

Auxiliar de ingeniería civil en el desarrollo de modelos de información 3D para la coordinación de proyectos ejecutados en la empresa PETROCONSTEL S.A.S.

Sergio Antonio Grass Luna

Trabajo de Grado para Optar el Título de Ingeniero Civil

Director

Laura Andrea Vargas Carvajal

PhD. Ingeniería Civil

Tutor Empresarial

Henry Alberto Peña Prada

Magister en Arquitectura Hospitalaria

Universidad Industrial de Santander  
Facultad de Ingenierías Físicomecánicas  
Escuela de Ingeniería Civil

Ingeniería Civil

Bucaramanga

2025

### **Dedicatoria**

Dedico esta tesis a mis padres Jesús Grass y Shirley Luna, esta parte de mi vida, sin ellos no habría sido posible, por su amor darme esa valentía para afrontar todo lo que se me interpuso en mi camino y encaminarse hacia esta meta.

A mi familia, por ser mi compañía a lo largo de todo mi camino y no dejarme solo en ningún momento, siendo un apoyo en mi vida.

## **Agradecimientos**

Quiero agradecer a mis padres por darme fuerzas necesarias para poder seguir adelante con mis sueños, por despertar todos los días y recordarme que se pueden lograr grandes metas con pasitos pequeños.

A mis compañeros que me acompañaron y apoyaron en el proceso, con constante motivación y dedicación, que nunca se rindieron y por permitir compartir momentos inolvidables.

A la profesora Laura Vargas por su apoyo incondicional como directora de la práctica. Gracias por sus consejos, sus experiencias, por trabajar de la mano para que se llevara adelante el cumplimiento de mi meta y por su ayuda para el desarrollo de mi persona como excelente profesional.

A la Universidad Industrial de Santander por permitir realizar mis estudios profesionales. A todos los profesores que estuvieron presentes siendo amigos y jefes, quienes con su experiencia y enseñanzas han contribuido significativamente a mi desarrollo personal, académico y profesional.

De igual manera, agradezco al arquitecto Henry Peña, mi tutor de prácticas, por confiar en mis capacidades y otorgarme la oportunidad de aprender y desarrollar habilidades profesionales en la empresa PETROCONSTEL. A todo el equipo de trabajo, por su grato recibimiento, experiencias y tiempo compartido.

**Tabla de Contenido**

	<b>Pág</b>
Introducción .....	11
1. Marco Conceptual .....	13
1.1. Infraestructura Hospitalaria .....	13
1.2. Modelación de información 3D.....	14
1.3. Interferencias .....	15
1.4. Software de diseño AutoCAD – Revit .....	15
1.5. Navisworks .....	15
1.6. Secretaría de planeación .....	16
1.7. Curaduría .....	16
2. Normativa .....	16
2.1. Normativa ISO 10303.....	16
2.2. Normativa ISO 19650.....	17
3. Objetivos.....	18
3.1. Objetivo General .....	18
3.2. Objetivos Específicos .....	18
4. Metodología.....	19
4.1. Fase 0. Reconocimiento y métodos de trabajo .....	19
4.2. Fase 1. Recopilación de información in situ .....	20
4.3. Fase 2. Modelación de información 2D y 3D.....	22
4.4. Fase 3. Modelación de instalaciones y sus ajustes .....	23
4.5. Fase 4. Detección de interferencias .....	25

5.	Resultados.....	26
5.1.	Hospital Universitario de Santander (HUS).....	26
5.1.1.	Fase 1. Recopilación de información in situ .....	26
5.1.2.	Fase 2. Modelación de información 2D y 3D.....	28
5.1.3.	Fase 3. Modelación de instalaciones y sus ajustes .....	30
5.1.4.	Fase 4. Detección de interferencias .....	35
5.2.	Clínica de Especialistas María Auxiliadora (CEMA).....	38
5.2.1.	Fase 1. Recopilación de información in situ .....	38
5.2.2.	Fase 2. Modelación de información 2D y 3D.....	40
5.2.3.	Fase 3. Modelación de instalaciones y sus ajustes .....	42
5.2.4.	Fase 4. Detección de interferencias .....	44
5.3.	Unidad Móvil Hospitalaria FURGORIENTE .....	47
5.3.1.	Fase 1. Recopilación de información in situ .....	47
5.3.2.	Fase 2. Modelación de información 2D y 3D.....	49
5.3.3.	Fase 3. Modelación de instalaciones y sus ajustes .....	51
5.3.4.	Fase 4. Detección de interferencias .....	53
6.	Conclusiones.....	55
7.	Recomendaciones .....	57
8.	Referencias Bibliográficas.....	58

## Lista de Figuras

<i>Figura 1. Estrategias de recopilación de información.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 2. Recopilación de información.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 3. Visitas de campo al HUS .....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 4. Plano arquitectónico del servicio apoyo diagnóstico del segundo piso del HUS.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 5. Modelo 3D de la E.S.E Hospital Universitario de Santander .....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 6. Corte transversal del servicio de apoyo diagnóstico del HUS .....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 7. Esquema de la distribución del sistema de aire acondicionado.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 8. Modelación 3D de ducterías del sistema de aire acondicionado.....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 9. Modelo 3D del sistema de red contra incendio.....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 10. Visita de campo para el sistema contra incendio y su modelación .....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 11. Modelación 3D del sistema de gases medicinales .....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 12. Sistemas modelados en Navisworks .....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 13. Interferencias entre ducterías del sistema de aire acondicionado. ....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 14. Interferencias entre los sistemas de aire acondicionado, contra incendios y gases medicinales .....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 15. Informe de conflictos de Aire Acondicionado del HUS.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 16. Visita de campo a la Clínica de Especialistas María Auxiliadora .....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 17. Plantas de diseños del proyecto.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 18. División por fases de la planta arquitectónica .....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 19. Modelo 3D de la Clínica de Especialistas María Auxiliadora .....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 20. Modelo 3D del sistema de aire acondicionado .....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 21. Filtración por fases.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 22. Corte transversal de niveles 0 y 1. ....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 23. Interferencia entre cielo raso y ducto de ventilación .....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 24. Interferencia entre placa y ducto de ventilación .....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 25. Interferencia entre sistemas de ductos de ventilación .....</i>	<i>46</i>

<i>Figura 26. Informe de revisión. ....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 27. Composición esencial de un furgón para unidad móvil .....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 28. Diseño arquitectónico de la unidad móvil hospitalaria.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 29. Modelación 3D de la unidad móvil hospitalaria. ....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 30. Imagen 3D renderizada .....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 31. Diseño eléctrico y datos para la unidad móvil hospitalaria .....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 32. Diseño 3D del sistema eléctrico .....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 33. Interferencias entre elementos del sistema eléctrico .....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 34. Interferencias entre el modelo eléctrico y elementos del furgón.....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 35. Informe de conflictos de la Unidad Móvil .....</i>	<i>54</i>

## Glosario

**CEMA:** Clínica de Especialistas María Auxiliadora de Aguachica.

**HUS:** Entidad Social del Estado Hospital Universitario de Santander.

**FURGORIENTE S.A.:** Empresa fabricante de furgones y carrocerías, la mención hace referencia al proyecto de Unidad Móvil Hospitalaria.

**Nebulización:** Sistema contra incendio que utiliza partículas muy pequeñas de agua y diámetros de tubería de menor tamaño, lo que permite reducir el impacto ambiental y los daños colaterales por humedad. Además, la aplicación local permite la protección en espacios grandes. Generalmente, este sistema se implementa en el ámbito hospitalario para los equipos médicos de gran valor e importancia médica (Luppi, 2019).

**LOD:** Level of development o nivel de desarrollo. Permite definir el nivel con el cual se deben modelar los elementos, siendo una categorización general ilustrativa, que requiere ser definida específicamente en cada proyecto (Camacol, 2021b).

## Resumen

**Título:** Auxiliar de ingeniería civil en el desarrollo de modelos de información 3D para la coordinación de proyectos ejecutados en la empresa PETROCONSTEL S.A.S. \*

**Autor:** Sergio Antonio Grass Luna \*\*

**Palabras Clave:** Medición, Modelado 3D, Instalaciones, Interferencias.

**Descripción:** El presente trabajo de grado documenta la experiencia y aportes realizados durante la ejecución de la práctica empresarial en PETROCONSTEL S.A.S., cuyo ámbito profesional involucra al sistema hospitalario. El objetivo principal fue el apoyo, mediante la modelación 3D de los proyectos, a la coordinación y verificación de interferencias mediante la implementación de software como AutoCAD, Revit y Navisworks.

Para su desarrollo, se adoptó una metodología que incorpora la medición y verificación de datos *in situ* y la realización de planos, lo que permitió generar modelos de información 3D, dando como resultado modelos con mayor precisión. Finalmente, se incluyeron en los modelos 3D las instalaciones de servicios pertinentes al proyecto, realizando verificación visual y técnica mediante la implementación del software Navisworks. Se apoyó la gestión para la coordinación de dos proyectos en el área metropolitana de Bucaramanga y un proyecto en el municipio de Aguachica – Cesar. Gracias a la correcta manipulación de los modelos de información y a la verificación de los planos digitales, fue posible la detección temprana de errores, permitiendo informar a los respectivos especialistas. El trabajo realizado evidencia la importancia de la utilización de la metodología BIM (Building Information Modeling) para la gestión de proyectos, mejorando así su coordinación y facilitando la resolución de conflictos.

Esta experiencia representó una gran oportunidad para desarrollar habilidades en el ámbito profesional, permitiendo el trabajo en equipo y en colaboración con profesionales, demostrando cómo la modelación permite la optimización de los proyectos a desarrollar y/o ejecutar.

---

\* Trabajo de Grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Laura Andrea Vargas Carvajal. P.h D. Ingeniería Civil. Codirector: Henry Alberto Peña Prada. Magister en Arquitectura Hospitalaria.

## Abstract

**Title:** Civil engineering assistant in the development of 3D information models for the coordination of projects executed at PETROCONSTEL S.A.S.\*

**Author:** Sergio Antonio Grass Luna\*\*

**Key Words:** Measurement, 3D modeling, Installations, Interferences

**Description:** This work reports the experience and contributions made during the execution of the business internship at PETROCONSTEL S.A.S., whose professional scope involves the hospital system. The main objective was to provide support through 3D modeling of projects for coordination and interference verification using software such as AutoCAD, Revit, and Navisworks.

For its development, a methodology was adopted that incorporates on-site data measurement and verification, as well as the creation of drawings, which allowed for the generation of 3D information models, resulting in more accurate models. Finally, the service facilities relevant to the project were included in the 3D models, performing visual and technical verification using Navisworks software. Support was provided for the management and coordination of two projects in the metropolitan area of Bucaramanga and one project in the municipality of Aguachica, Cesar. Thanks to the correct handling of the information models and the verification of the digital drawings, errors were detected early, allowing the respective specialists to be informed. The work carried out demonstrates the importance of using the BIM (Building Information Modeling) methodology for project management, thus improving coordination and facilitating conflict resolution.

This experience represented a great opportunity to develop professional skills, enabling teamwork and collaboration with professionals, and demonstrating how modeling enables the optimization of projects to be developed and/or executed.

---

\* Degree Work

\*\* Faculty of Physical Mechanical engineering. School of Civil Engineering. Director: Laura Andrea Vargas Carvajal. P.h. D Civil Engineering. Codirector: Henry Alberto Peña Prada. Master in Hospital Architecture.

## Introducción

El modelado de información 3D consiste en la simulación de un proyecto de construcción en un ambiente digital tridimensional que recoge e integra su información geométrica, así como especificaciones arquitectónicas, estructurales y de instalaciones de redes del proyecto (Kymmell, 2008). La implementación del modelado de información 3D se ha convertido en una alternativa de gestión de información de proyectos primordial para llevar a cabo grandes construcciones, ya que permite reducir significativamente la duración del proyecto al detectar interferencias entre disciplinas o especialidades (arquitectónica, estructural e instalaciones) antes de la fase de construcción. Además, la consolidación de la información del proyecto en un solo modelo digital permite hacer seguimiento, control, cálculo de cantidades y análisis de viabilidad de cualquier modificación o adecuación del proyecto que se presente en sitio. El resultado de esta implementación es una modernización en el uso de herramientas, artefactos y sistemas de gestión en los proyectos actuales de infraestructura.

En la actualidad, el sector de la construcción representa cerca del 11% del Producto Interno Bruto (PIB) mundial, lo cual requiere la implementación de procesos de control que faciliten el desarrollo de las actividades correctamente (Roumelitis, 2011), e incrementen el tiempo productivo en el desarrollo del proyecto. Sin embargo, alrededor del 53% del tiempo empleado en obra se pierde en actividades no productivas como ajustes y replanificación, cuya finalidad es resolver problemas que se presentan por las interferencias de especialidades en campo (Botero, 2002).

En Colombia, la construcción representa el 54% del motor económico, necesitando aumentar la eficacia en la ejecución de los proyectos de construcción y disminuir sobrecostos por falta de convergencia entre las disciplinas que intervienen, como lo son la arquitectónica,

estructural, y demás instalaciones (hidráulica, aire acondicionado, gases medicinales, sistema contra incendio, entre otras). Por lo tanto, se necesita una estandarización en modelos, que garantice la unificación de todas las especialidades (Departamento Nación de Planeación, 2020).

PETROCONSTEL S.A.S. es una empresa dedicada a ofrecer soluciones en arquitectura y construcción de obras civiles, con énfasis en infraestructura hospitalaria. Entre sus proyectos más relevantes destacan los ejecutados en la Entidad Social del Estado Hospital Universitario de Santander (E.S.E. HUS): (i) la remodelación y ampliación de la planta física del Hospital Universitario de Santander, en colaboración con CONSORCIO OSP, que incluyó adecuaciones de carácter arquitectónico, civil, eléctrico, e instalaciones de aire acondicionado, con un área intervenida de 1,730.68 m<sup>2</sup> y desarrollada entre 2011 y 2012; (ii) los estudios y diseños para la construcción del nuevo edificio de Medicina Nuclear e Imagen Molecular, junto con CONSORCIO CONSULTORES ASOCIADOS, con un área intervenida de 1,100 m<sup>2</sup>; y (iii) la consultoría para los estudios y diseños de la adecuación de espacios perimetrales en varios pisos del Hospital Universitario de Santander, como parte del CONSORCIO P&D HOSPITALARIA, el que PETROCONSTEL S.A.S. tuvo una participación del 45%, con un área intervenida de 1,458 m<sup>2</sup>.

PETROCONSTEL S.A.S. no es ajeno al proceso de implementación del modelado de información 3D y en la actualidad utiliza modelos de diseño arquitectónico mediante aplicaciones como ArchiCAD (Graphisoft, 2025) y SketchUp (Trimble, 2025). Adicionalmente, pretende aplicar el uso de nuevas tecnologías para la centralización y gestión de información en proyectos de diseño y construcción. La utilización de Revit (Autodesk, 2025a) para el modelado de información en 3D permite incorporar la información arquitectónica, estructural y demás instalaciones, garantizando la coherencia entre los diseños y logrando disminuir las interferencias

interdisciplinarias. Por esta razón, PETROCONSTEL S.A.S. incorpora estudiantes de ingeniería civil en modalidad de practicantes para la implementación del modelado de información 3D. En este contexto, esta práctica empresarial pretende apoyar en el desarrollo de modelos de información 3D de los proyectos ejecutados por la empresa, donde se apliquen conocimientos en diseño, modelación y conocimientos especializados de redes de instalaciones.

Declaro que para la elaboración de este documento se utilizó la Inteligencia Artificial (IA), específicamente el modelo Gemini, desarrollado por Google. La IA fue implementada para verificar la redacción del documento permitiendo generar mayor claridad en los párrafos. Es importante resaltar que el contenido asistido por IA ha sido revisado y verificado por mi autoría.

## **1. Marco Conceptual**

Para la gestión del modelado de información existen conceptos básicos que deben guiar a los modeladores. Dependiendo del ámbito en el cual se desarrollen, es necesario conocer conceptos fundamentales del área para asegurar la comprensión adecuada de las características específicas de los proyectos.

### **1.1. Infraestructura Hospitalaria**

La infraestructura hospitalaria comprende las edificaciones diseñadas para adaptarse al crecimiento y la transformación constantes, impulsadas por los avances tecnológicos en el ámbito de la salud. Su evolución es fundamental para garantizar una operabilidad eficiente y responder a las necesidades cambiantes del sector. Además, proporciona soporte a los modelos de operación y administración hospitalaria, optimiza el flujo de personal e información y atiende

los requerimientos actuales y futuros de pacientes, médicos y visitantes (Revista Consultoría, 2018).

## **1.2. Modelación de información 3D**

El modelado 3D es una herramienta capaz de generar una representación tridimensional del proyecto, permitiendo intervenirlo, modificarlo, alterarlo y reformularlo en un entorno virtual, en función de las necesidades del proyecto (Vargas et al., 2019). La capacidad de modelar en tres dimensiones permite una visualización más precisa del proyecto conforme a su ejecución en obra, garantizando una representación detallada y un trabajo eficiente al integrar disciplinas como instalaciones eléctricas, entre otras, dentro del sistema de información.

La gestión y el modelado de información son un paso esencial para la posterior implementación de la metodología BIM (Building Information Modeling, por sus siglas en inglés). El conjunto de documentos técnicos que describen las herramientas para la implementación de esta metodología está consolidado en el BIM Kit (Camacol, 2021a). De acuerdo con el alcance de esta práctica, se adoptará la Guía #2 – Modelado BIM (Camacol, 2021b), la cual contiene los aspectos fundamentales para el desarrollo de modelos de información.

La adecuada modelación surge desde la representación del estado actual del proyecto, el cual se determina a partir de levantamientos y visitas en sitio y su comparación con documentos técnicos y planos existentes. Esta recopilación de información permite generar modelos digitales 2D-CAD, que son la base de la generación de un modelo 3D que consolide la información de las diferentes disciplinas o especialidades que intervienen en el proyecto.

### **1.3. Interferencias**

Las interferencias en un proyecto ocurren cuando elementos de diferentes diseños se superponen, generando conflictos entre especialidades. Consideradas como un factor crítico al momento de la construcción, estas interferencias representan una de las principales causas de sobrecostos en obra, debido a las inconsistencias entre las especialidades de estructuras y arquitectura. En este contexto, el 13.97% de los defectos constructivos existentes se atribuye a la falta de información detallada de los elementos estructurales, mientras que el 12.78% a planos sin detalle arquitectónico (Alarcón, 1998).

### **1.4. Software de diseño AutoCAD – Revit**

La implementación de un programa de la familia de Autodesk para la realización de los proyectos permite agilizar los procesos en términos de tiempo. Por ejemplo, AutoCAD (Autodesk, 2024) facilita la realización de planos detallados, generando un primer impacto visual ante la audiencia. Sin embargo, una vez aprobado el proyecto, se requiere un mayor nivel de detalle. Es por esto por lo que la utilización de Revit como motor de modelado gráfico es fundamental. Este software permite la modelación en 3D con exactitud paramétrica, permitiendo una revisión de planos, alzados y vistas isométricas, generando un ambiente de familiaridad con el proyecto y cumpliendo con las expectativas de diseño.

### **1.5. Navisworks**

Es una aplicación que permite la manipulación de la información 3D para garantizar la gestión y el control de la calidad del modelo, facilitando la identificación y resolución de las interferencias existentes entre los distintos modelos. Al ser un gestor de información 3D, permite

colaborar con cualquier software de código abierto. Navisworks (Autodesk, 2025b) hace parte de la familia de Autodesk, por lo que su compatibilidad y eficiencia con la aplicación de Revit son mayores, por lo que se precisa trabajar con ambas herramientas al momento de coordinar un proyecto.

### **1.6. Secretaría de planeación**

Es una de las entidades más importantes para el desarrollo de proyectos de obra civil. Se encarga de formular, coordinar, ejecutar, dirigir y evaluar los proyectos relacionados con el desarrollo urbanístico dentro de la jurisdicción municipal. A su vez, se encarga de monitorear proyectos en el ámbito del cumplimiento de normas de sismo resistencia, urbanísticas, de infraestructura y de calidad, además de expedir el licenciamiento para las obras (Alcaldía de Bucaramanga, 2011).

### **1.7. Curaduría**

Es una entidad que cumple una función pública al verificar el cumplimiento de las normativas urbanísticas y de edificación vigentes. Para ello, se encarga del estudio, trámite y expedición de licencias de parcelación, urbanización, construcción y subdivisión de predios, en respuesta a las solicitudes de los interesados (Curaduría 1 de Piedecuesta, 2024).

## **2. Normativa**

### **2.1. Normativa ISO 10303**

La norma ISO 10303, también conocida como STEP (Standard for the Exchange of Product Model Data), establece un marco estandarizado para la representación y el intercambio

de información relacionada con productos en entornos digitales. Su objetivo principal es garantizar que los datos generados en el proceso de diseño puedan ser interpretados, reutilizados y compartidos sin pérdida de información, independientemente del software o plataforma utilizados (ISO, 2024).

## **2.2. Normativa ISO 19650**

La norma ISO 19650 es un estándar internacional que establece cómo gestionar la información de un proyecto de construcción a lo largo de todo su ciclo de vida mediante la metodología BIM. Define principios y requisitos fundamentales para organizar, compartir y utilizar los datos de manera eficiente, asegurando una mejor coordinación entre las disciplinas involucradas en el proyecto (ISO, 2021).

### **3. Objetivos**

#### **3.1. Objetivo General**

Desarrollar modelos de información 3D para la coordinación de los proyectos ejecutados en la empresa PETROCONSTEL S.A.S.

#### **3.2. Objetivos Específicos**

Recopilar información técnica y de campo para la elaboración de planos de reconocimiento en un modelo digital 2D, como base para el desarrollo de los modelos de información 3D de los proyectos ejecutados en la empresa PETROCONSTEL S.A.S.

Simular la información arquitectónica, estructural y de instalaciones en un modelo digital 3D de los proyectos ejecutados en la empresa PETROCONSTEL S.A.S.

Detectar interferencias entre los diseños arquitectónicos, estructurales y de instalaciones para la coordinación interdisciplinaria de los proyectos ejecutados en la empresa PETROCONSTEL S.A.S.

## **4. Metodología**

Durante la ejecución de la práctica en PETROCONSTEL S.A.S. se aplicaron y desarrollaron habilidades de mediciones en campo y modelado para diversos proyectos de carácter hospitalario, en los cuales se incluyen el Hospital Universitario de Santander (HUS) y la Clínica Especialista María Auxiliadora (CEMA), así como el diseño de una unidad móvil hospitalaria. Para la aplicación y el desarrollo de estas habilidades se implementó la siguiente metodología:

### **4.1. Fase 0. Reconocimiento y métodos de trabajo**

Para el desarrollo inicial de la práctica se realizó una capacitación por parte del equipo de trabajo en conjunto con el tutor, el arquitecto Henry Peña. Esta fase se centró en la familiarización con proyectos que se estaban interviniendo y contempló actividades de apoyo en los temas de consultoría, la verificación de planos, cantidades y datos técnicos de cada especialidad para la identificación de la información disponible.

En esta fase, se recibió información respecto a los tipos de rótulos que la empresa utiliza para presentar los proyectos tanto a la secretaría de salud y a la curaduría, dos entes que se encargan de aprobar los proyectos que se realizan; y se recibieron lineamientos, por parte de la empresa, para la utilización de softwares de dibujo, tales como AutoCAD, Revit y Navisworks. El software de mayor utilización para las actividades de modelado de información durante la práctica fue el Revit, por lo cual se recibió una introducción con respecto a componentes específicos relacionados con edificaciones del ámbito hospitalario, como la creación de modelos de familias de mediacañas y equipos biomédicos.

A su vez, la empresa presentó información acerca de los proyectos en curso: Servicio de Apoyo Diagnóstico del Hospital Universitario de Santander (HUS), Clínica de Especialistas María Auxiliadora (CEMA) y Unidad Móvil Hospitalaria. El Servicio de Apoyo Diagnóstico del Hospital Universitario de Santander (HUS) consiste en la modificación y ampliación del segundo piso para incluir servicios de electrofisiología, angiografía, fototerapias, sala de procedimientos y de recuperación. Para este proyecto, se asignó al practicante la modelación de las redes de aire acondicionado, gases medicinales, sistema contra incendio y sanitario.

En relación con el proyecto Clínica de Especialistas María Auxiliadora (CEMA), se asignaron al practicante funciones de revisión de los diseños arquitectónicos, estructurales, sanitarios, sistema contra incendio y aire acondicionado. Por último, en la Unidad Móvil Hospitalaria, se asignó la modelación del diseño arquitectónico, incluyendo los diseños de consultorio de toma de muestras y ginecología y del sistema de estructura para anclaje del mobiliario y la distribución de redes eléctricas.

#### **4.2. Fase 1. Recopilación de información in situ**

Para el desarrollo de esta fase, se emplearon distintas estrategias de recopilación de la información necesaria para la modelación, incluyendo planos de diseños previos, levantamientos arquitectónicos en sitio y reuniones con especialistas. En primer lugar, se realizó una reunión con especialistas estructurales, de presupuestos y del sistema de aire acondicionado pertenecientes al grupo de contratistas de los proyectos en curso (Figura 1-a). Resultado de estas reuniones, se obtuvo información relacionada con modificaciones en los diseños de aire acondicionado de la CEMA, información de nuevos diseños, modificaciones en tuberías y especificaciones técnicas de equipos médicos.

**Figura 1.***Estrategias de recopilación de información*

a) Ejemplo de reunión realizada con expertos, b) recopilación de información en estantes de archivo y c) recopilación de información mediante levantamientos en sitio.

Con el propósito de recopilar la mayor información posible y garantizar la precisión necesaria para el proceso de modelado de información del proyecto, es importante también acudir a otras fuentes de información como lo son las entidades contratantes. Para las entidades contratantes, la información está localizada en archivos digitales (como en la nube) o físicos (en los estantes de archivo) (Figura 1-b). La información en físico generalmente se encuentra desactualizada con respecto a las últimas modificaciones. Sin embargo, se pudo obtener la información del estado arquitectónico, estructural, eléctrico y de instalaciones sanitarias de los proyectos intervenidos.

Si bien es un gasto operativo, la verificación de la información en sitio es indispensable durante la ejecución de cualquier proyecto, con el fin de obtener y verificar la información contenida en los planos, la cual servirá de base firme para posteriores diseños. Para realizar estas verificaciones, se llevaron a cabo mediciones con flexómetros y metros láser (Figura 1-c), lo que

permitió optimizar el tiempo y contrastar las medidas con los planos existentes. En casos donde no se contaba con un plano de diseño previo, fue necesario generar una visualización global del entorno para establecer la ubicación espacial y, posteriormente, elaborar un esquema básico en papel con las medidas correspondientes. Este procedimiento se conoce en obra como “levantamiento del estado actual”.

### **4.3. Fase 2. Modelación de información 2D y 3D**

Esta fase consistió en la transformación de los datos brutos, obtenidos de la recopilación de información, en modelos digitales 2D y 3D, siguiendo los lineamientos de la metodología BIM, entre los cuales se incluyen la organización de la información mediante niveles de entresijos, inclusión de ejes arquitectónicos y la categorización de nivel de detalle (LOD). Esta fase alcanzó un nivel LOD 350, con el que se garantiza la parametrización de los elementos logrando la correcta ubicación y detalles importantes.

Para la modelación inicial fue necesario ordenar la información obtenida durante el levantamiento. Por lo tanto, se realizó la actualización de los planos originales utilizados como guía durante el levantamiento y se generaron planos definitivos, que se usaron como base para la modelación en 3D. La modelación en 3D constituye un recurso valioso que permite visualizar, simular y renderizar los diseños de carácter arquitectónico e ingenieril, dando como resultado la consolidación de información integral y global. Sin embargo, esta actividad presenta dificultades asociadas a la disponibilidad de recursos y costos operativos, lo que limita su uso, destinándose principalmente a proyectos de gran importancia.

Para el desarrollo de los modelos en 3D se utilizó la aplicación Revit, perteneciente a la familia de Autodesk. El primer paso consistió en la definición de los elementos a modelar y la

parametrización de los muros, la tipología de suelos y los elementos arquitectónicos iniciales. Dado el enfoque de la empresa hacia soluciones en infraestructura hospitalaria, los proyectos presentan particularidades propias de este tipo de infraestructura. Por ejemplo, alturas mínimas de cielo raso de 2.80 m (con algunas áreas de 3.0 m para equipo especializado), el uso exclusivo de drywall en techos y la generación de mediacañas en granito pulido o yeso para el recubrimiento de las uniones entre muros y piso.

Dentro del carácter hospitalario de los proyectos, también se contempla que la edificación continúe en operación durante la ejecución de las obras. Por esta razón, es esencial la implementación de medidas de contingencia que permitan la reubicación temporal de los servicios de salud. Según la normativa ISO 19650, surge la necesidad de organizar la información de manera tridimensional (3D) e independiente, dependiendo de cuál sea la especialidad. Además, se puede emplear para la ejecución de proyectos, en específico, la sectorización por fases de desarrollo, permitiendo así la construcción sectorizada parcial y reubicación de servicios para su operación continua.

#### **4.4. Fase 3. Modelación de instalaciones y sus ajustes**

El desarrollo de esta fase fue fundamental, ya que en esta se realizó la modelación de los sistemas de instalaciones de las edificaciones y proyectos. El tamaño y distribución de estos sistemas dependen de la naturaleza del proyecto. Aun así, es posible establecer un orden jerárquico para su inclusión en el modelo central y definir el nivel de afectación que un cambio o diseño pueda tener sobre los demás sistemas.

Los sistemas de aire acondicionado, comúnmente conocidos como Mini-Split, tienen como función principal generar climatización mediante la recirculación del aire. Sin embargo,

para el ámbito hospitalario, cada sector del hospital está expuesto a la presencia de diferentes microorganismos o elementos contaminantes que se encuentren en el aire. Por este motivo es necesario que el aire circule de zonas de mayor a menor riesgo de contaminación, como de quirófanos hacia la antesala o de trabajo limpio a trabajo sucio, entre otros. Esta circulación solo se permite mediante la utilización de instalaciones de aire acondicionado con unidades UMA (Unidades Manejadoras de Aire acondicionado) que incluyan filtros HEPA (captura de partículas de aire de alta eficiencia), permitiendo la filtración del aire y su funcionamiento continuo (ICONTEC, 2020).

Los sistemas contra incendio cumplen un papel fundamental en la seguridad, funcionando como un sistema activo ante la presencia de fuego. Durante su diseño y modelación, se controla la derivación de la tubería y el diámetro de las ramas, con el fin de garantizar la presión adecuada en el sistema. La ubicación de las tuberías se planifica por un costado lateral del pasillo, de manera que se permita la instalación de los ductos de aire acondicionado en la parte central y, por el costado opuesto, la instalación de los ductos eléctricos, siendo esta la distribución ideal de las instalaciones.

Por otra parte, la instalación de gases medicinales constituye un sistema particular de carácter hospitalario, diseñado para transportar fluidos desde la tubería central hasta las conexiones de salidas para el paciente. Este sistema requiere tuberías de cobre tipo K, de mayor resistencia que las tuberías tipo L, las cuales son más livianas y no están diseñadas para soportar las presiones de servicio de los gases medicinales. Además, las uniones deben soldarse para garantizar su hermeticidad.

De igual forma, las instalaciones eléctricas presentan retos importantes relacionados con la tipología de instalación. Por ejemplo, la tubería EMT (Electrical Metallic Tubing) puede ser

utilizada expuesta a la vista, pero no es apta para exteriores o condiciones de intemperie debido a su baja resistencia ante estas condiciones. La tubería IMC (Intermediate Metal Conduit) es de acero galvanizado y tiene un mayor grosor de pared, lo que la hace más robusta, resistente y apta para las condiciones de intemperie a las cuales será sometida. Por otro lado, la tubería PVC (Polyvinyl Chloride) no es adecuada para aplicaciones exteriores por su fragilidad frente a golpes directos, pero resulta ideal para instalación dentro de los muros, ya que su flexibilidad permite distintas configuraciones de trazado, adaptándose a la geometría del muro.

#### **4.5. Fase 4. Detección de interferencias**

La empresa PETROCONSTEL S.A.S. actualmente se encuentra en el proceso de implementación del uso de modelos de información 3D en sus proyectos, siendo hasta ahora AutoCAD su principal herramienta de dibujo. Esta transición busca mejorar la coordinación entre las diferentes especialidades, ya que, en ocasiones, los diseños definitivos, representados en planos 2D, presentan incoherencias al superponerse los diseños de instalaciones, generando la necesidad de correcciones adicionales.

Con la incorporación de la modelación en 3D de dichas instalaciones, incluyendo el componente de altura, es posible identificar interferencias entre tuberías, ductos y cables que son difíciles de identificar en planos 2D. Así mismo, herramientas como Revit y Navisworks permiten realizar inspecciones sistemáticas mediante reportes de interferencias. La identificación temprana de estas inconsistencias permite aplicar correctivos in situ. Cuando se requiere la autorización previa de los diseñadores, se pueden generar informes para presentar solicitudes de modificación. Generalmente, estas interferencias se notifican mediante los informes de revisión

enviados por correo al jefe del proyecto. En otros casos, existe contacto directo con el diseñador, lo que permite plantear soluciones y realizar cambios de manera directa.

## **5. Resultados**

Durante la práctica empresarial, se brindó apoyo en tareas como la modelación de la edificación y sus instalaciones, el control de interferencias y la elaboración de planos en tres (3) proyectos distintos: Hospital Universitario de Santander (HUS), Clínica de Especialistas María Auxiliadora (CEMA) y Unidad Móvil Hospitalaria FURGORIENTE. La participación en estos proyectos tuvo como resultado la elaboración de tres (3) modelos de información digital generales y seis (6) modelos de instalaciones de servicios.

A continuación, se presenta un desglose del resultado final de la modelación, siguiendo la metodología anteriormente descrita, para los proyectos desarrollados en la empresa. Las fases 1 y 2 dan cumplimiento al primer objetivo específico, cuya finalidad es la recopilación de información. En la fase 3, se desarrolla el segundo objetivo, el cual consiste en la modelación 3D. Por último, en la fase 4 se desarrolla el tercer objetivo, que comprende las verificaciones de interferencias.

### **5.1. Hospital Universitario de Santander (HUS)**

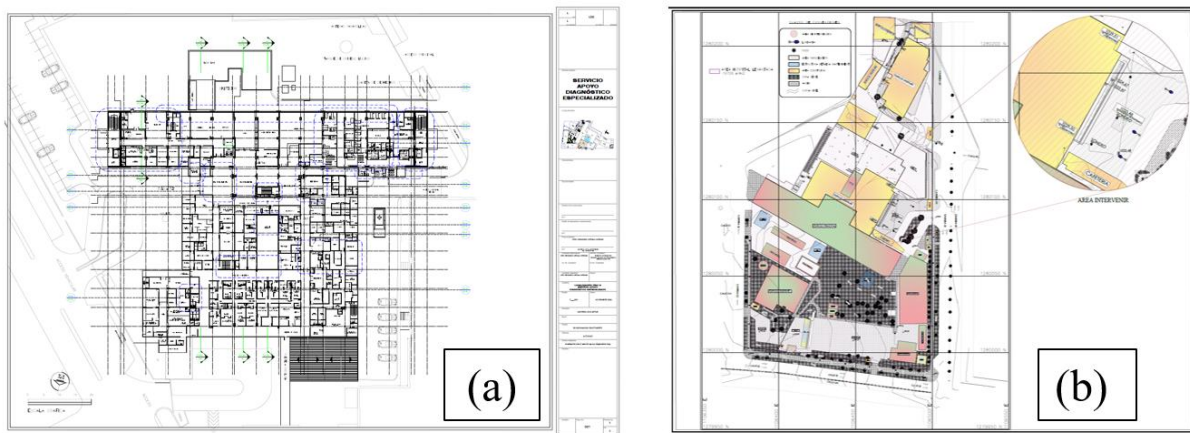
#### **5.1.1. Fase 1. Recopilación de información in situ**

Para la obtención de información del HUS, fue necesario revisar el archivo interno del hospital. En esta revisión se recopilaron planos estructurales de los niveles 1 a 4, planos arquitectónicos desde el nivel 1 hasta el 13 del hospital y levantamientos topográficos del estado

actual de la edificación. En la Figura 2 se presentan los planos arquitectónicos y topográficos del HUS.

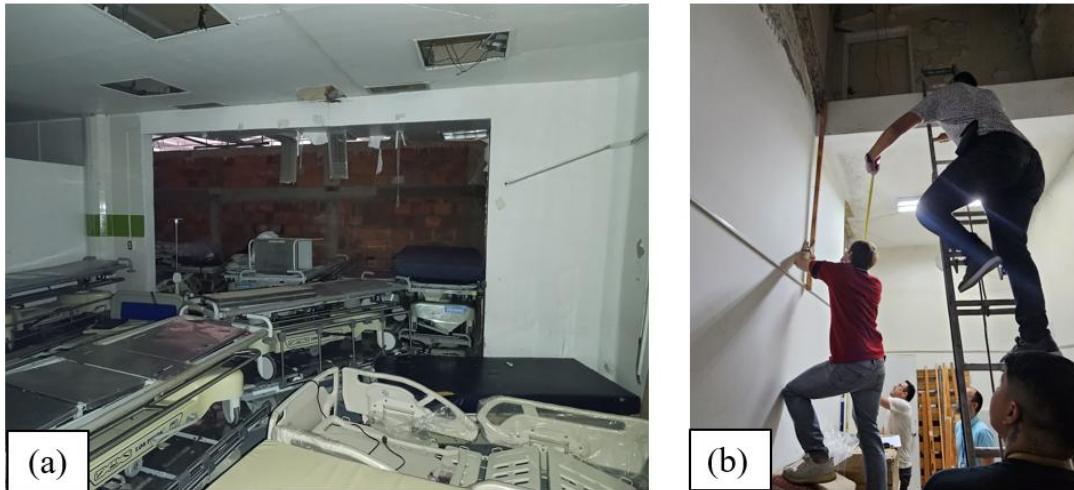
### Figura 2.

#### *Recopilación de información*



(a) Plano arquitectónico del segundo piso del HUS y (b) plano de levantamiento topográfico.

El objeto del contrato 512 de 2024 consistió en modificar y ampliar el segundo nivel para la prestación de servicios de apoyo diagnóstico. Es por ello por lo que, una vez recopilada la información, se procedió a su verificación mediante una visita, como se aprecia en la Figura 3. Este sector se encuentra actualmente inhabilitado y se va a intervenir. Para la verificación de planos, se realizaron mediciones de dimensiones de las columnas, así como la ubicación de sus ejes, información de gran importancia para la ubicación de las columnas en el siguiente nivel. De igual manera, se determinaron los espesores de muros y se precisó la localización del foso del ascensor, lo cual permitió identificar si el muro existente se trataba de un muro de mampostería o de concreto reforzado.

**Figura 3.***Visitas de campo al HUS*

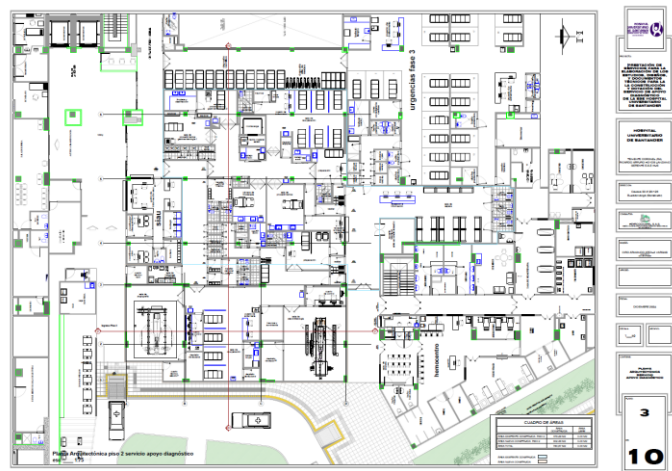
b) *Visita de campo al segundo piso inhabilitado del HUS y b) acceso al segundo piso en la zona del foso del ascensor.*

**5.1.2. Fase 2. Modelación de información 2D y 3D**

Los planos arquitectónicos (2D), desarrollados en AutoCAD, se modificaron y actualizaron a partir de la información obtenida en las visitas en campo. Por ejemplo, se ajustó la ubicación de las columnas y se verificó que los planos estuvieran acordes a la información recopilada, dando como resultado la modificación y elaboración completa del plano arquitectónico del servicio de apoyo diagnóstico, como se aprecia en la Figura 4.

**Figura 4.**

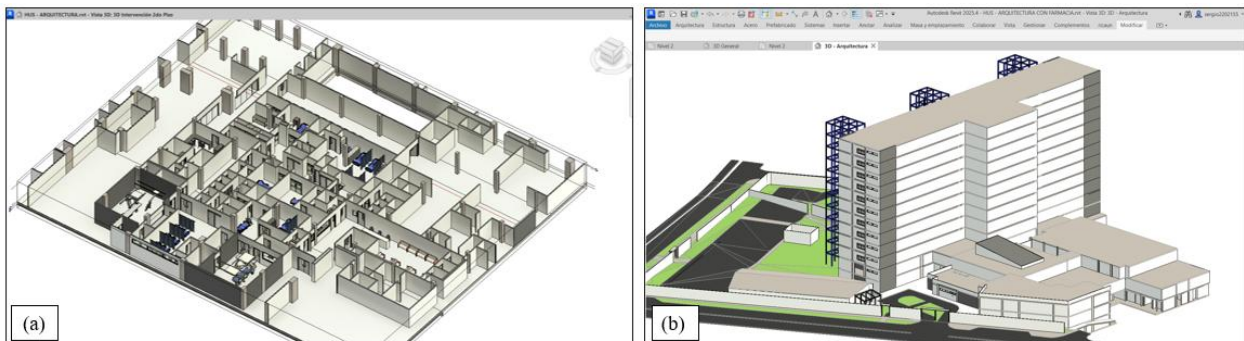
*Plano arquitectónico del servicio apoyo diagnóstico del segundo piso del HUS*



Para la realización de la modelación en 3D se utilizó el software Revit, iniciando con la definición de los elementos a modelar y la configuración de parámetros del muro, los tipos de suelos y elementos arquitectónicos iniciales. A su vez, se determinó la ubicación de los equipos especializados que formarían parte del proyecto, como lo son los angiográficos. Además, se ubicaron los muros adyacentes al proyecto para darle continuidad a la edificación, incluyendo las torres metálicas, suelo topográfico y accesos viales, con la finalidad de visualizar los elementos del proyecto (Figura 5).

**Figura 5.**

*Modelo 3D de la E.S.E Hospital Universitario de Santander*

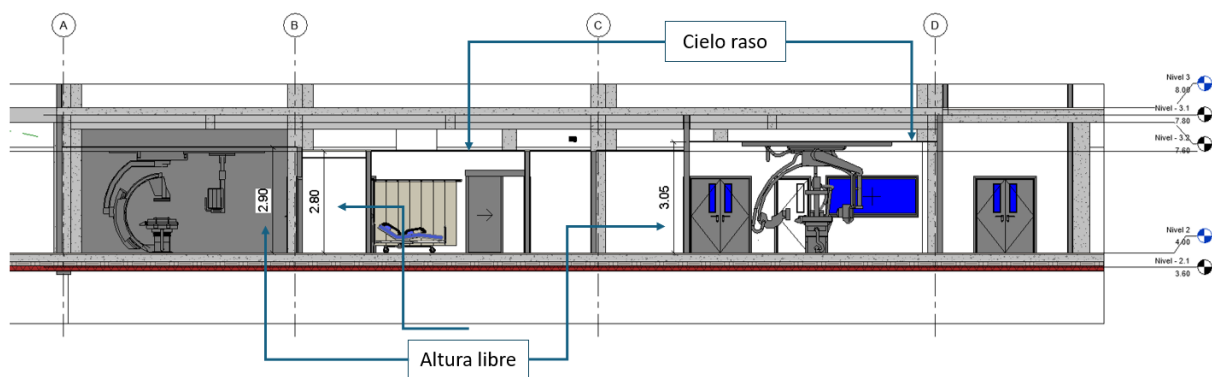


a) *Modelo 3D de la E.S.E Hospital Universitario de Santander y b) Caja de sección del servicio de apoyo diagnóstico del HUS.*

Inicialmente, se modeló la distribución de los elementos y la altura del techo en cielo raso, considerando que, por tratarse de un proyecto hospitalario, la estructura y el material del techo deben ser sólidos, impermeables, resistentes a la humedad y a la temperatura y ser incombustibles, por lo cual, se deben utilizar láminas de yeso y no se permite el uso de PVC (Ministerio de Salud, 1996). Se mantuvo una altura libre mínima de 2.80 metros y en ciertas áreas donde se localizan los equipos especializados, fue necesario contemplar una altura libre de 3.05 metros, como se aprecia en la Figura 6.

**Figura 6.**

*Corte transversal del servicio de apoyo diagnóstico del HUS*



### 5.1.3. Fase 3. Modelación de instalaciones y sus ajustes

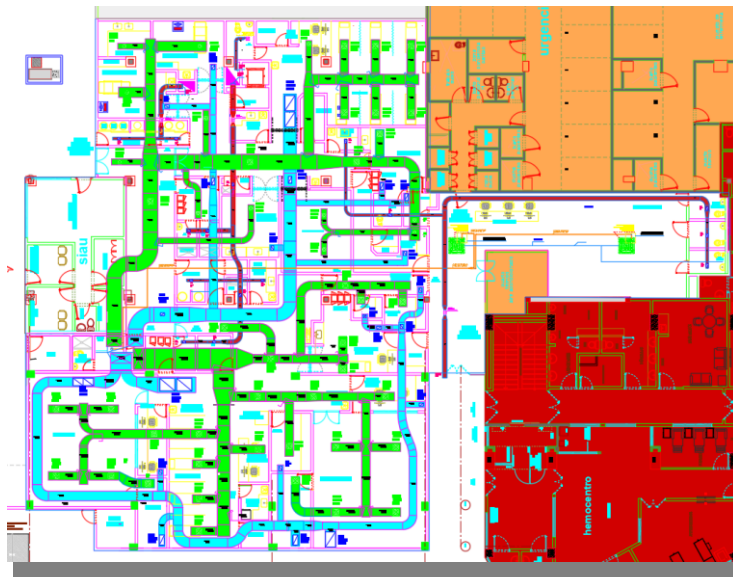
Una vez incorporada la información arquitectónica y estructural, se procedió a la modelación de las instalaciones sanitarias, de aire acondicionado, gases medicinales y del sistema contra incendio. Los planos correspondientes a cada especialidad fueron entregados con base en el plano arquitectónico, sobre el cual se desarrolló el respectivo diseño de las instalaciones. Sin embargo, los diseños de instalaciones estaban desactualizados respecto a las

últimas modificaciones arquitectónicas. Por lo tanto, a partir de la visualización tridimensional del modelo se identificaron interferencias, incongruencias y obstrucciones.

Una vez se completaron el plano arquitectónico definitivo y el modelo digital en 3D, se procedió a la inclusión de las instalaciones, partiendo del sistema de mayor tamaño, siendo en este caso el sistema de aire acondicionado. Para la modelación de este sistema se utilizaron las familias de “Instalaciones MEP” incorporadas en Revit, que contienen todos los elementos necesarios para su modelación, siendo estos ducterías parametrizadas por tamaño, longitud y recubrimiento, tapas de tuberías, rejillas de ventilación y las distintas conexiones. En la Figura 7, se presenta un modelo 2D de la distribución del sistema de aire acondicionado entregado por el ingeniero mecánico responsable del diseño, el cual fue utilizado como referencia inicial para el desarrollo del modelo 3D.

**Figura 7.**

*Esquema de la distribución del sistema de aire acondicionado*

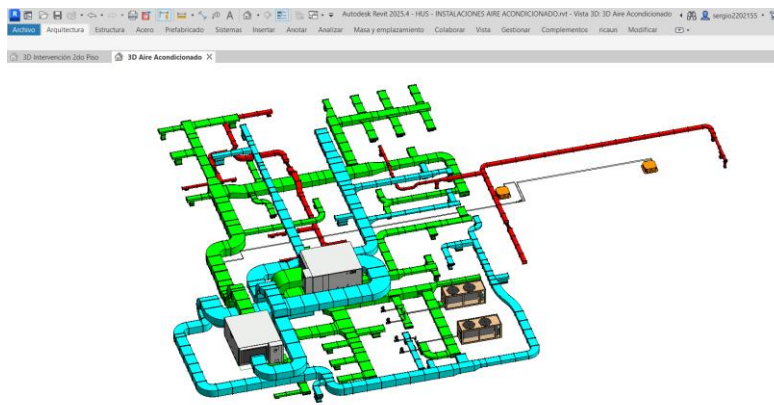


La modelación inicial del sistema de aire acondicionado, que consta de ducterías y salidas y entradas de aire, se realizó conforme recibían los planos, cumpliendo los requisitos

establecidos por el diseñador e incluyendo los cambios de dirección de ducterías y variaciones en altura. El sistema se modeló considerando tres tipos de redes (Figura 8): suministro (en color verde), retorno (en color celeste) y extracción (en color rojo). Las redes de suministro y retorno se dividen cada una en dos subsistemas y se alimentan cada una por una UMA. La red de extracción se encarga de remover el aire contaminado de baños y zonas de residuos. Adicionalmente, se incluyó un sistema de ventilación mediante condensadoras y casetes, encargadas de climatizar áreas específicas, como la zona de recepción.

### Figura 8.

#### *Modelación 3D de ducterías del sistema de aire acondicionado*

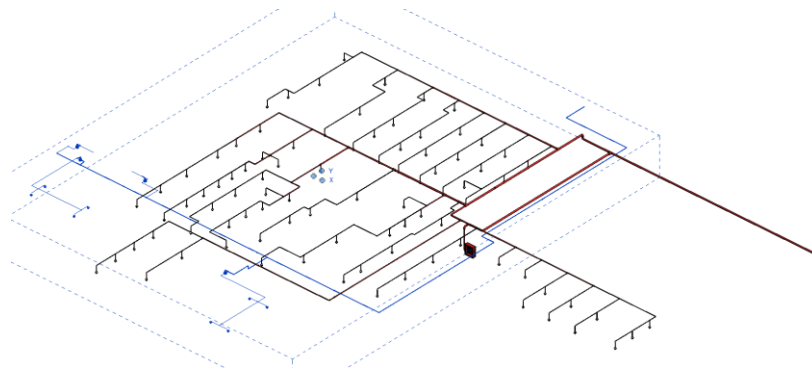


Seguidamente, se modeló el sistema contra incendio, el cual se divide en dos tipos: el sistema convencional con aspersores (Sprinklers) y el sistema de nebulización (Figura 9). El sistema contra incendio se utiliza de manera general en toda edificación que requiera dicho sistema, complementario a los extintores convencionales. Por otro lado, el sistema de nebulización se emplea en casos específicos para equipos especializados, otorgando el mismo servicio de extinción, con la particularidad de que usa menor cantidad de agua. En este sistema, el agua se emplea como agente extintor y el aire comprimido como agente pulverizador,

permitiendo generar partículas de menor tamaño, creando una nube de agua nebulizada, evitando así daños a los equipos por la humedad causada por el agua (Luppi, 2019).

**Figura 9.**

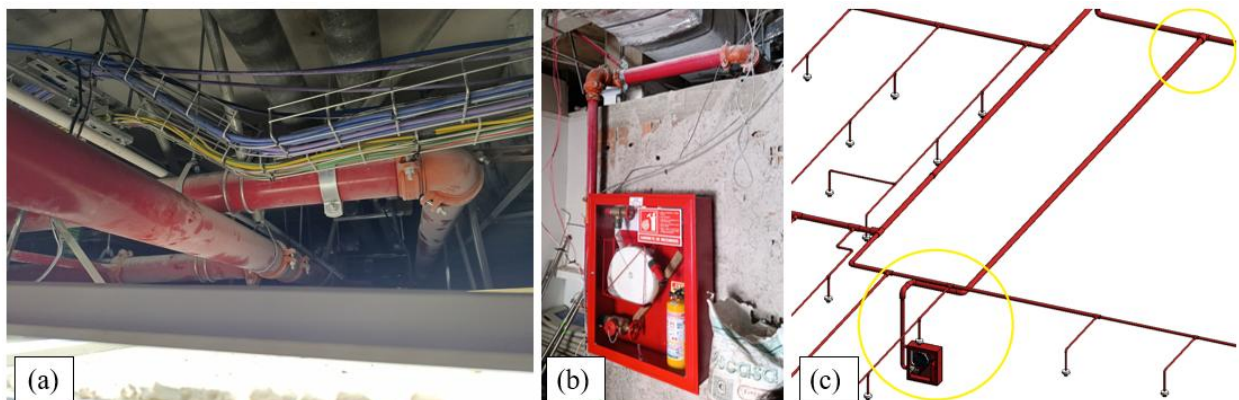
*Modelo 3D del sistema de red contra incendio. Sistema de aspersores (rojo) y sistema de nebulización (azul).*



Dada la complejidad del sistema contra incendio convencional, se realizaron visitas técnicas especialmente para verificar el lugar de conexión del sistema a la tubería principal y a su vez, para la localización del gabinete contra incendio, conectados a la red principal. En la Figura 10, se aprecia la localización in situ de la tubería principal y la modelación para su correcta instalación.

**Figura 10.**

*Visita de campo para el sistema contra incendio y su modelación*



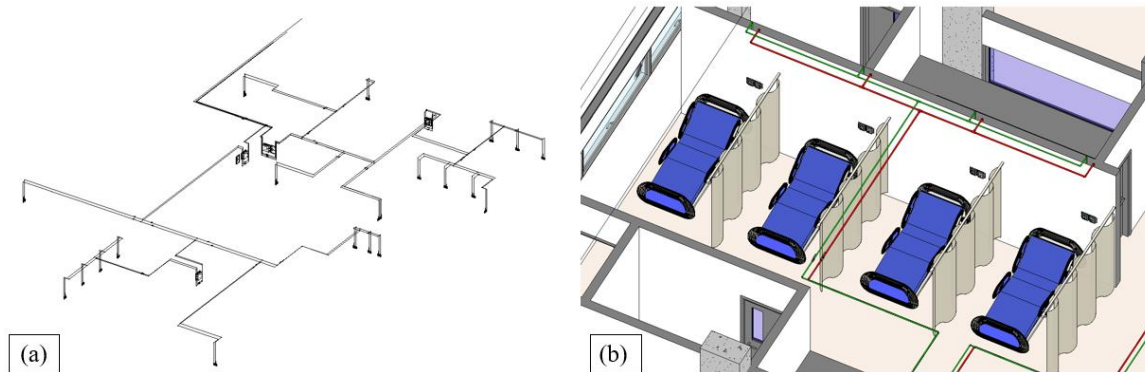
- a) Localización del punto de conexión del sistema contra incendio, b) identificación del gabinete contra incendio y c) modelación del gabinete contra incendio y punto de acople del sistema.*

El sistema de gases medicinales presentó un reto particular al tratarse del manejo de fluidos, como el aire medicinal y el oxígeno, sometidos a presiones positivas o negativas relativas, por ejemplo, la tubería de vacío encargada de la succión del aire, sangre y evacuación de gases medicinales. Para el sistema de gases medicinales se permite la implementación de las tuberías de cobre tipo L y K. La tubería tipo K presenta mayor grosor de pared y la tipo L presenta una limitante de presión de 1,275 kPa (NFPA, 2019). Para la constitución del diseño se contempló el uso de las tuberías de cobre tipo K, diseñadas específicamente para soportar las presiones de servicio requeridas, que son de 4 atm en el caso de aire y oxígeno y 0.67 atm para el caso de vacío, manteniendo así la seguridad ante cambios súbitos de presión.

Además, el sistema de gases medicinales cuenta con un sistema de válvulas distribuidas a lo largo de toda su trayectoria, lo que permite realizar reparaciones de las tuberías en caso de avería sin necesidad de interrumpir el servicio en todo el sector. En la Figura 11 se puede apreciar la distribución del sistema de gases medicinales, en la cual se contempla la red de tuberías, que está entre el cielo raso y la placa. Además, el suministro e instalación de las tomas de gases medicinales en los cubículos de observación de pacientes.

**Figura 11.**

*Modelación 3D del sistema de gases medicinales*



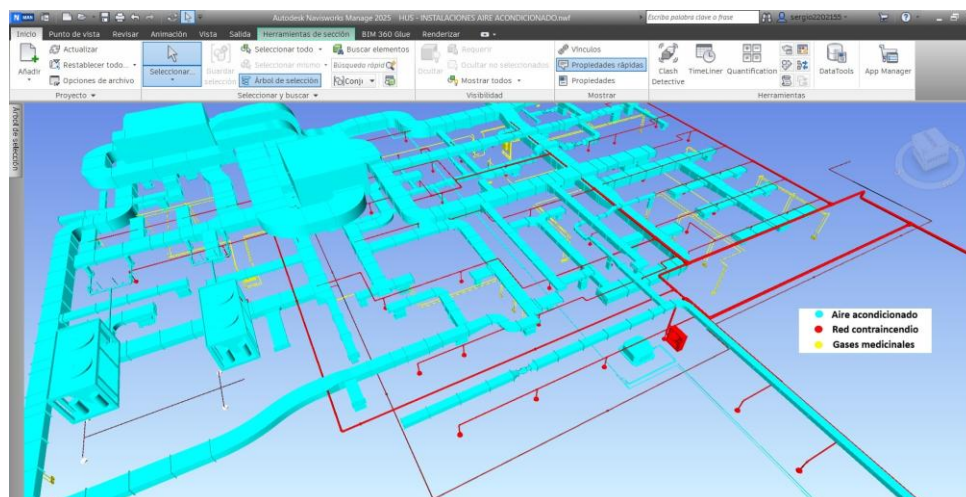
a) Vista isométrica de la instalación de gases medicinales y b) operabilidad del sistema de gases medicinales en los cubículos.

#### 5.1.4. Fase 4. Detección de interferencias

La integración de las especialidades de aire acondicionado (AA), sistema contra incendio (SCI) y gases medicinales (GM) en un único modelo en Navisworks permitió consolidar los sistemas de redes y facilitar la identificación de posibles interferencias entre estos (Figura 12).

**Figura 12.**

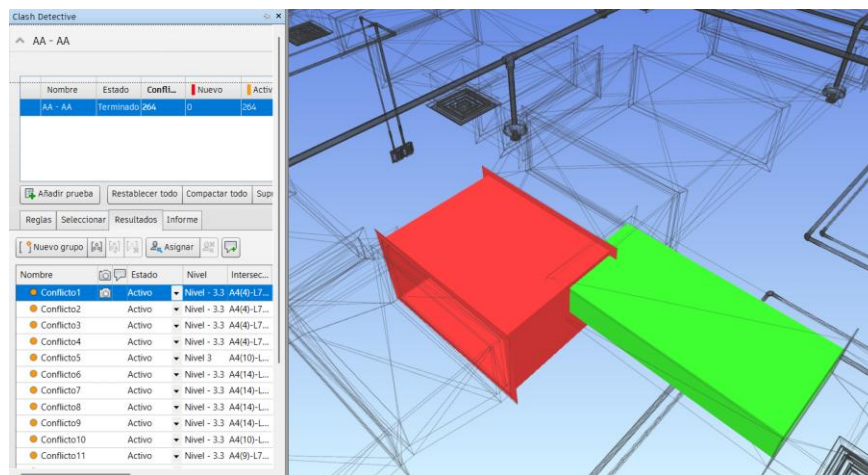
*Sistemas modelados en Navisworks*



Inicialmente, se realizó la verificación del sistema de AA para diagnosticar las interferencias específicas de este. Por ejemplo, se presenciaron errores de configuración de dibujo, los cuales ocasionaron conteo adicional de interferencias, choques entre ducterías o uniones incorrectas (Figura 13).

### Figura 13.

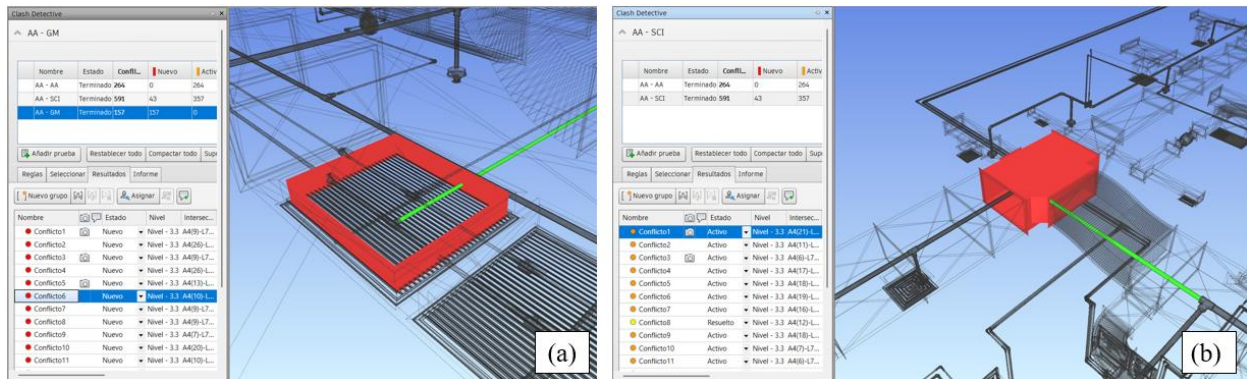
#### *Interferencias entre ducterías del sistema de aire acondicionado*



Adicional al análisis realizado sobre el sistema de aire acondicionado, se verificaron las interferencias entre los demás sistemas, con preferencias de interés sobre el sistema de aire acondicionado por su tamaño predominante. A partir de esta verificación se observó el cruce entre sistemas de AA y GM y, AA y SCI, presentando tramos de tubería de cobre de gases medicinales que atravesaban un ducto de retorno de aire acondicionado y a su vez, la ruta de sistema contra incendio cruzaba un tramo principal de aire acondicionado (Figura 14).

**Figura 14.**

*Interferencias entre los sistemas de aire acondicionado, contra incendios y gases medicinales*



a) *Interferencias entre sistema de aire acondicionado y sistema contra incendio y b) interferencias entre sistema de aire acondicionado y gases medicinales.*

Una vez comprobadas las interferencias de cada sistema, se procedió a la generación del informe de conflictos que contiene y enumera las interferencias presentes entre sistemas, agrupándolas por tipo de análisis. Este informe entrega la cantidad de errores nuevos, activos y revisados, de los cuales, se limitó a detectar las interferencias, pero no a su resolución. (Figura 15).

**Figura 15.**

*Informe de conflictos de Aire Acondicionado del HUS*

**AUTODESK®  
NAVISWORKS®**

**Informe de conflictos**




AA - AA	Tolerancia	Conflictos	Nuevo	Activo	Revisado	Aprobado	Resuelto	Tipo	Estado
	0.001m	264	0	264	0	0	0	Estático	Antiguo

AA - SCI	Tolerancia	Conflictos	Nuevo	Activo	Revisado	Aprobado	Resuelto	Tipo	Estado
	0.001m	591	43	357	0	0	191	Estático	Antiguo

AA - GM	Tolerancia	Conflictos	Nuevo	Activo	Revisado	Aprobado	Resuelto	Tipo	Estado
	0.001m	157	157	0	0	0	0	Estático	Antiguo

Imagen	Nombre de conflicto	Estado	Distancia	Ubicación de rejilla	Descripción	Punto de conflicto	Elemento 1		Elemento 2	
							ID de elemento	Capa	ID de elemento	Capa
	Conflicto1	Activo	-0.106	A4-L7 : Nivel - 3.3	Estático	x:1.869, y:60.950, z:7.182	ID de elemento: 4573555	Nivel - 3.3	ID de elemento: 2100640	Nivel - 3.3
	Conflicto2	Activo	-0.106	A4-L7 : Nivel - 3.3	Estático	x:1.869, y:60.950, z:7.157	ID de elemento: 2100637	Nivel - 3.3	ID de elemento: 4573555	Nivel - 3.3
	Conflicto3	Activo	-0.106	A4-L7 : Nivel - 3.3	Estático	x:1.869, y:60.953, z:7.182	ID de elemento: 1409955	Nivel - 3.3	ID de elemento: 2100640	Nivel - 3.3

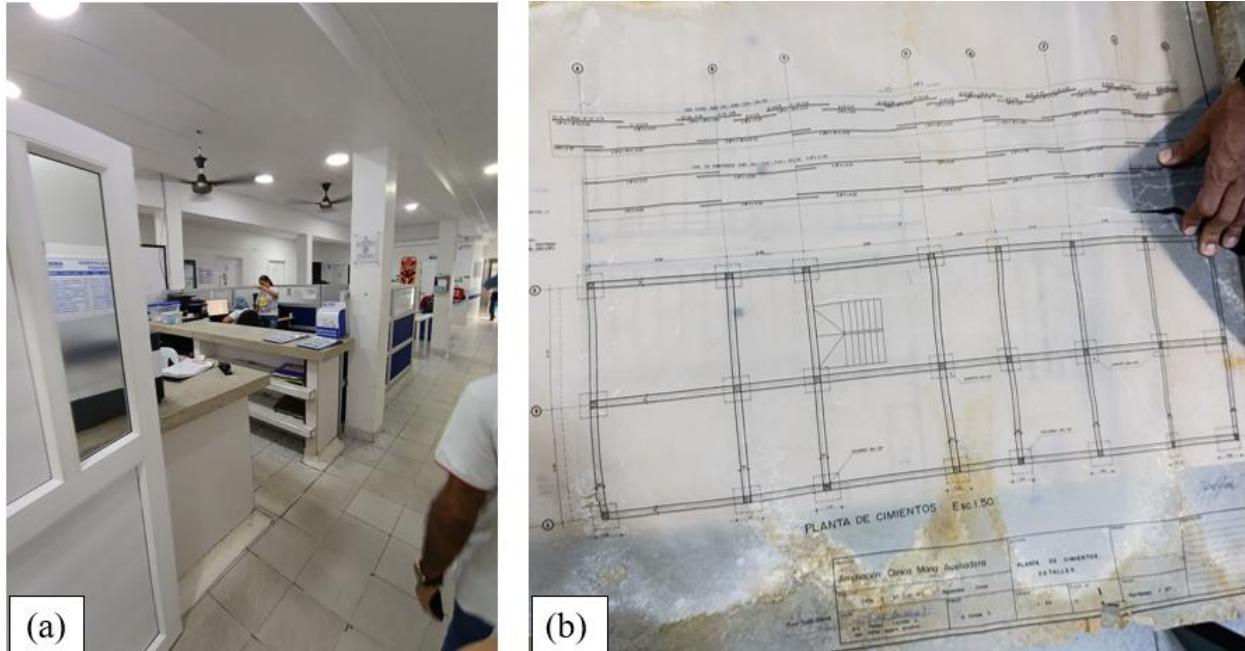
## 5.2. Clínica de Especialistas María Auxiliadora (CEMA)

### 5.2.1. Fase 1. Recopilación de información in situ

La Clínica CEMA, ubicada en Aguachica, Cesar, fue objeto de un levantamiento de información mediante visitas de campo. Durante estas visitas, se recopilaban registros fotográficos que permitieron determinar el estado actual de la infraestructura, e identificar las ubicaciones de punto fijo como las escaleras y vacíos destinados a la ventilación de la clínica. Además, se obtuvieron los planos estructurales de cubierta y planos eléctricos en físico impresos en papel vegetal, correspondientes al estado actual de la edificación. Estos planos se encontraban en un estado de deterioro avanzado debido a que habían sido elaborados hace 26 años (Figura 16).

**Figura 16.**

*Visita de campo a la Clínica de Especialistas María Auxiliadora*



a) Estado actual de la edificación y b) Planos estructurales de los cimientos.

Los planos del diseño arquitectónico actual, con los que se planea ejecutar la remodelación, se obtuvieron en una reunión presencial con los ingenieros y arquitectos responsables del diseño. Durante la reunión, además, fueron recibidos los diseños estructurales, arquitectónicos, de aire acondicionado, sistema contra incendio y redes sanitarias (Figura 17).

**Figura 17.***Plantas de diseños del proyecto*

a) Planta arquitectónica del primer piso. b) Planta de sistema de aire acondicionado del primer piso.

La finalidad de la modelación del proyecto radica en la coordinación de los sistemas de tuberías y ducterías provenientes de los diseños de servicios, en los cuales se buscó consolidar toda la información en un solo modelo digital, que permitiera facilitar la observación y modificación de los elementos.

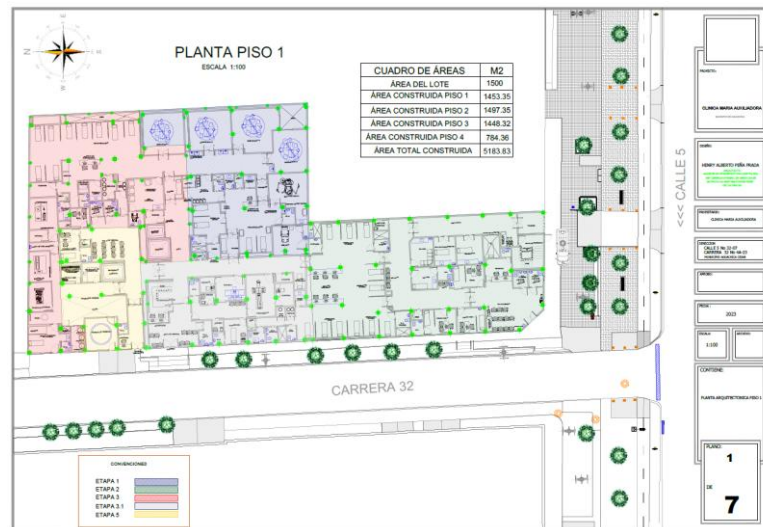
### 5.2.2. Fase 2. Modelación de información 2D y 3D

La modelación de información del proyecto se basó en los planos arquitectónicos y estructurales, aprobados por la clínica y la Secretaría de Salud, así como los planos de aire acondicionado y del sistema de redes contra incendio, que se encontraban en fase de desarrollo al momento de la generación del modelado. La principal dificultad al plantear una remodelación general de una estructura hospitalaria consiste en garantizar su funcionamiento durante la ejecución de las obras. Para esto, fue necesario considerar la estructuración del proyecto

arquitectónico por fases, para permitir la distribución de las ocupaciones de manera progresiva a medida que se construya (Figura 18).

### Figura 18.

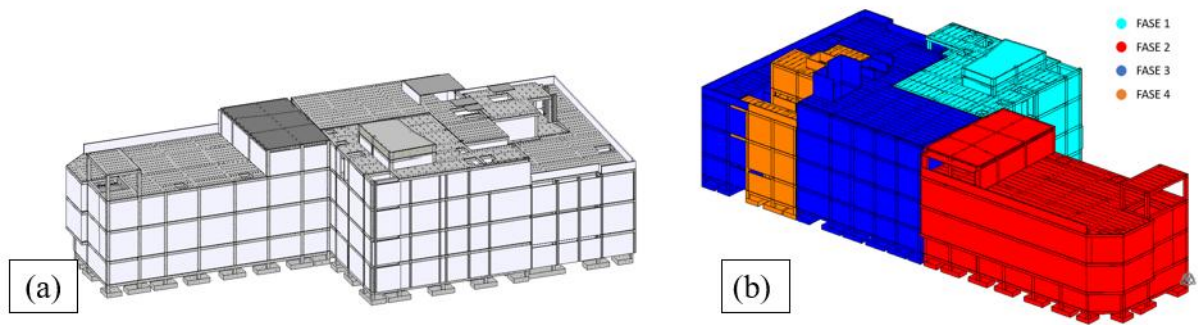
#### *División por fases de la planta arquitectónica*



Se modeló la distribución de espacios mediante la definición de los muros dado que la distribución por fases contemplaba la incorporación de nuevos cerramientos, lo que permitió tener una noción espacial de los sectores y cuartos disponibles. Posteriormente, se modeló la estructura para coordinar la coherencia entre el sistema arquitectónico y estructural, destacando la importancia de que la fase 1 presentara mayor altura, debido a que corresponde a un sector quirúrgico con una altura libre mínima establecida de 2.8 m (Ministerio de Salud, 2025). El modelo se organizó por fases, lo que permitió sectorizar la edificación y visualizar en 3D los espacios disponibles delimitados por los muros (Figura 19). Para permitir el paso de las ducterías, se dejó un espacio de 60 cm entre el cielo raso y la parte inferior de la placa de entrepiso, con una altura libre de 2.5 metros en el sector de hospitalización y urgencias.

**Figura 19.**

*Modelo 3D de la Clínica de Especialistas María Auxiliadora*



*a) Diseño arquitectónico y estructural. b) Subdivisión por fases del modelo 3D.*

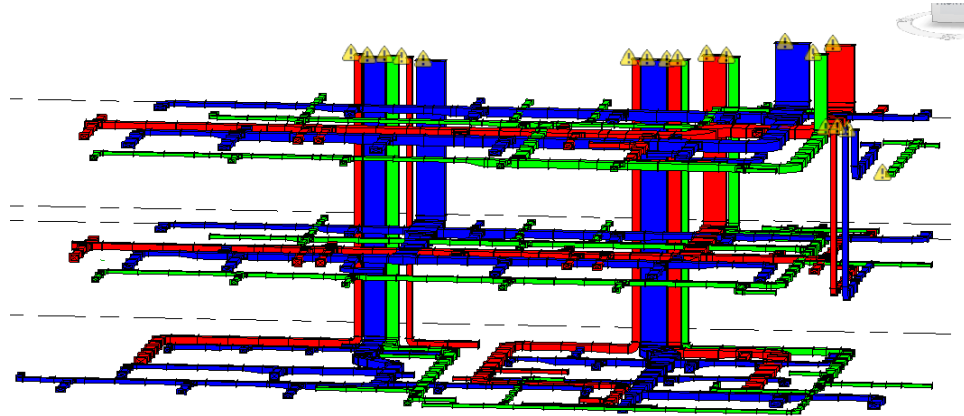
### **5.2.3. Fase 3. Modelación de instalaciones y sus ajustes**

Inicialmente, se modelaron las ducterías de aire acondicionado, organizadas por fases, lo que facilitó la ubicación de los espacios y la dirección de los ductos. Sin embargo, esta actividad presentó un gran desafío, ya que consistía en la modelación de las instalaciones de todo el hospital, el cual era una edificación de gran magnitud. Además, implicó un reto en cuanto a la organización de los datos, pues no solo constaba de modelar y adecuar un espacio, sino también de gestionar la información a gran escala.

La modelación se realizó siguiendo los parámetros de categorización, de forma que los sistemas de ventilación pudieran agruparse de manera general en toda la edificación. Se incluyeron los sistemas de ventilación de suministro (en color azul), retorno (en color rojo) y extracción (en color verde), como se puede apreciar en la Figura 20.

**Figura 20.**

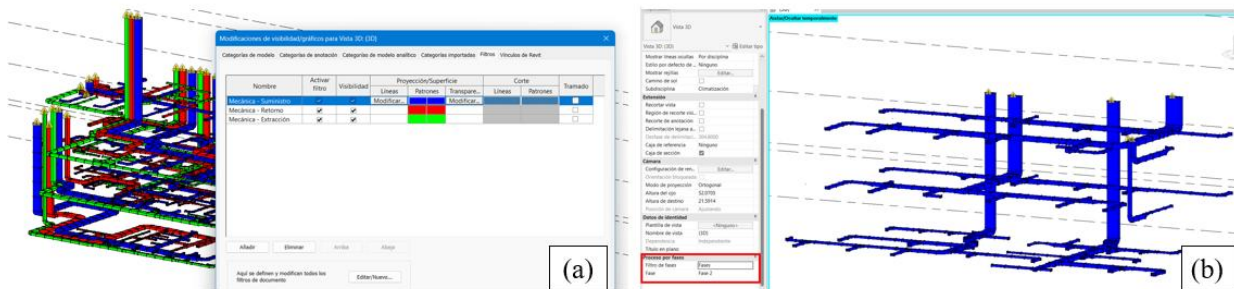
*Modelo 3D del sistema de aire acondicionado*



Para facilitar el manejo de las ducterías, se implementó la filtración por característica, en este caso por el tipo de sistema, lo cual permitió activar o desactivar los sistemas según fuera necesario para cada caso de estudio (Figura 21). De manera semejante, la agrupación por fases y por tipología de sistemas permitió un mayor control de los objetos, proporcionando claridad sobre el sistema que se estaba gestionando y mayor facilidad para la ubicación de los elementos.

**Figura 21.**

*Filtración por fases*



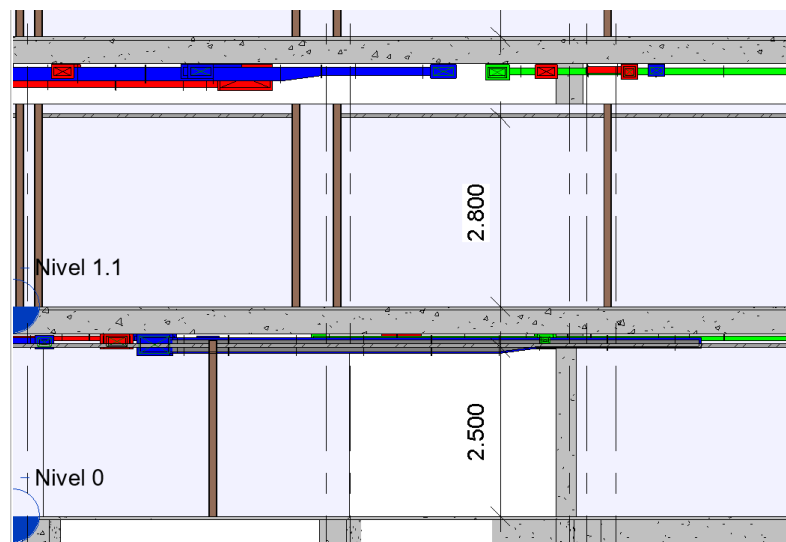
a) Filtración por fases y b) modelo 3D categorizado por fases y sistema

#### 5.2.4. Fase 4. Detección de interferencias

La verificación de interferencias en este proyecto en particular tuvo como objetivo no solo identificar conflictos entre elementos internos de cada sistema de tuberías según los planos mecánicos, sino también verificar las alturas disponibles entre placa y cielo raso, ya definidas en las zonas a rehabilitar. Por ejemplo, el nivel 0 presentaba una altura libre de 2.5 m, al inspeccionar el sistema de ducterías se encontró que algunas tuberías interferían con el espacio disponible, por lo que el sistema requería más espacio y se necesitaba realizar un ajuste en el diseño, dado que la altura libre era fija. Mediante la realización de un corte en Revit (Figura 22), se constató visualmente que el tamaño de la tubería superaba el espacio disponible entre placa y cielo raso.

**Figura 22.**

*Corte transversal de niveles 0 y 1*

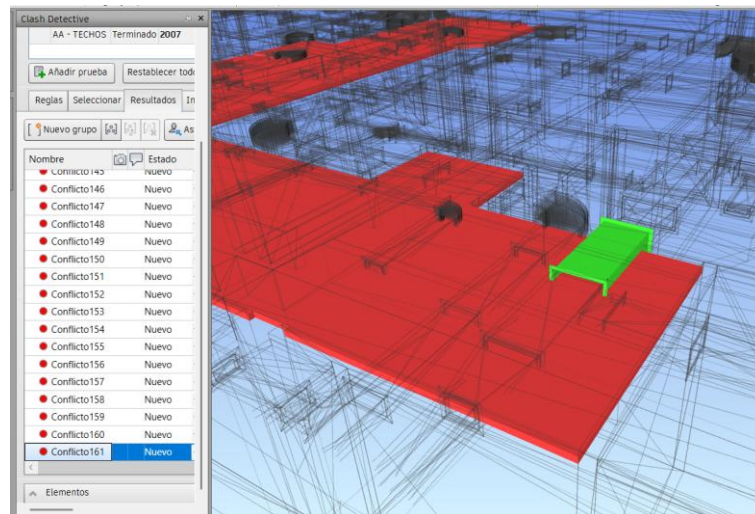


De manera complementaria, la visualización en 3D con Navisworks permitió verificar las interferencias, confirmando que las tuberías de ese nivel presentaban tamaños nominales mayores a los permitidos por la disponibilidad de espacio entre la placa y el cielo raso. En la

Figura 23 se puede apreciar que el ducto de ventilación (en color verde) se cruza con el cielo raso (en color rojo).

**Figura 23.**

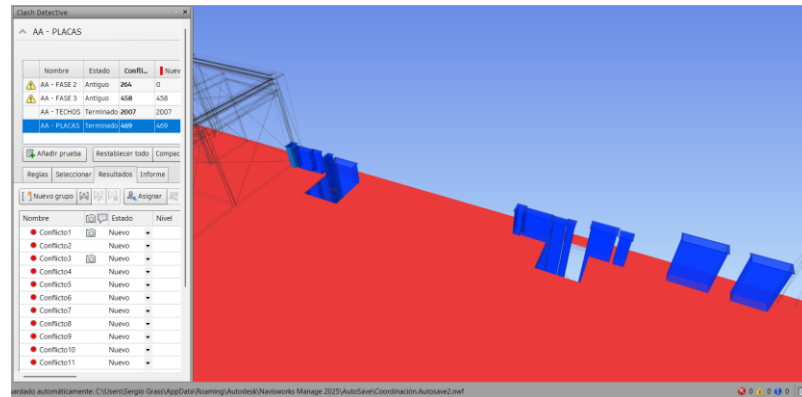
*Interferencia entre cielo raso y ducto de ventilación.*



De igual manera, a partir de los vacíos contemplados en la fase arquitectónica del proyecto, se definieron rutas preliminares para el sistema de ducterías de aire acondicionado, el cual se diseñaría posteriormente. Sin embargo, al consolidar la información referente a los diseños finales y en el proceso de coordinación del proyecto, se observó que este diseño de ventilación no seguía la ruta previamente establecida, y que las nuevas rutas atravesaban las placas de entepiso, como se observa en la Figura 24.

**Figura 24.**

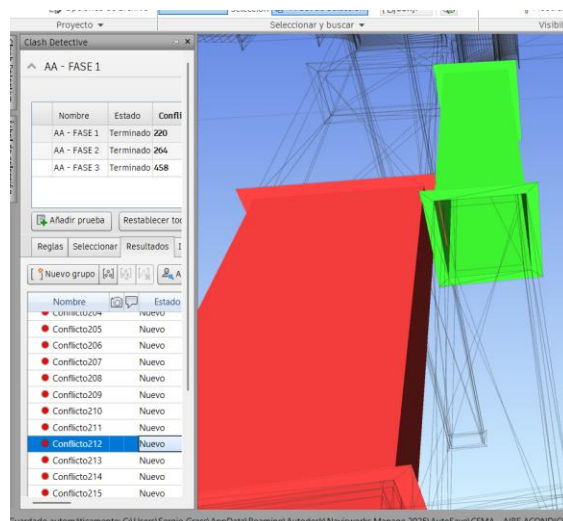
*Interferencia entre placa y ducto de ventilación*



Además, se realizó la verificación de interferencias entre los elementos del sistema de aire acondicionado, considerando que las ducterías contaban con espacios limitados (Figura 25), lo cual podría generar posibles interferencias entre ductos de diferentes sistemas debido a los pliegues de 1" presentes al final de cada tramo de 1 m de longitud, y cuya función es mantener la rigidez del sistema y facilitar el anclaje entre ductos contiguos.

**Figura 25.**

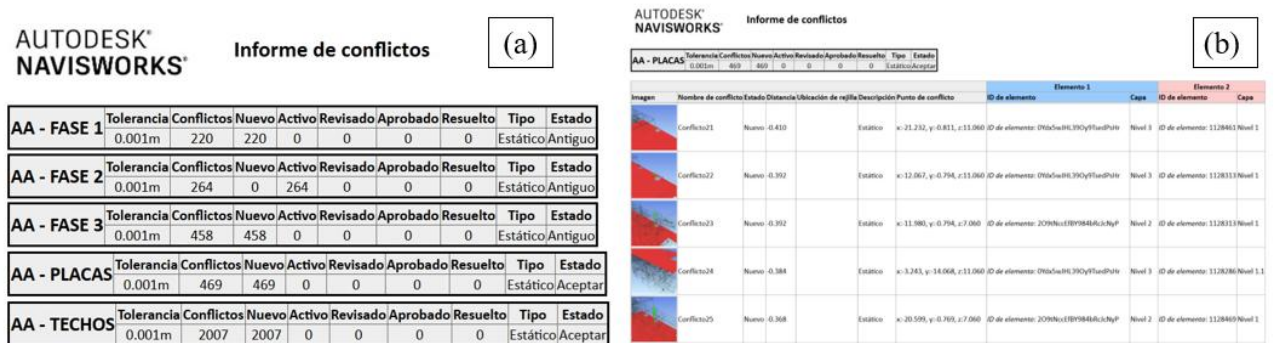
*Interferencia entre sistemas de ductos de ventilación*



Para poder determinar la cantidad de interferencias se presenta la revisión técnica general sobre el sistema de aire acondicionado, en el cual se contabilizó la cantidad de interferencias que presentaba el sistema (Figura 26-a) y su respectivo desglose (Figura 26-b).

**Figura 26.**

*Informe de revisión*



### 5.3. Unidad Móvil Hospitalaria FURGORIENTE

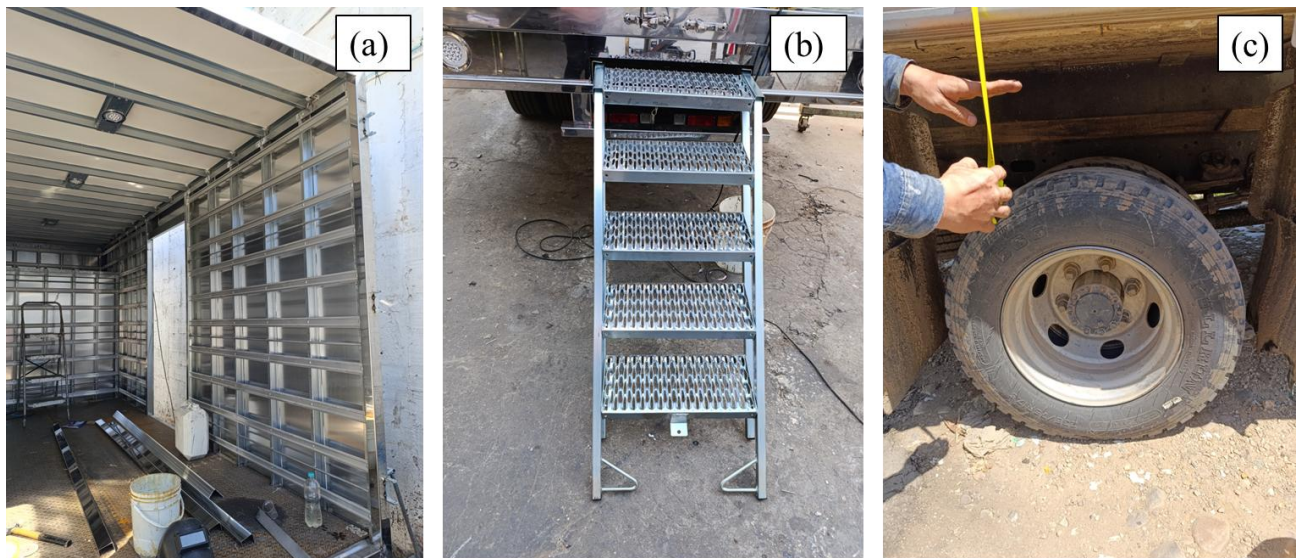
#### 5.3.1. Fase 1. Recopilación de información in situ

Este proyecto consistió en el diseño arquitectónico de un furgón destinado a labores de asistencia médica, como la toma de muestras sanguíneas y atención en ginecología, con el objetivo de llevar estos servicios a lugares de difícil acceso. Para la obtención de la información esencial para el diseño arquitectónico fue necesario que el contratante proporcionara las dimensiones máximas disponibles para el furgón, así como el espesor de las paredes del furgón (Figura 27-a). Estas se construyen con un panel de poliestireno expandido recubierto por ambas caras con paneles de fibra de vidrio, lo que le da un acabado brillante. El proceso de fabricación finaliza con un moldeado y prensado, lo que imposibilita realizar modificaciones posteriores a su construcción.

De igual manera, se realizó una visita a campo para definir las dimensiones y detalles de las escaleras que se incorporarían al diseño arquitectónico (Figura 27-b). Adicionalmente, se estudió de manera preliminar el diseño para la inclusión de un equipo especializado (montacargas), determinando las dimensiones necesarias que debe poseer, tales que permitan el acceso a personas con movilidad reducida. En esa visita se definieron dos alturas: la primera correspondiente a la altura máxima del cubículo clínico, proporcionada por el contratante; y la segunda, correspondiente a la altura del camión a nivel de trabajo, determinada mediante mediciones de una unidad ya construida y en operación, de características mecánicas similares (Figura 27-c).

**Figura 27.**

*Composición esencial de un furgón para unidad móvil*



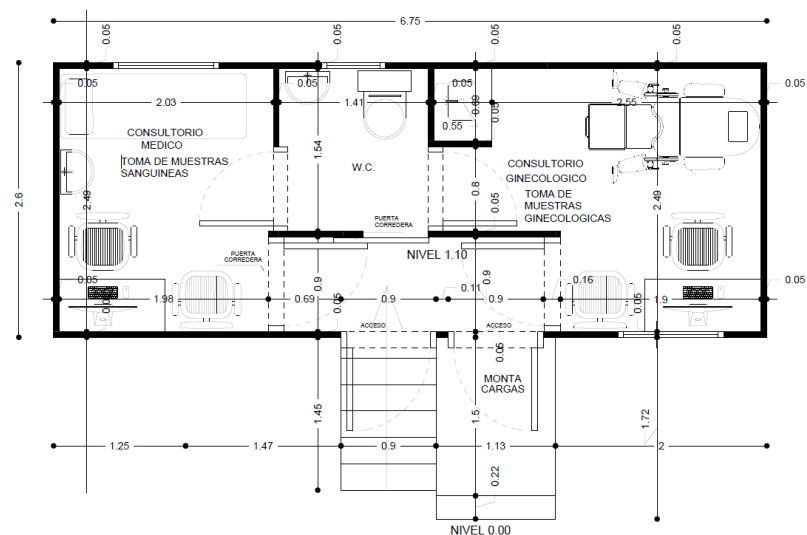
- a) *Vista interna de las paredes del furgón; b) Diseño de la escalera a utilizar en el modelo digital y c) Determinación de la altura en un furgón similar.*

### 5.3.2. Fase 2. Modelación de información 2D y 3D

La distribución arquitectónica inicialmente se planteó en un modelo bidimensional, cuyas limitantes eran las dimensiones del furgón, los espacios requeridos para su correcto funcionamiento y condiciones de confort del personal médico y sus pacientes (Figura 28). Lo que inicialmente fue planteado en una distribución bidimensional se transformó en un modelo tridimensional (3D) (Figura 29-a), en el cual se distribuyeron los espacios y el mobiliario considerando las limitaciones de espacio que presentaba la unidad. Uno de los principales retos durante la modelación de este furgón fue la adecuada distribución de los elementos internos en la altura disponible y la modelación del vehículo, incluyendo el chasis, con el fin de incorporar la escalera y el montacargas, elementos esenciales para el funcionamiento de la unidad y la aprobación del proyecto por parte de la secretaria de salud.

**Figura 28.**

*Diseño arquitectónico de la unidad móvil hospitalaria*

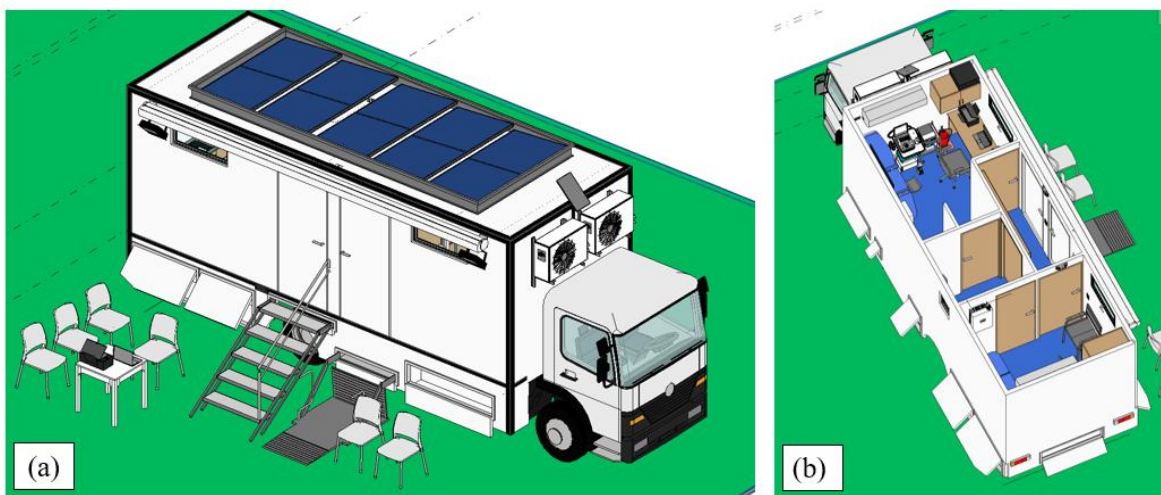


Se modeló inicialmente el cubículo clínico, actividad que consistió en la distribución de los muros interiores, modificación del mobiliario y la estructuración de los soportes necesarios

para la instalación de televisores, mesones y muebles aéreos. Posteriormente, se incluyeron los demás equipos especializados (ecógrafo, electrobisturí, evacuador de humo, RAC, UPS, Guardián, Aire Acondicionado), de acuerdo con las indicaciones del cliente (Figura 29-b). Asimismo, se integraron al modelo los elementos de acceso, como el montacargas y la escalera.

### Figura 29.

*Modelación 3D de la unidad móvil hospitalaria.*



a) *Diseño externo final de la unidad móvil hospitalaria y b) Distribución interna en 3D de la unidad móvil hospitalaria.*

La modelación de estos elementos se realizó desde cero, generando un modelo referencial según las especificaciones técnicas, ya que no se contó con sus correspondientes modelos digitales. Finalmente, una vez completada la modelación de los espacios, se generaron imágenes renderizadas mediante el software Twinmotion (Epic Games, 2024), a través de un plugin de Revit, donde se puede apreciar, de manera esquemática y en mayor resolución, el diseño completo de la unidad móvil (Figura 30).

**Figura 30.**

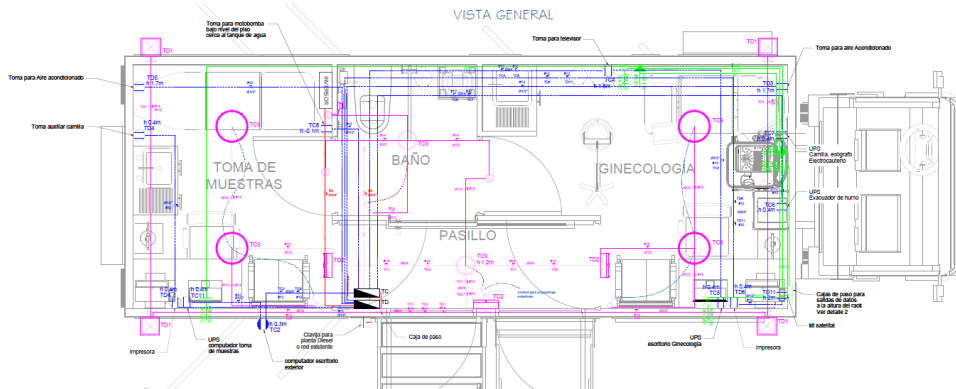
*Imagen 3D renderizada*

**5.3.3. Fase 3. Modelación de instalaciones y sus ajustes**

En un modelo convencional, los principales elementos a considerar incluyen tuberías hidráulicas y sanitarias, sistemas eléctricos, sistemas contra incendio y de ventilación. Sin embargo, en el caso particular del diseño de una unidad móvil médica, el sistema predominante es el eléctrico (Figura 31), esto debido a que los equipos a utilizar dependen netamente de la corriente eléctrica y a su vez presenta la mayor cantidad de tuberías, por lo que requiere la mayor parte del espacio disponible para la distribución eléctrica. El diseño de una unidad móvil médica parte de un diseño arquitectónico definido y aprobado por la Secretaría de Salud, para determinar el modelo eléctrico definitivo, ya que se deben considerar en esta fase las limitaciones que se tienen al momento de la instalación del sistema eléctrico. Todos los elementos se fabrican por separado, con tuberías y soportes predeterminados, ya que las paredes de la unidad están conformadas por paneles de poliestireno expandido con dos láminas prensadas de vinilo, lo que restringe cualquier modificación posterior a su fabricación.

**Figura 31.**

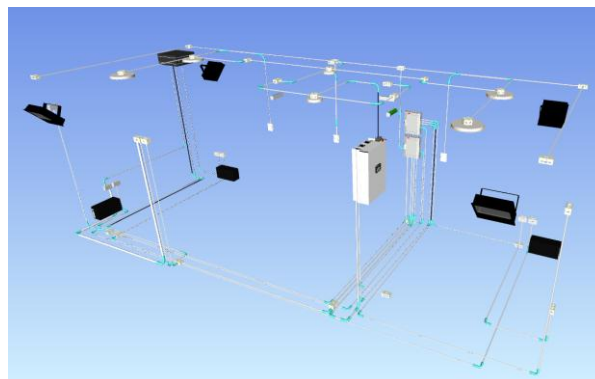
*Diseño eléctrico y datos para la unidad móvil hospitalaria*



Mediante reuniones con los gerentes e ingenieros del proyecto, se obtuvo la información en digital en 2D sobre la distribución del sistema eléctrico del furgón. Con base en esta información se realizó la modelación 3D de las rutas de las tuberías que conectan los paneles solares y la planta de energía con el inversor, desde donde se distribuye hacia los tableros de control (Figura 32). Dado que se trataba de una unidad médica, se necesitan dos tableros, uno que controle el sistema en general incluyendo planta e inversor, y otro de respaldo, encargado de mantener operativos los sistemas vitales de la unidad, como iluminación y tomacorrientes, en caso de falla de la planta principal.

**Figura 32.**

*Diseño 3D del sistema eléctrico*

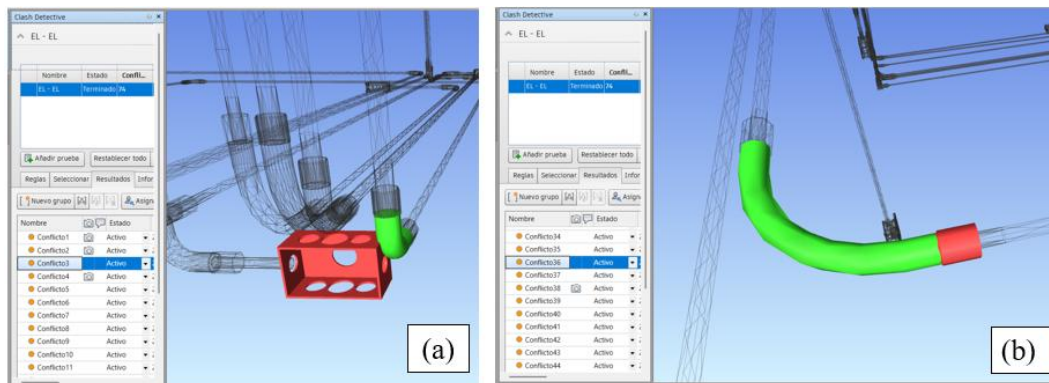


### 5.3.4. Fase 4. Detección de interferencias

Esta fase tiene una gran relevancia dentro del proyecto, ya que permite verificar las posibles interferencias del modelo arquitectónico con las instalaciones del sistema eléctrico. Inicialmente, se realiza un interno de cada instalación para detectar errores comunes, como cruces de cajas de inspección con codos, los cuales pueden pasar desapercibidos a simple vista (Figura 33-a). En esta fase, se realizó la verificación de interferencias, tales como los errores propios de las familias del modelo, por lo que se requirió una interpretación con criterio técnico por parte del modelador para distinguir cuáles errores representaban conflictos reales y cuáles se derivaban de errores de parámetros de las familias del modelo (Figura 33-b).

**Figura 33.**

*Interferencias entre elementos del sistema eléctrico*



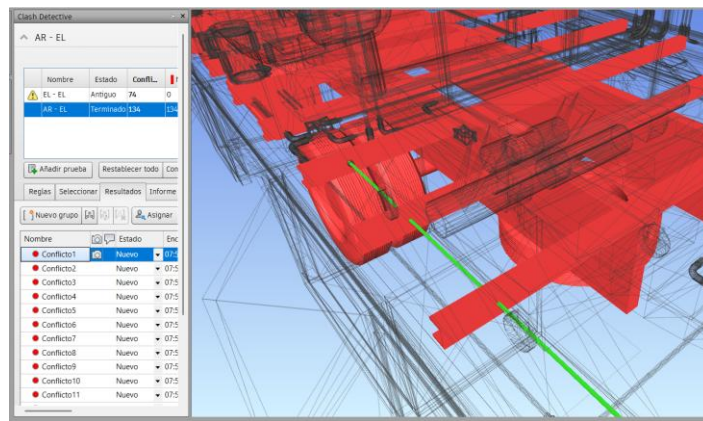
a) *Interferencias entre elementos del sistema eléctrico y b) interferencias entre el modelo eléctrico y elementos del furgón.*

Adicionalmente, se realizó la detección de interferencias entre las instalaciones eléctricas y el modelo de la unidad móvil, con el fin de identificar posibles inconvenientes en el diseño. Cabe destacar que el modelo del soporte de la unidad móvil al camión fue genérico, dada la información detallada sobre su fabricación y la posibilidad de permitir el paso interno de

tuberías. Aun así, se realizó la modelación de estos detalles de manera aproximada para el desarrollo de un modelo funcional que permitiera la detección temprana de interferencias (Figura 34).

**Figura 34.**

*Interferencias entre el modelo eléctrico y elementos del furgón*



Una vez verificada la existencia de interferencias en el modelo desarrollado, se procedió a realizar el informe otorgado por Navisworks, en el cual se contabilizó la cantidad de errores existentes, otorgando claridad sobre los elementos necesarios para su corrección (Figura 35).

**Figura 35.**

*Informe de conflictos de la Unidad Móvil*

AUTODESK®  
NAVISWORKS®

**Informe de conflictos**

	Tolerancia	Conflictos	Nuevo	Activo	Revisado	Aprobado	Resuelto	Tipo	Estado
EL - EL	0.001m	74	0	73	0	1	0	Estático	Antiguo
AR - EL	0.001m	134	134	0	0	0	0	Estático	Antiguo

Imagen	Nombre de conflicto	Estado	Distancia	Descripción	Punto de conflicto	Elemento 1		Elemento 2	
						ID de elemento	Capa	ID de elemento	Capa
	Conflicto31	Nuevo	-0.010	Estático	x:3.448, y:2.189, z:1.220	ID de elemento: 2718335	Nivel 0	ID de elemento: 154934	Nivel 7
	Conflicto32	Nuevo	-0.009	Estático	x:3.417, y:2.226, z:1.157	ID de elemento: 166691	Nivel 1	ID de elemento: 154982	Nivel 7
	Conflicto33	Nuevo	-0.009	Estático	x:3.115, y:3.987, z:1.139	ID de elemento: 627537	Nivel 0	ID de elemento: 154958	Nivel 7
	Conflicto34	Nuevo	-0.008	Estático	x:3.605, y:4.461, z:1.142	ID de elemento: 627537	Nivel 0	ID de elemento: 154857	Nivel 7

## 6. Conclusiones

El desarrollo de la práctica empresarial en el área de coordinación de proyectos en la empresa PETROCONSTEL S.A.S. permitió fortalecer competencias relacionadas con levantamientos en campo, toma de mediciones y dibujo esquemático. Así mismo, facilitó el desarrollo y fortalecimiento de competencias avanzadas en modelado 3D mediante el uso de software especializados como AutoCAD, Revit y Navisworks.

El levantamiento in situ, junto con la verificación de planos y mediciones, permitió contar con una base confiable para la elaboración de modelos 2D. La realización de este objetivo fue esencial para garantizar que los modelos digitales reflejaran con precisión las condiciones reales de las edificaciones.

La integración de la información arquitectónica, estructural y de instalaciones en un entorno tridimensional facilitó la visualización integral de los proyectos hospitalarios. El uso de software especializado (AutoCAD, Revit y Navisworks) permitió obtener representaciones detalladas y ajustadas a las necesidades reales, lo que contribuyó al fortalecimiento de competencias técnicas y a la optimización del trabajo interdisciplinario.

La verificación de interferencias entre los distintos sistemas en los modelos digitales evidenció la importancia de la metodología BIM como herramienta de coordinación, dando como resultado la detección de 4,638 interferencias en los tres proyectos evaluados. De las interferencias presentes, se detectaron 1,012 provenientes del HUS: 264 de las ducterías de los sistemas del aire acondicionado y 591 y 157 en relación con los sistemas contraincendios y gases medicinales, respectivamente. Además, se detectaron 3,418 interferencias en el proyecto de la CEMA, incluyendo todas las fases del sistema de aire acondicionado. De estas, 220 corresponden a la fase 1, 264 a la fase 2 y 458 a la fase 3. Por otro lado, en la categorización

entre placas de entrepisos y techos falsos (como cielo raso en drywall) se presentaron 469 y 2,007 interferencias, respectivamente. Por último, en el proyecto de la Unidad Móvil Hospitalaria, se presentaron 208 interferencias, de las cuales 74 pertenecen al sistema eléctrico y 134 entre el sistema eléctrico y arquitectónico. La identificación temprana de interferencias permitió proponer ajustes antes de la fase constructiva, lo que representa un ahorro en tiempo, costos y reprocesos, además de mejorar la calidad final de los proyectos desarrollados.

Durante la práctica empresarial, se participó en la gestión y coordinación de información de tres proyectos: dos proyectos localizados en el área metropolitana de Bucaramanga y uno en el municipio de Aguachica – Cesar, participando activamente en la verificación de interferencias entre los diseños arquitectónicos, estructurales, eléctricos y mecánicos. El aprendizaje y la experiencia adquirida permitieron fortalecer competencias técnicas en modelación en el ámbito estructural, arquitectónico y mecánico, así como en el análisis de información y en la toma de decisiones para el desarrollo de estos proyectos.

Al terminar la práctica empresarial, se dejaron procesos estandarizados para la ejecución de los proyectos, tales como, la realización de modelos digitales en 3D de los proyectos mediante el uso de Revit, el desarrollo de modelos individuales por cada tipo de especialidad y su inclusión en un solo modelo colaborativo con la finalidad de verificar las interferencias entre los sistemas de las especialidades y generar un reporte para realizar acciones de corrección antes de su aprobación y construcción.

## **7. Recomendaciones**

Durante la modelación de los proyectos, se presentaron varios inconvenientes, tales como la ruta a seguir de la distribución de los sistemas de aire acondicionado y sistemas contra incendio, principalmente debido a la falta de claridad en los planos del proyecto y falta de criterio técnico del modelador para tomar decisiones. Asimismo, las interferencias entre los distintos sistemas afectaron considerablemente tanto la coordinación como el tiempo de ejecución.

Para mejorar la organización de los proyectos, se recomienda la implementación de la metodología BIM al momento de contemplar los diseños estructurales, arquitectónicos y los sistemas de ventilación, red contra incendio y demás sistemas especializados, permitiendo dar mayor claridad al momento de su desarrollo. La utilización de los recursos BIM ofrece un entorno colaborativo, que permite compartir los documentos y trabajar sobre ellos de manera conjunta con los demás especialistas; esto permite disminuir la aparición de interferencias entre sistemas.

La metodología BIM, cuando se aplica de manera adecuada, genera resultados positivos. Aunque en la fase inicial de desarrollo puede implicar un mayor costo, este se compensa con el ahorro durante la ejecución de la obra gracias a la detección temprana de interferencias. Por ello, la incorporación de un modelo digital 3D permite disminuir gastos por imprevistos y aumentar la eficiencia en los proyectos.

## 8. Referencias Bibliográficas

Alarcón, M. (1998). *Improving The Design-Construction Interface*.

[https://www.researchgate.net/publication/228707074\\_Improving\\_the\\_design-construction\\_interface](https://www.researchgate.net/publication/228707074_Improving_the_design-construction_interface)

Alcaldía de Bucaramanga. (2011). *Manual específico de funciones y competencias laborales*.

<https://www.bucaramanga.gov.co/wp-content/uploads/2021/07/MANUAL-ESPECIFICO-DE-FUNCIONES-Y-COMPETENCIAS-LABORALES.pdf>

Autodesk (2024). AutoCAD (Versión 2024). [Software de computador].

<http://www.autodesk.com>

Autodesk (2025a). Revit (Versión 2025). [Software de computador]. <http://www.autodesk.com>

Autodesk (2025b). Navisworks (Versión 2025). [Software de computador].

<http://www.autodesk.com>

Botero, L., Álvarez, M. (2002). *Identificación de Pérdidas en el Proceso Productivo de la Construcción*. *Revista Universidad EAFIT, Volumen 130*.

<https://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/revista-universidad-eafit/article/view/911>

Camacol. (2021a). BIM KIT.

Recuperado 25 de marzo de 2025, de <https://camacol.co/productividad-sectorial/digitalizacion/bim-forum/bim-kit>

Camacol. (2021b). 02—Modelado BIM

Recuperado 24 de marzo de 2025, de <https://camacol.co/descargable/02-modelado-bim>

Curaduría 1 de Piedecuesta. (2024). *Los curadores urbanos*.

<https://www.curaduria1pedecuesta.com/wp-content/uploads/2024/06/Los-curadores-urbanos.pdf>

Departamento Nacional de Planeación. (2020). Estrategia-Nacional-BIM-2020-2026.

<https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/Estrategia-Nacional-BIM-2020-2026.pdf>

Graphisoft (2025). Archicad – BIM por arquitectos para arquitectos.

Recuperado 22 de septiembre de 2025, de <https://www.graphisoft.com/es/plans-andproducts/archicad>

Epic Games. (2024). Twinmotion (Version 2024-1). [Software de computador].

<https://www.twinmotion.com/en-US>

ICONTEC (2020). Norma Técnica Colombiana NTC 6460. Instalaciones de acondicionamiento de aire en hospitales. Icontec.

ISO (2021). ISO 19650-1 *Organización y digitalización de la información relativa a trabajos de edificación y de ingeniería civil, incluyendo BIM. Parte 1: Conceptos y principios.*

ISO (2024). ISO 10303-1. *Sistemas de automatización industrial e integración: representación e intercambio de datos de productos. Parte 1: Descripción general y principios fundamentales.*

Kymmell, W. (2008). *Building Information Modeling: Planning and Managing Construction Projects with 4D CAD and Simulations (McGraw-Hill Construction Series) (1st Edition).* McGraw-Hill Education.

<https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9780071494533>

Luppi, L. O. A. (2019). *Dispositivos de agua nebulizada en sistemas de red contra incendio.*

NFPA. (2019). National Fire Protection Association.

<https://www.nfpa.org/codes-and-standards/allcodes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=99>

Roumelitis, Greg. (2011). *Crecimiento construcción mundial superará al PIB esta década.*

<https://www.reuters.com/article/business/crecimiento-construccion-mundial-superar-al-pib-esta-dcadapwc-idUSSIE7220JK/>

Resolución 4445 de 1996 [Ministerio de Salud]. Por el cual se dictan normas para el cumplimiento del contenido del Título IV de la Ley 09 de 1979, en lo referente a las condiciones sanitarias que deben cumplir los establecimientos hospitalarios y similares. 02 de diciembre de 1996.

Resolución 1633 de 2025 [Ministerio de Salud]. Por la cual se determina el marco técnico de infraestructura y equipamiento de edificaciones destinadas a la prestación de servicios de salud. 11 de agosto de 2025.

Revista Consultoría (2018). Infraestructura Hospitalaria.

Recuperado en Julio de 2025, de: <https://revistaconsultoria.com.mx/infraestructura-hospitalaria/>

Trimble (2025). SketchUp (Versión 2025). [Software de computador].  
<https://sketchup.trimble.com/en/whats-new>

Vargas, L., Soto, A., Del Ángel, J., & Peralta, J. (2019). Modelado 3D, una introducción al proceso para construir y transformar imágenes.

[https://www.ecorfan.org/proceedings/proceedings\\_Ingenieria\\_TI/Proceedings\\_Ingenieria\\_TI\\_10.pdf](https://www.ecorfan.org/proceedings/proceedings_Ingenieria_TI/Proceedings_Ingenieria_TI_10.pdf)