

IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM (BUILDING INFORMATION
MODELING) COMO HERRAMIENTA PARA EL CONTROL DEL PROCESO
CONSTRUCTIVO EN LA AMPLIACIÓN DE LA CLÍNICA CANCEROLÓGICA DE
BOYACÁ

JUAN DIEGO MIÑO HERNÁNDEZ

COD. 2166427

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS

INGENIERÍA CIVIL

TUNJA

2020

IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM (BUILDING INFORMATION
MODELING) COMO HERRAMIENTA PARA EL CONTROL DEL PROCESO
CONSTRUCTIVO EN LA AMPLIACIÓN DE LA CLÍNICA CANCEROLÓGICA DE
BOYACÁ

JUAN DIEGO MIÑO HERNÁNDEZ

COD. 2166427

TRABAJO DE GRADO: MODALIDAD DE PASANTÍA PARA OPTAR POR EL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

DIRECTOR

MSc. ING. WILSON ENRIQUE AMAYA TEQUIA

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS

INGENIERÍA CIVIL

TUNJA

2020

Nota de Aceptación:

Firma de Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Tunja, 26 de septiembre de 2020

AGRADECIMIENTOS

Agradezco con fervor a toda mi familia el apoyo que me han brindado a lo largo de mi vida en los proyectos y las metas que me he propuesto, y más aún en esta etapa tan importante. A mi papá, ingeniero civil, por todo el apoyo y todas las enseñanzas brindadas, así mismo, los consejos que fueron indispensables en mi formación, por haberme introducido en el manejo de metodología BIM y haberme guiado en el aprendizaje de la misma. A mi mamá, que siempre ha estado conmigo para apoyarme, instruirme y aconsejarme en cada paso dado. A mis hermanos, que han sido un soporte vital en mi vida y que me han dado el aliento para seguir creciendo. A mi novia, que me ha dado la fortaleza para nunca rendirme y me ha ayudado para siempre dar lo mejor de mí.

A las empresas BIM TOTAL y B&V INGENIERÍA por haberme brindado la oportunidad de desarrollar mi trabajo de grado y guiarme en el desarrollo del mismo.

A mis tutores por la paciencia, ayuda y dedicación en las instrucciones dadas, para que el producto del trabajo fuera el mejor.

DEDICATORIA

Dedico con amor este trabajo a mis papás, a mis hermanos, a mis abuelitas, a mis tíos, a mis primos, a mi novia y a mis amigos más cercanos. Mi gratitud y cariño hacia todos es inmenso.

CONTENIDO

1. RESUMEN	14
2. ABSTRACT	16
3. INTRODUCCIÓN	18
4. OBJETIVOS	20
5. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DÓNDE SE REALIZÓ EL TRABAJO	21
5.1. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO	21
5.2. SOFTWARE DE MANEJO.....	23
5.2.1. AUTOCAD 2D.....	23
5.2.2. REVIT	24
5.2.3. NAVISWORKS	26
5.2.4. EXCEL	27
6. DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES DESARROLLADAS.....	28
6.1. RECEPCIÓN DE DISEÑOS 2D Y ANÁLISIS DEL PROYECTO	29
6.2. BIM (BUILDING INFORMATION MODELING)	30
6.2.1. ESTRUCTURA	32
6.2.2. ARQUITECTURA	40
6.2.3. INSTALACIONES HIDRÁULICAS Y SANITARIAS	41
6.2.3.1. RED AGUAS NEGRAS Y AGUAS PELIGROSAS.....	42
6.2.3.2. RED AGUAS LLUVIAS.....	44
6.2.3.3. RED HIDRÁULICA AGUA FRÍA Y AGUA CALIENTE	45
6.2.3.4. RED CONTRA INCENDIO.....	47
6.2.4. RED GASES MEDICINALES.....	48

6.2.5.	RED HVAC (SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO)	50
6.2.6.	REDES ELÉCTRICAS	52
6.3.	TABLAS DE PLANIFICACIÓN Y CANTIDADES DE OBRA	55
6.4.	INFORME DE LA SUPERVISIÓN DE ACTIVIDADES EN OBRA.....	58
6.4.1.	ARMADO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES.....	59
6.4.2.	ENCOFRADO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES.....	64
6.4.3.	FUNDIDA DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES.....	67
6.4.4.	MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL	72
6.5.	INTEGRACIÓN DE MODELOS BIM EN NAVISWORKS MANAGE E IMPLEMENTACIÓN EN OBRA.....	74
6.5.1.	INCONSISTENCIAS EN DISEÑOS 2D	75
6.5.2.	DETECCIÓN, ANÁLISIS Y RESOLUCIÓN DE COLISIONES E INTERFERENCIAS EN LA INTEGRACIÓN DE MODELOS.....	77
6.5.3.	IMPLEMENTACIÓN DE BIM (ESTRUCTURA E INSTALACIONES MEP) EN OBRA.....	81
7.	APORTES DEL TRABAJO	89
7.1.	COGNITIVOS	89
7.2.	COMUNIDAD.....	90
8.	IMPACTOS DEL TRABAJO DESEMPEÑADO	92
8.1.	VENTAJAS DE LA IMPLEMENTACIÓN BIM EN EL PROYECTO	93
9.	CONCLUSIONES.....	95
10.	RECOMENDACIONES	97
11.	GLOSARIO.....	99
12.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	106
13.	APÉNDICES Y ANEXOS	111

13.1.	Anexo A. Tablas de planificación y cantidades de obra.....	111
13.2.	Anexo B. Cartillas de acero	111
13.3.	Anexo C. Observaciones sobre diseños 2D	111
13.4.	Anexo D. Planos y renders generados del modelo máster	111
13.5.	Anexo E. Fotografías de obra.....	111
13.6.	Anexo F. Bitácoras semanales	111
13.7.	Anexo G. Evaluación parcial y final	111
13.8.	Anexo H. Planillas de seguridad (ARL).....	111

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Planificación y cantidades de placas.....	56
Tabla 2. Planificación y cantidades de columnas piso 1	56
Tabla 3. Planificación y cantidades para accesorios tubería sanitaria piso 2	57
Tabla 4. Cartilla de cubierta (Barras #3)	59
Tabla 5. Distribución de disciplinas en Revit.....	75

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización del municipio de Tunja en el departamento	22
Figura 2. Localización ampliación Clínica Cancerológica de Boyacá	22
Figura 3. Vigas de cimentación.....	33
Figura 4. Placa de cimentación aligerada	33
Figura 5. Vigas principales y viguetas.....	34
Figura 6. Placas aligeradas	35
Figura 7. Pantallas, columnas y columnetas.....	36
Figura 8. Escaleras	37
Figura 9. Corte transversal	38
Figura 10. Planta 2 estructural	39
Figura 11. Modelo estructural 3D.....	39
Figura 12. Arquitectura de muros enlazada con el modelo estructural 3D.....	40
Figura 13. Colectores principales en planta de segundo piso de red sanitaria	42
Figura 14. Vista 3D red sanitaria (Estructura tramada).....	43
Figura 15. Vista 3D red aguas lluvias (Estructura tramada).....	44
Figura 16. Corte en vista 3D planta 1	45
Figura 17. Vista 3D redes hidráulicas agua fría y caliente (Estructura tramada) ...	46
Figura 18. Vista 3D red contra incendio (Estructura tramada)	47
Figura 19. Corte en vista 3D planta 2	49
Figura 20. Vista 3D redes de gases medicinales (Estructura tramada)	49

Figura 21. Corte en vista 3D planta 2	51
Figura 22. Vista 3D red HVAC (Estructura tramada)	52
Figura 23. Redes eléctricas en planta piso 1	54
Figura 24. Vista 3D redes eléctricas piso 2 (Estructura tramada)	55
Figura 25. Choque entre red HVAC y red sanitaria.....	79
Figura 26. Choque entre redes eléctricas	79
Figura 27. Vista sur-oriental a quirófanos en piso 2 (Modelo federado).....	80
Figura 28. Vista oriental a colectores de aguas peligrosas en piso 1 (Modelo federado)	80
Figura 30. Estructura piso 3 BIM.....	81
Figura 31. Salida de colector de red aguas negras y parciales en piso 1	82
Figura 32. Red aguas negras y red de iluminación.....	83
Figura 33. Inicio de colector 1 red de aguas negras en piso 1.....	84
Figura 34. Bajante por ducto de red aguas negras en piso 1	85
Figura 35. Red aguas negras y redes parciales en piso 1	86
Figura 36. Puntos de lavamanos y sifones de la red de aguas negras y red de iluminación en piso 1	87

LISTA DE IMÁGENES

Imagen 1. Armado de vigas principales	60
Imagen 2. Armado de pantallas	61
Imagen 3. Armado de vigas principales y placa.....	61
Imagen 4. Armado de placa.....	62
Imagen 5. Armado de columnas	62
Imagen 6. Armado de escalera.....	63
Imagen 7. Encofrado de columna	65
Imagen 8. Encofrado de pantallas	65
Imagen 9. Encofrado de pantalla 1	66
Imagen 10. Encofrado de escalera	67
Imagen 11. Toma de muestras de concreto mediante cilindros.....	68
Imagen 12. Fundida de vigas, viguetas y placa	70
Imagen 13. Fundida de columnas.....	70
Imagen 14. Hidratación de placa posterior a fundida.....	71
Imagen 15. Fundida de pantallas.....	71
Imagen 16. Muros primer piso	72
Imagen 17. Armado de columnetas en muros	73
Imagen 18. Vigas cinta en muros primer piso	73
Imagen 19. Muros segundo piso.....	74
Imagen 20. Estructura piso 3 en obra	82

Imagen 21. Salida de colector de red aguas negras y parciales en piso 1	83
Imagen 22. Red aguas negras y red de iluminación	84
Imagen 23. Inicio de colector 1 red de aguas negras en piso 1	85
Imagen 24. Bajante por ducto de red aguas negras en piso 1.....	86
Imagen 25. Red aguas negras y redes parciales en piso 1	87
Imagen 26. Puntos de lavamanos y sifones de la red de aguas negras y red de iluminación en piso 1	88

1. RESUMEN

La práctica profesional en la ampliación de la clínica cancerológica de Boyacá en los servicios de quirófano, uci y hospitalización tuvo un enfoque dinámico y preciso, teniendo en cuenta que los avances en el sector de la construcción han ido dejando de lado la utilización de herramientas 2D y debido también a la implementación de la metodología BIM. La propuesta de implementación de herramientas BIM nace de la necesidad de coordinar todas las especialidades manejadas durante la ejecución del proyecto, con base en los errores frecuentes en la elaboración de diseños 2D y en la construcción convencional.

El comienzo del trabajo se vio marcado por la elaboración de modelos 3D en Revit, con base en los planos 2D de cada especialidad, de allí se comenzaron a generar datos precisos acerca de los volúmenes de concreto a utilizar en cada fundida programada, así mismo, se logró hacer verificación para que la geometría de los elementos estuviera acorde a lo estipulado en los diseños. La supervisión de actividades de obra y apoyo técnico fue el primer paso en el proceso constructivo de la parte estructural del proyecto.

El principal enfoque de la implementación de metodología BIM se hizo en la parte de instalaciones MEP (Mechanical, Electrical and Plumbing), debido a que los sistemas que abarca una clínica son más pronunciados que cualquier otra obra de infraestructura. A partir de los modelos 3D en Revit y la coordinación de todas las especialidades en Navisworks, se comenzó a trabajar primero con la colocación de las redes hidrosanitarias y eléctricas. Luego, se procedió a colocar las redes de aire acondicionado (HVAC), las cuales tienen la característica de ser de grandes dimensiones. Continuando con la disposición en la coordinación de sistemas, se

hizo la instalación de las redes de red contra incendio, red de gases medicinales y redes hidráulicas (Agua fría y agua caliente), y así lograr un sistema general óptimo, teniendo en cuenta que se resolvieron los choques generados en los diseños 2D y se coordinaron las especialidades milímetro a milímetro, garantizando que no se cruzaran los sistemas en ningún punto del proyecto.

Se establecieron las ventajas de utilizar herramientas BIM en el proceso constructivo del proyecto, en dónde se hace énfasis en recomendar este tipo de metodología para cualquier tipo de proyecto de obra civil, teniendo claro desde un principio a dónde se quiere llegar y que el producto sea el esperado y planteado desde el comienzo en la ejecución del proyecto. Las herramientas de software utilizadas fueron AutoCAD 2D, Revit (Architecture, Structure and MEP), Navisworks Manage y Excel, cada una involucrada en el control del proceso constructivo del proyecto.

Palabras clave: BIM, Revit, Navisworks, Modelación, Construcción, Proceso, Control, Estructura, MEP, Coordinación, Instalaciones, Ejecución.

2. ABSTRACT

The professional practice in the expansion of the Boyacá cancer clinic in the operating room, ICU and hospitalization services had a dynamic and precise focus, taking into account that the advances in the construction sector have been neglecting the use of 2D tools. and also due to the implementation of the BIM methodology. The proposal for the implementation of BIM tools arises from the need to coordinate all the specialties handled during the execution of the project, based on frequent errors in the elaboration of 2D designs and conventional construction.

The start of work was marked by the development of 3D models in Revit, based on the 2D plans of each specialty, from where precise data about the volumes of concrete to be used in each programmed melt, it was also possible to verify that the geometry of the elements was in accordance with the provisions of the designs. The supervision of work activities and technical support was the first step in the construction process of the structural part of the project.

The main focus of the implementation of BIM methodology was made in the part of MEP facilities (Mechanical, Electrical and Plumbing), because the systems involved in a clinic are more pronounced than any other infrastructure work. From the 3D models in Revit and the coordination of all the specialties in Navisworks, work began first with the placement of the hydrosanitary and electrical networks. Then, air conditioning networks (HVAC) were installed, which have the characteristic of being large. Continuing with the provision in the coordination of systems, the placement of the fire network, gas network and hydraulic networks (cold water and hot water) was made, and thus achieve an optimal general system, taking into account that they were resolved the collisions generated in the 2D designs and the specialties were

coordinated millimeter by millimeter, guaranteeing that the systems did not cross at any point of the project.

The advantages of using BIM tools in the construction process of the project were established, where emphasis is placed on recommending this type of methodologies for any type of civil works project, being clear from the beginning where you want to go and that the product is the expected and planned from the beginning in the execution of the project. The software tools used were AutoCAD 2D, Revit (Architecture, Structure and MEP), Navisworks Manage and Excel, each involved in controlling the project's construction process.

Keywords: *BIM, Revit, Navisworks, Modeling, Construction, Process, Control, Structure, MEP, Coordination, Installations, Execution.*

3. INTRODUCCIÓN

En Colombia se ha venido manejando la construcción convencional hace años, y son innumerables los casos en dónde los diseños determinados para cada especialidad, haciendo referencia a la arquitectura, estructura o instalaciones de cualquier índole (Sanitarias, hidráulicas, eléctricas, etc.) no concuerdan con el accionar durante la ejecución de un proyecto. Al hablar de construcción convencional entran en contexto situaciones en dónde la toma de decisiones es el punto más importante, debido a que sobre las decisiones tomadas recaen muchas veces las consecuencias negativas o positivas de un proyecto, y es así que se ha visto afectada la credibilidad en numerosas ocasiones de los profesionales en ingeniería civil o campos afines. Es tarea de los futuros profesionales cambiar el chip de la forma de construir y mucho más de diseñar, porque con las nuevas tecnologías es imposible no avanzar en este campo tan importante para el desarrollo de un país como Colombia.

A raíz de estos acontecimientos es que se generan incongruencias a la hora de integrar las diferentes disciplinas en un proyecto de obra civil, en dónde el valor más afectado siempre es el sobre costo del proyecto, debido a la corrección de errores, de la toma de decisiones apresuradas y sin fundamentos consistentes. La construcción se ha venido desarrollando con métodos tradicionales con base en diseños 2D y formatos CAD, programaciones de obra desfasadas de la realidad y así mismo un presupuesto elevado de un proyecto con una calidad de producto muy baja. Es en este punto de análisis en dónde se mira hacia un futuro de tecnologías innovadoras a la hora de concebir, planear y ejecutar un proyecto de construcción, y es dónde se puede comenzar a hablar de proyectos exitosos basados en metodología BIM.

La metodología BIM (Building Information Modeling) es una herramienta de ingeniería y construcción relativamente nueva en Colombia, pero que a nivel de Europa y Estados Unidos marca la vanguardia en el proceso de construcción de cualquier proyecto de infraestructura mediante el uso de software especializados, que permiten obtener modelados, planificar procesos y desarrollar un proyecto en su totalidad, incluso antes de mover un centímetro cúbico de terreno para su ejecución.

Se implementó la metodología BIM en el proyecto de ampliación de la clínica cancerológica de Boyacá en los servicios de quirófano, uci y hospitalización con el fin de abrir las puertas a la actualidad, a la modernidad y a la innovación en el proceso de concepción, estructuración., control, desarrollo constructivo, óptimo resultado final y adecuado mantenimiento del proyecto. La aplicación de BIM se generó a partir de modelados 3D de todos y cada uno de los componentes de la edificación en todas las disciplinas constructivas: arquitectura, estructura, instalaciones hidrosanitarias, instalaciones red contra incendios, instalaciones de gases medicinales, instalaciones de aguas lluvias, instalaciones HVAC (Aire acondicionado y ventilación) e instalaciones eléctricas (Luminarias, tomas, cableado, etc.).

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

Implementar la metodología BIM (Building Information Modeling) en el proceso constructivo a nivel de arquitectura, estructura e instalaciones MEP (Mechanical, Electrical and Plumbing), enfocado en la coordinación de disciplinas en la ampliación de la clínica cancerológica de Boyacá.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar modelos paramétricos 3D utilizando el software Autodesk Revit a partir de planos 2D de las especialidades de arquitectura, estructura e instalaciones MEP.
- Crear tablas de planificación y cantidades de obra con base en los modelos realizados en el software Autodesk Revit para las especialidades de estructura e instalaciones MEP.
- Integrar los modelos elaborados de cada especialidad mediante el software Autodesk Navisworks para la optimización y coordinación del proyecto.
- Realizar supervisión y control de las actividades de obra para garantizar la implementación del modelo federado.
- Establecer las ventajas de implementar la metodología BIM en el proceso constructivo de la ampliación de la clínica cancerológica de Boyacá.

5. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DÓNDE SE REALIZÓ EL TRABAJO

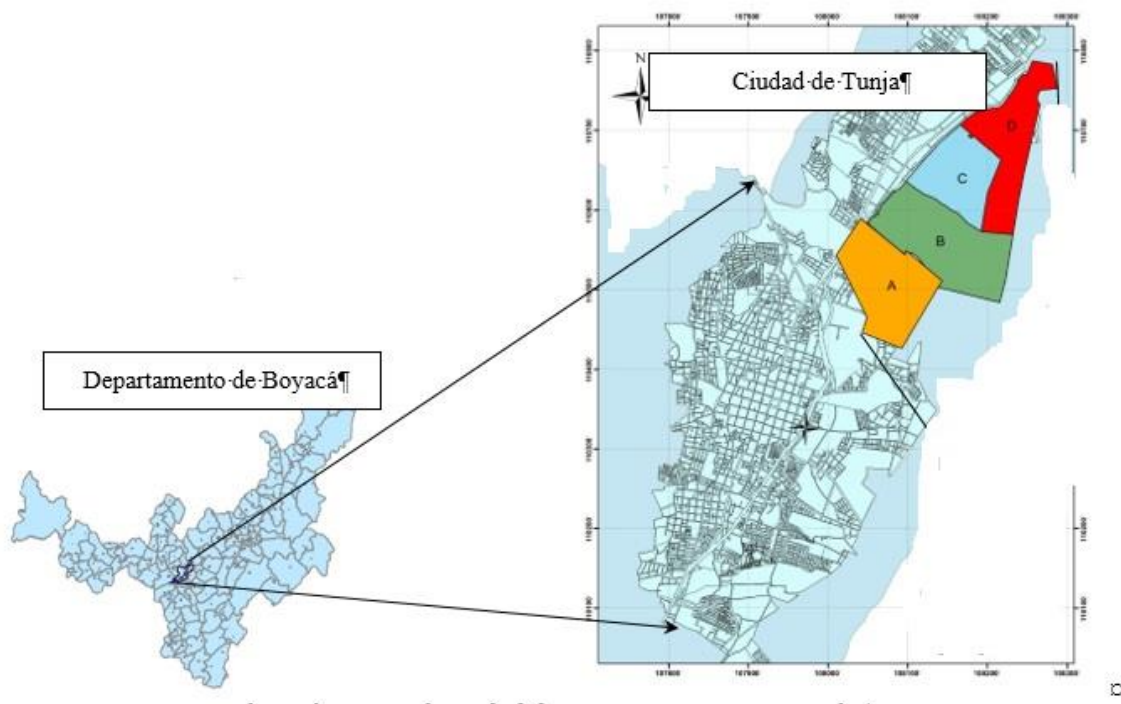
5.1. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto se encuentra localizado en la ciudad de Tunja, la cual se encuentra ubicada sobre la cordillera oriental, en la parte central del departamento de Boyacá, con alturas que van desde los 2.700 m.s.n.m hasta 3.150 m.s.n.m, en la parte más elevada, con una extensión de 121.4 Km², y una temperatura de 13°C. Limita por el norte con los municipios de Motavita y Cómbita, al oriente con los municipios de Oicatá, Chivatá, Soracá y Boyacá, por el sur con Ventaquemada y por el occidente con los municipios de Samacá, Cucaita y Sora. Registra 200 desarrollos urbanísticos en la zona urbana y 10 veredas en el sector rural. Sus ríos principales son Jordán y La Vega¹.

El proyecto se ubica en el sector norte de la ciudad de Tunja, específicamente en la Avenida Universitaria No. 46-71, al respaldo de la clínica cancerológica de Boyacá actual, residiendo en un punto de la ciudad de gran valorización, además frente al proyecto se encuentra la sede campus de la universidad Santo Tomás Seccional Tunja, así mismo dos centros médicos continuos al proyecto, de enfermedades respiratorias y Teresa Cori. La modalidad de construcción es modificación y ampliación en dónde el área para modificación es de 421.31 M² y el área para ampliación es de 3.929,27 M², teniendo así un área total construida de 5.754,67 M².

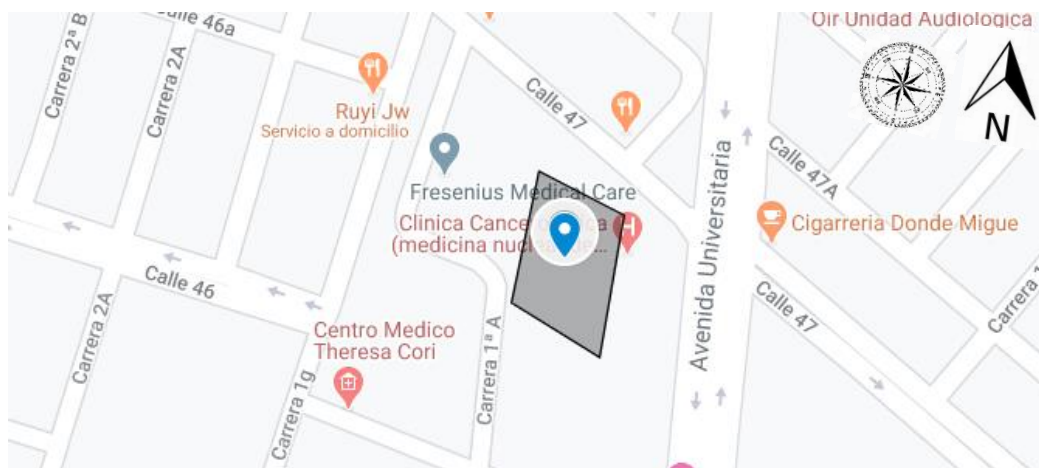
¹ Alcaldía Mayor de Tunja, nuestro municipio. <http://www.tunja-boyaca.gov.co/municipio/nuestro-municipio>.

Figura 1. Localización del municipio de Tunja en el departamento



Fuente: Adaptada de: *Modelización hidráulica de drenaje urbano, aplicación sector nororiental distrito santa Inés, Tunja-Boyacá*

Figura 2. Localización ampliación Clínica Cancerológica de Boyacá



Fuente: Google Maps

La empresa encargada de la construcción y administración del proyecto es B&V INGENIERÍA SAS de Tunja, con la cual se realizó el convenio con la universidad para ejercer las labores de pasante de obra y desarrollar la práctica profesional.

El lugar de trabajo se estableció directamente en obra, en dónde se llevó a cabo el desarrollo de las actividades de supervisión de obra, informes de carácter técnico, informes de seguimiento de obra e implementación de la metodología BIM (Building Information Modeling).

5.2. SOFTWARE DE MANEJO

5.2.1. AUTOCAD 2D

Es una herramienta de dibujo y modelado 2D asistido por computador, creada por Autodesk, facilita el trazado de líneas con mayor precisión y velocidad en comparación con el trabajo manual. El objetivo final de este software es crear diseños más reales. En la actualidad, se utiliza por ingenieros, arquitectos, y en general, por técnicos y diseñadores². Se trabajó con la versión 2019.

² Martín, D. Costafreda, J. Marín, A. León, A. Curso básico de dibujo con AutoCAD, 2017.

5.2.2. REVIT

Data de un programa con un motor de cambios paramétricos con una base de datos relacional que gestiona y coordina la información necesaria para el modelado de diseños arquitectónicos, estructurales, y referentes a instalaciones MEP (Mechanical, Electrical and Plumbing). Este programa permite crear diseños basados en objetos inteligentes y tridimensionales, los que están asociados para coordinarse automáticamente ante cualquier cambio introducido³. Se trabajó con la versión 2018.

5.2.2.1. REVIT ARCHITECTURE

El primer modelo que se realizará será el arquitectónico, usando la plantilla “DefaultESPESP” (o plantilla arquitectónica) de Revit 2018, en el cual se determinarán los niveles de todo el proyecto y todos los ejes o rejillas de construcción, que posteriormente serán transferidos a los otros dos modelos. Si es necesario crear un nivel o eje particular para cada especialidad, se creará en el modelo correspondiente a la misma. Después de generar la rejilla del proyecto se comenzará a modelar los elementos arquitectónicos de la edificación, creando las familias de los objetos paramétricos específicos para el proyecto⁴.

³ Gruppe, H. ¿Qué es Revit y para qué sirve en el modelado BIM?, 2015. <http://www.hildebrandt.cl/que-es-revit-y-para-que-sirve-en-el-modelado-bim/>.

⁴ Salazar Álzate, M. Impacto económico del uso de BIM en el desarrollo de los proyectos de construcción en la ciudad de Manizales, 2017.

5.2.2.2. REVIT STRUCTURE

El modelo estructural se realizará usando la plantilla “Structural Analysis-DefaultESPESP” (o plantilla estructural). Utilizando como referencia los niveles generados en el modelo arquitectónico, se procederá a modelar los elementos estructurales, teniendo en cuenta las consideraciones especificadas por el diseñador estructural⁵.

Hasta la versión de Revit 2012, Revit Structure era un software independiente, hasta 2013 que Revit incorporó los paquetes de arquitectura, estructura e instalaciones dentro de la misma interfaz. Esto se traduce a poder desarrollar un modelo completo con un solo software⁶.

5.2.2.3. REVIT MEP (MECHANICAL, ELECTRICAL AND PLUMBING)

Hace referencia al trabajo con las instalaciones de un proyecto, en dónde sus siglas MEP significan el trabajo con instalaciones mecánicas, que son las relacionadas con climatización, protección contra incendios, solar térmica, etc. De igual manera, con instalaciones eléctricas que serían todos los elementos como tomacorrientes, luminarias, cuadros eléctricos, alarmas, teléfonos,

⁵ Ibíd.

⁶ Reyes, A. Candelario, A. Cordero, P. Manual Imprescindible (REVIT MEP y REVIT Structure + Navisworks. Madrid, España, 2019.

megafonía, etc. Por último, las instalaciones de plomería que están relacionadas con fontanería y saneamiento, como redes hidráulicas, sanitarias y para aguas lluvias⁷.

5.2.3. NAVISWORKS

Es una herramienta de integración, permite abrir y combinar modelos 3D, navegar por ellos en tiempo real y revisar el modelo utilizando un conjunto de sub herramientas que dan la posibilidad de analizar interferencias, medir y observar distintas perspectivas, además de tener plugins para simulación de tiempo 4D y renderizado fotorealístico.

Está compuesto por el software Autodesk Navisworks Freedom, el cual es un visor libre que puede usarse para ver los modelos publicados en Navisworks, y en dónde los interesados en el proyecto pueden analizar, preguntar y comunicar la intención del diseño en varias etapas. Así mismo se compone de Autodesk Navisworks Simulate, el cual es un software más avanzado que el Freedom, pero menos que el Manage, ya que cuenta con módulos para crear visualizaciones fotorrealistas de alta calidad, así mismo crear simulaciones de planificación. Sin embargo, el software Autodesk Navisworks Manage es el producto de mayor nivel de Navisworks debido a que incluye todos los módulos anteriormente mencionados, además del plus del software que es la herramienta Clash Detective, muy útil para realizar e informar las interferencias entre diferentes

⁷ Reyes, A. Candelario, A. Cordero, P. Op. Cit.

sistemas incluidos en el modelo central. Cabe resaltar que es un software de análisis, más no de diseño⁸. Se trabajó con la versión 2018.

5.2.4. EXCEL

Microsoft creó el programa con la facilidad para formular rápidamente operaciones mediante tablas. Excel es un sistema de hojas de cálculo, esto es, de planillas de gestión de información de manera ordenada y sistemática, permitiendo la automatización de operaciones lógicas. Además, cuenta con un sistema de macros o fórmulas automatizadas, que permiten también su empleo con fines de algoritmos y programación⁹.

⁸ Reyes, A. Candelario, A. Cordero, P. Op. Cit.

⁹ Raffino. M. Excel, 2018. Disponible en: <https://concepto.de/excel/>.

6. DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES DESARROLLADAS

A partir de los objetivos planteados, se estableció un orden de trabajo a medida que avanzó la obra de construcción. Es importante establecer el alcance de implementar la metodología BIM en el proyecto, el cual se distribuye en sus dimensiones específicas, descritas en orden, así:

- BIM 3D (MODELADO): Permite a las disciplinas colaborar de forma más efectiva durante el modelado y diseño, facilitando la coordinación y los problemas estructurales y espaciales. Hace referencia a modelación paramétrica en tres dimensiones.
- BIM 4D (TIEMPO): Permite la sincronización con la planificación temporal, mejora la constructibilidad y ayuda a la detección de interferencias e incongruencias mediante las herramientas de visualización.
- BIM 5D (COSTO): Consiste en mejorar la rentabilidad del proyecto, ofrecer alta precisión y predictibilidad en las estimaciones, teniendo en cuenta los cambios, los diferentes materiales o equipos y alteración en el volumen de mano de obra.
- BIM 6D (ENERGÍA): Integra BIM con los parámetros ambientales o eficiencia energética y de sostenibilidad desde el proceso de diseño junto a la medición de resultados durante la fase de gestión.
- BIM 7D (MANTENIMIENTO): Hace referencia al uso que hagan los clientes o responsables de la operación de las infraestructuras durante todo su ciclo de vida.

Por lo anteriormente mencionado, el alcance de la implementación de la metodología BIM en el proyecto de ampliación de la clínica cancerológica de Boyacá solicitado por la empresa encargada abarca las dimensiones 3D, 4D y 5D, además, se especifica a nivel de instalaciones, es decir modelado MEP (Mechanical, Electrical and Plumbing), instalaciones hidráulicas, eléctricas y mecánicas. Sin embargo, se tiene en cuenta la modelación de las especialidades de arquitectura y estructura para el análisis del modelo federado final y el desarrollo en la ejecución de la obra.

6.1. RECEPCIÓN DE DISEÑOS 2D Y ANÁLISIS DEL PROYECTO

Con la llegada a obra se hizo acogida del proyecto de acuerdo a los diseños arquitectónicos y estructurales, de igual manera se recibieron planos en formato CAD (.dwg) vía correo electrónico de dos archivos, los cuales contenían el proyecto arquitectónico y estructural del edificio. De conformidad con la información recibida se estableció un primer análisis, en dónde se observaron las características principales del proyecto.

Es un edificio institucional de servicios médicos con 6 plantas, distribuidas así:

- ✓ Primer piso: Consultorios, oficinas, laboratorios, salas de espera, quimioterapia, oratorio, servicios especializados de rayos X, TAC, bunker de cobalto, bunker acelerador, mamografía, almacén, depósitos, caldera, morgue, baterías de baño, residuos hospitalarios, zona de descargue, cuartos técnicos y de basuras.

- ✓ Segundo piso: Contabilidad, archivo, cafetería, quirófanos, unidades de cuidados intensivos, estar de médicos, zona de recuperación, depósitos, salas de espera, zona de esterilización, oficinas administrativas, baterías de baños, farmacia, auditorio, archivo muerto y zonas de circulación.
- ✓ Tercer piso: Unidades de cuidados intermedios, hospitalización, estar de médicos, depósitos, salas de espera, zona de esterilización, curaciones, baterías de baños, oficinas, circulación, área común, baños.
- ✓ Cuarto y quinto piso: Hospitalización, estar de médicos, depósitos, salas de espera, zona de esterilización, curaciones, baterías de baños y zona de circulación.
- ✓ Sexto piso (Cuarto de máquinas): Equipos mecánicos de elevadores y circulación.
- ✓ Cubierta: Tragantes para bajantes de aguas lluvias y reventilaciones.
- ✓ En todos los pisos se mantienen constantes los puntos fijos: fosos de asensores pasajeros, servicio y escaleras.

6.2. BIM (BUILDING INFORMATION MODELING)

Consiste básicamente en la modelación en 3D de los respectivos diseños del proyecto, pasando por el análisis de 4D y 5D, así pues, cada especialidad (arquitectura, estructura e instalaciones), fue modelada por aparte generando las respectivas geometrías tridimensionales. Estas geometrías fueron perfectamente acopladas en un modelo máster o federado que permitió mostrar el proyecto en plenitud de su desarrollo y alcance, como fue quedando construido y con los

materiales precisos, como un todo susceptible a correcciones, mejoras y cambios en positivo para el proyecto.

Eventualmente se estableció la detección de colisiones e inconsistencias entre los diseños, y se fueron resolviendo oportunamente.

Se constituyó un orden para la modelación paramétrica en Revit:

- 1) La modelación estructural abarca cimentación, placas, columnas, columnetas, pantallas, escaleras, vigas y viguetas.
- 2) La modelación arquitectónica abarca muros divisorios, puertas y ventanas.
- 3) Los sistemas que incluye la modelación MEP son:
 - Instalaciones Hidrosanitarias: Red agua fría potable, Red agua caliente potable, Red aguas negras, Red aguas peligrosas, Red aguas lluvias, Red contra incendio, Red HVAC, Red de gases medicinales.
 - Instalaciones Eléctricas: Red media tensión, Red baja tensión, Red datos cableado estructurado, Red eléctrica regulada, Red CCTV, Comunicaciones, Teléfonos y Citófonos.

Es de crucial importancia organizar el proyecto antes de comenzar a modelar, por lo tanto, lo correcto fue ubicar los niveles del edificio y plasmarlos en Revit, así

mismo, los respectivos ejes manejados en los diseños. Posteriormente se deben distribuir los espacios de cada una de las plantas, y generar el número de plantas concluyente según el proyecto.

Así mismo es imprescindible:

- Preparar el modelo para que se acoja eficientemente a la estructura.
- Reconocer cada uno de los elementos estructurales principales según los diseños en 2D.
- Controlar la visualización de cada uno de los elementos.
- Configurar los materiales para cada elemento, así mismo crear independientemente cada elemento estructural o arquitectónico.
- Para arquitectura y estructura se manejó un nivel de detalle LOD 200.
- No se solicitó modelación de armaduras de refuerzo estructural, por lo tanto, se manejan sólo geometrías y volúmenes.

6.2.1. ESTRUCTURA

Todos los elementos se modelaron con material hormigón:

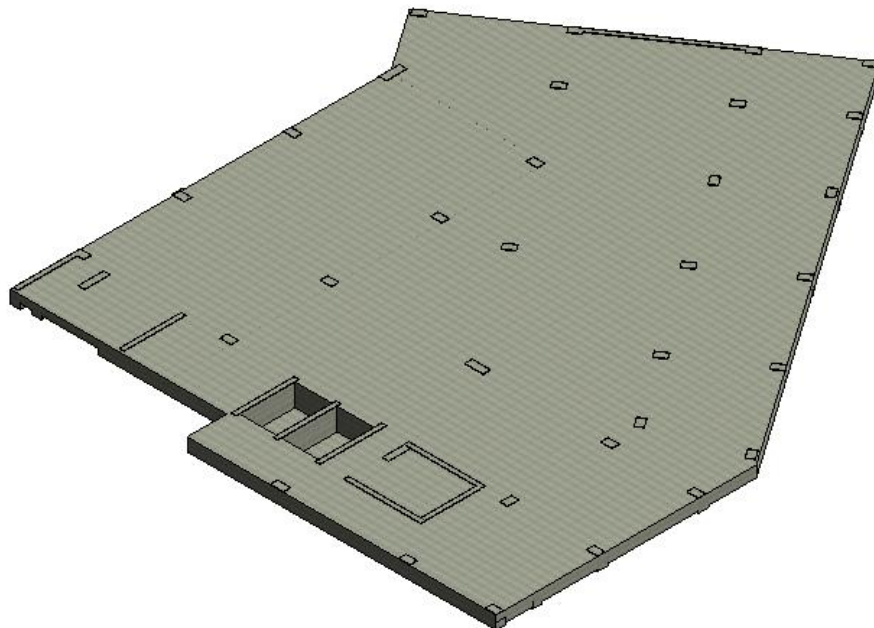
- ✓ Cimentación: Corresponde a una placa aligerada, con un entramado de vigas y viguetas en concreto reforzado, se modeló la cimentación importando el plano 2D en formato CAD en una plantilla estructural de Revit.

Figura 3. Vigas de cimentación



Fuente: *Elaboración propia en Revit*

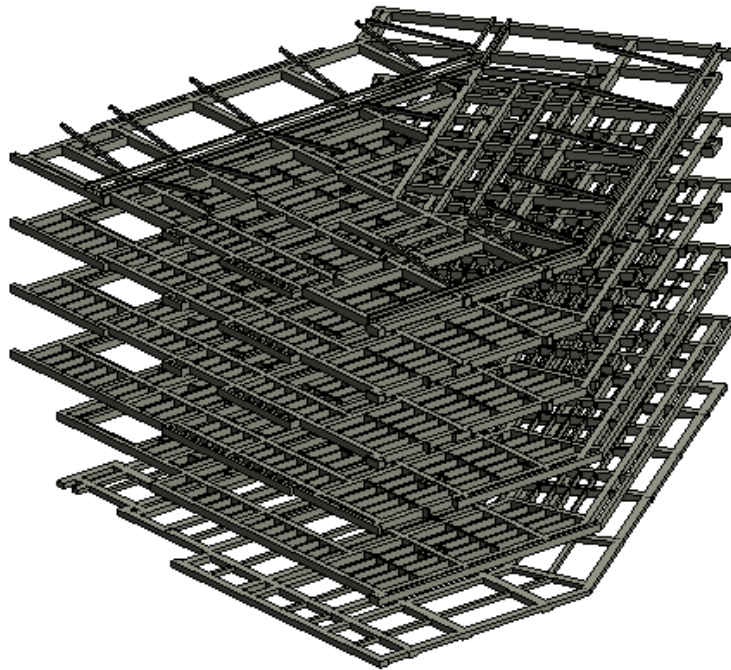
Figura 4. Placa de cimentación aligerada



Fuente: *Elaboración propia en Revit*

- ✓ Vigas y viguetas: Se tuvo continuidad en la geometría de vigas principales en todas las plantas. El diseño estructural presentó variaciones mínimas en la posición de las viguetas. Cabe resaltar que Revit nombra a las vigas como Jácenas.

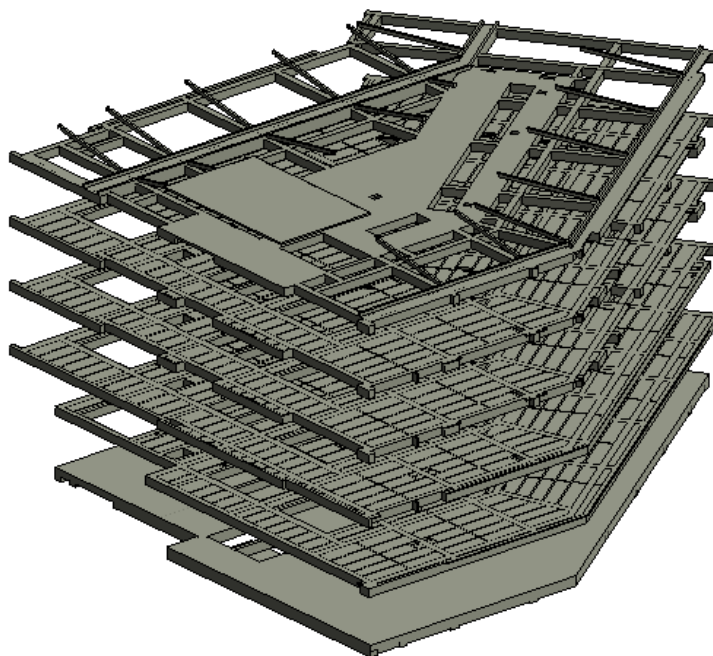
Figura 5. Vigas principales y viguetas



Fuente: *Elaboración propia en Revit*

- ✓ Placas: En la cimentación se identificaron dos tipos de placa, una de 35 centímetros y otra de 40 centímetros.

Figura 6. Placas aligeradas



Fuente: Elaboración propia en Revit

En las plantas se manejó un espesor de placa de 6 centímetros y en la cubierta se ubicó una placa de 14 centímetros, así mismo los respectivos suelos estructurales de las vigas canal.

- ✓ Pantallas, columnas y columnetas: Se ubicaron 9 pantallas en toda la estructura, manteniendo continuidad hasta la planta 5. Las pantallas dispuestas en los ascensores, así como en la escalera tipo II se prolongan hasta la planta 6.

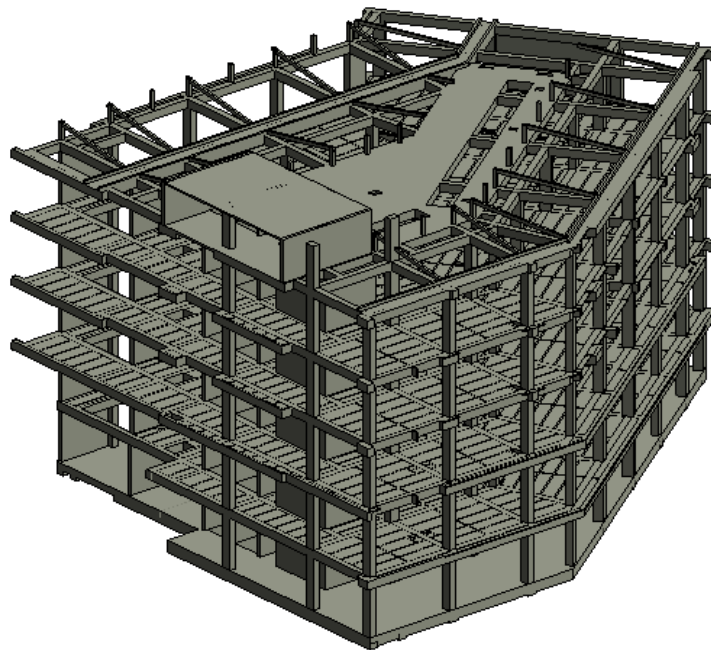
Hubo continuidad de las columnas hasta la planta 5, en dónde finalizaron la mayoría excepto un grupo de columnas que se prolongan hasta la planta 6

para el cierre en el cuarto de máquinas. Se ubicaron columnetas en la cubierta como enlace con las vigas de cierre y apoyo de la cubierta.

Se identificaron cuatro tipos de columnas,

- Tipo 1: Sección de 40x60 cm
- Tipo 2: Sección de 40x70 cm
- Tipo 3: Sección de 40x100 cm
- Tipo 4: Sección de 40x110 cm

Figura 7. Pantallas, columnas y columnetas

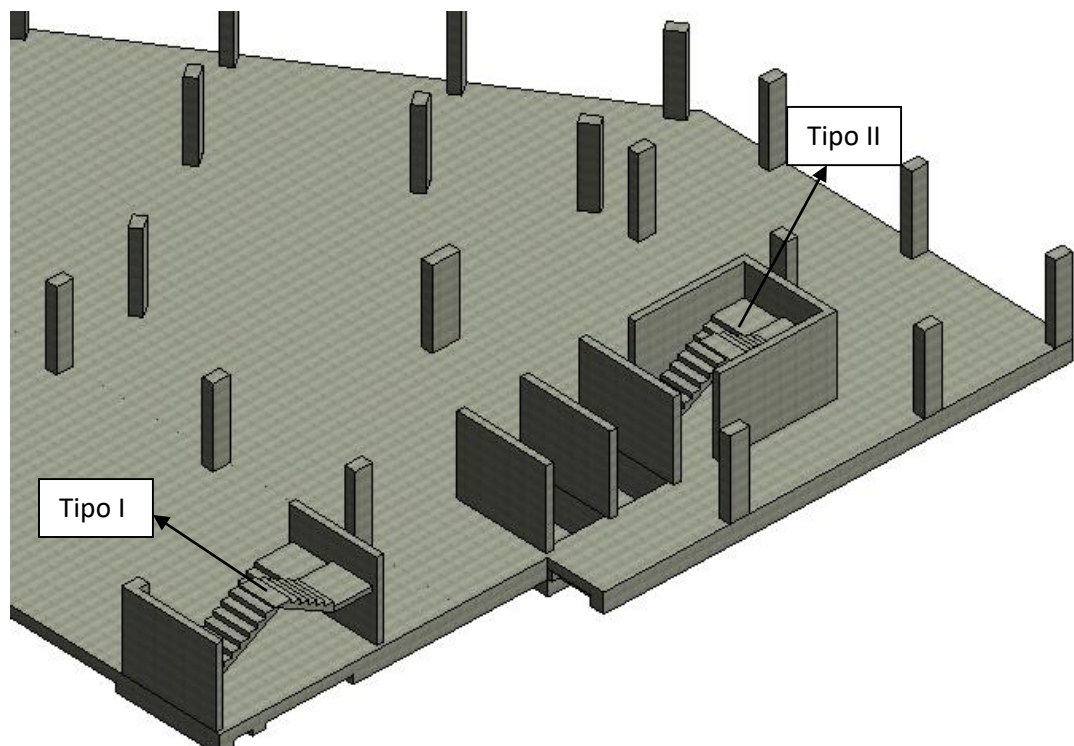


Fuente: Elaboración propia en Revit

✓ Escaleras: Se identificaron dos tipos de escaleras,

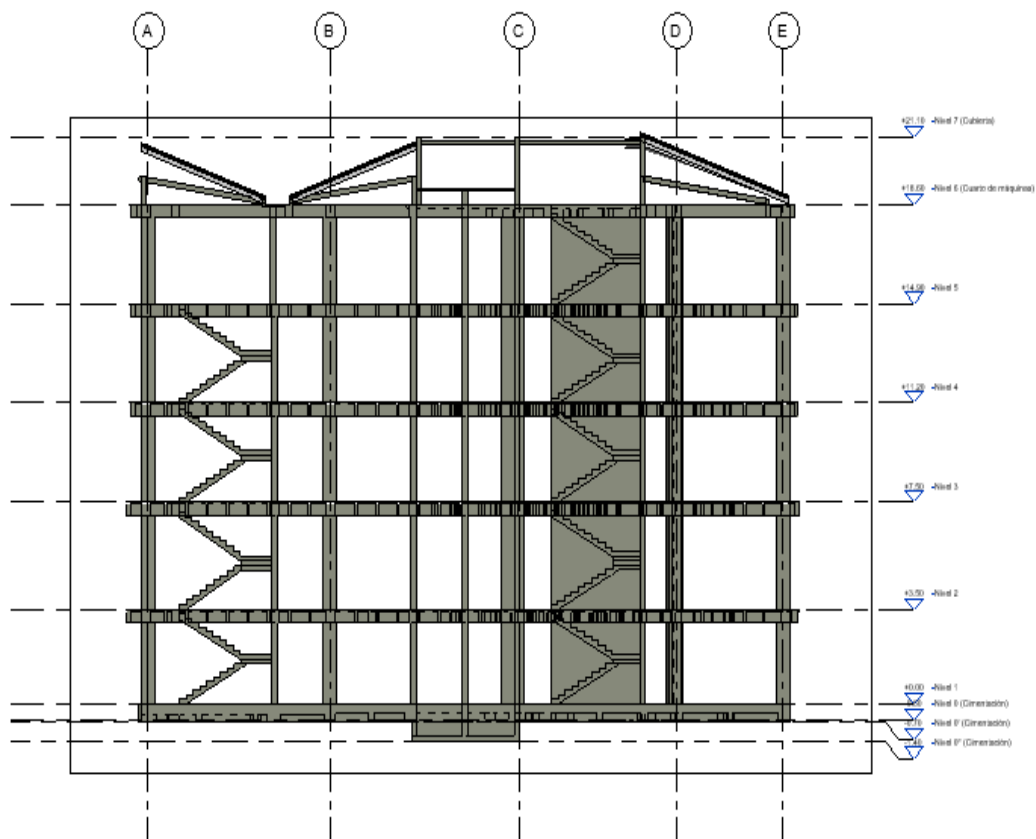
- Tipo I: Se prolonga hasta la planta 5.
- Tipo II: Se prolonga hasta la planta 6, se ubica al lado de los ascensores.
- Se establece un corte transversal para la visualización de las escaleras a lo largo de toda la estructura.
- Para el compute de cantidades se distribuyeron las escaleras por tramos.

Figura 8. Escaleras



Fuente: Elaboración propia en Revit

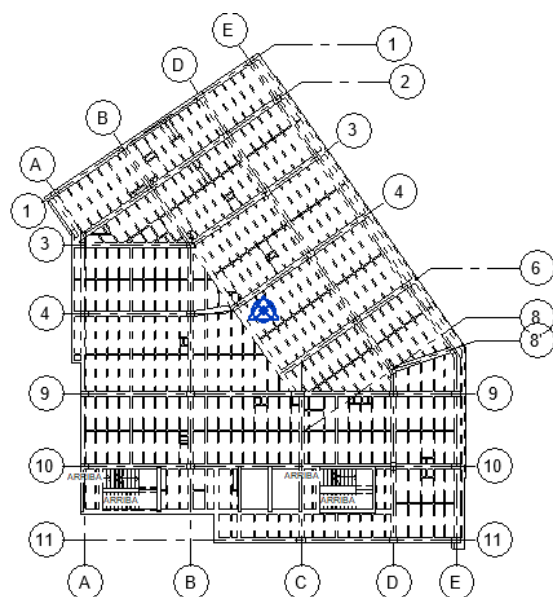
Figura 9. Corte transversal



Fuente: Elaboración propia en Revit

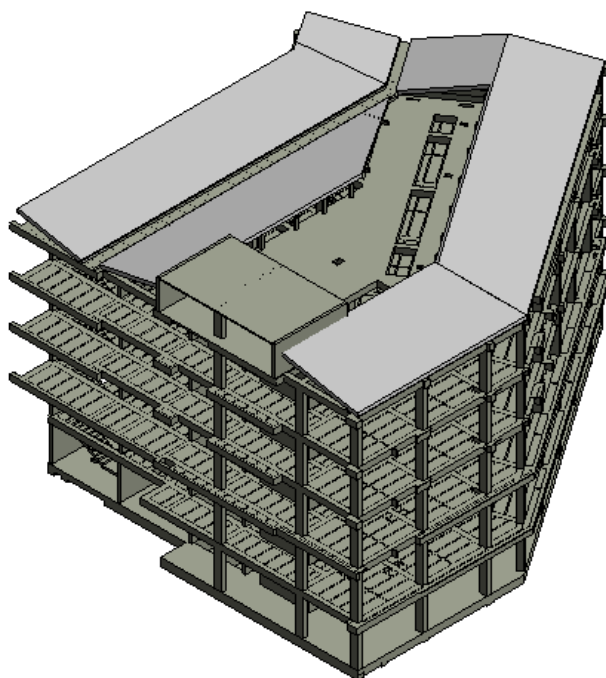
A continuación, se presenta una vista en planta del piso 2 y una vista 3D del modelo paramétrico de la estructura completa en Revit, de dónde luego del modelado se procedió a hacer el cálculo de cantidades de obra, en dónde se obtuvieron volúmenes de concreto necesarios para las fundidas programadas desde el comienzo del proyecto.

Figura 10. Planta 2 estructural



Fuente: *Elaboración propia en Revit*

Figura 11. Modelo estructural 3D



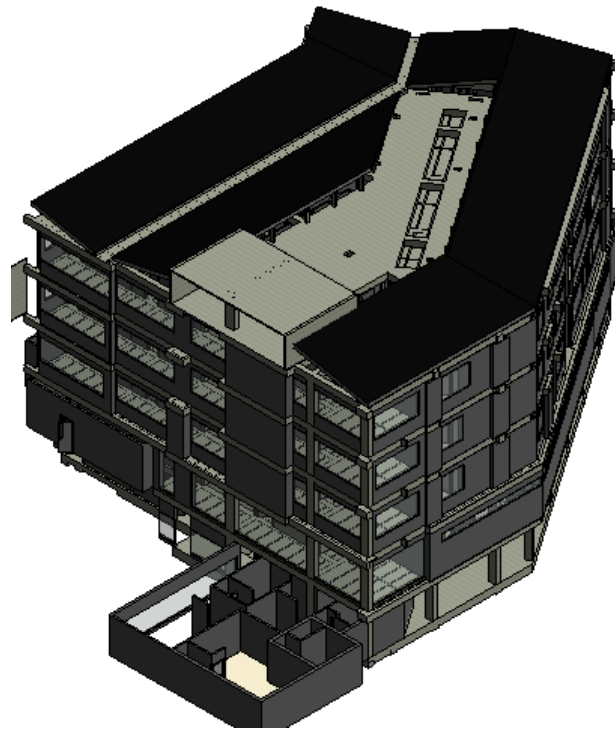
Fuente: *Elaboración propia en Revit*

6.2.2. ARQUITECTURA

La modelación arquitectónica se realizó importando los planos en formato (.dwg) en Revit para posteriormente crear los muros de mampostería ubicados en todo el edificio, así mismo, los muros de fachada dispuestos en el diseño.

Se presenta el modelo enlazado con la estructura mediante Revit, en dónde como primer paso se integraron para analizar los puntos en dónde no hay coincidencia entre diseños, y es ahí dónde se comienzan a resolver incongruencias respecto a lo estipulado en los diseños 2D.

Figura 12. Arquitectura de muros enlazada con el modelo estructural 3D



Fuente: *Elaboración propia en Revit*

6.2.3. INSTALACIONES HIDRÁULICAS Y SANITARIAS

Es importante antes de comenzar con el modelado MEP, conocer cada uno de los sistemas de redes que involucre el proyecto, así mismo, comenzar a plantear una idea de cómo sería un modelo federado óptimo en dónde no existan errores.

Fue indispensable modelar cada sistema en archivos aparte, ya que para una clínica las redes de tuberías son bastante robustas y eso genera archivos pesados al momento de realizar la integración de modelos en Navisworks. Se establecieron las siguientes pautas:

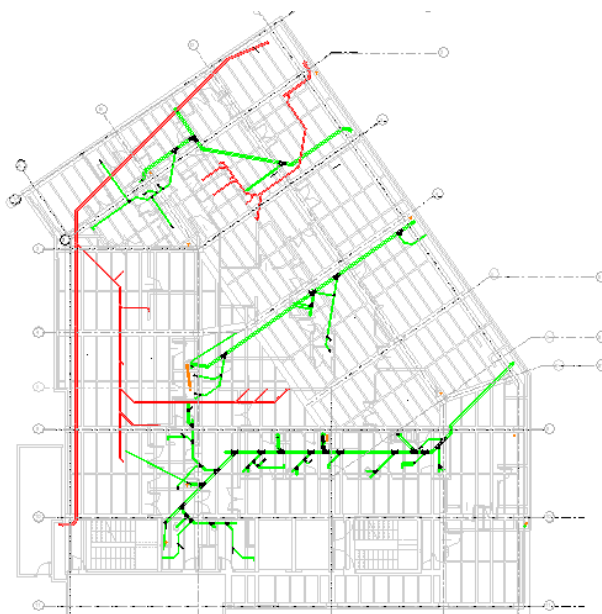
- Disponer de toda la información necesaria de los diseños de cada red ajustados con la arquitectura del proyecto.
- Conocer los conceptos básicos de MEP, como diámetros de tubería por sistema, trazados de tuberías, etc.
- Configurar las unidades de la mejor manera para manejar un solo sistema y no crear confusiones.
- Se utilizaron las plantillas de elementos BIM de Pavco para redes potables y sanitarias.
- El nivel de detalle estipulado para el modelado MEP es LOD 350.
- Toda la tubería se determinó que iría descolgada bajo placa.
- Se garantizaron tramos de tuberías no mayores a 6 metros.

6.2.3.1. RED AGUAS NEGRAS Y AGUAS PELIGROSAS

Se recibieron los planos por parte del diseñador y se comenzó a estudiar el trazado de las redes sanitarias. En reuniones posteriores se determinó qué aparatos sanitarios debían ir conectados a la red de aguas negras y que aparatos debían ir conectados a la red de aguas peligrosas debido a que se hizo un riguroso análisis sobre qué tipo de fluidos iban a recorrer las tuberías y con base en esa información se modificaron los trazados. Así mismo se vincularon los archivos de arquitectura y estructura para el trazado en Revit.

Se modelaron en primera instancia los pases de tuberías embebidos en la placa de cimentación, y se continuó con la modelación por pisos, teniendo en cuenta los ductos coordinados en la arquitectura y en la estructura.

Figura 13. Colectores principales en planta de segundo piso de red sanitaria



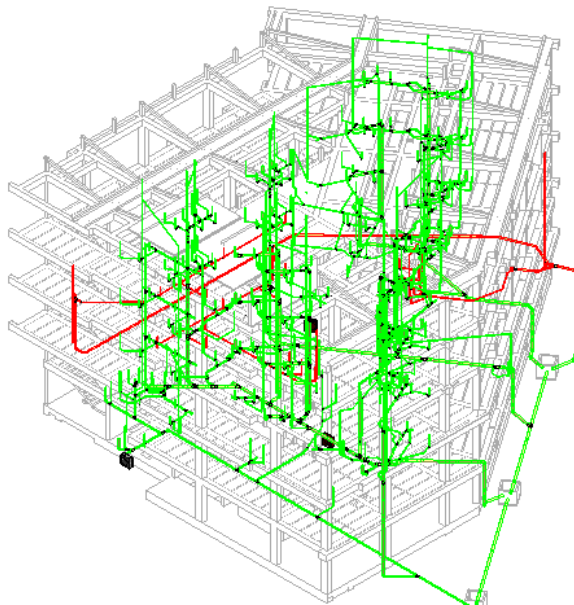
Fuente: Elaboración propia en Revit

La red sanitaria de color verde se estableció para aguas negras y la red sanitaria de color rojo se estableció para aguas peligrosas, como se observa en la figura 13.

Los diámetros manejados en el diseño de todo el sistema y así mismo en el modelado fueron de 2, 4 y 6 pulgadas, para los tramos de tuberías principales, como bajantes para aparatos sanitarios, sifones, codos, yee's, uniones y bujes. Para las reventilaciones se manejaron diámetros de 1 ½ y 2 pulgadas, respectivamente.

La vista 3D de todo el edificio muestra en su totalidad la red sanitaria en coordinación con la estructura. Revit tiene diferentes opciones de visualización y en este caso se puede apreciar la vista 3D de la red sanitaria con la estructura tramada, es decir, de forma que se vea superpuesto el trazado total del sistema de tuberías.

Figura 14. Vista 3D red sanitaria (Estructura tramada)



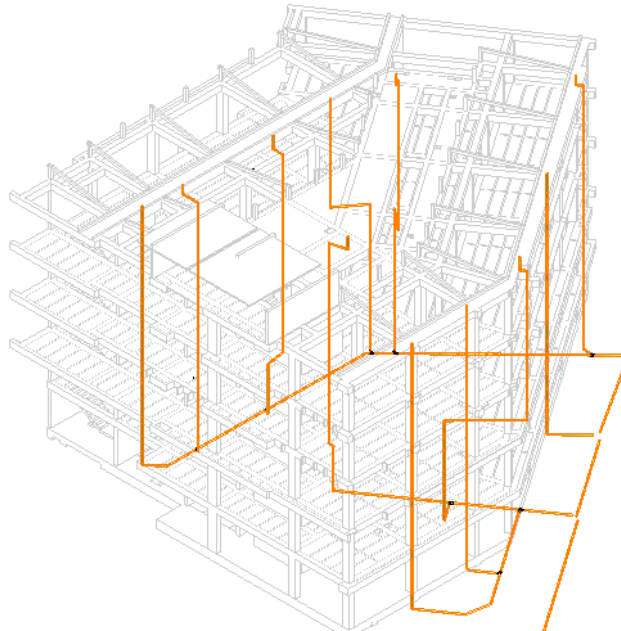
Fuente: Elaboración propia en Revit

6.2.3.2. RED AGUAS LLUVIAS

La parte importante para la red de aguas lluvias al recibir los diseños fue determinar cuáles eran los ductos establecidos para las bajantes de esta red. Se hizo el análisis completo de la ubicación de las bajantes de aguas lluvias y se realizó el modelado de la red. Se estableció agregar la red de color naranja para diferenciarla de los otros sistemas de redes.

El diámetro manejado para la red de aguas lluvias fue de 4 pulgadas, estipulado en el diseño. En la vista 3D de la red de aguas lluvias se aprecian los ductos establecidos para sus bajantes, así mismo los tramos de conexión en dónde cambia el trayecto de la tubería.

Figura 15. Vista 3D red aguas lluvias (Estructura tramada)

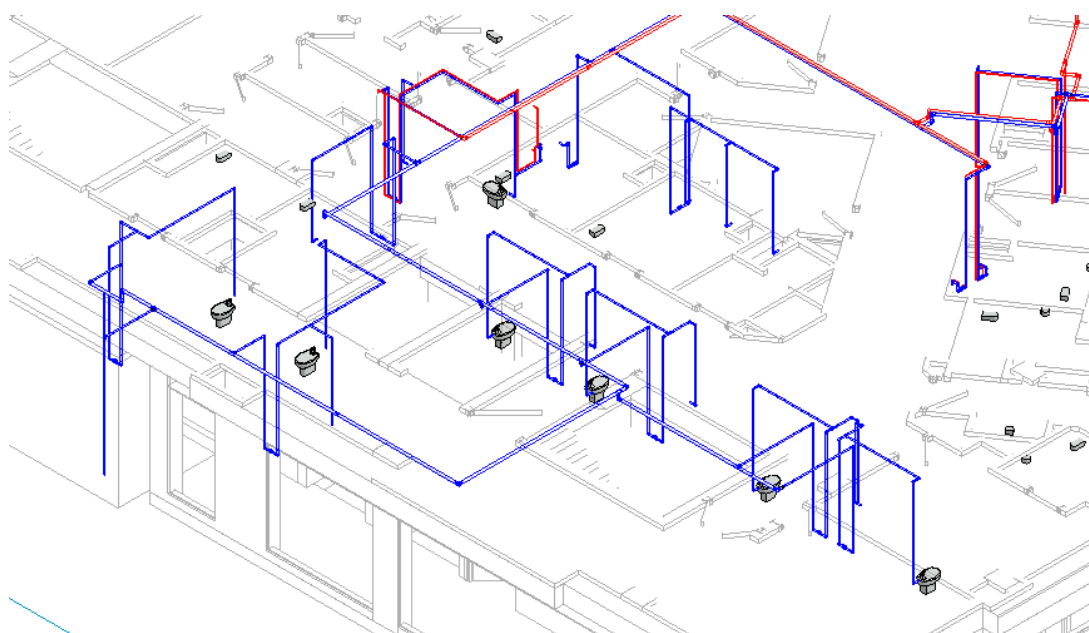


Fuente: *Elaboración propia en Revit*

6.2.3.3. RED HIDRÁULICA AGUA FRÍA Y AGUA CALIENTE

Para las redes de agua potable, en dónde se recibieron diseños para agua fría a presión y agua caliente a presión, el modelado se hizo con base en la ubicación de los aparatos como lavamanos, inodoros, duchas, registros y se establecieron los puntos exactos para la llegada de la red descolgada por muros para las habitaciones, baños, zona de desinfección, cuartos de aseo, etc., en dónde es necesaria la circulación de agua potable.

Figura 16. Corte en vista 3D planta 1



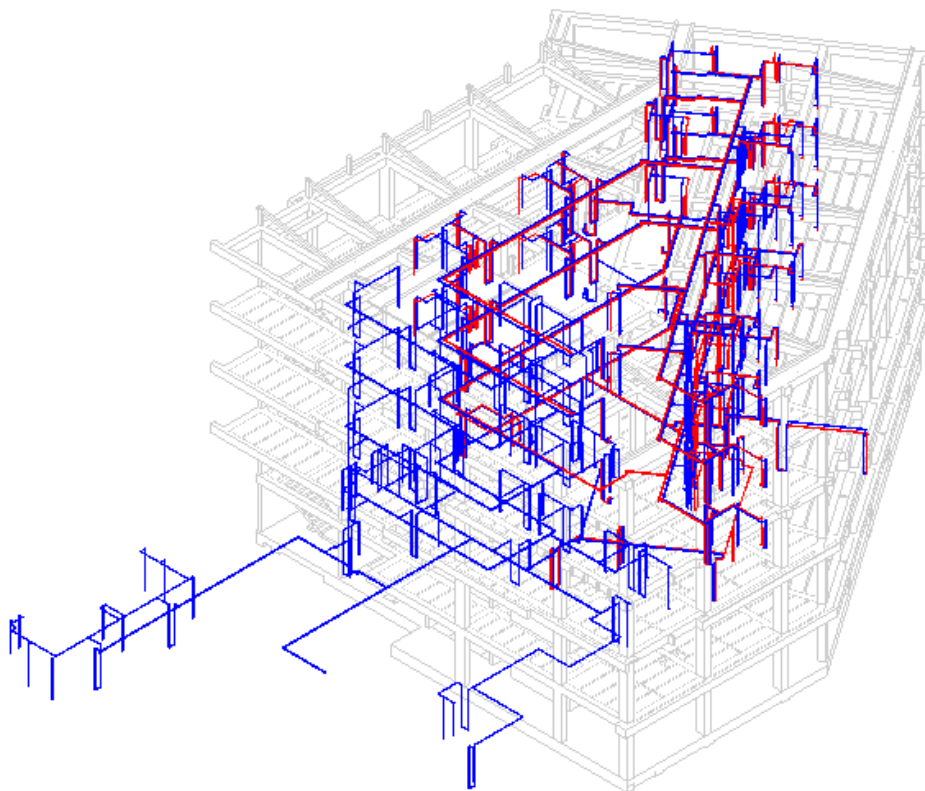
Fuente: *Elaboración propia en Revit*

La red hidráulica de agua fría se estableció con color azul, de igual manera para la red hidráulica de agua caliente se manejó color rojo. La tubería utilizada del catálogo de Pavco para la modelación en Revit fue:

- Hidráulica agua fría (HAF): Se manejó tubería Pavco Presión PVC RDE 21 para diámetros de tubería de $\frac{3}{4}$ a 6 pulgadas, y RDE 9 para diámetros de $\frac{1}{2}$ pulgada.
- Hidráulica agua caliente (HAC): Se manejó tubería Pavco Presión CPVC HotPro para diámetros de tuberías de $\frac{1}{2}$ a 2 pulgadas.

En la vista 3D de toda la red hidráulica se aprecia la circulación de agua a presión hacia todas las plantas.

Figura 17. Vista 3D redes hidráulicas agua fría y caliente (Estructura tramada)

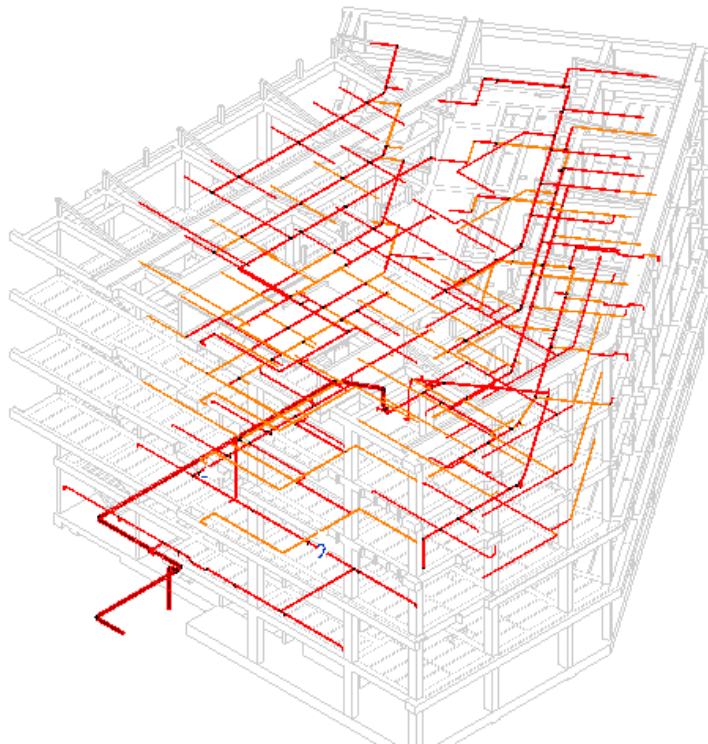


Fuente: Elaboración propia en Revit

6.2.3.4. RED CONTRA INCENDIO

Con base en la información recibida en el diseño de la red contra incendio, se determinó el material de la tubería a utilizar en el modelado, siendo acero negro la indicada para este tipo de trazado, así mismo, se establecieron los diámetros para los tramos de tuberías y para los aspersores. En dónde se encontró que la red principal tendría un diámetro de 2 pulgadas, y los tramos para la llegada a los aspersores tendrían un diámetro de 1 pulgada, de igual manera para la salida de los aspersores se determinó un diámetro de ½ pulgada.

Figura 18. Vista 3D red contra incendio (Estructura tramada)



Fuente: Elaboración propia en Revit

Se optó por un color rojo oscuro para la red contra incendio.

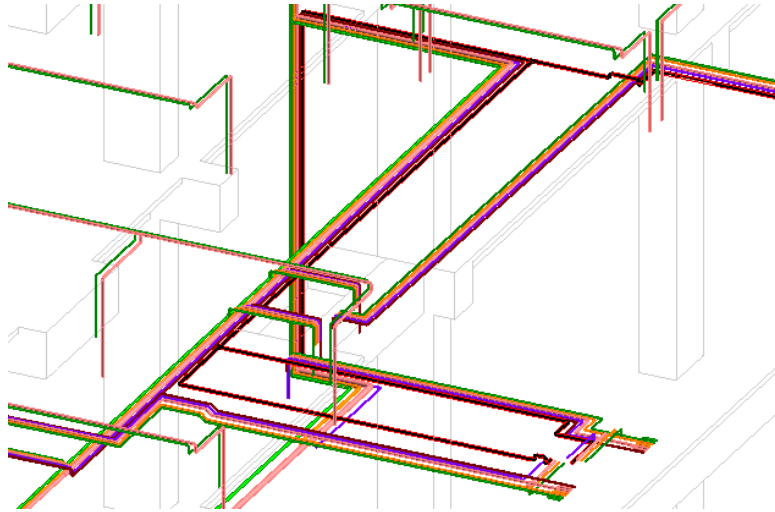
6.2.4. RED GASES MEDICINALES

Se identificaron seis tipos de tuberías distintas, que abarcan todo el sistema de gases medicinales. El material utilizado para el modelado fue cobre.

Para el proyecto de ampliación de la clínica cancerológica de Boyacá, el diseño de gases medicinales incluyó las tuberías de:

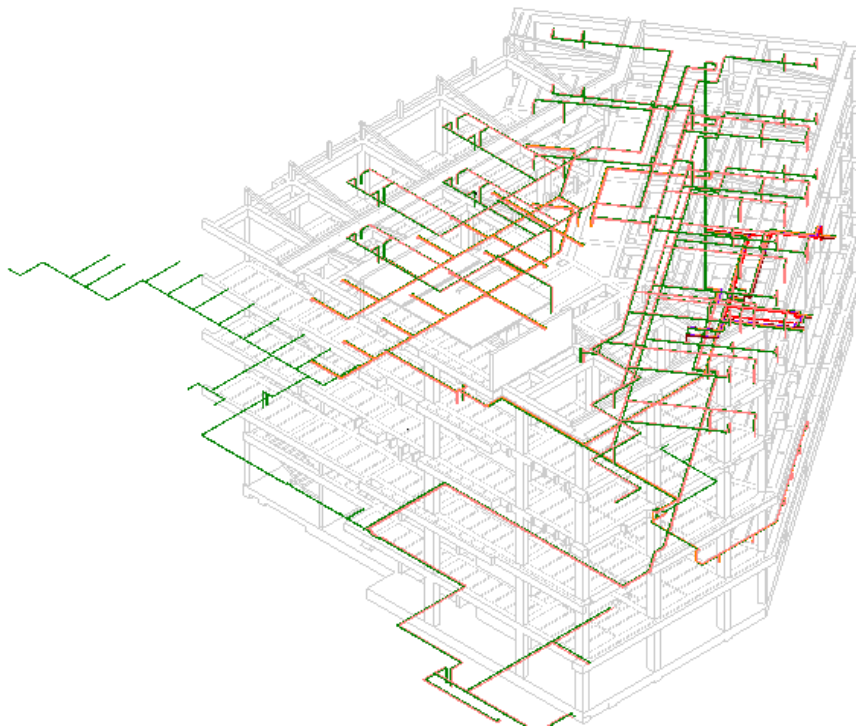
- Vacío (VAC): Se manejaron diámetros de tubería de $\frac{3}{4}$ y $1 \frac{1}{2}$ pulgadas, se optó por color rosado para la red.
- Aire (AIR): Se manejó diámetro de tubería de $\frac{1}{2}$ pulgada y se optó por color naranja para la red.
- Aire Evacuación (EVAC): Se manejó diámetro de tubería de $\frac{1}{2}$ pulgada y se optó por color violeta para la red.
- Descarga de Evacuación (DES): Se manejó diámetro de tubería de $1 \frac{3}{4}$ de pulgada y se optó por color negro con bordes rojos para la red.
- Oxígeno (O₂): Se manejó diámetro de tubería de $\frac{1}{2}$ pulgada y se optó por color verde para la red.
- Dióxido de Carbono (CO₂): Se manejó diámetro de tubería de $\frac{1}{2}$ pulgada y se optó por color vinotinto para la red.

Figura 19. Corte en vista 3D planta 2



Fuente: *Elaboración propia en Revit*

Figura 20. Vista 3D redes de gases medicinales (Estructura tramada)



Fuente: *Elaboración propia en Revit*

Al comenzar la modelación 3D se observó que el trazado de las redes de gases medicinales era muy extenso y su distribución era por todo el desarrollo del edificio, se contactó con el diseñador y se organizó una reunión posterior para tratar de reducir tramos largos de tuberías, se sugirieron nuevas líneas de trazado y al tener viabilidad por parte del diseñador se procedió a modelar con base a las nuevas indicaciones, como se observa en la figura 20.

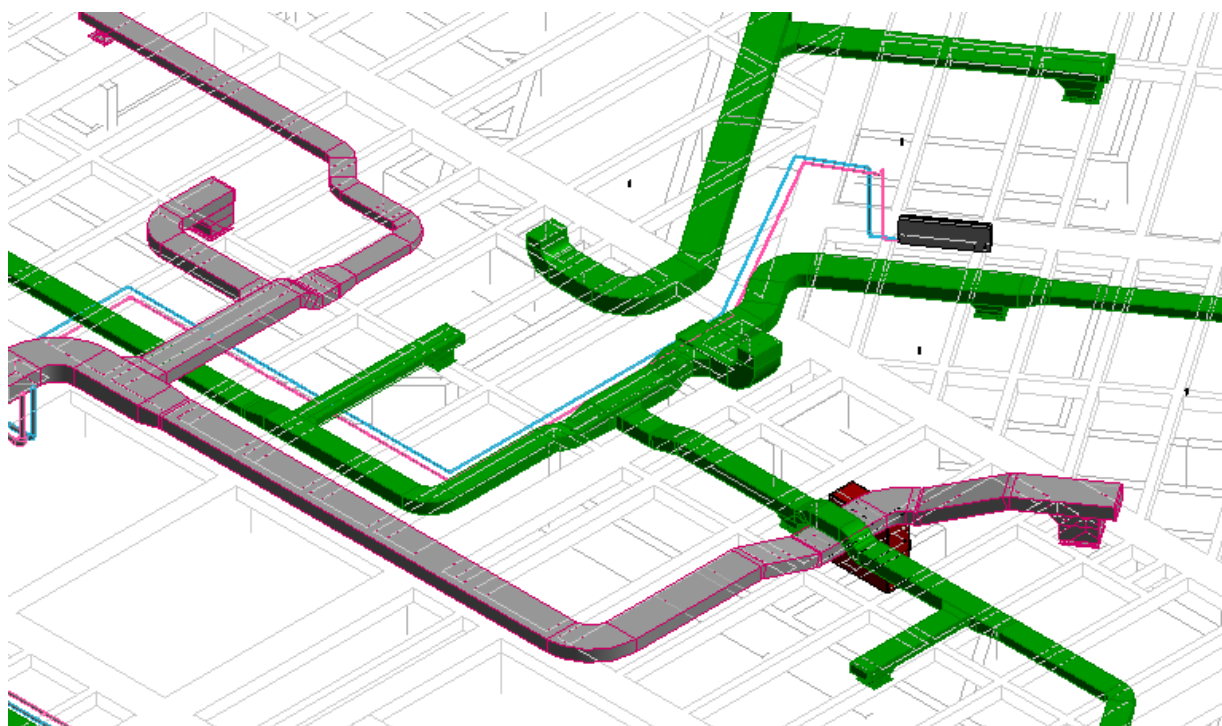
6.2.5. RED HVAC (SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO)

El diseño del sistema de aire acondicionado fue implementado por la empresa BPM de Bogotá, la cual también se encargó de modelar las redes en Autodesk Revit. En reuniones posteriores a la recepción de planos en formato (.rvt), se fijaron observaciones para el diseño y se recomendaron utilizar unas cotas de altura para ductos. Se analizó el modelo y se identificaron las redes utilizadas, así mismo sus parámetros, los cuales fueron:

- Ventilación Mecánica: Este sistema se clasifica como suministro de aire y fue resaltado con color morado.
- Extracción: Este sistema se clasifica como aire viciado y fue resaltado con color verde.
- Retorno: Este sistema se clasifica como aire de retorno y fue resaltado con color rojo.
- Suministro: Este sistema se clasifica como suministro de aire y fue resaltado con color azul.

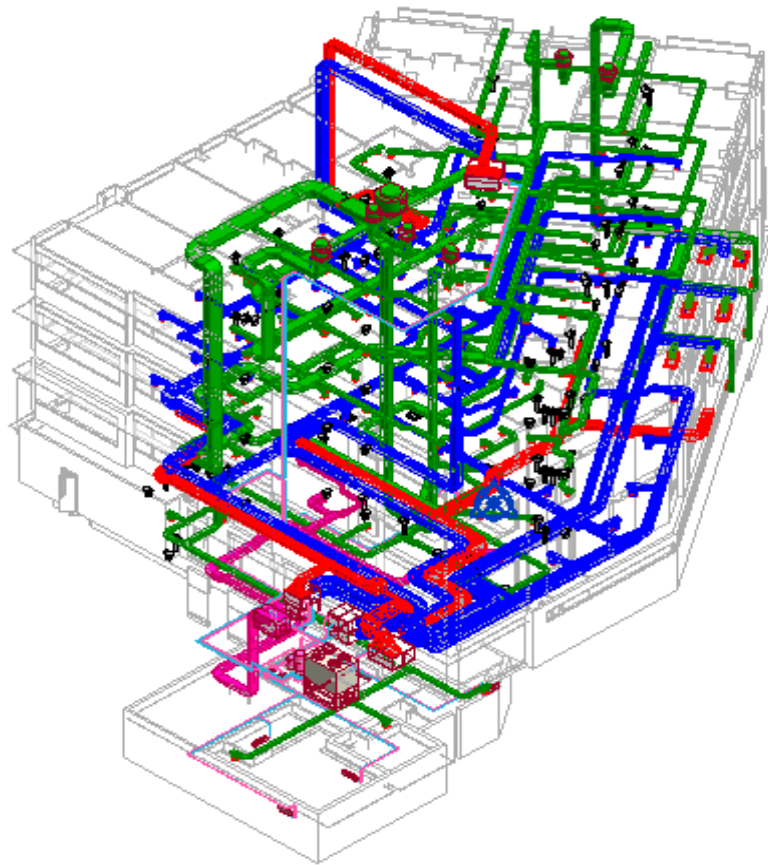
Así mismo se manejaron tuberías en polipropileno para retorno hidrónico y suministro hidrónico, utilizando diámetros de tubería de $\frac{3}{4}$ de pulgada hasta 2 pulgadas.

Figura 21. Corte en vista 3D planta 2



Fuente: Elaboración BPM en Revit

Figura 22. Vista 3D red HVAC (Estructura tramada)



Fuente: *Elaboración BPM en Revit*

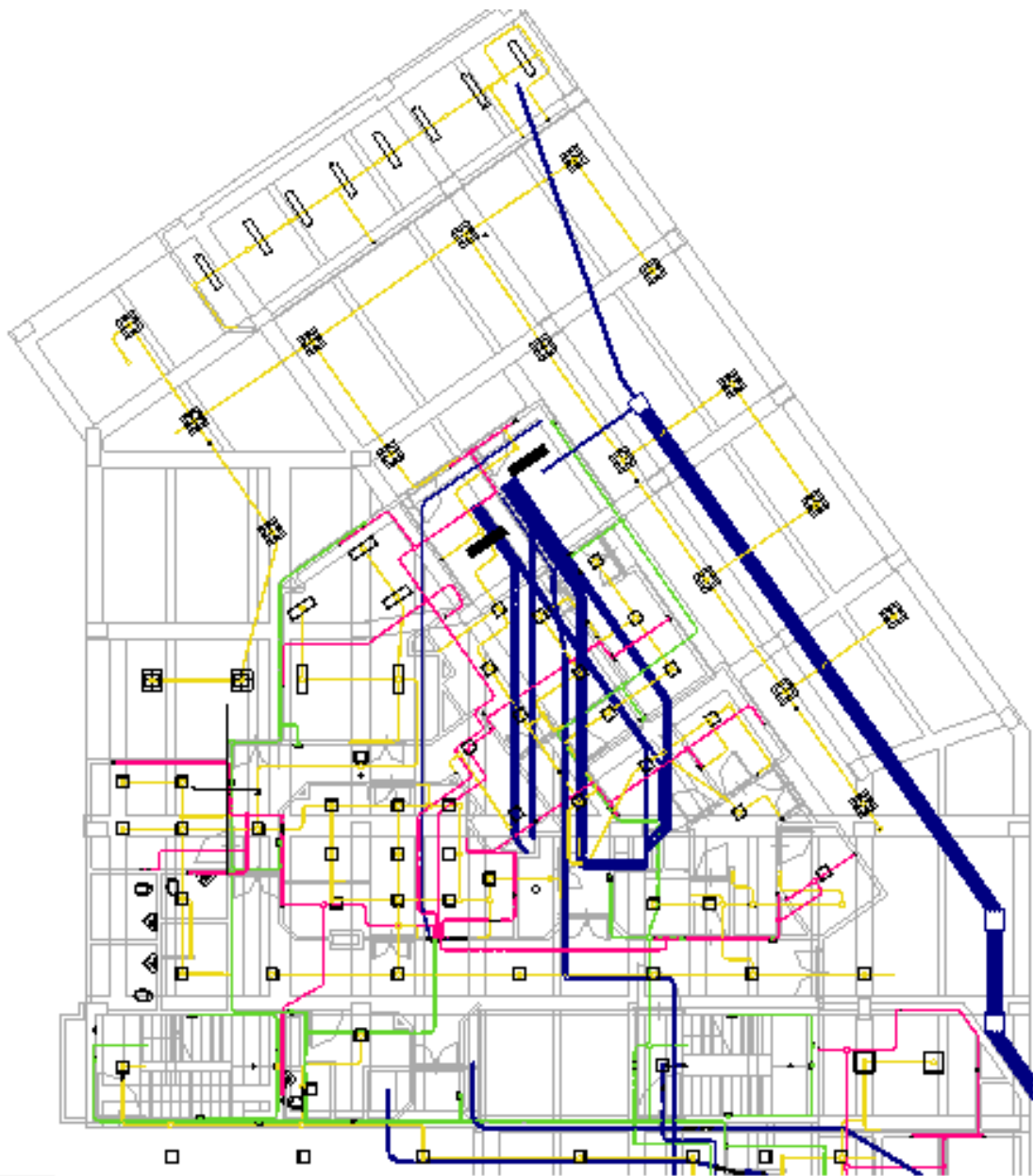
6.2.6. REDES ELÉCTRICAS

Para las redes eléctricas, según el diseño, todos los sistemas de tubos iban en material metálico (EMT). Se asocian cuatro trazados principales, los cuáles se distribuyen a lo largo del edificio y se relacionan a continuación:

- Iluminación: Hace referencia a la ubicación de luminarias principales, que van ubicadas bajo techo, así mismo, de las cajas de paso y las tuberías de conexión, de 21 mm de diámetro. Se estableció con color amarillo.
- Iluminación de emergencia: Hace referencia a la ubicación de luminarias, que van embebidas en los muros, así mismo, de las cajas de paso y las tuberías de conexión, de 21 mm de diámetro. Se estableció con color verde.
- Tomacorrientes: Hace referencia a la ubicación de tomas de circuito vital y crítico, que van colocados en los muros, así mismo, de sus cajas de paso y las tuberías de conexión, de 21 mm de diámetro. Se estableció de color fucsia.
- Parciales: Hace referencia a la ubicación de tuberías gruesas que van directamente a los tableros de circuitos principales. Así mismo, de sus cajas de paso de mayor dimensión, y de sus tuberías de conexión, de 53 mm y 78 mm, respectivamente. Se establecieron con color azul.

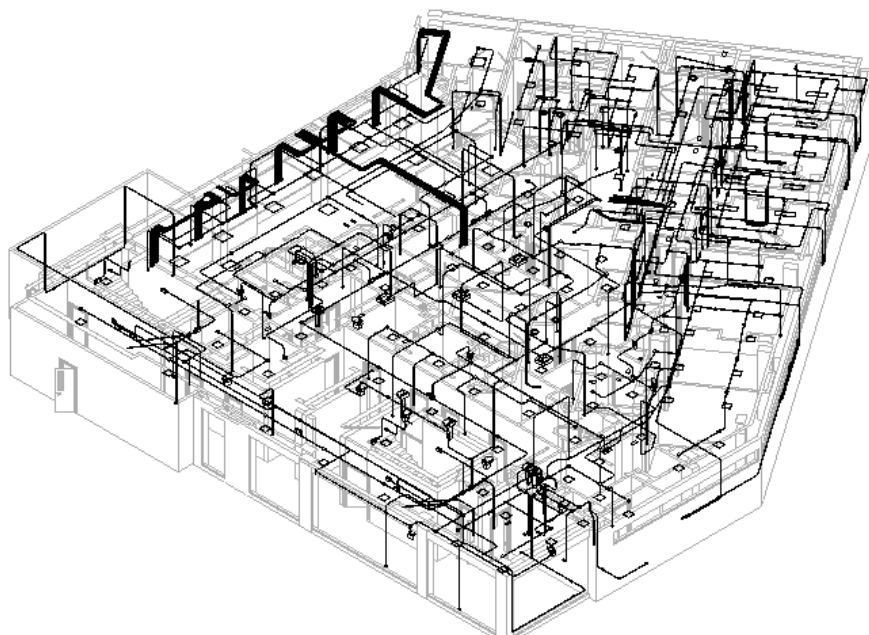
El trabajo de modelación de las redes eléctricas fue el último, debido a que su colocación es más flexible respecto al resto de redes. Sin embargo, fue un trabajo tedioso y que consumió bastante tiempo para resolver todas las colisiones encontradas con estas redes eléctricas, a comparación de los otros sistemas. Se procuró que todos los trazados de las redes eléctricas estuvieran en unas cotas más altas respecto a los otros sistemas a pesar de que en algunos puntos hubo la necesidad de esquivar las otras redes, pero de forma óptima.

Figura 23. Redes eléctricas en planta piso 1



Fuente: Elaboración propia en Revit

Figura 24. Vista 3D redes eléctricas piso 2 (Estructura tramada)



Fuente: *Elaboración propia en Revit*

6.3. TABLAS DE PLANIFICACIÓN Y CANTIDADES DE OBRA

Con base en los modelos paramétricos obtenidos se comenzaron a generar los datos necesarios para ejercer apoyo técnico y preciso en la construcción de la estructura y la arquitectura. El primer paso fue obtener los volúmenes de concreto sin desperdicio necesarios para la fundida de cada elemento estructural, comenzando por la revisión de volúmenes de vigas y placas, haciendo los ajustes necesarios e intentando no tener sobrecostos por exceso o por falta de concreto a la hora de programar una fundida.

De igual manera se desarrolló el mismo procedimiento de análisis y revisión de volúmenes de concreto para el resto de elementos estructurales como columnas,

pantallas y escaleras. Los datos generados por Autodesk Revit fueron exportados en un formato de texto para luego importarlos en Excel y organizar las respectivas tablas. Cabe resaltar que mediante Autodesk Revit se pueden organizar individualmente los elementos, para un análisis más detallado, o también hacer un análisis general de la estructura manejando un volumen total general.

Tabla 1. Planificación y cantidades de placas

	Nivel	Espesor	Longitud	Perímetro	Volumen	Área
Material						
Hormigón, gris						
PLACA DE CIMENTACIÓN	Nivel 1	0.35 m	38.79 m	114.70 m	209.1 m³	597.36 m²
PLACA DE CIMENTACIÓN	Nivel 1	0.40 m	20.37 m	57.76 m	69.34 m³	173.35 m²
PLACA DE ENTREPISO	Nivel 2	0.06 m	39.55 m	117.72 m	46.45 m³	774.20 m²
PLACA DE ENTREPISO	Nivel 3	0.06 m	39.35 m	120.95 m	48.63 m³	810.48 m²
PLACA DE ENTREPISO	Nivel 4	0.06 m	39.35 m	130.90 m	46.61 m³	776.83 m²
PLACA DE ENTREPISO	Nivel 5	0.06 m	39.35 m	130.90 m	46.61 m³	776.83 m²
PLACA MACIZA	Nivel 6	0.14 m		94.70 m	28.15 m³	201.09 m²
Total general: 7					494.86 m³	4110.13 m²

Fuente: Elaboración propia en Excel

Tabla 2. Planificación y cantidades de columnas piso 1

	Nivel base	Nivel superior	Desfase superior	Longitud	Volumen
Material					
Hormigón, gris					
COL A-1 (CLÍNICA) (100)	Nivel 1	Nivel 2	-0.50 m	3.00 m	0.72 m³
COL B-1 (CLÍNICA) (100)	Nivel 1	Nivel 2	-0.50 m	3.00 m	0.72 m³
COL D-1 (CLÍNICA) (100)	Nivel 1	Nivel 2	-0.50 m	3.00 m	0.72 m³
COL E-1 (CLÍNICA) (100)	Nivel 1	Nivel 2	-0.50 m	3.00 m	0.72 m³
COL E-2 (CLÍNICA) (100)	Nivel 1	Nivel 2	-0.50 m	3.00 m	0.72 m³
COL D-2 (CLÍNICA) (100)	Nivel 1	Nivel 2	-0.50 m	3.00 m	0.72 m³

COL B-2 (CLÍNICA) (100)	Nivel 1	Nivel 2	-0.50 m	3.00 m	0.72 m³
COL B-3 (CLÍNICA) (100)	Nivel 1	Nivel 2	-0.50 m	3.00 m	0.72 m³
COL D-3 (CLÍNICA) (100)	Nivel 1	Nivel 2	-0.50 m	3.00 m	0.72 m³
COL E-3 (CLÍNICA) (100)	Nivel 1	Nivel 2	-0.50 m	3.00 m	0.72 m³
COL E-4 (CLÍNICA) (100)	Nivel 1	Nivel 2	-0.50 m	3.00 m	0.72 m³
COL B'-4 (CLÍNICA) (100)	Nivel 1	Nivel 2	-0.50 m	3.00 m	0.72 m³
COL B-4 (CLÍNICA) (100)	Nivel 1	Nivel 2	-0.50 m	3.00 m	0.72 m³
COL A-4 (CLÍNICA) (100)	Nivel 1	Nivel 2	-0.50 m	3.00 m	0.72 m³
COL A-9 (CLÍNICA) (100)	Nivel 1	Nivel 2	-0.50 m	3.00 m	0.72 m³
COL B-9 (CLÍNICA) (100)	Nivel 1	Nivel 2	-0.50 m	3.00 m	0.72 m³
COL D-9 (CLÍNICA) (100)	Nivel 1	Nivel 2	-0.50 m	3.00 m	0.72 m³
COL E-9 (CLÍNICA) (100)	Nivel 1	Nivel 2	-0.50 m	3.00 m	0.72 m³
COL E-10 (CLÍNICA) (100)	Nivel 1	Nivel 2	-0.50 m	3.00 m	0.72 m³
COL D-10 (CLÍNICA) (100)	Nivel 1	Nivel 2	-0.50 m	3.00 m	0.72 m³
COL B-10 (CLÍNICA) (100)	Nivel 1	Nivel 2	-0.50 m	3.00 m	0.72 m³
COL A-10 (CLÍNICA) (100)	Nivel 1	Nivel 2	-0.50 m	3.00 m	0.72 m³
COL E-11 (CLÍNICA) (100)	Nivel 1	Nivel 2	-0.50 m	3.00 m	0.72 m³
COL D-11 (CLÍNICA) (100)	Nivel 1	Nivel 2	-0.50 m	3.00 m	0.72 m³
COL A-3 (CLÍNICA) (100)	Nivel 1	Nivel 2	-0.50 m	3.00 m	1.32 m³
COL D-4 (CLÍNICA) (100)	Nivel 1	Nivel 2	-0.50 m	3.00 m	0.72 m³
COL E-6 (CLÍNICA) (100)	Nivel 1	Nivel 2	-0.50 m	3.00 m	0.72 m³
COL D-6 (CLÍNICA) (100)	Nivel 1	Nivel 2	-0.50 m	3.00 m	0.72 m³
COL E-8' (CLÍNICA) (100)	Nivel 1	Nivel 2	-0.50 m	3.00 m	0.72 m³
COL D-8' (CLÍNICA) (100)	Nivel 1	Nivel 2	-0.50 m	3.00 m	0.72 m³
COL C-9' (CLÍNICA) (100)	Nivel 1	Nivel 2	-0.50 m	3.00 m	1.20 m³
COL C-11 (CLÍNICA) (100)	Nivel 1	Nivel 2	-0.50 m	3.00 m	0.84 m³
Total general: 32					24.24 m³

Fuente: Elaboración propia en Excel

Tabla 3. Planificación y cantidades para accesorios tubería sanitaria piso 2

Cantidad	Descripción del Producto	Código de Catálogo
SANITARIO P2		
2	ADAPT LIMPIEZA SAN 2	2900678
5	ADAPT LIMPIEZA SAN 4	2900682
8	BUJE SAN 4X2 SOLD	2901030
1	BUJE SAN 6X4 SOLD	2901036
31	CODO SAN 45 2 CXC	2901181
8	CODO SAN 45 2 CXE	2901183
5	CODO SAN 45 4 CXC	2901189
9	CODO SAN 45 6 CXC	2901193
1	CODO SAN 45 6 CXE	2901195
3	CODO SAN 90 1.1/2 CXC	2901209
14	CODO SAN 90 2 CXC	2901213

6	CODO SAN 90 4 CXC	2901221
8	CODO SAN 90 6 CXC	2901224
3	TEE RED SAN 2X1.1/2	2901543
3	TEE RED SAN 4X2	2901548
2	TEE SAN 2	2901561
1	UNION SAN 6	2901703
14	YEE RED SAN 6X4	2901716
7	YEE RED SAN 4X2	2901741
14	YEE SAN 2	2901748
6	YEE SAN 4	2901755
3	YEE SAN 6	2901758
2	TEE RED SAN 6X4	2902828

Fuente: Elaboración propia en Excel

Después de la modelación MEP, Revit hace recuento de la cantidad total de accesorios usados para el modelo de la red, y tiene la opción para distribuirlos por piso respectivamente, de igual manera para los tramos de tuberías con sus longitudes precisas. Cabe resaltar que Revit no organiza tramos de tuberías en dónde la longitud excede los 6 metros, debido a que no es una longitud disponible para trabajar.

Ver todas las tablas de planificación y cantidades en el Anexo A.

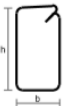
6.4. INFORME DE LA SUPERVISIÓN DE ACTIVIDADES EN OBRA

Inicialmente al llegar a obra se comenzaron a revisar las actividades propias de la parte estructural del proyecto, al estar trabajando en los modelos paramétricos, la revisión de volúmenes mediante Revit fue una de las tareas más precisas a la hora de programar las fundidas. A continuación, se relacionan las actividades más relevantes desarrolladas directamente en obra:

6.4.1. ARMADO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES

Al estudiar los planos estructurales y conocer a fondo el diseño de cada sección, se procedió a hacer supervisión del armado de cada uno de los elementos. Lo primero fue revisar que cada barra de acero fuera la indicada en el diseño, por medio de AutoCAD 2D se hizo la respectiva verificación de las medidas de los empalmes para las barras longitudinales, para así tomar la medida en obra y hacer posibles correcciones. Fue importante ver la necesidad de que cada punto esté debidamente amarrado para garantizar que la separación entre estribos sea la indicada en los diseños. Apoyado en los planos 2D se hizo control de todo el armado de elementos.

Tabla 4. Cartilla de cubierta (Barras #3)

Lista de barras #3					
DIAGRAMA	CANTIDAD	PRODUCTO	LONG. (m)	PESO	UBICACION
	2476	#3	1.68	2,329.42	[116 En VIGA 401][108 En VIGA 403][45 En VIGA 406][83 En VIGA 407][73 En VIGA 409][75 En VIGA 410][81 En VIGA 411][22 En VIGA 412][44 En VIGA 414][171 En VIGA 415][8 En VIGA 418][32 En VIGA 416][196 En VIGA 417][153 En VIGA 419][150 En VIGA 420][134 En VIGA 426][25 En VIGA 427][148 En VIGA 431][85 En VIGA 435][135 En VIGA 436][28 En VIGA 438][28 En VIGA 440][97 En VIGA 445][163 En VIGA 446][94 En VIGA 448][192 En VIGA 449]
	864	#3	1.48	716.08	[38 En VIGA 404][34 En VIGA 405][38 En VIGA 421][140 En VIGA 428][133 En VIGA 429][94 En VIGA 432][28 En VIGA 437][90 En VIGA 439][100 En VIGA 441][85 En VIGA 443][108 En VIGA 444]
	235	#3	1.38	181.61	[8 En VIGA 408][8 En VIGA 413][4 En VIGA 415][77 En VIGA 424][19 En VIGA 434][119 En VIGA 450]
	162	#3	1.28	116.12	[8 En VIGA 402][30 En VIGA 422][12 En VIGA 423][22 En VIGA 425][6 En VIGA 430][8 En VIGA 433][76 En VIGA 447]
	20	#3	0.63	7.06	[20 En VIGA 417]

Peso total barras #3 =3,350.29 Kg

Fuente: Elaboración propia en DL.NET

Ver cartillas completas en el Anexo B.

Se hizo revisión de la armadura estructural en columnas, pantallas, placas, vigas y viguetas. Se ejerció apoyo en la realización de las cartillas de acero respectivas por medio de la aplicación de G&J, para posteriormente hacer el pedido de las mismas.

6.4.1.1. REGISTRO FOTOGRÁFICO Y ANÁLISIS:

Se implementó registro fotográfico del armado de los elementos estructurales.

Imagen 1. Armado de vigas principales



Fuente: Propia

Imagen 2. Armado de pantallas



Fuente: Propia

Imagen 3. Armado de vigas principales y placa



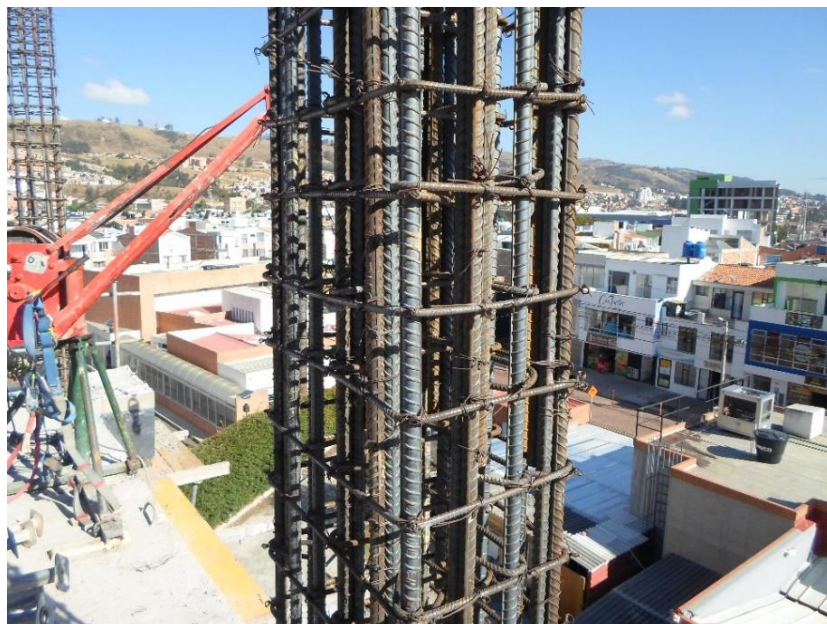
Fuente: Propia

Imagen 4. Armado de placa



Fuente: Propia

Imagen 5. Armado de columnas



Fuente: Propia

Imagen 6. Armado de escalera



Fuente: Propia

Se supervisaron cada uno de los elementos estructurales, y a continuación se relaciona el análisis realizado:

- Para las vigas principales, se tuvo en cuenta que los estribos tuvieran la separación estipulada en el diseño, así mismo que los traslapos entre las barras longitudinales fuera el correcto e indicado en planos de diseño, fue necesario hacer revisión minuciosa para verificar que hubiera un amarre en cada punto de intersección.
- Para las pantallas se estableció que las mallas estuvieran debidamente aseguradas, así mismo que empalmaran de forma precisa con las columnetas ubicadas en sus extremos. En las columnetas se verificó la separación de estribos y los amarres en puntos de intersección.

- Para la placa se verificó que los bocales tuvieran la medida exacta del elemento, y no hubiera errores en la geometría para la colocación de los casetones de icopor. Así mismo, se observó que estuvieran en posición las panelas suficientes para evitar que las mallas estuvieran en contacto directo con los casetones, e igualmente en la parte inferior con la formaleta de madera.
- Para la columna se verificó de igual manera que en las vigas, la separación de estribos, que el número de barras fuera el indicado en planos y así mismo, que las barras longitudinales tuvieran el traslape preciso para evitar afectar la longitud de desarrollo en la columna y que estuvieran amarrados todos los puntos. Se tuvo en cuenta que los ganchos al final de la columna tuvieran la dirección indicada para que conectaran de forma correcta con las vigas en su parte superior.
- Para la escalera se verificó la distancia indicada en planos de la huella y la contrahuella, también que estuviera asegurada la formaleta de madera en este caso y así mismo, los amarres en cada punto de la parrilla, como la separación entre cada barra.

6.4.2. ENCOFRADO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES

Para el armado de la formaleta en los elementos estructurales previo a las fundidas se supervisó que a las camillas metálicas se les añadiera separol para evitar la adhesión del concreto a la formaleta cuando se fuera a fundir, así mismo que se nivelaran antes de asegurar totalmente. Para las pantallas y columnas se supervisó que estuvieran debidamente plomadas antes de recibirlas y dejarlas listas para fundida.

6.4.2.1. REGISTRO FOTOGRÁFICO:

Imagen 7. Encofrado de columna



Fuente: Propia

Imagen 8. Encofrado de pantallas



Fuente: Propia

Imagen 9. Encofrado de pantalla 1



Fuente: Propia

La pantalla 1 fue la más crítica a la hora de armar la formaleta, debido a que se debió asegurar de forma compleja porque la presión del concreto a la hora de fundir es bastante grande, todo esto porque la pantalla se ubica en una zona difícil y está continua a otra edificación.

Imagen 10. Encofrado de escalera



Fuente: Propia

6.4.3. FUNDIDA DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES

Las fundidas fueron programadas con los volúmenes de concreto determinados en el software Autodesk Revit para cada uno de los elementos estructurales, así se tuvo precisión a la hora de pedir el concreto con Holcim.

Se hizo supervisión desde la toma de muestras de concreto mediante cilindros, hasta la finalización de las fundidas, se estableció el siguiente análisis:

- Se tomaron muestras de concreto de 3000 y 4000 psi mediante cilindros para determinar la resistencia.

- Se supervisó el vaciado de concreto en cada elemento, para columnas y pantallas se verificó que se agregara agua antes de vaciar el concreto.
- Se confirmó que el vibrado del concreto fue el correcto garantizando la homogeneidad de la mezcla y evitando que hubiese intersticios de aire.
- Se recibieron las columnas y pantallas debidamente plomadas posterior a la fundida.
- Se verificó que cada elemento estuviera nivelado.
- Se verificó que los testeros para cada elemento estuvieran debidamente asegurados.
- Se hizo el respectivo curado del concreto aplicando agua constantemente en las placas.
- Para columnas se procedió a quitar la formaleta metálica y se hizo el respectivo curado con vinipel para mantenerlas hidratadas.

6.4.3.1. REGISTRO FOTOGRÁFICO:

Imagen 11. Toma de muestras de concreto mediante cilindros



Fuente: Propia

La toma de muestras de concreto se rige bajo la Norma Técnica Colombiana (NTC), la cual establece que, se debe medir la resistencia a la compresión para garantizar que el concreto despachado al respectivo proyecto cumpla con los requerimientos especificados y con el control de calidad. De acuerdo a la ASTM C 31, un resultado de un ensayo de resistencia es siempre el promedio de al menos dos especímenes ensayados a la misma edad. Las resistencias esperadas para los cilindros se establecieron en 21.1 Mpa y 28 Mpa, debido a que fueron las resistencias utilizadas para fundir los diferentes elementos estructurales.

Las muestras para los ensayos de resistencia debieron tener un proceso de curado adecuado para garantizar que las moléculas de cemento se hidrataran correctamente y dieran una estructura cristalina por el efecto de la hidratación. Esto se traduce en la obtención de la resistencia esperada. Los elementos fundidos debieron curarse por lo menos durante 7 días en forma continua durante 24 horas.

Para las placas se comenzó llenando las viguetas para el correcto ajuste del casetón y luego se llenaron las vigas principales, para así proceder a complementar la fundida con el espesor de la losa. Así mismo, se fue aplicando el respectivo vibrado del concreto, y posteriormente se fue perfilando la placa para un acabado óptimo.

Al día siguiente de la fundida de placa se hizo el respectivo curado del concreto aplicando agua durante todo el día para garantizar la resistencia adecuada en el concreto.

Imagen 12. Fundida de vigas, viguetas y placa



Fuente: Propia

Imagen 13. Fundida de columnas



Fuente: Propia

Imagen 14. Hidratación de placa posterior a fundida



Fuente: Propia

Imagen 15. Fundida de pantallas



Fuente: Propia

6.4.4. MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL

Se comenzaron a cimbrar los muros desde el piso 1 hacia arriba y al verificar que el cimbrado estuviera acorde a las medidas de los planos arquitectónicos y en el modelo de Revit, se dio el aval para comenzar a levantar los muros en bloque. Se hizo supervisión de la puesta de los bloques, así mismo, de la elaboración de mortero para pega y del armado de las respectivas columnetas ubicadas en los extremos de los muros, también del armado de vigas cinta para garantizar el confinamiento de los elementos según el diseño estructural.

6.4.4.1. REGISTRO FOTOGRÁFICO:

Imagen 16. Muros primer piso



Fuente: Propia

Imagen 17. Armado de columnetas en muros



Fuente: Propia

Imagen 18. Vigas cinta en muros primer piso



Fuente: Propia

Imagen 19. Muros segundo piso



Fuente: Propia

6.5. INTEGRACIÓN DE MODELOS BIM EN NAVISWORKS MANAGE E IMPLEMENTACIÓN EN OBRA

Como se mencionó anteriormente, los conjuntos de planos en formato CAD fueron importados en Revit, para así realizar la modelación paramétrica de cada especialidad. Para la integración de archivos en Navisworks, es necesario ajustar un punto base de coordenadas que tengan todos los archivos en común en Revit, referenciando cada una de las capas en los archivos.

Autodesk Revit tiene la opción de analizar colisiones entre los mismos sistemas modelados en cada archivo independiente, por lo tanto, se creó la siguiente tabla para análisis individual de archivos y por conjunto de archivos:

Tabla 5. Distribución de disciplinas en Revit

Archivo Revit	Especialidad
EST.rvt	Estructura (Vigas, columnas, viguetas, pantallas, placas, escaleras, etc.)
ARQ.rvt	Arquitectura (Muros divisorios, ventanas, puertas)
MEP 1.rvt	Sanitaria, Aguas lluvias, RCI, Gases medicinales
HVAC.rvt	Aire acondicionado
MEP 2 (HAF-HAC).rvt	Hidráulica agua fría y agua caliente
ELEC.rvt	Redes eléctricas

Fuente: Elaboración propia en Excel

6.5.1. INCONSISTENCIAS EN DISEÑOS 2D

El proceso de modelación del proyecto se llevó a cabo con base en la creación de modelos 3D a partir de planos 2D. Para generar un contexto de trabajo ideal, es importante aplicar la metodología BIM desde la concepción del proyecto. Los planos deben ser muy precisos para generar también un modelo de alta calidad.

La información contenida en los planos 2D de cada especialidad contenía errores que hicieron complicado el proceso de modelado y se debieron ir corrigiendo a medida que se avanzaba en los modelos, aumentando el tiempo de trabajo.

Se generó una lista de observaciones estructurales de errores en planos 2D de diseño y la solución aplicada directamente en el modelo paramétrico:

1. VIGAS DE CIMENTACIÓN:

*V.CIM-16: En corte y detalles dice que $B=0.50$ m y $H=0.70$ m, pero en plano de planta de cimentación está trazada la viga con $B=0.4004$ m.

Nota: Se coloca viga (V.CIM-16) de $B=0.50$ m, según corte y detalles.

*V.CIM-21: En corte y detalles dice que $B=0.50$ m y $H=0.60$ m, pero hay un error en plano de planta de cimentación (Eje vertical B y entre ejes horizontales 4-9), en donde aparece $B=0.55$ m.

Nota: Se coloca viga (V.CIM-21) de $B=0.50$ m, según corte y detalles.

*V.CIM-28: En corte y detalles dice que $B=0.50$ m y $H=0.60$ m, pero hay un error en plano de planta de cimentación (Por encima del eje 4 horizontal), en donde aparece $B=0.4$ m.

Nota: Se coloca viga (V.CIM-28) de $B=0.50$ m, según corte y detalles.

*V.CIM-34: En corte y detalles dice que $B=0.25$ m y $H=0.60$ m, pero hay un error en plano de planta de cimentación (Entre ejes 10-11 (sentido horizontal) y D-E (sentido vertical)), en donde aparece $B=0.3$ m.

Nota: Se coloca viga (V.CIM-34) de $B=0.25$ m, según corte y detalles.

*V.CIM-23a: No se encuentra corte y detalle de viga de cimentación 23a.

Nota: Se adopta geometría de $B=0.50$ m y $H=0.70$ m, según planta de cimentación.

Ver documento completo en el Anexo C.

6.5.2. DETECCIÓN, ANÁLISIS Y RESOLUCIÓN DE COLISIONES E INTERFERENCIAS EN LA INTEGRACIÓN DE MODELOS

Primer análisis:

- En el archivo MEP (1) en Revit, se vincularon los archivos EST y ARQ para generar el primer informe de colisiones, haciendo así la primera resolución entre los sistemas de Red sanitaria, Red aguas lluvias, Red contra incendio y Red de gases medicinales.
- De igual forma en los archivos HVAC y MEP (2) (HAF-HAC) en Revit, se hizo el mismo procedimiento de vinculación con los archivos de EST y ARQ para generar el informe de colisiones con los sistemas de Aire acondicionado y las Redes hidráulicas de agua fría y agua caliente, para posteriormente resolver las primeras interferencias.

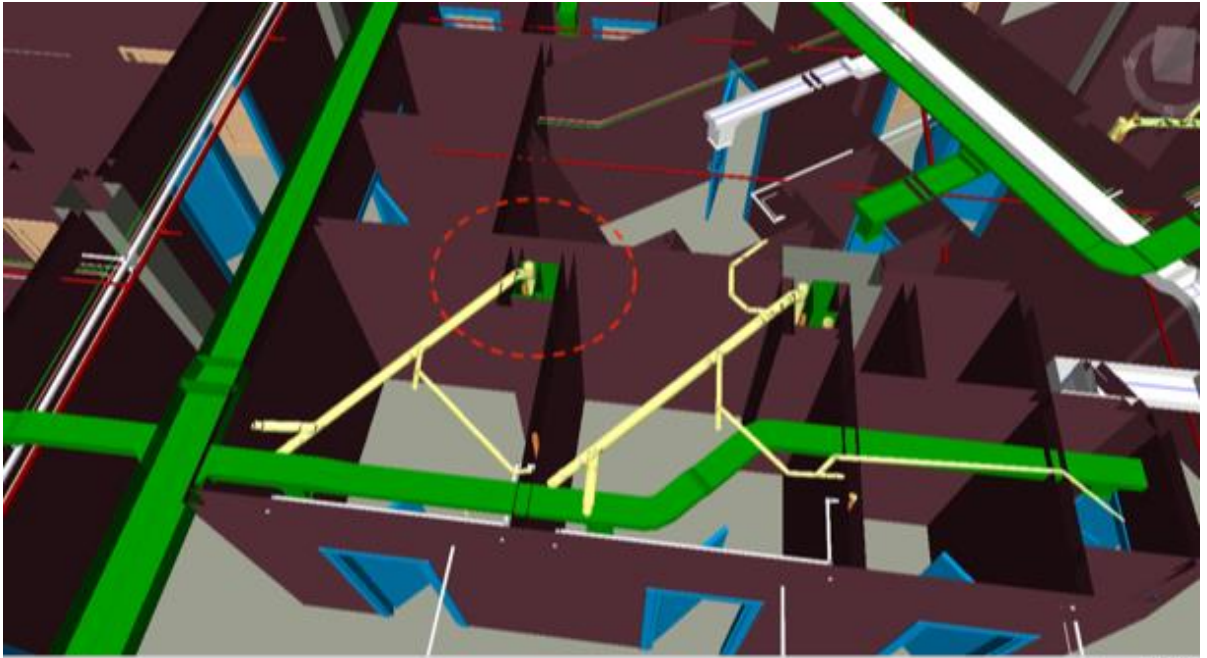
Segundo análisis:

- Luego de resolver el primer informe de interferencias en Revit, se procedió a importar cada uno de los archivos de Revit a Navisworks, para así una vez abiertos en Navisworks, convertir el formato de cada archivo de (.rvt) a (.nwf).
- Navisworks tiene la función de añadir uno por uno los archivos e ir mostrando visualmente la vinculación de todos ellos, eso sí, con la certeza de que todos los archivos se encuentren con un mismo sistema de coordenadas, configuradas en Revit antes de hacer la conversión.

- Una vez abiertos los archivos de Estructura y Arquitectura en Navisworks, se procedió a añadir el archivo MEP (1) (En formato nwf), y luego el archivo HVAC (En formato nwf), para así hacer el segundo análisis de colisiones entre archivos. Navisworks genera la lista de choques detectados.
- Para comenzar a resolver las colisiones, se deben tener abiertos cada uno de los archivos en Revit como en Navisworks, debido a que estos softwares al tener los archivos vinculados generan un sólo modelo federado de trabajo, entonces el plus del trabajo es que la lista de choques generados por Navisworks, se puede ir resolviendo al unísono en Revit.
- Navisworks tiene la función de medir con exactitud la magnitud de la colisión, y ya teniendo la información de cuánto se debe desplazar un elemento, el siguiente paso es ir al archivo en Revit y disponerse a mover el elemento la distancia precisa, medida primero en Navisworks. Una vez resueltas las colisiones, se debe guardar el archivo corregido en Revit e ir a Navisworks para actualizar el modelo y automáticamente se eliminan las colisiones en el modelo federado.
- A medida que se fueron resolviendo las inconsistencias con cada archivo, se fue congelando el modelo federado y se añadieron nuevos archivos listos para analizar, siendo el archivo ELEC, el último añadido al modelo central o federado, hasta completar la integración de archivos en Navisworks y resolver la mayoría de colisiones para todo el proyecto.

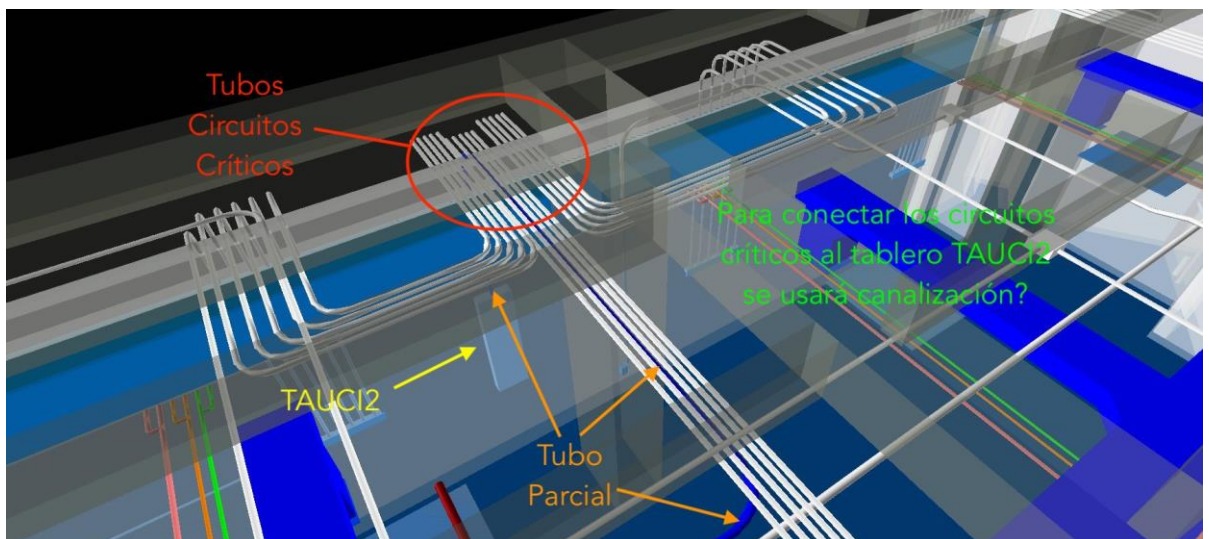
Navisworks genera visualización más realista para todo el proyecto y así mismo, se puede apreciar por etapas el desarrollo de cada especialidad. A continuación, se relaciona la integración de archivos en Navisworks y la resolución de algunas colisiones importantes:

Figura 25. Choque entre red HVAC y red sanitaria



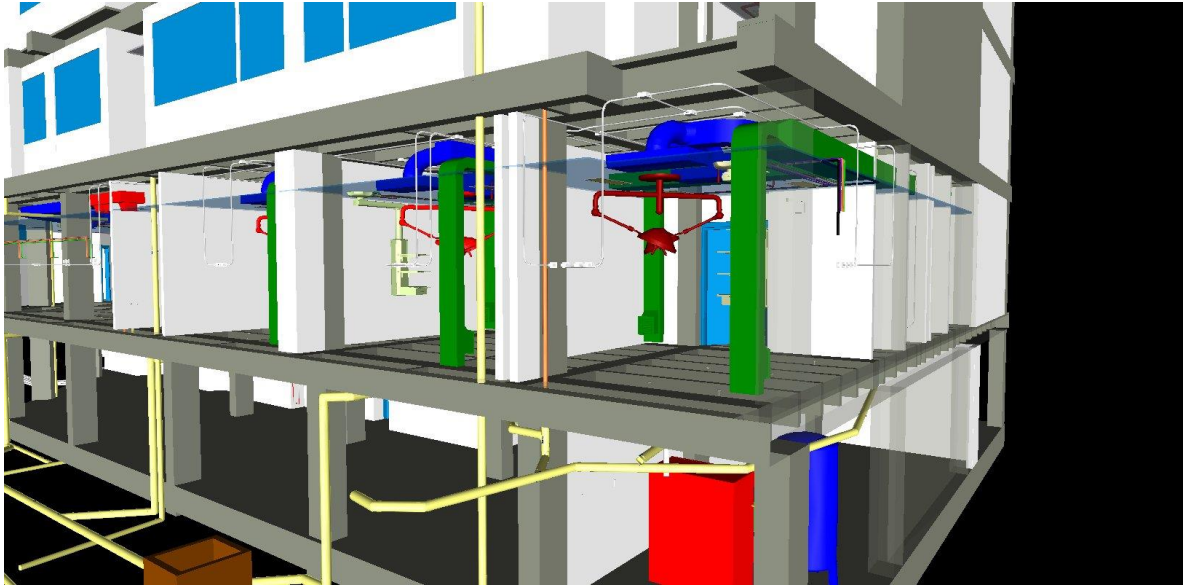
Fuente: Elaboración propia en Navisworks

Figura 26. Choque entre redes eléctricas



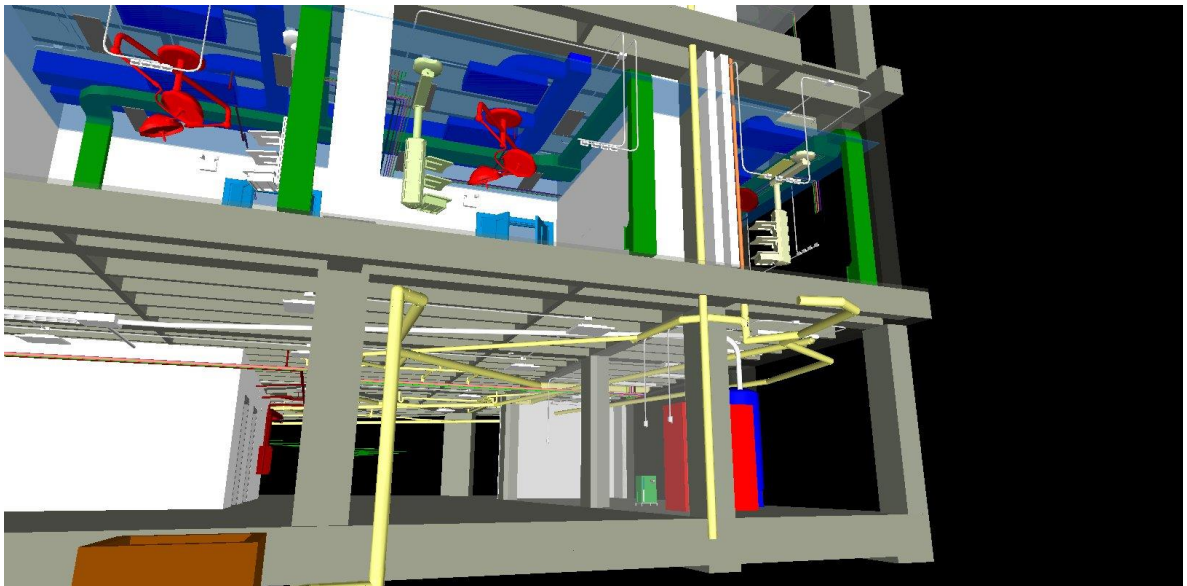
Fuente: Elaboración propia en Navisworks

Figura 27. Vista sur-oriental a quirófanos en piso 2 (Modelo federado)



Fuente: Elaboración propia en Navisworks

Figura 28. Vista oriental a colectores de aguas peligrosas en piso 1 (Modelo federado)



Fuente: Elaboración propia en Navisworks

6.5.3. IMPLEMENTACIÓN DE BIM (ESTRUCTURA E INSTALACIONES MEP) EN OBRA

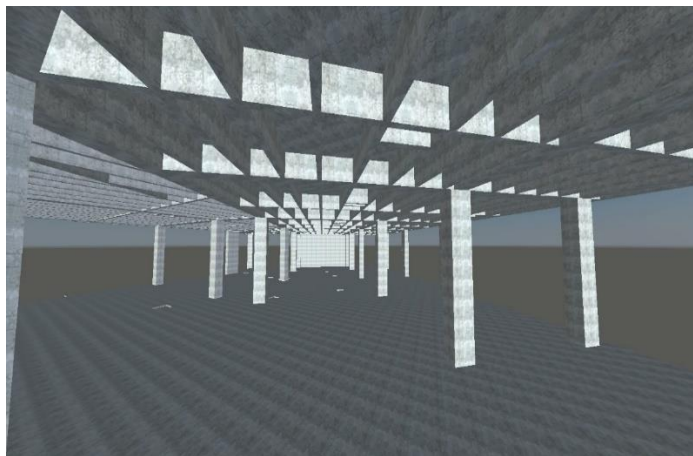
Al resolver la gran mayoría de colisiones entre sistemas, se comenzó a implementar cada sistema analizado directamente en obra. Este trabajo de adhesión de los modelos 3D en campo es un proceso largo, y se debe tener bajo supervisión la instalación de cada uno de los sistemas, teniendo en cuenta que Revit y Navisworks generan cotas y longitudes de trabajo, pero lo más importante es hacer cumplir al pie de la letra los modelos hasta la terminación total de la obra. Los sistemas que se alcanzaron a comenzar a implementar fueron la Red sanitaria de aguas negras y aguas peligrosas, Red de aguas lluvias y parte de la Red eléctrica.

Se relacionan entonces las figuras del modelo federado y las imágenes reales en obra:

6.5.3.1. Estructura:

- Modelo

Figura 30. Estructura piso 3 BIM



Fuente: *Elaboración propia en Navisworks*

- Obra

Imagen 20. Estructura piso 3 en obra



Fuente: Archivo de obra

6.5.3.2. Red Sanitaria y Redes Eléctricas

- Modelo

Figura 31. Salida de colector de red aguas negras y parciales en piso 1



Fuente: Elaboración propia en Navisworks

- Obra

Imagen 21. Salida de colector de red aguas negras y parciales en piso 1



Fuente: Archivo de obra

- Modelo

Figura 32. Red aguas negras y red de iluminación



Fuente: Elaboración propia en Navisworks

- Obra

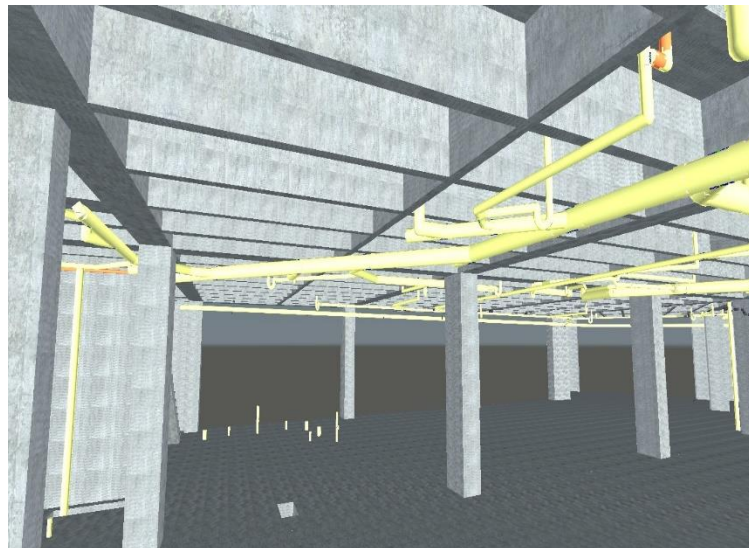
Imagen 22. Red aguas negras y red de iluminación



Fuente: Archivo de obra

- Modelo

Figura 33. Inicio de colector 1 red de aguas negras en piso 1



Fuente: Elaboración propia en Navisworks

- Obra

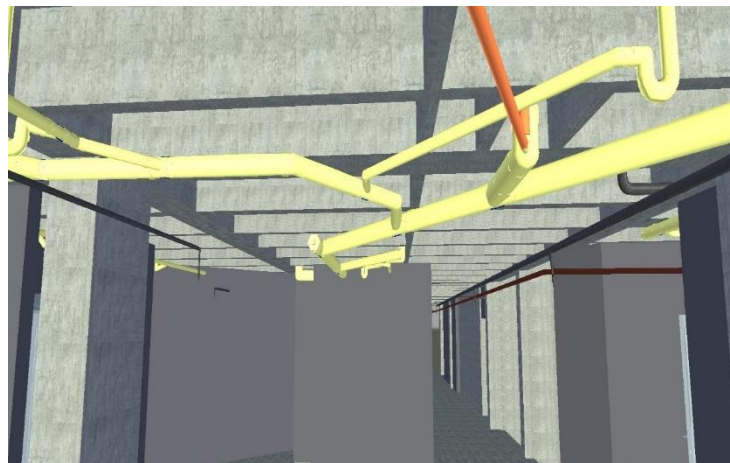
Imagen 23. Inicio de colector 1 red de aguas negras en piso 1



Fuente: Archivo de obra

- Modelo

Figura 34. Bajante por ducto de red aguas negras en piso 1



Fuente: Elaboración propia en Navisworks

- Obra

Imagen 24. Bajante por ducto de red aguas negras en piso 1



Fuente: Archivo de obra

- Modelo

Figura 35. Red aguas negras y redes parciales en piso 1



Fuente: Elaboración propia en Navisworks

- Obra

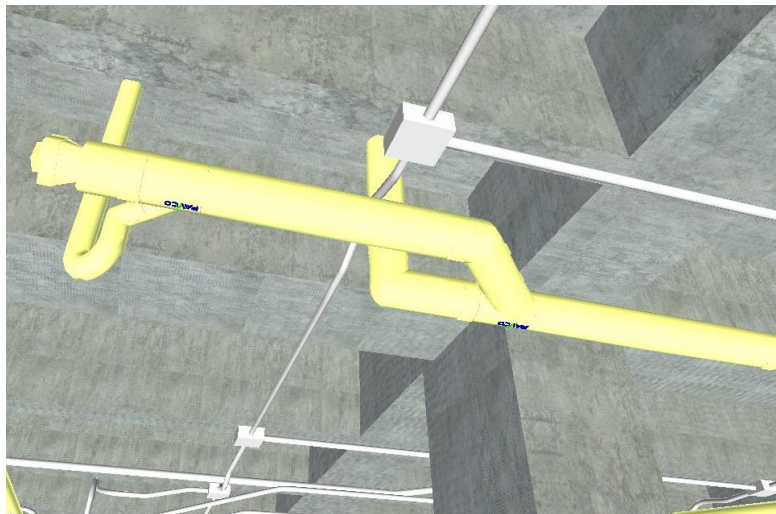
Imagen 25. Red aguas negras y redes parciales en piso 1



Fuente: Archivo de obra

- Modelo

Figura 36. Puntos de lavamanos y sifones de la red de aguas negras y red de iluminación en piso 1



Fuente: Elaboración propia en Navisworks

- Obra

Imagen 26. Puntos de lavamanos y sifones de la red de aguas negras y red de iluminación en piso 1



Fuente: Archivo de obra

7. APORTES DEL TRABAJO

7.1. COGNITIVOS

Como pasante de ingeniería civil fue importante aplicar los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera, los cuáles fueron cruciales a la hora de resolver situaciones presentadas durante el desarrollo de la práctica profesional. Los aportes más relevantes se hicieron con base en el manejo de software especializados como AutoCAD, Revit, Navisworks y Excel, los cuales ayudaron a encontrar soluciones prontas y precisas frente a los diferentes problemas encontrados.

Todo fue un aprendizaje para la vida laboral en un proyecto de tal magnitud como la construcción de una clínica, se brindó apoyo técnico y de supervisión de actividades de obra, en dónde se logró dar puntos de vista objetivos basados en lo aprendido en cada una de las materias vistas en la carrera universitaria. Los temas más específicamente manejados a lo largo de la pasantía fueron la construcción de estructuras de concreto reforzado, teniendo en cuenta las normativas para armaduras de acero, así mismo, para elaboración y utilización de concreto, pero también se manejaron temas respecto a las redes hidráulicas, aunque se manejó en un porcentaje más alto la modelación 3D, al momento de analizar y configurar los trazados de las redes, fue necesario acudir a normativas para establecer la optimización de cada uno de los sistemas, garantizando su funcionalidad.

Con base en los modelos creados e implementados se redujo el margen de error en obra, de allí se extrajeron planos, datos y números necesarios para verificar los diseños y como aporte crucial se dio la toma constante de medidas en el modelo

para acertar en la parte práctica, desde el cimbrado de muros, hasta el levantamiento de cada uno de ellos.

Se generaron diferentes planos de trabajo para cada contratista, en dónde se especificaban el tipo de elemento, la longitud en cada tramo y la altura de trabajo, la cual fue fundamental para saber hasta qué punto se debían subir los muros de mampostería, dejando el espacio necesario según el diseño arquitectónico para el plenúm del cielo raso, en el que se podrían comenzar a instalar las redes de tuberías con más facilidad y con mejor espacio de trabajo para los contratistas encargados.

En los apéndices y anexos se pueden observar los registros de los aportes generados para el proyecto, en dónde se incluyen modelos 3D, observaciones, tablas de planificación y cantidades y planos elaborados.

7.2. COMUNIDAD

Como aporte a la comunidad se tiene en cuenta desde el inicio de la pasantía que la obra estaba dirigida a personas con enfermedades graves que requieren un servicio de salud óptimo y estable, por lo tanto, desde que se comenzó a intervenir directamente el proyecto se pensó en que cada espacio fuera el adecuado para el beneficio de la gente que vaya a hacer uso de las instalaciones, desde hacer cumplir al pie de la letra los diseños, garantizando que la estructura funcione como debe ser, hasta con la innovación en la implementación de BIM en los sistemas de redes mecánicas, eléctricas y de plomería. La modelación BIM se realizó con el motivo de que las cosas quedaran bien hechas, que funcionaran y desde el punto de vista

estético que al momento de colocarlas no se afectara la estructura ni la arquitectura del proyecto.

La ampliación de la Clínica Cancerológica de Boyacá marca la vanguardia para acoger casos en la problemática del cáncer, debido a que sus servicios se extienden enormemente, dando mayor capacidad en hospitalización para casos graves, la ventaja de tener unidades de cuidados intensivos e intermedios aplicados a los tratamientos de cáncer, además de, exámenes prioritarios, diagnósticos requeridos de manera urgente, intervención quirúrgica que es el gran plus, porque ya no habrá necesidad de recurrir a Bogotá, teniendo en cuenta que, antes era necesidad ir hasta esa ciudad para tratamientos urgentes. En pocas palabras, es la primer Clínica Cancerológica especializada de Boyacá, dando un gran beneficio a la cantidad de pacientes que recurre a exámenes diagnósticos y posibles tratamientos.

Otro aporte importante es la generación de empleos para los profesionales de la salud, debido a que al entrar en funcionamiento total la Clínica, requiere un gran número de personal para suplir la atención que se espera brindar y tener un alto índice de calidad.

El mayor aporte fue cumplir con los protocolos de seguridad y ayudar a que el proyecto se desarrollara de la mejor manera, haciendo las cosas bien y pensando en un futuro en el uso de cada una de las especialidades del proyecto.

8. IMPACTOS DEL TRABAJO DESEMPEÑADO

BIM ha venido adquiriendo un impacto significativo en la ingeniería y en la construcción, debido a que esta metodología relativamente nueva ha generado cambios y progresos en la práctica del control de un proyecto, en escalas ascendentes. Todo esto basado en las funciones que proveen softwares especializados como Revit o Navisworks para revisión y seguimiento de los procesos constructivos respecto a cada disciplina. Para un proyecto de grande envergadura como la ampliación de la clínica cancerológica de Boyacá, la metodología BIM brindó enormes beneficios para la planificación, teniendo en cuenta que cuando se comenzó con la implementación de las herramientas BIM el proyecto estaba ya en desarrollo. Sin embargo, esto no fue obstrucción para poder evaluar alternativas de mejoras en pro del proyecto y así mismo definir correctamente las actividades a desarrollar.

Los aspectos que relaciona la metodología BIM en dónde el aporte es mucho más significativo en el trabajo son el alcance y el tiempo, y al final se traduce a costo y calidad, dado que se observó a medida que avanzaba el proyecto, que se podían visualizar los cambios pertinentes, así mismo las actualizaciones de diseños, las secuencias constructivas, entre otros.

BIM es una herramienta que ha generado un impacto positivo en el proceso de control del proyecto de ampliación de la clínica cancerológica de Boyacá respecto al alcance, tiempo, costo y calidad, porque se tuvo una comunicación directa con todos los participantes del proyecto, desde diseñadores hasta constructores y se estableció un trabajo colaborativo en dónde se fueron haciendo ajustes óptimos

para garantizar la funcionalidad de cada especialidad y completar el desarrollo de todo el proyecto de la mejor manera posible.

Referente a la obra, gracias a que se obtuvieron las cantidades precisas de obra, no se vio afectación por los residuos de construcción, porque se sabe que hay muchos desperdicios a la hora de utilizar materiales y herramientas grandes y pequeñas, sin embargo, se tuvo buen manejo de la utilización de materiales que afectan en gran envergadura al medio ambiente, por otro lado, debido a que la Clínica Cancerológica de Boyacá actual se mantuvo en funcionamiento, se establecieron medidas de prevención para reducir el ruido generado a diario por la obra, así mismo, para que no se vieran afectados los procedimientos hechos a los pacientes delicados de salud. Se aceleró el proceso de construcción de los pisos 2 y 4 para entrega record, debido que allí se ubican las salas de cirugías, salas de cuidados intensivos e intermedios y habitaciones, de las cuales se espera disponer en poco tiempo, y permitir que el servicio de la clínica se expanda en favor de la demanda de pacientes.

8.1. VENTAJAS DE LA IMPLEMENTACIÓN BIM EN EL PROYECTO

Modelar todo un proyecto, es decir, modelar todas las disciplinas que lo constituyen en 3D, permite controlar todo el proceso constructivo del proyecto generando nuevas dimensiones de control que se catalogan como 4D Control de costos, 5D Control de Programación, 6D Control Ambiental y Energético y 7D Control de Mantenimiento, entre otras.

Una de las mayores ventajas de la implementación de la Metodología BIM en el proyecto de ampliación de la clínica cancerológica de Boyacá, si no la mayor ganancia, consistió en la detección temprana de problemas constructivos por inconsistencias, discordancias y/o colisiones entre todos los elementos constitutivos de una edificación, lo cual conlleva a implementar soluciones efectivas y económicas antes de iniciar la construcción física, reduciendo en un muy amplio margen los sobrecostos a futuro al resolver los mismos problemas en obra, o sobre la marcha con tiempos muertos de personal, maquinaria, etc.

De otro lado y no menos importante, es lo que tiene que ver con la posibilidad de establecer de manera precisa los costos directos reales del proyecto. Esto, a partir de la capacidad de software especializados, que permiten, a través de la modelación 3D, cuantificar y medir de manera directa las cantidades de obra generadas en cada disciplina.

Adicionalmente, mediante software especializados, la metodología BIM permite recrear por medio de videos la secuencia constructiva del proyecto y de cada una de sus etapas si se quiere, a partir de la programación de obra con el Diagrama de Gantt y del modelo constructivo definitivo, incluyendo modelos en 3D de los equipos a usar, la topografía de emplazamiento y la ubicación real de edificio. Estos videos mostrarán de manera objetiva y real los pormenores de la ejecución de la obra, permitiendo al equipo directivo, tomar decisiones precisas y oportunas antes y durante la construcción. Básicamente las ventajas significativas se resumen en:

Reducción de errores = Reducción de Costos

Detección de colisiones = Constructibilidad

9. CONCLUSIONES

- Los modelos paramétricos generados mediante herramientas BIM como Revit y Navisworks, permitieron una visualización 3D congruente del edificio; además contaron con las cuantificaciones necesarias para extracción de cantidades de obra. Así mismo el modelo federado fue funcional y versátil a la hora de implementarlo en obra.
- La metodología BIM ayudó en la toma de decisiones preliminares para el proyecto, como el ajuste de volúmenes de concreto, pedidos de material de acuerdo a las tablas de planificación e instalación de tuberías, esto creó un ambiente colaborativo entre los diseñadores y constructores.
- Generar los modelos paramétricos requirió habilidades de manejo de software especializados que van más allá de la representación en 3D y para lograr un modelo federado detallado y eficaz fue necesario ser preciso a la hora de parametrizar los elementos en la modelación.
- La integración de modelos en Navisworks permitió ver los choques de manera real, que se generaron entre todos los sistemas. Entendiendo así, que poderlos resolver antes de interpretarlos en obra, es un paso significativo a la hora de que el resultado de la obra sea totalmente el esperado, sin embargo, como sucedió en el proyecto, muchas veces los materiales con los que se realiza el modelo no son al final los adquiridos para la obra, y esto generó variaciones que se solucionaron con base en el modelo y con el tipo de material utilizado, realizando los ajustes necesarios para no alterar la metodología del diseño ni del modelo federado, para obtener los resultados esperados.

- La supervisión en la instalación de las redes hidrosanitarias y eléctricas se llevó a cabo siguiendo al pie de la letra el modelo central, generando datos de trabajo necesarios y puntuales para el contratista encargado, como longitudes de tuberías, cotas de alturas y pendientes requeridas por diseño.
- El seguimiento en el armado de los elementos estructurales y posterior fundida permitió observar el buen comportamiento del concreto luego de desencofrar cada elemento, así mismo, el trabajo empleado en la toma de muestras de concreto mediante cilindros se hizo de manera ordenada y cumpliendo las especificaciones descritas en la norma competente.
- La construcción con base en metodología BIM presentó grandes ventajas frente a la construcción con método convencional, porque desde el principio se tenía visibilidad y análisis de la ubicación de cada elemento, y esto se tradujo en que la calidad final del proyecto sería precisa.
- Los modelos y resultados obtenidos, así mismo, los análisis presentados y las herramientas empleadas en el proyecto se convierten en un impulso para que el sector de la construcción avance y se establezca más credibilidad a la hora de implementar metodología BIM en su totalidad. En este sentido, sería valioso progresar e investigar acerca de cómo se podría incidir en la creación de un marco normativo para que la implementación de metodología BIM a nivel nacional se vaya dando con más certeza y las empresas constructoras se apropien y tomen la decisión de avanzar en la forma de construir.

10. RECOMENDACIONES

- Se requiere una relación interactiva y colaborativa entre los futuros participantes del proyecto, ya que es necesario mantener constantemente actualizada la información del proyecto y, en aquellos casos donde BIM se encuentra mejor implementado, el modelo federado.
- Hacer verificación constante en la obra para garantizar que el modelo federado se siga ejecutando de manera ordenada, teniendo en cuenta que, al finalizar la obra el trabajo generado servirá para un futuro mantenimiento y para tener la ubicación exacta de cada elemento.
- Utilizar las tablas de planificación y cantidades generadas para seguimiento y control en el manejo de materiales, así mismo para tener claridad con los registros de cuánto y qué tipo de materiales se utilizaron.
- Implementar la metodología BIM conllevó crear los modelos paramétricos de cada disciplina o especialidad, esto quiere decir que, cada uno de los elementos modelados, sean elementos en concreto, acero, tuberías, ductos o cualquier otro tipo de elemento, son creados con propiedades precisas según su funcionalidad, y por tal motivo es indispensable que concuerden esas propiedades asignadas a los modelos con las propiedades que se asignarán en obra, como la marca o material de cada elemento. Esto con el fin de evitar medidas imprecisas y necesidad de hacer ajustes.
- La calidad de la implementación de la metodología BIM, para que sea eficiente y precisa, depende enormemente de que los diseños de cada disciplina en 2D estén totalmente congelados, esto significa que, no se implementen cambios en ellos, debido a que en los modelos paramétricos se

van resolviendo las imprecisiones y los choques encontrados, y una modificación de diseños significa que se deben analizar nuevamente los modelos para observar si se generaron nuevas inconsistencias y esto se convierte en trabajo tedioso y de gasto de tiempo para avanzar con el modelo federado.

11. GLOSARIO

- ACERO: Mipsa describe el acero como una aleación formada de hierro y carbono, con propiedades como la ductilidad, dureza, resistencia y tenacidad¹⁰.
- BIM (Building Information Modeling): Es una metodología de trabajo colaborativa para la creación y gestión de un proyecto de construcción. Su objetivo es centralizar toda la información del proyecto en un modelo de información digital creado por todos sus agentes¹¹.
- BEP (BIM Execution Plan): Documento que define de forma global los detalles de implementación de la metodología BIM a través de todas las fases de un proyecto, definiendo entre otros aspectos, el alcance de la implementación, los procesos y tareas BIM, intercambios de información, infraestructura necesaria, roles y responsabilidades, y usos del modelo¹².
- CAD: Diseño asistido por ordenador. Herramienta informática que facilita la elaboración de diseños y planos por ordenador, sustituyendo a las herramientas clásicas de dibujo como el tablero, la escuadra o el compás.

¹⁰ MIPSAs, «MIPSA Expertos Procesando Metales,» [En línea]. Disponible en: <https://www.mipsa.com.mx/dotnetnuke/Sabias-que/Que-es-el-acero>.

¹¹ Cámara Colombiana de la Construcción “Camacol”. BIM FORUM COLOMBIA, Guías para la adopción BIM en las organizaciones, 2019.

¹² Fundación laboral de la construcción. Glosario de terminología BIM. Disponible en: entornobim.org.

Las entidades que manejan estas aplicaciones son de tipo geométrico, con pocas o ninguna posibilidad de añadir más información¹³.

- Categoría de anotación o referencia: Categoría que engloba objetos que no forman parte real del edificio pero que sirven para su definición, por ejemplo, cotas, niveles, ejes o áreas¹⁴.
- Categoría de objeto: Clasificación o agrupación de objetos dentro de un modelo BIM en función de su tipología constructiva o finalidad¹⁵.
- Coordenada: Es la posición asociada a una instalación, piso, espacio, componente o montaje¹⁶.
- Coordinador BIM: Perfil que sistematiza las tareas, obligaciones y responsabilidades que cada parte tiene en el proyecto BIM, además de los plazos de entrega. También hace de nexo entre los jefes de equipo de las diferentes disciplinas, coordinando y supervisando los modelos del proyecto¹⁷.
- Concreto reforzado: Es un producto formado por mezcla de cemento, agua y árido fino (arenas) y árido grueso (grava), con un refuerzo de acero, varillas y alambres¹⁸.

¹³ Es.BIM. Glosario de términos, 2017. Disponible en: <http://bim.tecniberia.es/wp-content/uploads/2016/11/GT1-Estrategia-SG1.1-Glosario-de-t%C3%A9rminos.pdf>

¹⁴ Fundación laboral de la construcción. Op. Cit.

¹⁵ Ibíd.

¹⁶ Es.BIM. Op. Cit.

¹⁷ Fundación laboral de la construcción. Op. Cit.

¹⁸ Diccionario de la construcción, términos técnicos del sector de la construcción. Disponible en: <http://www.diccionariodelaconstruccion.com/buscar/procesos-productivos-obra-civil>

- Control: Actividades, herramientas y técnicas utilizadas para verificar si se cumplen los requisitos de calidad de un producto o servicio¹⁹.
- Detección de colisiones (Clash Detective): Procedimiento que consiste en localizar las interferencias que se producen entre los objetos de un modelo o al superponer los modelos de varias disciplinas en un único modelo combinado²⁰.
- Disciplina: Cada una de las grandes materias en las que se pueden agrupar los objetos que forman parte del BIM dependiendo de su función principal. Las disciplinas más generales son arquitectura, estructura y MEP²¹.
- Diseño y construcción virtual: Proceso de diseño y construcción digital con el fin de planificar y prever problemas antes del inicio de la construcción real. Término que con frecuencia se utiliza como sinónimo de BIM²².
- Extracción: Obtención de datos de un modelo²³.
- Familia: Grupo de objetos pertenecientes a una misma categoría que contiene reglas paramétricas de generación para obtener modelos geométricos análogos²⁴.
- Flujo de trabajo: Estudio de los aspectos operacionales de una actividad de trabajo, cómo se estructuran las tareas, cómo se realizan, cuál es su orden correlativo, cómo se sincronizan, cómo fluye la información que

¹⁹ Fundación laboral de la construcción. Op. Cit.

²⁰ Es.BIM. Op. Cit.

²¹ Fundación laboral de la construcción. Op. Cit.

²² Es.BIM. Op. Cit.

²³ Fundación laboral de la construcción. Op. Cit.

²⁴ Ibíd.

soporta las tareas y cómo se le hace seguimiento al cumplimiento de las tareas. Concepto fundamental en la creación de modelos BIM y la interoperabilidad entre las distintas herramientas que trabajan en entornos BIM²⁵.

- Fraguado: Conjunto de reacciones físico-químicas del cemento y del agua, como elementos constituyentes de un hormigón, que da lugar a un proceso exotérmico de endurecimiento progresivo de la pasta²⁶.
- Grava: Son rocas detríticas (sedimentarias) constituidas en un porcentaje muy elevado de cuarzo, elemento éste más resistente e inalterable a los procesos que han sufrido²⁷.
- HVAC (Heating, ventilating and air conditioning): Por extensión, acrónimo que alude a todo lo referido a las instalaciones de climatización y ventilación mecánica de los edificios²⁸.
- Integración: Modelo BIM que enlaza modelos de diferentes disciplinas generando un modelo federado con una base de datos única con los datos de los modelos individuales²⁹.
- Interoperabilidad: Capacidad de diversos sistemas (y organizaciones) para trabajar juntos sin problemas, sin pérdida de datos y sin un esfuerzo especial. La interoperabilidad puede referirse a sistemas, procesos, formatos de archivo, etc.³⁰.

²⁵ Fundación laboral de la construcción. Op. Cit.

²⁶ Diccionario de la construcción. Op. Cit.

²⁷ *Ibíd.*

²⁸ Fundación laboral de la construcción. Op. Cit.

²⁹ *Ibíd.*

³⁰ Es.BIM. Op. Cit.

- MEP (Mechanical Electrical and Plumbing): Modelo formado sólo por los componentes que configuran cualquier instalación a desarrollar dentro del proyecto³¹.
- Modelado BIM: Acción de construir o generar un modelo tridimensional virtual de un edificio o infraestructura, añadiendo al modelo información más allá de la geometría con el fin de facilitar su uso en las diferentes fases del ciclo de vida del proyecto³².
- Modelo: Representación 3D en formato digital de una construcción que almacena tanto datos físicos de un elemento como datos no geométricos como resistencia, material, coste, etc., y la relación entre los diferentes elementos que componen dicha construcción³³.
- Modelo constructivo: Es el modelo BIM utilizado por el equipo para realizar un análisis constructivo. Este tipo de modelo frecuentemente incluye grúas, andamios y otros medios auxiliares requeridos para la construcción final del edificio³⁴.
- Modelo as-built: Hace referencia al modelo que recoge la información diseñada corregida según lo ocurrido durante la construcción al final del proyecto³⁵.
- Modelo máster o federado: Un modelo que se compone por la adición de varios modelos de distintas disciplinas, siendo necesario trabajar independientemente en cada uno para que se produzcan los cambios en el modelo federado³⁶.

³¹ Ibíd.

³² Fundación laboral de la construcción. Op. Cit.

³³ Es.BIM. Op. Cit.

³⁴ Ibíd.

³⁵ Ibíd.

³⁶ Ibíd.

- Nivel de desarrollo (LOD): Define el nivel de madurez o compleción de información que posee un elemento del modelo BIM, y éste es la parte de un componente, sistema constructivo o montaje del edificio. Su clasificación numeral es 100, 200, 300, 350, 400 y 500³⁷.
- Nivel de detalle: Compleción y exactitud de la representación virtual de las formas comparadas con sus características físicas y funcionales del objeto real³⁸.
- Parámetros: Variables usadas en funciones o ecuaciones para asignar valores: Coordinadas, dimensiones, materiales, distancia, ángulos, colores, unidades, precio, y muchos más³⁹.
- Paramétrico: Término que se refiere a modelos 3D en los que los objetos/elementos pueden ser manipulados utilizando parámetros explícitos, reglas o restricciones⁴⁰.
- Proyecto: Esfuerzo temporal planificado que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado único⁴¹.
- Restricción: En un modelo BIM, es la limitación y bloqueo sobre un objeto, habitualmente sobre sus dimensiones o su posición relativa respecto a otro objeto⁴².

³⁷ Fundación laboral de la construcción. Op. Cit.

³⁸ Es.BIM. Op. Cit.

³⁹ Ibíd.

⁴⁰ Fundación laboral de la construcción. Op. Cit.

⁴¹ Ibíd.

⁴² Ibíd.

- Riostras: Es un elemento de un diafragma, paralelo a la fuerza aplicada, que recoge y transmite el cortante a los elementos verticales⁴³.
- Secuencia constructiva: Es el proceso de añadir la línea temporal al modelo. Esto puede ser incorporado en ambos modelos, el de diseño y el de construcción⁴⁴.
- Sistema: Grupo de componentes relacionados entre sí que trabajando conjuntamente proporcionen un servicio concreto al activo (edificio o infraestructura), como por ejemplo la envolvente, ventilación o protección contra incendios⁴⁵.
- Usuario del modelo: Cualquier individuo o entidad autorizada para usar el modelo en cualquiera de sus fases o usos BIM⁴⁶.

⁴³ Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10*. Bogotá, Colombia.

⁴⁴ Es.BIM. Op. Cit.

⁴⁵ Ibíd.

⁴⁶ Ibíd.

12. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) Alcaldía Mayor de Tunja, nuestro municipio.
<http://www.tunja-boyaca.gov.co/municipio/nuestro-municipio>.
- 2) Flórez, G. El 40% de las construcciones del país usa tecnología BIM, 2018.
<https://www.eltiempo.com/economia/sectores/el-40-porciento-de-las-construcciones-del-pais-usa-tecnologia-bim-259706>
- 3) Blanco, M. Cambiando el chip en la construcción, dejando la metodología tradicional de diseño CAD para aventurarse a lo moderno de la metodología BIM. (Tesis de pregrado), 2018. Universidad Católica de Colombia, Bogotá.
- 4) Cámara Colombiana de la Construcción “Camacol” (2018). Informe de productividad sector construcción de edificaciones.
<https://camacol.co/sites/default/files/INFORME-PRODUCTIVIDAD-VF.PDF>
- 5) Trejo Carvajal, N. Estudio de impacto del uso de la metodología BIM en la planificación y control de proyectos de ingeniería y construcción. (Tesis de pregrado), 2018. Universidad de Chile.
<http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/168599/Estudio-de-impacto-del-uso-de-la-metodolog%C3%ADa-BIM-en-la-planificaci%C3%B3n-y-control-de-proyectos.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- 6) Gruppe, H. ¿Qué es Revit y para qué sirve en el modelado BIM? 2015.
<http://www.hildebrandt.cl/que-es-revit-y-para-que-sirve-en-el-modelado-bim/>
- 7) Reyes, A. Candelario, A. Cordero, P. Manual Imprescindible (REVIT MEP y REVIT Structure + Navisworks, 2019. Madrid, España.

- 8) Diccionario de la construcción, términos técnicos del sector de la construcción. Disponible en:
<http://www.diccionariodelaconstruccion.com/buscar/procesos-productivos-obra-civil>
- 9) Cárdenas, M. Incorporación de Metodología BIM en la Gestión Integrada de Proyectos (Tesis de maestría), 2016. Universidad Europea. Madrid, España.
bimchannel.net/wp-content/uploads/2017/01/201701_TFM_Margarita-C%C3%A1rdenas.pdf
- 10) Corporación de Desarrollo Tecnológico & BIM Fórum. Guía inicial para implementar BIM en las organizaciones, 2017. Santiago de Chile: CDT.
http://www.construccionenacero.com/sites/construccionenacero.com/files/u11/bc90_6_guia_inicial_para_implementar_bim_en_las_organizaciones_version_imprenta.pdf
- 11) Construye 2025. PLAN BIM, 2016.
www.construye2025.cl/2016/05/16/planbim-modernizando-la-industria-de-la-construccion/
- 12) Salazar Álzate, M. Impacto económico del uso de BIM en el desarrollo de los proyectos de construcción en la ciudad de Manizales, 2017.
- 13) Proyectos de Ingeniería y Espacio -PROINPA-. Control Dinámico - Actualización Del Modelo BIM, 2019.
<http://www.proinpa.com/cdpc/aplicaciones-cdpc/control-dinamicoactualizacion-del-modelo-bim.html>
- 14) Callegaris, P. ¿Qué aporta un objeto BIM al proyecto?, 2018.

- 15) CPNAA. Consejo Profesional Nacional de Arquitectura y sus Profesiones Auxiliares. Obtenido de Fomento y maduración del uso de BIM en Colombia, 2017.
<https://cpnaa.gov.co/en/content/fomento-y-maduraci%C3%B3n-del-uso-de-bim-en-colombia>
- 16) Cámara Colombiana de la Construcción “Camacol”. BIM FORUM COLOMBIA, Guías para la adopción BIM en las organizaciones, 2019.
- 17) Fundación laboral de la construcción. Glosario de terminología BIM. Disponible en: entornobim.org
- 18) Departamento de procesos y técnicas de realización área de administración y tecnología para el diseño universidad autónoma metropolitana. BIM EN LA CONSTRUCCIÓN, 2017.
- 19) Villalba, R. Estudio y Modelado en metodología BIM de una vivienda plurifamiliar entre medianeras, 2015.
- 20) Kirby, L. Krygiel, E. Kim, Marcus. Mastering Autodesk Revit, 2018.
- 21) Whitbread, S. Mastering Autodesk Revit MEP, 2016.
- 22) Roense, E. El valor añadido del BIM para infraestructuras sanitarias, 2018.
<https://hospitecnia.com/articulos-destacados/el-valor-anadido-del-bim-para-infraestructuras-sanitarias/>
- 23) Cera, J. BIM. Diseño y operaciones de infraestructuras hospitalarias, 2018.
- 24) Galván Morales, G. EADIC Escuela técnica. Tema 4. Navisworks: Revisión integral del proyecto, 2017.

- 25) Es.BIM. Glosario de términos, 2017. Disponible en: <http://bim.tecniberia.es/wp-content/uploads/2016/11/GT1-Estrategia-SG1.1-Glosario-de-t%C3%A9rminos.pdf>
- 26) Zhang, S., Sulankivi, K., Kiviniemi, M., Romo, I., Eastman, C., & Teizer, J. BIM-based fall hazard identification and prevention in construction safety planning, 2015.
- 27) Succar, B., & Kassem, M. Macro-BIM adoption: Conceptual structures, 2015.
- 28) Porras Díaz, H., Sánchez Rivera, O. G., & Galvis Guerra, J. A. Metodología para la elaboración de modelos del proceso constructivo 5d con tecnologías, (Building Information Modeling), 2015.
- 29) Neiva Neto, R., & Ruschel, R. BIM aplicado ao projeto de fôrmas de madeira em estrutura de concreto armado, 2015.
- 30) Negendahl, K. Building performance simulation in the early design stage: An introduction to integrated dynamic models, 2015.
- 31) Raffino. M. Excel, 2018. Disponible en: <https://concepto.de/excel/>.
- 32) Martín, D. Costafreda, J. Marín, A. León, A. Curso básico de dibujo con AutoCAD, 2017.
- 33) MIPSAs, «MIPSA Expertos Procesando Metales,» [En línea]. Disponible en: <https://www.mipsa.com.mx/dotnetnuke/Sabias-que/Que-es-el-acero>.
- 34) Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10*, 2010. Bogotá, Colombia.

- 35) Instituto colombiano de normas técnicas y certificación (Icontec). NTC 6166. Referencias bibliográficas, Contenido, Forma y Estructura, 2016. Bogotá, Colombia.
- 36) Instituto colombiano de normas técnicas y certificación (Icontec). NTC 1486. Documentación, Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. Bogotá, Colombia.

13. APÉNDICES Y ANEXOS

- 13.1. Anexo A. Tablas de planificación y cantidades de obra
- 13.2. Anexo B. Cartillas de acero
- 13.3. Anexo C. Observaciones sobre diseños 2D
- 13.4. Anexo D. Planos y renders generados del modelo máster
- 13.5. Anexo E. Fotografías de obra
- 13.6. Anexo F. Bitácoras semanales
- 13.7. Anexo G. Evaluación parcial y final
- 13.8. Anexo H. Planillas de seguridad (ARL)