2.276	3.626	17.629
⊕ VARILLA no. 5 - 5/8 "	3.500	3.263	2.962	2.908	3.013	3.037	1.055	19.738
⊕ VARILLA no. 6 - 3/4 "	1.424	1.327	1.205	1.183	1.225	1.235	30.396	37.995
⊕ VARILLA no. 7 - 7/8 "	528	493	447	439	455	458		2.820
⊕ VARILLA no. 8 - 1 "							18.022	13.103
Total general	9.839	9.173	8.326	8.174	8.468	30.532	59.341	133.853

Tabla 22. Cartilla con cantidad total de acero, resumen.
Elaboración propia.

Suma de Total Kg	Kg/piso					SOTANO	TODOS	Total general
Marca	PISO 1	PISO 2	PISO 3	PISO 4	PISO 5			
⊖ VARILLA no. 5 - 5/8 "	3.500	3.263	2.962	2.908	3.013	3.037	1.055	19.738
6	25	23	21	20	21	21		132
7	477	444	403	396	410	414		2.544
8	264	246	223	219	227	229		1.409
C-06							1.055	1.055
V-07	420	392	355	349	362	364		2.242
V-12	27	25	23	22	23	23		144
V-13	54	50	46	45	46	47		288
V-14	72	67	61	60	62	62		384
V-17	12	12	10	10	11	11		66
V-11	172	161	146	143	148	149		919
V-23	41	38	35	34	35	36		219
V-01	480	448	406	399	413	417		2.563
V-03	217	202	183	180	187	188		1.157
V-04	211	196	178	175	181	183		1.124
V-21	100	93	84	83	86	87		533
V-22	41	38	35	34	35	36		219
V-05	238	222	201	198	205	207		1.271
V-02	405	378	343	336	349	351		2.162
N-04	12	11	10	10	10	10		63
N-07	209	194	176	173	180	181		1.113
N-03	25	23	21	21	21	21		132

Tabla 23. Cartilla con cantidad de acero de una referencia de varilla, ejemplo.
Elaboración propia.

Algunas ventajas significativas de obtener los presupuestos bajo la metodología 5D, BIM:

- Si el modelo sufre cambios o variaciones durante el proceso constructivo (algo bastante común), los ítems y las cantidades también se actualizarán de manera automática. Al trabajar en un modelo coordinado por todas las disciplinas, dichas cantidades podrán ser consultadas por el área de presupuestos, para que se pueda llevar un control y actualización rigurosa del presupuesto (Marzouk & Hisham, 2014).
- La implementación de BIM en la elaboración de presupuestos, frente al modelo tradicional, ayuda a disminuir la posibilidad de variación del presupuesto real contra el presupuesto ejecutado. Bajo este esquema es posible listar con mayor seguridad las actividades y cantidades de obra a tener en cuenta en el presupuesto y así poder disminuir imprevistos e incertidumbres en el cálculo de cantidades (Porrás Díaz et al., 2015).

Nota.

En el presente estudio no se pudo determinar ni escoger el presupuestador antes de comenzar con la modelación 3D. Es necesario recalcar que la condición ideal sería escoger desde el comienzo la empresa a cargo del presupuesto, y hacer el modelo 3D teniendo en cuenta su propia estructura de costos y nomenclatura, con capítulos, subcapítulos, recursos, actividades e insumos codificados para que corresponda a las entidades del modelo 3D, de tal forma que la información generada desde dicho modelo 3D sea compatible directamente con el área de presupuestos, y fácil de transmitir y actualizar.

5. PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN

Luego de la aplicación de la metodología BIM en un proyecto propio de la empresa, caso de estudio, se desarrolló una metodología de trabajo para el área de diseño. Dicha metodología se logró consignar en un flujo de trabajo, donde se identifican los diferentes autores que intervienen en la gestión de un proyecto arquitectónico. A su vez se clasifican las actividades de acuerdo a las dimensiones del BIM y los niveles de desarrollo de los modelos arquitectónicos, según corresponda.

5.1. Nuevo flujo de trabajo en OA+M

El flujo de trabajo aquí propuesto deberá ser el que se utilice para los futuros proyectos de diseño y construcción de la empresa. Su resultado se podrá evaluar con el paso del tiempo y la implementación en varios proyectos, donde se podrán obtener conclusiones, modificaciones y mejoras continuas al flujo que se muestra a continuación.

DIAGRAMA FLUJO TRABAJO, METODOLOGÍA BIM EN OA+M

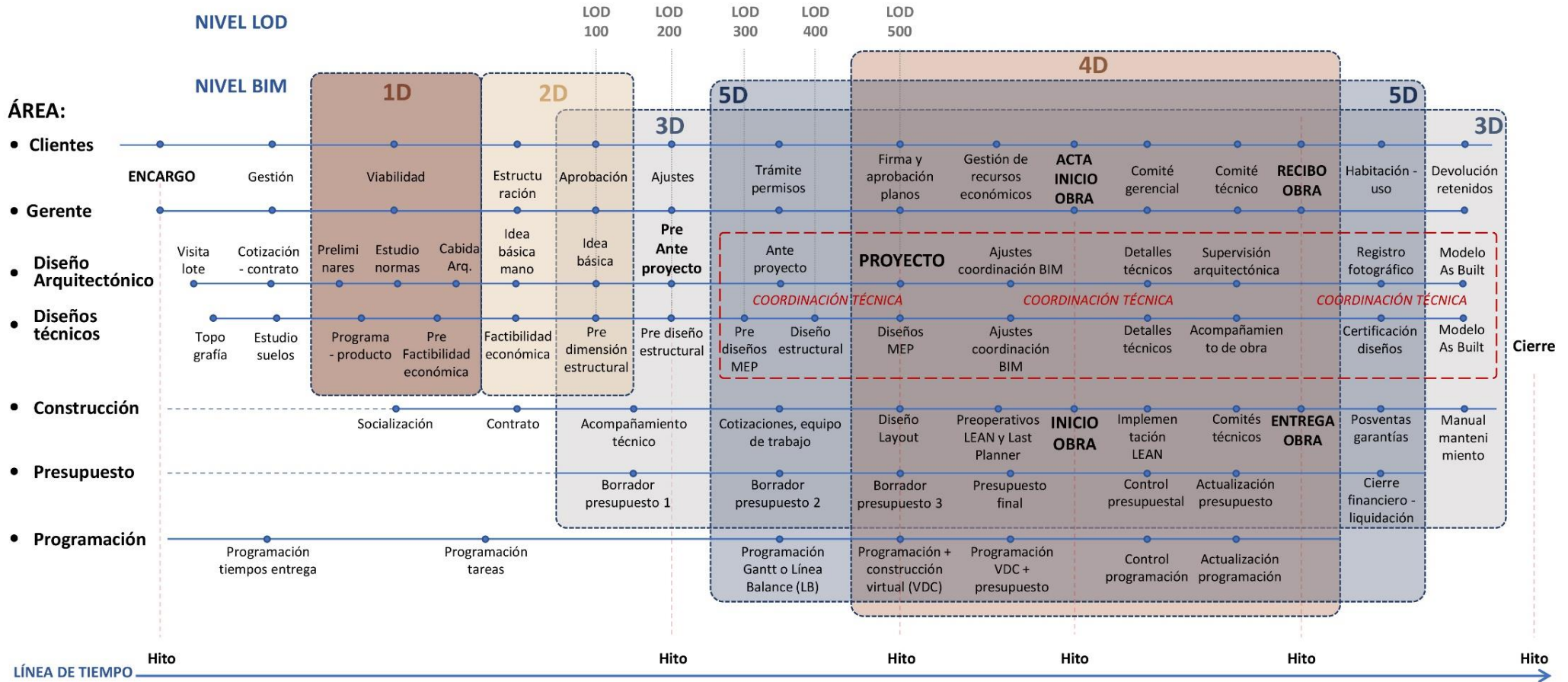


Ilustración 123. Diagrama de flujo de trabajo, metodología BIM en OA+M.
Elaboración propia.

El flujo de trabajo es una línea temporal. El eje X es la línea de tiempo. En el eje Y se aprecian las diferentes áreas intervinientes en el proyecto. A medida que se avanza en el tiempo van apareciendo tareas o actividades que son asignadas a cada área. Algunas de las tareas pertenecen a cierto nivel BIM.

Este flujo comienza con la primera actividad del cliente que es el “encargo” y los primeros acercamientos a qué es lo que desea diseñar, y cuáles son sus necesidades; representada con una bola de color azul. Luego se aprecia cómo las nuevas actividades se van correlacionando con los diferentes intervinientes en el flujo, entre ellos el área de arquitectura, protagonista de esta investigación.

Las dimensiones o niveles de BIM agrupan algunas de las actividades del flujo, según corresponda su grado de dificultad. Desde el área de arquitectura se agrupan de la siguiente manera:

- BIM 1D: Se lleva a cabo el estudio normativo de un lote, y con el levantamiento topográfico se hace una cabida arquitectónica para validar posteriormente la viabilidad del proyecto y sus requerimientos particulares. Para ello se utiliza el software Revit Architecture, en 2D.
- BIM 2D: Si el proyecto es viable y se tiene aprobación por parte de gerencia o cliente para continuar con el diseño arquitectónico, se comienza a elaborar la idea básica, donde se exploran distribuciones básicas, volumetría, funcionalidad y uso. Inicialmente se desarrollan dibujos a mano y luego son modelados en 3D, a un nivel LOD 100.
- BIM 3D – Pre anteproyecto: Una vez aprobada la idea básica se procede con la maduración del proyecto, en términos de materialidad, espacialidad y distribución del programa. El modelado 3D pasa a un LOD 200, donde empieza a coger forma el proyecto y se empieza a organizar estructuralmente. En paralelo se comienza a hacer los primeros diseños MEP por parte de los diseñadores técnicos.

- BIM 3D – Ante proyecto: En esta etapa se termina de estructurar el proyecto arquitectónico en términos de funcionalidad. Se definen las medidas finales, cuadro de áreas y funcionalidad del proyecto. Comienzan labores de coordinación técnica donde se concilia la arquitectura con la estructura, y se empiezan a chequear los diseños técnicos MEP. Se entregan cantidades preliminares y listado de especificaciones básicas al presupuestador. Los clientes pueden visualizar primeras imágenes realistas del proyecto. El gerente procede a radicar el proyecto en las entidades competentes para el trámite de los permisos de construcción.
- BIM 3D – Proyecto: Durante el tiempo que tarda la aprobación del proyecto por parte de entidades competentes, se elaboran los detalles y especificaciones técnicas del proyecto. Se entregan planos de detalles al constructor y se hace una entrega formal a presupuestadores y programadores de obra. También se hace una entrega formal de todo el proyecto arquitectónico a los clientes y al constructor.
- BIM 4D y BIM 5D: En esta etapa se concilia la programación de obra junto con todos los elementos modelados en 3D, incluyendo el presupuesto 5D, obteniendo así una simulación virtual de la construcción del proyecto VDC, 4D. Se gestionan los recursos económicos. Se aprueban y firman planos, se firma el acta de inicio de obra e inicia la construcción del proyecto.

Durante la construcción del proyecto comienza el acompañamiento por parte de los diferentes diseñadores. Se resuelven detalles constructivos. Continúa la coordinación técnica. Se hace una supervisión arquitectónica, controles presupuestales y controles a la programación de obra. Comités técnicos, gerenciales, financieros. Finalmente se entrega la obra. Luego de entregada la obra, se atiende cualquier tipo de posventa o garantía necesaria, se actualiza el modelo según haya quedado la construcción (planos récord o as built) y se entregan planos finales junto con los modelos respectivos. Se liquida el proyecto. Se hace el cierre final.

Según el marco teórico, el flujo de trabajo propuesto para la empresa tiene un alcance hasta la etapa 2 de desarrollo BIM “Colaboración basada en el modelo”. En la coordinación técnica se lleva a cabo la labor de colaborar activamente con otras disciplinas técnicas, entre los ciclos de vida del proyecto de diseños [D] y de construcción [C]. La operación [O] queda en cabeza del cliente o el gerente, porque a la fecha no es un servicio que la empresa desee prestar por el momento.

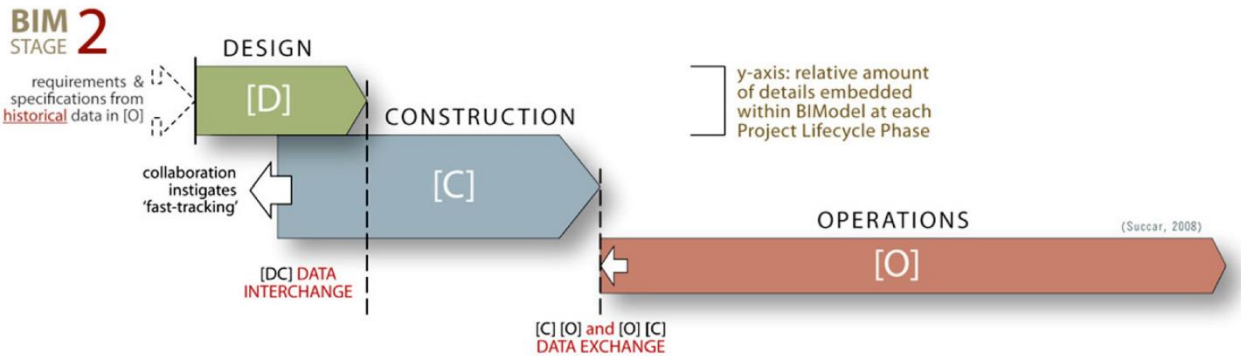


Ilustración 124. Etapa 2 de desarrollo BIM, colaboración basada en el modelo. Tomado de: Succar, 2009.

5.2. Listado de chequeo de arquitectura

Para un correcto funcionamiento del flujo de trabajo presentado anteriormente, se diseñó un listado de chequeo de actividades y procesos que el área de arquitectura debe ejecutar y tener en cuenta para un correcto desarrollo del diseño y una buena gestión del proyecto a entregar al área de construcción. Con las actividades listadas a continuación, al área de construcción se le facilita considerablemente la edificación de los proyectos, al contar con información al día, coordinada, completa y revisada.

LISTA DE CHEQUEO DE ARQUITECTURA, OA+M						
ETAPA	ITEM	APLICA? (SI/NO)	COMENTARIO	HERRAMIENTA	ENCARGADO	CHECK
PRELIMINARES	Abrir carpeta del proyecto, con plantilla, en la nube (google drive)			Google Drive	Arq. Encargado	
	Abrir carpeta física. Nomenclar. Guardar en archivador			Archivador	Arq. Encargado	
	Reunión inicial con cliente. Socialización, conocer necesidades			Empresa	Cliente	
	Elaborar programa de necesidades del cliente, según reunión			Presentación	Coordinador proy.	
	Definir producto y concepto del proyecto			Presentación	Taller Arq.	
	Estudio de referentes			Presentación	Taller Arq.	
	Visitar el lote			Empresa	Coordinador proy.	
	Levantamiento topográfico				Topografía	
	Estudio Reglamento de propiedad horizontal (RPH)				Cliente	
	Estudio de suelos				Geotecnista	
	Averiguar normativa, curaduría o ente competente, completa			Altura, Densidad, Ocupación, Retiros, Usos, Parqueaderos, Vías, Otros	Entidades públicas, visita	Arq. Encargado
Diseño de cabida				Revit	Taller Arq.	
Cuadro área básico				Excel	Arq. Encargado	
Prefactibilidad				Excel	Coordinador proy.	
				-		
IDEA BASICA - A MANO	Abrir carpeta de dibujos física. Nomenclar. Guardar en archivador			Archivador	Arq. Encargado	
	Lluvia de ideas, en mesa de taller			Mano	Taller Arq.	
	Estudio de referentes, armar presentación			Presentación	Arq. Encargado	
	Bocetos e ideas a mano			Mano	Taller Arq.	
	Planimetría básica			Mano	Arq. Encargado	
	Volumen básico			Mano	Arq. Encargado	
	Materialidad y estilo			Presentación	Taller Arq.	
	Presentación de idea básica a mano			Presentación	Coordinador proy.	
IDEA BASICA - DIGITAL	Abrir plantilla Rvt OA+M			BIM 3D	Arq. Encargado	
	Importar y modelar terreno			BIM 3D	Arq. Encargado	
	Emplazamiento del proyecto			BIM 3D	Arq. Encargado	
	Estudiar Materialidad			Presentación	Taller Arq.	
	Mobiliario básico			BIM 3D	Coordinador proy.	
	Ubicación Mobiliario arquitectónico			BIM 3D	Coordinador proy.	
	Bocetos			Presentación	Taller Arq.	
	Elaboración de planimetría básica			BIM 3D	Arq. Encargado	
	Cuadro de áreas			BIM 3D	Coordinador proy.	
	Prefactibilidad			Excel	Coordinador proy.	
	Ventanas y puertas básicas			BIM 3D	Arq. Encargado	
Presentación de idea básica digital			Concepto, esquemas, bocetos, referentes, planta digital	Presentación	Arq. Encargado	
PRE - ANTEPROYECTO	Definir espacios según programa			BIM 3D	Coordinador proy.	
	Definir muros			BIM 3D	Arq. Encargado	
	Definir bordes de losa			BIM 3D	Arq. Encargado	
	Predimensionamiento estructural			BIM 3D	Ing. Claculista	
	Estudio de Suelos, entrega a estructural				-	
	Enumerar modificaciones a realizar				Excel	Coordinador proy.
	Definir distribución espacial				BIM 3D	Coordinador proy.
	Definir niveles de obra				BIM 3D	Coordinador proy.
	Enviar información al diseñador estructural			Niveles generales	BIM 3D	Arq. Encargado
				Niveles de losa para decks	BIM 3D	Arq. Encargado
				Jardineras internas	BIM 3D	Arq. Encargado
	Enviar información a los diseñadores técnicos MEP				BIM 3D	Arq. Encargado
	Definir altura de techos				BIM 3D	Coordinador proy.
	Definir altura de cielos				BIM 3D	Coordinador proy.
	Definir ejes estructurales				BIM 3D	Coordinador proy.
	Modelar losas con sistema estructural				BIM 3D	Arq. Encargado
	Modelar Columnas con pre dimensionamiento basico				BIM 3D	Arq. Encargado
	Modelar vigas con presimensionamiento básico				BIM 3D	Arq. Encargado
	Modelar muros con grosor y material real				BIM 3D	Arq. Encargado
	Modelar pisos con grosor y acabado				BIM 3D	Arq. Encargado
	Corregir y proponer puertas y ventanas				BIM 3D	Arq. Encargado
	Modelar Techos - Cubiertas				BIM 3D	Arq. Encargado
	Modelar cielo falso				BIM 3D	Arq. Encargado
	Definir dimensiones para cortineros - Dilataciones para ventanería				BIM 3D	Arq. Encargado
	Definir distribución para muebles fijos				BIM 3D	Arq. Encargado
	Definir distribución para mobiliario general				BIM 3D	Arq. Encargado
	Definir idea básica de iluminación				BIM 3D	Coordinador proy.
	Renders básicos				BIM 3D	Arq. Encargado
	Planimetría PDF				BIM 3D	Arq. Encargado
	Exportar documentos para cotización de diseño estructural			Planos DWG o 3D	BIM 3D	Arq. Encargado
	Crear modelo centralizado para coordinación técnica BIM				BIM 3D	Coordinador proy.
	Reunión con Diseñadores técnicos MEP			Planos PDF	BIM 3D	Coordinador proy.
				Imágenes explicativas	BIM 3D	Arq. Encargado
				Planta borde de losa DWG	BIM 3D	Arq. Encargado
			Modelo REVIT completo	BIM 3D	Arq. Encargado	
Enviar información a programador y presupuestador de obra			Modelo REVIT con estructura aislada	BIM 3D	Arq. Encargado	
			Renders	BIM 3D	Arq. Encargado	
			Modelo 3D AUTOCAD (Opcional)	BIM 3D	Arq. Encargado	
Entrega de PRE Anteproyecto				BIM 3D	Coordinador proy.	

Tabla 24. Lista de chequeo de arquitectura en OA+M, parte 1.

Elaboración propia.

ANTE PROYECTO	Coordinación técnica, comité inicial, socialización		BIM 3D	Comité
	Revisión de modelo estructural BIM	Niveles, Ejes estructura vs Ejes	BIM 3D	Ing. Claculista
		Arq., Altura vigas, Cimentaciones,	BIM 3D	Ing. Claculista
		Losas de contrapiso, Fundaciones,	BIM 3D	Ing. Claculista
	Revisión de modelos MEP		BIM 3D	Técnicos
	Coordinación técnica, comités, análisis de interferencias y colisiones		BIM 3D	Comité
	Corregir muros según estructura final		BIM 3D	Arq. Encargado
	Eliminar elementos estructurales previos		BIM 3D	Arq. Encargado
	Dimensiones de puertas según estructura final		BIM 3D	Arq. Encargado
	Dimensiones de ventanería y puertas vidrieras según estructura final		BIM 3D	Arq. Encargado
	Adecuar cubierta		BIM 3D	Arq. Encargado
	Adecuar cielo falso y cortineros		BIM 3D	Arq. Encargado
	Pisos acabados		BIM 3D	Arq. Encargado
	Planos con especificaciones de todos los acabados	Materiales, especificaciones técnicas, espesores.	BIM 3D	Arq. Encargado
	Plano de iluminación interior		BIM 3D	Arq. Encargado
	Mobiliario arquitectónico		BIM 3D	Arq. Encargado
	Cuadro de puertas y ventanas		BIM 3D	Arq. Encargado
	Coordinación técnica de diseños MEP y estructural. BIM		BIM 3D	Comité
	Planimetría y especificaciones de:	Detalles Vestier	BIM 3D	Arq. Encargado
		Carpintería arquitectónica	BIM 3D	Arq. Encargado
		Iluminación	BIM 3D	Arq. Encargado
		Paisajismo	BIM 3D	Arq. Encargado
		Mampostería	BIM 3D	Arq. Encargado
		Especificación materiales de acabado	BIM 3D	Arq. Encargado
		Jacuzzi - Piscina	BIM 3D	Arq. Encargado
		Detalles constructivos generales	BIM 3D	Arq. Encargado
		Pasamanos	BIM 3D	Arq. Encargado
		Escaleras	BIM 3D	Arq. Encargado
		Modulación enchapes	BIM 3D	Coordinador proy.
	Cocina	Planta - cortes - fachada	BIM 3D	Arq. Encargado
		Especificación de iluminación	BIM 3D	Coordinador proy.
		Especificación de acabados	BIM 3D	Coordinador proy.
		Ubicación de aparatos eléctricos	BIM 3D	Coordinador proy.
		Ubicación de rejillas (desague - ventilación)	BIM 3D	Coordinador proy.
	Detalles baños	Especificación de grifería	BIM 3D	Coordinador proy.
		Modulación enchapes	BIM 3D	Coordinador proy.
		Especificación cabina	BIM 3D	Coordinador proy.
		Ubicación de rejillas (desague - ventilación)	BIM 3D	Coordinador proy.
		Especificación de ducha	BIM 3D	Coordinador proy.
		Especificación mezclador	BIM 3D	Coordinador proy.
		Especificación lavamanos	BIM 3D	Coordinador proy.
	Plano puertas y ventanas	Especificación grifería	BIM 3D	Coordinador proy.
		Especificación sanitario	BIM 3D	Coordinador proy.
		Acabado	BIM 3D	Coordinador proy.
		Tipo de Vidrio	BIM 3D	Coordinador proy.
	Elaborar plano detallado de mampostería	Manijas	BIM 3D	Coordinador proy.
		Sistema de apertura	BIM 3D	Coordinador proy.
Puertas y Ventanas		BIM 3D	Arq. Encargado	
Electricidad		BIM 3D	Arq. Encargado	
Hidraulicos		BIM 3D	Arq. Encargado	
Gas		BIM 3D	Arq. Encargado	
Imprimir y enviar planimetría para curaduría	Redes en general	BIM 3D	Arq. Encargado	
	Domotica	BIM 3D	Arq. Encargado	
	Plantas generales	BIM 3D	Arq. Encargado	
	Planta de cubiertas	BIM 3D	Arq. Encargado	
	Fachadas	BIM 3D	Arq. Encargado	
	Secciones	BIM 3D	Arq. Encargado	
	Renders nivel medio	BIM 3D	Arq. Encargado	
	Cuadro de areas	BIM 3D	Arq. Encargado	
	Sección vial	BIM 3D	Arq. Encargado	
	Ubicación	BIM 3D	Arq. Encargado	
Enviar información # 02 a presupuestador, con cantidades extractadas del 3D BIM	Plantilla excel	BIM 3D	Coordinador proy.	
Detección de colisiones	Navisworks Manage	BIM 4D	Coordinador proy.	
Coordinación técnica de diseños MEP y estructural. BIM	Navisworks Manage	BIM 4D	Coordinador proy.	
			-	

Tabla 25. Lista de chequeo de arquitectura en OA+M, parte 2.
Elaboración propia.

PROYECTO	Inicio de modelo 4D, sincronizado con los modelos BIM 3D.		Navisworks Manage	BIM 4D	Coordinador proy.	
	Revisar y confirmar modelo estructural			BIM 4D	Coordinador proy.	
	Revisar y confirmar modelos MEP			BIM 4D	Coordinador proy.	
	Coordinación técnica, con corrección interferencias y colisiones, llevadas a cero		Navisworks Manage	BIM 4D	Coordinador proy.	
	Elaborar plano para marcación de terreno en obra			BIM 3D	Arq. Encargado	
	Marcar emplazamiento en terreno u obra			BIM 3D	Arq. Encargado	
	Elaborar plano detallado de mampostería			BIM 3D	Arq. Encargado	
	Elaborar secciones de mampostería			BIM 3D	Arq. Encargado	
	Renders finales			BIM 3D	Arq. Encargado	
	Revisión y aprobación presupuesto			BIM 3D	Construcción	
	Revisión y aprobación de programación			BIM 3D	Construcción	
	Entrega final de flujo de caja			BIM 3D	Construcción	
	Entregar paquete final de planimetría para construcción.			BIM 3D	Arq. Encargado	
	Entregar modelo 3D final para construcción			BIM 3D	Arq. Encargado	
	Entregar modelo 4D final para supervisión de construcción			BIM 4D	Coordinador proy.	
				-		
				-		
				-		
EN CONSTRUCCIÓN	Dirección y supervisión arquitectónica			BIM 3D	Coordinador proy.	
	Elaborar detalles de obra según programación semanal LEAN			BIM 3D	Arq. Encargado	
	Actualizar modelo 3D según cambios solicitados de obra			BIM 3D	Arq. Encargado	
	Actualizar modelo 4D según cambios solicitados de obra			BIM 3D	Coordinador proy.	
	Acompañamiento en comités de obra			BIM 3D	Coordinador proy.	
	Registro fotográfico para avance de obra			BIM 4D	Coordinador proy.	
	Registro fotográfico para banco de imágenes			BIM 3D	Arq. Encargado	
				-		
POST CONSTRUCCIÓN	Planos As Built (planos récord), entrega de modelo BIM coordinado			BIM 3D	Arq. Encargado	
	Estudio fotográfico profesional		Contratar con empresa profesional	Fotógrafo		
	Cierre de proyecto		Acta de entrega de documentos arquitectónicos, planos, modelos BIM	PORTAFOLIO	Coordinador proy.	
	Comentarios:					

Tabla 26. Lista de chequeo de arquitectura en OA+M, parte 3.
Elaboración propia.

5.4. Propuesta de equipamientos para obras en construcción

Con la implementación de BIM en un proyecto propio de la empresa, surgen también algunas necesidades y requerimientos para que el área de construcción de la empresa pueda estar en constante comunicación y activa dentro los flujos de trabajo establecidos con el área de diseño; entre ellas:

En cada obra de la empresa, de acuerdo a su tamaño y alcance, por sugerencia y necesidad del área de diseño, se debe:

- Contar con una persona capacitada o por lo menos conocedora de la metodología BIM, preferiblemente el residente de obra, con buen manejo del software Revit.
- Tener un buen computador, portátil, con los softwares BIM seleccionados (Revit Architecture y Navisworks), junto con sus complementos (Microsoft Project, software de control de presupuesto) y la versión básica de Microsoft Office. Deberá contar con Windows 10, marca Asus, Dell o Hacer, con 16 Gb de memoria RAM, tarjeta de video independiente de 2 Gb, procesador Core i7 marca Intel de 3.200 GHZ, teclado numérico, mouse, protector de teclado, protector de pantalla, estuche para portarlo.
- Contar con una buena cobertura de internet inalámbrico, preferiblemente en toda la extensión de la obra, con una contraseña que se actualice cada cierto tiempo para evitar mal uso de la red, con una velocidad mínima de 10 Mb/s de subida, 2 Mb/s de bajada, un PING mínimo de 80 ms.
- Con el fin de monitorear el avance de obra día a día, se deben instalar 2 cámaras de video tipo Domo HD 1080 p (2 mp) marca Hikvision o similar. Un DVR (puede ser el mismo de la seguridad de la obra) con 8 canales, marca Hikvision Turbo HD, resolución 1080 p. Disco duro tipo Sata (SSD si es posible) desde 1 TB. Se debe

poder acceder a monitorear el avance de obra remotamente desde internet, a través de la aplicación iVMS o Hik-Connect.

- Tener una pantalla o televisor de mínimo 40", LCD, Full HD donde se pueda proyectar y exponer el contenido digital y los modelos BIM, para facilitar la visualización de detalles específicos en 2D y 3D al instante, e inclusive, mostrar el avance de obra y presupuesto bajo la filosofía del BIM 4D y 5D.
- Dependiendo del tamaño de la obra, instalar una impresora mínimo tamaño carta (si la obra es pequeña) o un plóter, tamaño de hoja mínimo Super B, ojalá medio pliego (si la obra es grande); para imprimir y entregar detalles constructivos a los contratistas y maestros de obra cada que los necesiten, para que los puedan llevar consigo durante sus recorridos dentro de la edificación.
- Dependiendo de la extensión de la obra, facilitar 1 tableta para visualizar los modelos BIM, portarlos e incluso hacer requerimientos sobre el mismo con mayor versatilidad, mediante la utilización de la aplicación Autodesk 360. Marca Samsung, con lápiz, pantalla de 8.5" o más, acceso a internet Wifi. Con el uso de la tableta, es posible montar pedidos de materiales pendientes en obra, tomar fotos de hallazgos, hacer actas y memorias de ejecución de cantidades para liquidar cortes de obra, entre otros, al instante y sincrónicamente con los demás integrantes del equipo de trabajo.

5.5. Beneficios de la metodología BIM vs. Tradicional OA+M

ÁREA	#	Ítem	Metodología Anterior	Metodología Nueva
DISEÑO	1	Dimensiones BIM	Modelación hasta 3D, ilustrativa. Útil para renders	Modelación hasta 4D, útil para visualización de construcción VDC
	2	Alcance BIM	Se modela en 3D la arquitectura. Se involucra la estructura como un IFC (archivo externo)	Se modela en 3D la arquitectura. Cada diseñador técnico entrega su modelo
	3	Nivel desarrollo BIM	Implementación de LOD BIM 200, para ilustrar únicamente. Baja especificación	Implementación de LOD BIM 500. Permite consultar información valiosa de cada uno de los objetos del modelo. Muy útil para programación 4D, presupuesto de obra, renders
	4	Metodología de trabajo	Trabajo aislado. Arquitectura tiene un modelo 3D. Los diseñadores técnicos tienen planos en 2D. No se sincronizan con arquitectura. Trabajo por medio de correos electrónicos	Trabajo colaborativo. Se pone en línea, en un servidor de Revit 3D - 360, para que cada diseñador técnico tenga acceso y pueda incluir su diseño y modelo en 3D
	5	Coordinación técnica	La realiza el constructor durante la construcción, con chequeos en campo, durante la ejecución	Se realiza antes de iniciar construcción y durante la construcción, con cada profesional técnico y un coordinador líder
	6	Chequeo de interferencias	Chequeo de interferencias sólo con la estructura. En el modelo 3D. Metodología visual	Chequeo de interferencias de todas las disciplinas técnicas involucradas. En software externo, especializado, Navisworks Manage. Se informan colisiones, se sugieren modificaciones. Reuniones de coordinación
	7	Comunicación, manejo de información	A través de correos y comités de diseño y obra. Esperar respuesta. Se pierde tiempo e información. Múltiple versionamiento	A través de un modelo compartido, en línea, al instante. Información actualizada. Único versionamiento.
	8	Sistema de nomenclatura, plantillas	Libre, según cada proveedor. No hay normativa ni estándar	Creación y aplicación de un sistema único de nomenclatura de archivos y objetos. Común para cada diseñador
	9	Incidencia de modificaciones arquitectónicas	Alto. Las obras están en curso, diseños sin terminar. Las modificaciones implican decisiones y cambios de obra, reprocesos, costos	Medio. Los diseños están muy avanzados antes de iniciar obra. Cambios fáciles de realizar antes de comenzar obra, o recién comenzada.
	10	Esfuerzo vs tiempo	El esfuerzo dedicado al comienzo del diseño es poco. Esfuerzo al final es alto. Tiempo diseñando es mayor	El esfuerzo dedicado al comienzo del diseño es alto. Esfuerzo al final es poco. Tiempo diseñando es menor
	11	Personal capacitado	La oferta de personal que diseña en 2D es alta, económica	La oferta de personal que diseña en 3D BIM es baja, costosa
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN	12	Inicio de obra	Comienza obra sólo con diseño arquitectónico a nivel de Anteproyecto	Comienza obra sólo con diseño arquitectónico a nivel de Proyecto, con diseños estructurales y técnicos MEP
	13	Programación de obra y control. Simulación de avance	Se elabora una programación de obra tipo Gantt, momentos antes de iniciar construcción. No se hace control de avance de obra. No se simula el avance de obra.	Se elabora una programación de obra tipo Gantt, se verifica bajo línea de balance su aplica. Se modela virtualmente su construcción en 4D, momentos antes de iniciar construcción. Se lleva control de avance de obra riguroso
	14	Presupuesto y control	Presupuesto se comienza días antes de Inicio de obra. Se obtienen cantidades desde planos en 2D, calculadas manualmente	Presupuesto se tiene cerrado y aprobado antes de construir obra. Se obtienen cantidades desde el modelo 3D (se actualizan ante cualquier modificación del proyecto). Se exportan a cualquier software.
	15	Respuesta ante requerimientos	Los requerimientos y detalles constructivos se van realizando a medida que el constructor o los diseñadores lo solicitan	Los detalles constructivos se tienen listos y previstos antes de inicio de obra.
	16	Asistencia a comités de obra	A medida que la obra lo requiera, con visitas limitadas	Se asiste a comités de coordinación técnica y de avance de programación 4D
	17	Aporte a cortes de obra, vales	No. Cantidades no se pueden extraer. Elementos sin nombrar	Si. Cantidades se pueden extraer del modelo, totalizar, ingresar información.
	18	Modelo As Built	Se entrega archivos separados de cada disciplina, actualizados	Se entrega un modelo 3D sincronizado con el estado real de la construcción, con cada una de las disciplinas técnicas involucradas

Tabla 28. Beneficios de la metodología BIM vs. Metodología tradicional de OA+M.
Elaboración propia.

En la tabla anterior se muestran algunas de las ventajas que, después de haber realizado la presente investigación, se aprecian entre la metodología de trabajo BIM propuesta en el marco teórico, comparando con la metodología tradicional de la empresa. A su vez es la síntesis y la comparación del flujo de trabajo anterior de OA+M, vs el nuevo flujo de trabajo para la empresa.

Un aspecto importante para nombrar en este capítulo de beneficios y que no aparece en la anterior tabla, es el “valor” percibido por todas las personas que intervienen en el proyecto: diseñadores arquitectónicos, técnicos, estructurales, constructores, proveedores, contratistas. Pero en especial, el “valor” que percibe el cliente, en cuanto a orden, innovación, experiencia, rigor, velocidad, veracidad de la información, cumplimiento, precisión, profesionalismo.

Este “valor” o beneficio agregado al implementar de una manera correcta la nueva metodología BIM propuesta, será un vehículo que facilite a la empresa ser más competitiva, más renombrada, más recomendada; por lo tanto incentiva su crecimiento y posiblemente aumente sus utilidades. Estos ideales, claro está, dependen de muchas otras variables (administrativas, técnicas, constructivas, profesionales etc.), pero con la correcta implementación del BIM se facilita su consecución.

6. DISCUSIÓN FINAL

Durante la revisión bibliográfica y la implementación de la metodología BIM al proyecto real, caso de estudio de la presente investigación, se pueden constatar algunas ventajas como: mayor facilidad para planear de manera eficiente una construcción, mayor coordinación interdisciplinaria y más rapidez en los procesos. A continuación se describen, por subcapítulos, algunas de las conclusiones, sugerencias y aspectos por mejorar respecto al BIM a nivel de empresa y a nivel nacional.

6.1. Aspectos nuevos para la empresa

Con el presente estudio y sobre todo con el capítulo de Implementación, se logró que el área de diseño de la empresa OA+M incluyera nuevos procesos dentro de su metodología de trabajo, entre ellos:

- **Generación y entrega de información.**

Antes de elaborar esta investigación, la empresa modelaba sus diseños en Revit 3D con un nivel de desarrollo meramente ilustrativo, que consumía gran cantidad de tiempo, y al final aportaba información valiosa pero sólo para representar proyectos. Con una modelación BIM rigurosa, siguiendo los lineamientos aprendidos, donde cada elemento modelado se parametrize con suficiente información, se pueden obtener modelos supremamente valiosos que permiten entregar informes y documentos para la construcción como: planos de fabricación, despieces, cantidades y planos constructivos con un alto nivel de detalle, que facilitan la comprensión y la ejecución de procesos constructivos.

Esta calidad de información facilita la comprensión del proyecto para todas las disciplinas técnicas intervinientes, minimizando significativamente las dudas e incertidumbres que surgen durante los procesos de construcción.

- **Trabajo colaborativo.**

El hecho de que varias personas puedan trabajar simultáneamente en el mismo modelo disminuye el tiempo que tarda la elaboración de los diseños, y aumenta el rigor técnico de la información y el nivel de detalle, al ser más personas las que supervisan y se retroalimentan entre sí. Para lograr este esquema de trabajo fue necesario para la empresa hacer inversiones en capacitación de personal y equipos tecnológicos, como también implementar nuevos formatos para una correcta supervisión y ejecución del modelado BIM.

A la fecha de este estudio no es posible cuantificar la eficiencia de la metodología BIM comparado con la metodología tradicional de diseño de la empresa, puesto que el proyecto Avanti es el primero que se realiza bajo este nuevo esquema. Con la modelación y la implementación a nuevos proyectos se podrá obtener más información para evaluar las ventajas y las desventajas de la implementación del BIM dentro de OA+M.

- **Comunicación y versionamiento.**

La metodología utilizada en proyectos anteriores de la empresa, implicaba estar actualizando constantemente el modelo, guardando nuevas versiones y enviando planimetría a los diferentes diseñadores técnicos, que con el pasar del tiempo, se quedaban con alguna versión antigua del proyecto, y no se enteraban de los ajustes y actualizaciones. Era de carácter obligatorio mantener comunicación constante y proactiva para informar cambios y modificaciones, incurriendo en sobretiempos y reprocesos.

Con la implementación de metodología BIM la comunicación sigue siendo vital, pero al tener un modelo colaborativo, todos los profesionales involucrados tendrán siempre la última versión del modelo y la planimetría. Incluso pueden solicitar al software que le muestre únicamente las modificaciones hechas al modelo, para enterarse y actualizarse con facilidad.

- **Códigos, plantillas y nomenclatura.**

Las plantillas de diseño, códigos y el sistema de nomenclatura utilizado anteriormente por OA+M para modelar sus proyectos en Revit, tuvo que ser rediseñado para poder sacar mayor provecho de la metodología BIM. Tanto planos, familias, hojas, tablas de cantidades y nomenclatura particular se modificaron para que la edición y la entrega de la información fuera más precisa y legible por los demás diseñadores técnicos e intervinientes en el trabajo colaborativo.

- **Aprendizaje en exigencias a disciplinas técnicas.**

El haber modelado de 2D a 3D todas las disciplinas técnicas, no se puede considerar únicamente como un reproceso, puesto que durante este ejercicio se aprenden temas nuevos y se adquiere conocimiento en temas como: estructura, electricidad, ingeniería hidrosanitaria, entre muchos otros, que pueden ser tenidos en cuenta para nuevos proyectos.

La necesidad de estar pensando en 3 dimensiones para poder hacer un modelo 3D, genera cierto conocimiento y anticipación frente a varios aspectos técnicos presentados en los planos 2D. Gracias a esto, omisiones, correcciones o ajustes se pueden apreciar desde antes de la modelación. Implícitamente se adquieren nuevas destrezas y habilidades.

- **Coordinación técnica.**

En OA+M la coordinación técnica era prácticamente un tema desconocido. Empíricamente era llevado a cabo por el área de construcción, durante la edificación de sus proyectos. Era este departamento quien se encargaba de recibir toda la información y la planimetría de las diferentes disciplinas técnicas en 2D, supervisar su ejecución constructiva, y resolver en el camino las inconsistencias y colisiones que pudieran ocurrir. Bajo este esquema surgía en los proyectos un incremento significativo en los tiempos de ejecución y en los costos de los reprocesos.

Con el estudio de la metodología BIM se pudo determinar y establecer que la coordinación técnica se debe hacer antes de comenzar a construir, para poder dar solución a las diferentes inconsistencias de una manera previa y virtual. Además, debe ser liderada y llevada a cabo por el área de diseño (apoyándose por el área de construcción cuando sea necesario), quien al final se encargará de entregar la información y los detalles constructivos mucho más certeros y confiables.

- **Sincronización entre arquitectura, presupuesto y programación de obra.**

Las programaciones de obra y los presupuestos de los proyectos de la empresa OA+M, en su gran mayoría, son llevados a cabo por su mismo departamento de construcción. Este se encarga de solicitar la información y la planimetría al departamento de diseño, en 2D, y basados en precios y en rendimientos reales, se elabora el presupuesto y la programación de obra. En algunos proyectos no es tenido en cuenta el nivel de detalle y el grado de exigencia arquitectónica que tiene cada proyecto en particular, por lo que el plazo de la programación y el valor del presupuesto muchas veces no se cumplía.

Bajo la metodología BIM, fue posible entregar tanto al presupuestador como al programador de obra, un listado con información de todas las partes diseñadas y modeladas del proyecto, para que fueran tenidas en cuenta durante la elaboración de sus diseños técnicos. Además, después de un buen tiempo de capacitación, pudieron acceder al modelo 3D, extraer información adicional y visualizar de una mejor manera el proyecto en el que estaban trabajando. Bajo este esquema de trabajo es posible obtener presupuestos y programaciones de obra muchos más acertados a la realidad del proyecto.

- **Modelación 4D.**

Durante la elaboración de este tipo de modelado se pudo validar (antes de comenzar la construcción) la veracidad de la programación de obra suministrada vs las condiciones y limitaciones a las cuales se enfrentaría el proyecto en realidad. En este análisis se pudo previsualizar que ciertas actividades como los transportes, la logística,

la lógica constructiva, las limitantes de acceso, los rendimientos y el almacenamiento interno, afectaban (de manera positiva o negativa) los tiempos preestablecidos en la programación de obra. Con este tipo de simulación fue posible estimar un tiempo de ejecución de obra más certero, de acuerdo a las necesidades particulares del proyecto.

6.2. Aspectos por mejorar para la empresa

Después de estudiar e implementar la metodología BIM, surgen para la empresa algunos otros temas por mejorar en sus proyectos.

- **Modelos contractuales.**

Durante la coordinación técnica del proyecto Avanti fue complejo lograr que los diseñadores técnicos asistieran a los comités de coordinación, y más aún, que tuvieran que hacer cambios repetidos de sus diseños. Además no existía un documento donde se manifestara que debían asistir a comités técnicos.

Para OA+M, en la celebración de los contratos de los diseños técnicos es importante establecer una cláusula donde se especifique que: la asistencia del contratista a los comités de coordinación técnica es de carácter obligatorio, hasta que los diseños sean entregados con cero colisiones y aprobados por el área de arquitectura y el área de construcción, en los comités técnicos.

- **Contratación de profesionales**

Para contratar futuros arquitectos diseñadores, es indispensable un manejo excelente del software Revit Architecture, y un vasto conocimiento en el tema de modelado BIM. La empresa por el momento no tendrá un área de capacitación en BIM. Para ello prefiere contratar personal con conocimiento previo, que aporte nuevos conocimientos a los procesos de modelado y coordinación BIM.

- **Área de coordinación BIM y tecnología.**

Debe destinarse un profesional capacitado en el tema BIM para que se encargue de supervisar el modelado dentro de la empresa, y de liderar las coordinaciones técnicas con el resto de los profesionales. En otras palabras, se debe abrir una dependencia BIM dentro del departamento de diseño de OA+M. Consecuentemente, se debe incrementar el presupuesto en inversión para la compra de software y tecnología de vanguardia para una mejor implementación de la metodología.

Se concluye también que no en todos los proyectos constructivos de la empresa se va a llevar a cabo la implementación de la metodología BIM. Depende de su tamaño, grado de complejidad y alcance, se decidirá si es necesario o no, pues conlleva mucho tiempo y demanda una mayor inversión para poder implementar el BIM. En algunos proyectos, al final, el retorno sobre la inversión (ROI) del BIM no es tan atractivo.

- **Departamento de Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+I)**

Luego de la revisión bibliográfica y el estudio de casos similares de otras pequeñas y medianas empresas, se pudo concluir que, para que la empresa OA+M pueda ser competitiva y estar en la vanguardia del diseño y de la construcción, es necesario hacer inversiones para fomentar la investigación y la innovación. A la fecha, la empresa sólo hace inversiones en equipos de cómputo de alta calidad.

Consecuentemente, la empresa concluye que se debe crear un área nueva que se llamará Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+I). Para ello se debe destinar y aprobar un rubro anual para invertir en proyectos, iniciativas, capacitaciones, tecnologías, estudios, investigaciones o estrategias que ayuden al mejoramiento continuo e innovación de la empresa y de su personal de trabajo. Con estas inversiones y este nuevo departamento se espera que en futuro la empresa pueda retroalimentarse y capacitarse para enfrentar de manera más asertiva el mercado local.

Otro de los beneficios que puede tener la creación de dicho departamento, es acogerse al Decreto 705 de abril 24 de 2019 del Ministerio de Hacienda, donde se ordenó a través de Colciencias la asignación de un porcentaje específico del cupo anual de deducciones y descuentos tributarios para aquellas pymes que inviertan en proyectos de investigación y desarrollo tecnológico. Los contribuyentes que opten por acceder a estos beneficios podrán obtener una deducción en renta del 100 % de la inversión realizada y un descuento tributario del 25 % (Colciencias, 2017).

6.3. Consideraciones generales a nivel nacional

Luego de revisar la bibliografía y el estado del arte a nivel de país (Colombia) en cuanto a la implementación BIM en el sector del diseño y la construcción, surgen las siguientes consideraciones o temas por ahondar.

- Para que el BIM a nivel nacional tenga una mayor acogida y aceptación, es necesario que los entes gubernamentales y rectores de la arquitectura reglamenten dicha metodología, y luego se estandarice y aplique en el sector de la construcción. Si se ofrecieran beneficios a las empresas que a la fecha utilicen la metodología BIM, la implementación a nivel nacional tendría mayor acogida, aceptación y renombre.
- Una limitante de la apropiación de la metodología BIM son los altos costos del software. Consecuente se requieren estrategias o subsidios para que dichas tecnologías e inversiones en equipos sean más asequibles para las pequeñas empresas del diseño y la construcción.
- De acuerdo a la revisión bibliográfica, Colombia se encuentra en un escalafón de implementación mucho más bajo que algunos otros países, y debería comenzar a competir a nivel internacional en procesos de diseño y construcción BIM, para mejorar la eficiencia de sus inversiones en infraestructura y el desarrollo del país.

- Sería conveniente que los programas académicos de pregrado en arquitectura a nivel nacional, implementaran la enseñanza de la metodología BIM y su aplicación en proyectos de grado. De igual manera, se debería ampliar la oferta de programas de posgrado y certificación BIM. La ampliación de la oferta académica en BIM, formaría profesionales con mejor perfil para laborar en empresas locales o internacionales.
- Si el área de diseño de la empresa no incursiona en esta metodología BIM, cada vez será menos competitiva y apetecida en el mercado, puesto que empresas locales de tamaño similar ya han decidido comenzar a incursionar con BIM. Consecuentemente, su crecimiento se verá afectado, al igual que alcanzar sus metas y su visión de ser reconocida en el mercado nacional.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, G. (2015). Modelado 4D y monitoreo de productividad IP en proyectos de construcción. Retrieved from <https://repository.eafit.edu.co/handle/10784/8169>
- AIA. (2007). Integrated Project Delivery : A Guide. *Integrated Project Delivery: A Guide*, 18. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.09.002>
- Akponeware, A., & Adamu, Z. (2017). Clash Detection or Clash Avoidance? An Investigation into Coordination Problems in 3D BIM. *Buildings*, 7(4), 75. <https://doi.org/10.3390/buildings7030075>
- Alcántara, P. V. (2013). Metodología para minimizar las deficiencias de diseño basada en la construcción virtual usando tecnologías BIM.
- Arayici, Y., Coates, P., Koskela, L., Kagioglou, M., Usher, C., & O'Reilly, K. (2011). BIM adoption and implementation for architectural practices. *Structural Survey, University of Salford Manchester*, 29(1), 7–25. <https://doi.org/10.1108/02630801111118377>
- ASOBIM COLOMBIA. (2016). Retrieved from <http://asociacioncolombianabim.co/que-es-bim/>
- Azhar, S. (2011). Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry. *Leadership and Management in Engineering*, 11(3), 241–252.
- Azhar, S., Raahemifar, K., Tookey, J., Ghaffarianhoseini, A., Naismith, N., Ghaffarianhoseini, A., & Efimova, O. (2016). Building Information Modelling (BIM) uptake: Clear benefits, understanding its implementation, risks and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75(September), 1046–1053. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.083>
- BIMFORUM. (2019). BIM Level of Development Specification.
- Botero, L. F., Isaza Pulido, J. A., & Vázquez Hernández, A. (2015). Estado De La Práctica Del Bim -Colombia 2015. *Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia Da Construção*, (1), 494–502.
- Bryde, D., Broquetas, M., & Volm, J. M. (2012). The project benefits of Building Information Modelling (BIM). *International Journal of Project Management*, (May), 1136–1145. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2012.12.001>

- Burt, J., & Purver, K. (2014). Building information modelling for small-scale residential projects. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Management, Procurement and Law*, 167(3), 134–140. <https://doi.org/10.1680/mpal.13.00019>
- CAMACOL. (2018). CAMACOL INNOVA, FOMENTO Y MADURACIÓN DEL USO DE BIM EN COLOMBIA. Retrieved from <http://scpn.gov.co/es/content/fomento-y-maduración-del-uso-de-bim-en-colombia>
- Cassino, K. E., Bernstein, H. M., Asce, F., Ap, L., Russo, M. A., Advisor, A. E., ... Winn, J. (2012). *McGraw-Hill Construction Research and Analytics, BIM SmartMarket Report*. Retrieved from www.construction.com
- Chen, L., & Luo, H. (2014). A BIM-based construction quality management model and its applications. *Automation in Construction*, 46, 64–73. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.05.009>
- Colciencias. (2017). Beneficios tributarios en CTel. *Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación*. Retrieved from http://www.colciencias.gov.co/portafolio/innovacion/beneficios_tributarios
- Coloma, E. (2008). *Introducción a la Tecnología BIM*. Retrieved from <https://books.google.com/books?id=V2lqmVapJWkC&pgis=1>
- COLOMBIA LICITA. (2019). COLOMBIA LICITA. Retrieved from <https://colombialicita.com/licitacion/119328158>
- D'paola Puche, H. E. (2014). Nuevas tecnologías en la enseñanza de la ingeniería civil: BIM y realidad virtual. *Repositorio Institucional Universidad EAFIT*. Retrieved from <https://repository.eafit.edu.co/handle/10784/2855>
- DANE. (2017). DANE, Sector construcción. Retrieved from <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/construccion>
- Eadie, R., Browne, M., Odeyinka, H., McKeown, C., & McNiff, S. (2013). BIM implementation throughout the UK construction project lifecycle: An analysis. *Automation in Construction*, 36, 145–151. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.09.001>
- Eastman, C., Paul, T., Rafael, S., & Liston, K. (2015). *BIM Handbook Rafael Sacks*. <https://doi.org/10.1002/9780470231309>
- Fazli, A., Fathi, S., Enferadi, M., Fazli, M., & Fathi, B. (2014). Appraising Effectiveness of

- Building Information Management (BIM) in Project Management. *Procedia Technology*, 16, 1116–1125. <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2014.10.126>
- Forero, S. (2018). BIM FORUM COLOMBIA. Retrieved from <https://camacol.co/prensa/noticias/se-lanza-bim-fórum-colombia-una-apuesta-por-la-digitalización-y-la-productividad-del>
- Fosse, R., Ballard, G., & Fischer, M. (2017). Virtual Design and Construction: Aligning BIM and Lean in Practice. *25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, (July), 499–506. <https://doi.org/10.24928/2017/0159>
- Fountain, J., & Langar, S. (2018). Building Information Modeling (BIM) outsourcing among general contractors. *Automation in Construction*, 95(February 2017), 107–117. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.06.009>
- Gerber, D. J., Becerik-gerber, B., & Kunz, A. (2011). Lean Construction: Technology, Methodology and Advances from Practice. *Proceedings IGLC-19, July 2011, Lima, Perú*, 683–693. Retrieved from <https://www.semanticscholar.org/paper/BUILDING-INFORMATION-MODELING-AND-LEAN-TECHNOLOGY%2C-Gerber-Becerik-Gerber/b930d3c9ef4b5a0b0734f76cf0c39ad45a8bb80c>
- Giel, B. K., & Issa, R. R. (2013). Return on Investment Analysis of Using Building Information Modeling in Construction. *ASCE Journal of Computing in Civil Engineering ASCE Journal of Computing in Civil Engineering Advanced Engineering Informatics ASCE Construction Engineering and Management SIAM Journal on Imaging Sciences Advanced Engineering Informatics*, 280000304(234), 103–112. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP)
- ISO ORG. (2017). iSO International Organization for Standardization. Retrieved from <https://www.iso.org/home.html>
- Khemplani, L. (2009). AECbytes Blog Sutter Medical Center Castro Valley : Case Study of an IPD Project. *AECBytes*, Http://Www.Aecbytes.Com/Buildingthefuture/2009/Sutter_IPDCaseStudy.Html Nov. 18, 2009, 2–3.
- Kim, C., Son, H., & Kim, C. (2013). Automation in Construction Automated construction progress measurement using a 4D building information model and 3D data. *Automation in Construction*, 31, 75–82. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.11.041>
- Leite, F., Akinci, B., & Garrett, J. (2009). IDENTIFICATION OF DATA ITEMS NEEDED

FOR AUTOMATIC CLASH DETECTION IN MEP DESIGN COORDINATION.
Construction Research Congress Copyright ASCE 2009, 776–785.
[https://doi.org/10.1061/41020\(339\)60](https://doi.org/10.1061/41020(339)60)

Liébana Carrasco, Ó., & Gómez Navarro, M. (2015). Normalización del nivel de desarrollo de modelos S-BIM. *6º Congreso Internacional de Estructuras ACHE*, (JUNE 2014), 10. <https://doi.org/10.13140/2.1.1290.2724>

López, L. I. (2017). Inclusión de BIM para empresas medianas de arquitectura en la etapa de diseño, 194.

Love, P. E. D., Simpson, I., Hill, A., & Standing, C. (2013). From justification to evaluation: Building information modeling for asset owners. *Automation in Construction*, 35, 208–216. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.05.008>

Lu, W., Fung, A., Peng, Y., Liang, C., & Rowlinson, S. (2014). Cost-benefit analysis of Building Information Modeling implementation in building projects through demystification of time-effort distribution curves. *Building and Environment*, 82, 317–327. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.08.030>

Maia, L., Mêda, P., & Freitas, J. G. (2015). BIM Methodology, a New Approach - Case Study of Structural Elements Creation. In *Procedia Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.032>

Martínez Torres, A. M. (2015). Bim Y Las Repercusiones En La Calidad De Los Procesos Constructivos, 70.

Marzouk, M., & Hisham, M. (2014). Implementing earned value management using bridge information modeling. *KSCCE Journal of Civil Engineering*, 18(5), 1302–1313. <https://doi.org/10.1007/s12205-014-0455-9>

MICROCAD, BIM. (2018). Retrieved from <https://microcad.co/servicios/>

Migilinskas, D., Popov, V., Juocevicius, V., & Ustinovichius, L. (2013). The benefits, obstacles and problems of practical bim implementation. *Procedia Engineering*, 57, 767–774. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.04.097>

Mojica Arboleda, A. (2012). IMPLEMENTACIÓN DE LAS METODOLOGÍAS BIM COMO HERRAMIENTA PARA LA PLANIFICACIÓN Y CONTROL DEL PROCESO CONSTRUCTIVO DE UNA EDIFICACIÓN EN BOGOTÁ. *PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA FACULTAD DE INGENIERÍA DEPARTAMENTO DE*

- INGENIERÍA CIVIL*, 5, 98. Retrieved from <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/11135/MojicaArboledaAlfonso2012.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Monfort Pitarch, C. (2015). Impacto del BIM en la gestión del proyecto y la obra de arquitectura: Un proyecto con REVIT. Retrieved from <https://riunet.upv.es/handle/10251/55201>
- Morton, B., & Ramos, J. (2014). *The Business Value of BIM for Owners Managing Editor, McGraw Hill. McGraw Hill Construction* (Vol. null). <https://doi.org/b>
- Ocampo, J. G. (2014). La Gerencia Bim Como Sistema Bim As the Management System. *Revista Gerencia Tecnológica Informática*, 14(38), 17–29. Retrieved from <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistagti/article/view/4868>
- Penttila, H. (2006). Describing the Changes in Architectural Information Free-Form Architectural Expression. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, 11(January), 395–408. Retrieved from <http://itcon.org/2006/29/>
- PMI. (2008). *Fundamentos Para La Dirección De Proyectos (Guía Del Pmbok®)*.
- Porras Díaz, H., Sánchez Rivera, O. G., Galvis Guerra, J. A., Jaimez Plata, N. A., & Castañeda Parra, K. M. (2015). Tecnologías “Building Information Modeling” en la elaboración de presupuestos de construcción de estructuras en concreto reforzado. *Entramado*, 11(1), 230–249. <https://doi.org/10.18041/entramado.2015v11n1.21116>
- Porwal, A., & Hewage, K. N. (2013). Building Information Modeling (BIM) partnering framework for public construction projects. *Automation in Construction*, 31, 204–214. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.12.004>
- Prieto, A. P. (2017). Implantación de la tecnología BIM en la asignatura Proyectos de los Grados de Ingenierías Industriales de la Universidad de Extremadura. Estudio de competencias genéricas.
- Rae, E. (2014). Measuring the value of BIM: Achieving Strategic ROI. *Autodesk*. Retrieved from <https://www.autodesk.es/campaigns/bim-aec/ebook/thank-you>
- Remenyi, D., Bannister, F., & Money, A. (2007). *The Effective Measurement and Management of ICT Costs and Benefits*.
- Rozas, P., & Ricardo, S. (2004). *Desarrollo de infraestructura y crecimiento económico: revisión conceptual*.

- Sacks, R., Koskela, L., Dave, B. A., & Owen, R. (2010). Interaction of Lean and Building Information Modeling in Construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, 136(9), 968–980. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000203](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000203)
- Salazar, M. (2017). Impacto económico del uso de BIM en el desarrollo de proyectos constructivos: estudio de caso en Manizales (Colombia). *Revista Espacios*, 39(07), 24–37. Retrieved from <http://www.revistaespacios.com/a18v39n07/a18v39n07p24.pdf>
- Salgado, C. (2017). LA EXPERIENCIA DEL BIM. Retrieved from <https://www.mgroup.com.co/BIM>
- Sanz, M. J. (2017). BIM en el mundo. Implantación de la nueva metodología en el sector de la arquitectura. Retrieved from <https://www.arquitecturayempresa.es/noticia/bim-en-el-mundo-implantacion-de-la-nueva-metodologia-en-el-sector-de-la-arquitectura>
- 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>
- Takim, R., Harris, M., & Nawawi, A. H. (2013). Building Information Modeling (BIM): A New Paradigm for Quality of Life Within Architectural, Engineering and Construction (AEC) Industry. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 101, 23–32. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.07.175>
- Tamames, J. F., & Mieza, I. Z. (2018). Grado de implantación del BIM (Building Information Modeling). *EAE Business School, Serie: Pro.*
- Universidad Politecnica de Valencia. (2019). BIN UPV. Retrieved from <https://mbim.blogs.upv.es/>
- World Economic Forum. (2016). World Economic Forum Annual Meeting 2016: The Fourth Industrial Revolution, Davos-Klosters, Switzerland 20-23 January. *World Economic Forum*. Retrieved from <http://wef.ch/am16report>

FIN