UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Métodos y comparación para la generación de modelos digitales: evolucionando la eficiencia y

confiabilidad de la información de una edificación o una infraestructura existente en su fase de operación y mantenimiento

Arq. Diego Armando Castro Cárdenas

Universidad Nacional de Colombia.

Facultad de Artes.

Bogotá D.C., Colombia.

2025.

Métodos y comparación para la generación de modelos digitales: evolucionando la eficiencia y

confiabilidad de la información de una edificación o una infraestructura existente en su fase de operación y mantenimiento

Arq. Diego Armando Castro Cárdenas

Tesis de Maestría presentado como requisito para optar por el título de:
Magister en Construcción

Director (a):

Ing. MSC. Marco Elías Bulla

Línea de Investigación:
BIM (Building Information Modeling).

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Artes.
Bogotá D.C., Colombia.
2025.

A mi esposa, mi compañera de vida, por su amor inquebrantable y apoyo incondicional. Por creer siempre en mí, impulsarme a ser mejor cada día y caminar a mi lado ante cada reto que nos ha traído la vida.
Te amo infinito.

A mi hijo quien es mi inspiración, mi motor incansable, que me invita a seguir siempre adelante. Te amo siempre, hijo mío.

A mis padres y hermanas por su amor inagotable. Por ser mi guía, mi ejemplo de vida. Gracias por ser la base en la cual he construido mi camino.
Los amo siempre.

Declaración de obra original

Yo declaro lo siguiente:

He leído el Acuerdo 035 de 2003 del Consejo Académico de la Universidad Nacional. «Reglamento sobre propiedad intelectual» y la Normatividad Nacional relacionada al respeto de los derechos de autor. Esta disertación representa mi trabajo original, excepto donde he reconocido las ideas, las palabras, o materiales de otros autores.

Cuando se han presentado ideas o palabras de otros autores en esta disertación, he realizado su respectivo reconocimiento aplicando correctamente los esquemas de citas y referencias bibliográficas en el estilo requerido.

He obtenido el permiso del autor o editor para incluir cualquier material con derechos de autor (por ejemplo, tablas, figuras, instrumentos de encuesta o grandes porciones de texto).

Por último, he sometido esta disertación a la herramienta de integridad académica, definida por la universidad.

_____

Diego Armando Castro Cárdenas

Fecha 23/04/2025

Resumen

Métodos y comparación para la generación de modelos digitales evolucionando la eficiencia y confiabilidad de la información de una edificación o una infraestructura existente en su fase de operación y mantenimiento.

La tecnología evoluciona constantemente, y para cumplir con las actividades o procesos diarios en nuestros trabajos nos vemos en la necesidad de adaptarnos a estos cambios. Entre estos procesos de cambio encontramos la aplicación de la metodología BIM al sector de la construcción, una de las industrias más grandes a nivel mundial, que pretende en los últimos años facilitar la gestión de información a través de la interoperabilidad de programas tecnológicos para controlar todo el ciclo de vida de una edificación o infraestructura.

Se conoce a nivel nacional, de acuerdo con los resultados de la gran encuesta desarrollada por el BIM Fórum Colombia en 2023, que la adopción de esta metodología para las fases de diseño y construcción avanza a grandes pasos. Sin embargo, para la fase de operación, la cual tiene el mayor peso dentro del ciclo de vida de la infraestructura, su aplicación es casi nula. Ahora bien, si para proyectos nuevos aún es difícil hacer una implementación para esta última fase, ¿cómo sería para edificaciones o infraestructuras ya existentes?

La presente tesis de maestría plantea marcar el o los caminos para que las edificaciones o infraestructuras existentes, que fueron desarrolladas sin una implementación de la metodología BIM en sus primeras etapas (fase de diseño y construcción), puedan hacer uso de la evolución tecnológica para que, a futuro, puedan traer a su fase de operación todos los beneficios que conlleva trabajar bajo la metodología BIM.

Palabras clave: Modelos digitales**,** Edificios existentes, BIM, Gemelo Digital, Operación y Mantenimiento, Arquitectura.

Abstract

Methods and Comparison for the Generation of Digital Models Enhancing the Efficiency and Reliability of Information of an Existing Building or Infrastructure in its Operation and Maintenance Phase.

Technology is constantly evolving, so for our daily activities or processes in our jobs we need to adapt to these changes. Among these processes of change we find the application of the BIM methodology to the construction sector, one of the largest industries worldwide, which in recent years aims to facilitate the management of information through the interoperability of technological programs to control the entire life cycle of a building or infrastructure.

It is known at national level, according to the results of the large survey developed by the BIM Forum Colombia in 2023, the adoption of this methodology for the design and construction phases is advancing by leaps and bounds. However, for the operation phase, which has the greatest weight within the life cycle of the infrastructure, its application is almost null. Now, if for new projects it is still difficult to make an implementation for this last phase, how would it be for existing buildings or infrastructures?

The present research thesis proposes to mark the path(s) so that existing buildings or infrastructures, which were developed without an implementation of the BIM methodology in their first stages (design and construction phase), can make use of the technological

evolution to bring in the future to their operation phase all the benefits of working under the BIM methodology.

Keywords: Digital Models, existing buildings, BIM, Digital twin, Operation and Maintenece, Architecture.

Contenido

Pág.

Resumen ..... **IX**

Lista de figuras ..... **XV**

Lista de tablas ..... **XVII**

Introducción **1**

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA **5**
1.1. Justificación 5
1.2. Objetivo general 7
1.3. Objetivos específicos 7

2. MARCO TEORICO **9**
2.1. Del 2D al 3D 10
2.2. Fotogrametría con imágenes 360 11
2.3. Levantamiento nube de puntos 12

3. DESARROLLO METODOLOGICO **13**

4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA **15**
4.1. Edificaciones o infraestructuras a nivel Internacionales 15
4.1.1. Proyecto: Ciudad de Génova 15
4.1.2. Aeropuerto Internacional de DALLAS 17
4.1.3. Basílica de San Pedro 18
4.2. Edificaciones o infraestructuras a nivel Nacional 20
4.2.1. Aeropuerto Internacional el Dorado 20
4.2.2. Hospital San Juan de Dios 21
4.2.3. Metro de Medellín 22
4.3. Conclusiones de la revisión bibliográfica 25

5. PROPUESTA METODOLOGICA ESTUDIO DE CASO **27**

6. CASO DE ESTUDIO **29**
6.1. Edificio 228, Facultad de enfermería Universidad Nacional sede Bogotá 29
6.2. AutoCAD al modelo digital 33
6.2.1. Condiciones generales 34
6.2.2. Equipos y personal 34
6.2.3. Planos AutoCAD 34
6.2.4. Creación archivo Revit 35

6.2.5. Vinculación de archivos CAD 37
6.2.6. Placas a nivel 37
6.2.7. Columnas 38
6.2.8. Fachadas inclinadas 39
6.2.9. Muros 40
6.2.10. Ventanas de fachadas e interiores 40
6.2.11. Puertas 41
6.2.12. Escaleras 41
6.2.13. Barandas 42
6.3. Levantamiento fotos 360 tecnología Matterport 42
6.3.1. Condiciones generales 43
6.3.2. Equipos y personal 43
6.3.3. Digitalización de la edificación. 44
6.3.4. Creación y ajustes de modelo 3d en nube de Matterport 46
6.4. Levantamiento nube de puntos 48
6.4.1. Condiciones generales 48
6.4.2. Equipos y personal 48
6.4.3. Levantamiento en campo 49
6.4.4. Procesamiento y carga de archivos en Autodesk ReCap 50
6.4.5. Exportación de Autodesk ReCap a Autodesk Revit 51
6.4.6. Modelado de nube de puntos en Autodesk Revit. 52

7. RESULTADOS 53
7.1. Resultados de la investigación 53
7.2. Definición del método para la creación de un modelo digital 58

8. CONCLUSIONES 65

Bibliografía 69

Lista de figuras

Pág.

Ilustración 4-1 Edificación digitalizada ciudad de Génova 16
Ilustración 4-2 Fachada digitalizada de la ciudad de Génova 17
Ilustración 4-3 Línea del tiempo implementación de modelos digitales y metodología BIM Aeropuerto de Dallas 17
Ilustración 4-4 Ventajas de un gemelo digital 18
Ilustración 4-5 Planta digital Basílica de San Pedro 18
Ilustración 4-6 Nube de puntos cúpula. 20
Ilustración 4-7 Proceso de modelado de Opain 21
Ilustración 4-8 Tableros con modelos digitales e información centralizada 21
Ilustración 4-9 Render de remodelación del hospital San Juan de Dios 22
Ilustración 4-10 Presentación Cristian Rincón BIMCO 2024 - Piloto metro de Medellín 23
Ilustración 4-11 Presentación Cristian Rincón BIMCO 2024 - Piloto metro de Medellín 24
Ilustración 6-1 Localización General 29
Ilustración 6-2 Planta semisótano con Auditorio 30
Ilustración 6-3 Fachadas laterales 31
Ilustración 6-4 Corte Transversal 31
Ilustración 6-5 Fachada Occidental, diciembre 2024. 32
Ilustración 6-6 Fachada Norte, diciembre 2024. 32
Ilustración 6-7 Escalera interior, diciembre 2024. 33
Ilustración 6-8 Listado general archivos DWG. 35
Ilustración 6-9 Planta nivel +9.90 ajustada para Revit. 35
Ilustración 6-10 Plantas en navegador de proyecto en Revit. 36
Ilustración 6-11 Fachadas y cortes en navegador de proyecto en Revit. 36
Ilustración 6-12 Planos CAD en archivo Revit 37
Ilustración 6-13 Placas en concreto de entrepisos. 38
Ilustración 6-14 implantación de columnas por niveles. 38
Ilustración 6-15 Masa y muros inclinados en Revit. 39
Ilustración 6-16 Muros nivel sótano en Revit. 40
Ilustración 6-17 Muros cortina en Revit. 40
Ilustración 6-18 Modelado de escalera de acceso. 41
Ilustración 6-19 Equipo Matterport referencia Cámara Pro3 3D. 43
Ilustración 6-20 Personal trasladando equipo Matterport para una toma exterior. 44
Ilustración 6-21 Planta primer nivel exterior. 44
Ilustración 6-22 Modelo 3d en Matterport. 45

Ilustración 6-23 Imagen 360° en plataforma de Matterport. 46
Ilustración 6-24 Toma de medidas en Matterport. 47
Ilustración 6-25 Tags personalizados de los nombres de cada espacio. 47
Ilustración 6-26 ubicación de Activos de la edificación. 47
Ilustración 6-27 Equipo Leyca ScanStation P40. 49
Ilustración 6-28 Localización de tomas realizadas en campo. 50
Ilustración 6-29 Imagen 3D en puntos de ReCap. 50
Ilustración 6-30 Formatos de exportación de Autodesk ReCap. 51
Ilustración 6-31 Nube de puntos en Revit con modelado arquitectura. 52
Ilustración 7-1 Diagrama de flujo para el uso de la Matriz que determina que tipo de modelo digital puede adoptar una compañía. 62

Lista de tablas

Pág.

Tabla 3-1 Metodología de trabajo a realizar por objetivos planteados 13
Tabla 7-1 Características generales sobre el estudio de caso 53
Tabla 7-2 Resultados tiempo y costos del caso de estudio 57
Tabla 7-3 Matriz para determinar el tipo de modelo digital que una compañía puede realizar..... 60

Introducción

A nivel mundial, la tecnología ha tenido avances agigantados, al punto de que ya hablamos de la posibilidad de que las máquinas hagan con la inteligencia artificial (IA) lo que hace el hombre. Ahora, si bien la construcción es una de las industrias más grandes, ha sido la menos digitalizada a nivel mundial, lo que genera desafíos significativos en cuanto a la eficiencia y sostenibilidad de las edificaciones e infraestructuras. En las últimas décadas, nos encontramos con la metodología BIM (Building Information Modeling) como una herramienta clave para la gestión integral del ciclo de vida de cualquier proyecto de construcción, permitiendo no solo la optimización de las fases de diseño y construcción, sino también la fase crítica de operación y mantenimiento. A pesar de los avances globales en la adopción de esta metodología, existen aún desafíos importantes en cuanto a su implementación en edificaciones existentes, especialmente en países en desarrollo como Colombia.

A nivel internacional, la tendencia hacia la digitalización de las edificaciones ha tomado fuerza, impulsada por el crecimiento del uso de tecnologías avanzadas como la captura de datos mediante escáneres láser (nubes de puntos), la fotogrametría y la creación de modelos digitales a partir de levantamientos de datos tradicionales o a partir de los planos As Built. Estos avances tecnológicos permiten que las edificaciones existentes, muchas de las cuales fueron construidas sin aprovechar las capacidades del BIM, puedan ser gestionadas de manera más eficiente en términos de operación y mantenimiento. Un claro

ejemplo a nivel mundial es el Aeropuerto Internacional de Londres Heathrow (www.heathrow.com), que hace uso de diferentes herramientas tecnológicas como Revit, Civil 3D y ArcGIS para gestionar su información.

La globalización y la evolución digital han cambiado la forma de ver las cosas en todas las industrias, entre ellas la industria de la construcción. Por esta razón, se vuelve relevante reformular los procesos actuales y hacer uso de nuevas tecnologías, logrando así generar mejores proyectos en menor tiempo y costo (Colin, 2018). En mercados avanzados como el europeo y el norteamericano, los beneficios de usos de nuevos procesos y nuevas tecnologías han sido reconocidos ampliamente, fomentando políticas gubernamentales que impulsan el uso de BIM en todo tipo de proyectos, incluidos aquellos en fases de operación, y como ejemplo está la implementación de la metodología BIM en la contratación pública de España (Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible, 2023).

La presente investigación tiene un enfoque mixto: “La meta de la investigación mixta no es reemplazar a la investigación cuantitativa ni a la investigación cualitativa, sino utilizar las fortalezas de ambos tipos de indagación, combinándolas y tratando de minimizar sus debilidades potenciales” (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014). Se analizará el estado actual, tanto a nivel nacional como internacional, de la implementación de modelos digitales en la gestión de operación y mantenimiento de edificaciones o infraestructuras. Asimismo, se emplearán diversas herramientas tecnológicas para la creación de dichos modelos, los cuales serán evaluados y comparados a partir de un único caso de estudio.

Por lo tanto, la investigación responde a un diseño exploratorio secuencial mixto, en el que se combinan métodos cualitativos y cuantitativos en fases sucesivas, ya que, según Hernández, Fernández y Baptista (2014), esto “implica la recopilación y análisis de datos

cualitativos en una primera fase, seguidos por la recopilación y análisis de datos cuantitativos en una segunda fase, con el propósito de obtener una mejor comprensión del problema de investigación" (p. 551).

El enfoque metodológico anterior busca desarrollar un marco de referencia a nivel nacional, desde el cual se facilite a las compañías que operan y mantienen edificaciones existentes tomar una decisión sobre cuál sería la mejor estrategia de digitalización de sus construcciones para entrar en la Industria 4.0,[1] para así optimizar sus procesos de gestión.

[1] "puede definirse como la integración de tecnologías digitales inteligentes en los procesos industriales y de fabricación. Abarca un conjunto de tecnologías que incluyen redes industriales de IoT, IA, Big Data, robótica y automatización. La Industria 4.0 permite la fabricación inteligente y la creación de fábricas inteligentes. Su objetivo es mejorar la productividad, la eficiencia y la flexibilidad a la vez que permite una toma de decisiones y una personalización más inteligentes en las operaciones de fabricación y cadena de suministro." www.SAP.com

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Justificación

En Colombia, de acuerdo con la gran encuesta realizada por el BIM Fórum Colombia en 2023 a 643 empresas, se muestran avances considerables en la adopción de BIM en las fases de diseño (70%) y construcción (14%), aunque su aplicación en la fase de operación sigue siendo limitada (4%) (Camacol, 2024). Esta situación es crítica dado que la operación y el mantenimiento representan la mayor parte del ciclo de vida de una edificación o infraestructura (Buildingsmart, 2023). Cada año que pasa, una edificación existente incrementa su peso porcentual en la etapa final. Aún más preocupante es la situación de aquellas construidas hace más de veinte años, ya que la mayoría no cuenta con planimetría digital, lo que dificulta una gestión eficiente y sostenible.

Uno de los principales retos para las edificaciones existentes es que muchas de ellas fueron diseñadas y construidas utilizando tecnologías y procesos tradicionales, como planos a mano o en AutoCAD, lo cual no permite una integración fluida en plataformas BIM para gestionar su información, como la plataforma de Autodesk Construction Cloud (ACC). Además, la falta de documentación actualizada, junto con el deterioro natural de las estructuras, plantea desafíos adicionales para su digitalización. Por ello, surge la necesidad de explorar métodos innovadores que permitan la creación de copias virtuales (gemelo digital) para estas edificaciones, con datos precisos y confiables (WSP, 2023).

La implementación de gemelos digitales no solo mejoraría la eficiencia operativa de las edificaciones existentes, sino que también permitiría una mejor planificación de mantenimientos preventivos y correctivos, así como la gestión de todos sus espacios, reduciendo los costos asociados al ciclo de vida de las edificaciones (Banco Interamericano de Desarrollo, 2024). Tecnologías como el escaneo láser 3D (Golubeva, 2022) y la fotogrametría con imágenes de 360 grados (Escuela Postgrado de Ingeniería y Arquitectura, 2020), sumadas al uso de datos históricos a partir de archivos digitales (como AutoCAD), se posicionan como alternativas viables para generar modelos BIM precisos y actualizados de infraestructuras construidas mucho tiempo atrás. A través de la creación de un gemelo digital es posible obtener un modelo virtual dinámico que represente fielmente la realidad física de la edificación, facilitando su gestión a lo largo del tiempo, y a su vez permite relacionar los datos no modelados, como la materialidad, fichas técnicas (WSP, 2023) y manuales de mantenimiento preventivo, entre otras cosas.

A nivel nacional, la implementación de gemelos digitales podría ser un catalizador para mejorar la sostenibilidad de las infraestructuras, reduciendo el consumo energético y optimizando los recursos. En un contexto en el que las edificaciones existentes superan a las nuevas en términos de cantidad y valor patrimonial, contar con un gemelo digital se vuelve esencial para asegurar la viabilidad futura de estos activos. El desafío radica en encontrar los métodos más adecuados para implementar estas tecnologías en edificaciones que no fueron concebidas bajo la metodología BIM.

Esta tesis de investigación se enfoca en explorar las rutas tecnológicas más viables para crear gemelos digitales de edificaciones existentes, utilizando tres enfoques distintos:

la conversión de archivos AutoCAD a BIM, el levantamiento mediante escaneo de nube de puntos y la fotogrametría con imágenes de 360 grados. Cada método será evaluado a través de un estudio de caso (Edificio de Enfermería de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá), con el fin de identificar cuál sería el impacto en tiempo y costos para crear su gemelo digital a partir de estos tres procesos. Este estudio busca establecer un marco de referencia que pueda ser aplicado a nivel nacional, contribuyendo así a la transformación digital de las edificaciones existentes en Colombia.

1.2. Objetivo general

La presente tesis de maestría tiene como propósito plantear una metodología que permita a las compañías que gestionan edificaciones o infraestructuras existentes iniciar una transformación digital para ser más eficientes en sus procesos a partir de la creación de un modelo digital. Esto facilita una transformación digital a nivel nacional y el inicio para la aplicación de la metodología BIM, que es cada día más utilizada por los profesionales del diseño, la construcción, la operación y el mantenimiento.

1.3. Objetivos específicos

- Revisar la bibliografía, tanto a nivel nacional como internacional, sobre la implementación de modelos digitales en la gestión de operación y mantenimiento de infraestructuras existentes, con el fin de identificar y analizar las tecnologías actualmente utilizadas para la creación de dichos modelos digitales.

- Plantear una propuesta metodológica para el estudio de la digitalización de construcciones existentes, con el fin de realizar un futuro estudio de caso en un contexto a nivel nacional.
- Desarrollar una hoja de ruta basada en el caso de estudio del Edificio de Enfermería de la Universidad Nacional de Colombia (sede Bogotá), con el objetivo de orientar a empresas nacionales en la digitalización de edificaciones existentes según su camino de preferencia para la creación de modelos digitales.
- Comparar los tres métodos de modelado digital (conversión de AutoCAD a BIM, fotogrametría con imágenes 360° y nube de puntos) en términos de tiempo y costo, identificando ventajas y desventajas de cada uno a partir del caso de estudio.
- Desarrollar una matriz que permita a las compañías a nivel nacional identificar el tipo de modelo digital que puede implementar en su organización de acuerdo con unos parámetros iniciales.

2. MARCO TEORICO

La metodología BIM tuvo sus inicios en 1975 con el académico Charles M. Eastman, quien, en una de sus investigaciones, abordó "el uso de las computadoras en lugar de los dibujos en el diseño de edificaciones" (Eastman, 1975). Este texto contiene la primera referencia a la relación entre la tecnología y el sector de la construcción. Sin embargo, no es sino hasta la primera publicación del *BIM Handbook* que se menciona el término "Building Modeling", acuñado por Robert Aish (1986), como una de las primeras aproximaciones al concepto que hoy conocemos como BIM.

Esta metodología ha revolucionado la forma en que se diseña, construye y opera una edificación o infraestructura. La metodología plantea hacer uso de herramientas tecnológicas para llevar un único modelo a lo largo de todo el ciclo de vida de un proyecto, el cual es alimentado por cada uno de los actores que participa durante todo el proceso, no solo con modelos tridimensionales, sino con los datos técnicos que hay detrás de cada objeto modelado (Hoyos, 2020).

Actualmente, existe una amplia variedad de herramientas tecnológicas, como las desarrolladas por Autodesk, Bentley Systems, Oracle, entre otras, que se aplican según el uso BIM requerido en cada proyecto y contribuyen al desarrollo de procesos más eficientes.

Ahora bien, en el caso de los proyectos nuevos se hace uso de una gran variedad de estas herramientas, pero adoptar la metodología BIM en la fase de operación y mantenimiento en edificaciones o infraestructuras existentes sigue siendo un reto bastante

grande, más cuando esas edificaciones fueron construidas sin el uso del BIM. Para trabajar este gran reto, lo principal es construir un gemelo digital (*digital twin*), entendiéndolo como una copia virtual de una edificación existente.

Este gemelo digital no solo ofrece una visualización tridimensional de lo existente, sino que también permite, entre otras funciones, acceder fácilmente a las fichas técnicas de los activos presentes en la edificación, vincular los planes de mantenimiento preventivo (Team, 2022) y crear escenarios virtuales que simulen distintos comportamientos de los equipos, lo que permitiría desarrollar planes predictivos. Además, posibilita la obtención de datos en tiempo real tanto sobre el uso de los espacios como sobre el estado de los equipos mecánicos (Fracttal, 2024).

2.1. Del 2D al 3D

El método más común y tradicional para hacer la digitalización de una edificación existente es tomar los planos en físico o los archivos digitales en AutoCAD (Lorenzo, 2019). Este es un software para desarrollar proyectos a nivel digital, y lo que hace es una representación gráfica virtual de líneas y puntos de cualquier proyecto en un entorno digital.

Si bien AutoCAD permite realizar representaciones gráficas en dos y tres dimensiones, no ofrece todas las ventajas que brinda un modelo BIM (Karchmer, s.f.). Por ejemplo, en la fase de diseño, a diferencia de los planos elaborados en CAD, los modelos BIM permiten realizar modificaciones en tiempo real sobre toda la planimetría del proyecto al ajustar una sola de las vistas. En la fase de construcción, facilitan la extracción de

cantidades y la estimación de costos; mientras que, en la fase de operación, permiten una gestión más eficiente de los espacios mediante herramientas como “habitaciones”.

La conexión de la información planimétrica del proyecto en 2D con la metodología BIM consiste en recrear la geometría del proyecto utilizando software especializado, como Autodesk Revit o ArchiCAD de Graphisoft. Este proceso incluye, además, la incorporación de datos a los parámetros que permiten estos programas, con el fin de crear y gestionar modelos digitales integrales del proyecto.

2.2. Fotogrametría con imágenes 360

Este proceso es relativamente nuevo, como el mencionado anteriormente, ya que con los avances tecnológicos se ha pasado rápidamente de la cámara fotográfica simple a tomas de 360°, tanto de imágenes como de videos.

A nivel internacional, una de las empresas más destacadas en el desarrollo de esta tecnología es Matterport, compañía fundada en 2011. Además de comercializar cámaras especializadas para la captura de este tipo de imágenes, ha desarrollado una aplicación que permite cargar las tomas realizadas con sus equipos y procesarlas para generar modelos tridimensionales a partir de ellas. El uso de esta tecnología resulta relativamente sencillo, ya que basta con disponer del equipo, contar con acceso a internet y adquirir una suscripción anual para el almacenamiento en la nube. Con estos elementos, es posible capturar espacios en cuestión de minutos.

Actualmente, esta es una de las tecnologías más utilizadas en Estados Unidos, tanto por empresas del sector inmobiliario (*real estate*) como por compañías que gestionan

edificaciones de pequeña escala. En Colombia, la mayoría de las inmobiliarias, siendo el caso más conocido el de “Habi”, la emplean para comercializar los inmuebles que adquieren.

2.3. Levantamiento nube de puntos

El levantamiento de nube de puntos es una tecnología desarrollada en las últimas dos décadas, la cual utiliza equipos que realizan tomas de escáner láser para capturar de miles a millones de puntos de una superficie por segundo. Este levantamiento permite obtener una representación gráfica tridimensional de una edificación existente georreferenciada. A nivel mundial, hay dos grandes fabricantes de este tipo de equipos, Leica Geosystems y Faro Technologies.

Leica Geosystems, fundada en 1921, ha evolucionado a lo largo del tiempo junto con los avances tecnológicos, consolidándose como un referente en el campo de la georreferenciación. En sus inicios, sus equipos presentaban una precisión con un margen de error de hasta 5 mm; actualmente, sus dispositivos alcanzan precisiones con diferencias no mayores a 1 mm. Por otra parte, Faro Technologies fue fundada en 1981, y su tecnología se destaca por iniciar con equipos con una precisión no mayor a 3 mm.

Esta metodología es ideal para levantar información de espacios que cuenten con una información mínima o nula, y su proceso con respecto a la metodología anterior es mucho más rápido, sin embargo, en temas de costos puede ser mucho más elevado.

3. DESARROLLO METODOLOGICO

A continuación, se presenta la metodología de trabajo planteada para conseguir los resultados según cada objetivo planteado en la presente tesis de investigación.

Tabla 3-1 Metodología de trabajo a realizar por objetivos planteados

Objetivos	Metodología
Revisar la bibliografía, tanto a nivel nacional como internacional, sobre la implementación de modelos digitales en la gestión de operación y mantenimiento de infraestructuras existentes, con el fin de identificar y analizar las tecnologías actualmente utilizadas para la creación de dichos modelos digitales.	1. Buscar información en diferentes artículos, videos, páginas de internet, sobre edificaciones existentes con modelos digitales. 2. Identificar las infraestructuras, su ubicación, tecnologías utilizadas en la creación de modelos digitales, tiempo de implementación 3. Revisar y comparar la información consolidad para determinar herramientas utilizadas en los diferentes tipos de proyectos
Plantear una propuesta metodológica para el estudio de la digitalización de construcciones existentes, con el fin de realizar un futuro estudio de caso en un contexto a nivel nacional.	1. A partir de las conclusiones bibliográficas determinar los 3 caminos metodológicos más comunes para crear modelos digitales. 2. Definir las características que se deberán tener presente para desarrollar y luego comparar entre los procesos, para la creación de los modelos.
Desarrollar una hoja de ruta basada en el caso de estudio del edificio de enfermería de la Universidad Nacional de Colombia (sede Bogotá), con el objetivo de orientar a empresas nacionales en la digitalización de edificaciones existentes según su nivel de inversión y tecnologías disponibles.	1. Recopilación de información y análisis de la edificación para el caso de estudio 2. Desarrollo de modelos digitales a partir de los 3 tipos de tecnologías más comunes. 3. Definir en una tabla resumen las características generales de cada uno de los procesos a partir del personal,

	equipos tecnológicos y software utilizados.
Comparar los tres métodos de modelado digital (conversión de AutoCAD a BIM, fotogrametría con imágenes 360° y nube de puntos) en términos de tiempo y costo, identificando ventajas y desventajas de cada uno a partir del caso de estudio.	1. Medir los tiempos del desarrollo de cada proceso 2. Identificar los costos por metro cuadrado de los mismos procesos 3. Desarrollar una tabla que permita comparar y analizar los tres procesos utilizados en la creación de los modelos digitales.
Desarrollo de una matriz que permita a las compañías a nivel nacional identificar el tipo de modelo digital que puede implementar en su organización de acuerdo con unos parámetros iniciales	1. Definir un modelo de matriz para ser utilizada como guía para el presente desarrollo 2. Determinar los tipos de modelos digitales que se pueden crear 3. A partir del ejercicio desarrollado en el caso de estudio, plantear entre 6 a 7 items de comparación entre los tipos de modelos con sus respectivas características 4. Crear la matriz que permita a las compañías tomar un camino para la implementación de nuevas tecnologías en sus proceso.

Fuente: Elaboración Propia

4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Se hace la revisión bibliográfica a partir de las siguientes palabras clave, que permiten identificar edificaciones existentes haciendo uso de modelos digitales, así como de tecnologías utilizadas para la creación de estos:

- Modelos digitales
- Gemelos digitales
- Operación y mantenimiento
- Gestión de edificaciones
- Nuevas tecnologías
- BIM

4.1. Edificaciones o infraestructuras a nivel Internacionales

De acuerdo con la revisión bibliográfica realizada, se encontraron a nivel internacional las siguientes edificaciones o infraestructuras más relevantes.

4.1.1. Proyecto: Ciudad de Génova

- País: Italia
- Tiempo de implementación: no se encuentra una fecha exacta sobre el inicio de la implementación, sin embargo, la documentación relacionada al proyecto tiene fechas

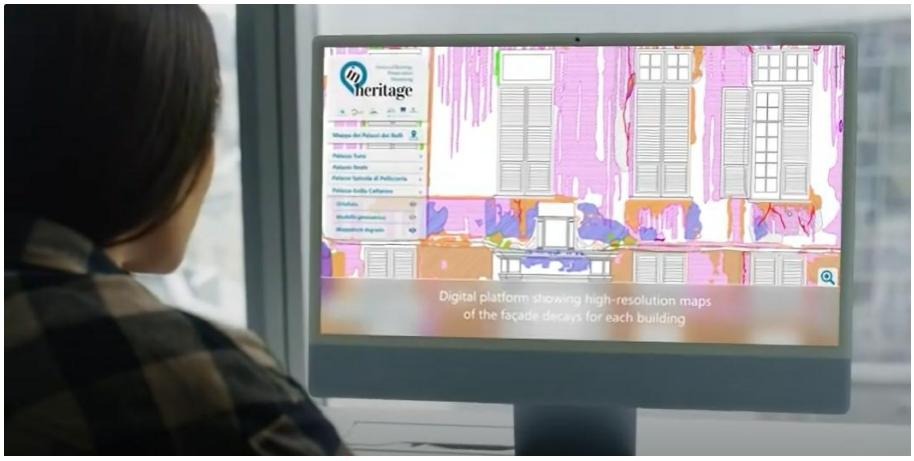
entre el año 2023 y 2025. Sobre esto, se identifica a la empresa Libelium como finalista en los premios de World Smart Cities Awards por el desarrollo de este proyecto (eSmartCity, 2025).

Ilustración 4-1 Edificación digitalizada ciudad de Génova

Fuente: Tomado de (Libelium, , 2025).

- Herramientas tecnológicas utilizadas en el proceso de digitalización: escáner láser (Libelium, 2025).
- Objetivo de la digitalización: optimizar estrategias de conservación, mejorar la gestión ambiental y turística de la ciudad (Libelium, 2025).

Ilustración 4-2 Fachada digitalizada de la ciudad de Génova

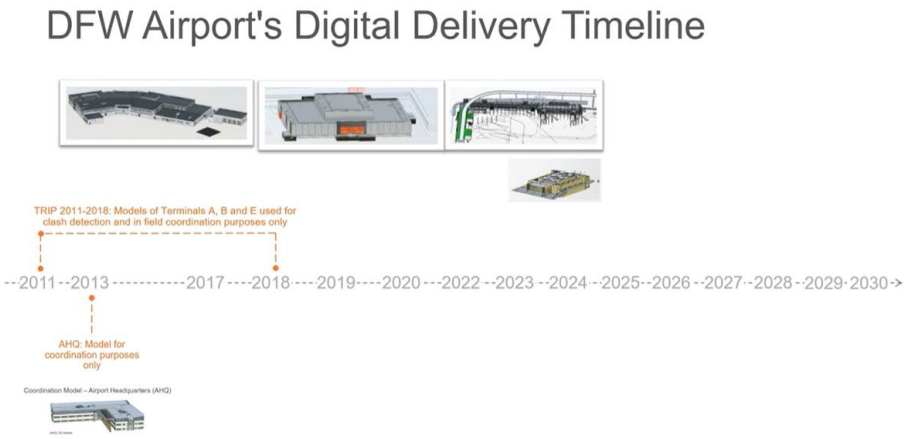


Fuente: Tomado de (Libelium, , 2025)

4.1.2. Aeropuerto Internacional de DALLAS

- País: Estados Unidos
- Tiempo de implementación: se inició el proceso de digitalización a partir de 2011 y hoy día se mantiene en constantes actualizaciones (Autodesk, 2024).

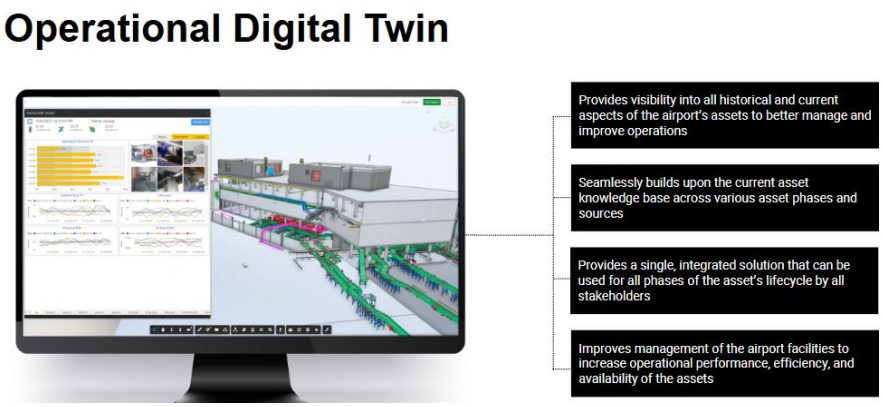
Ilustración 4-3 Línea del tiempo implementación de modelos digitales y metodología BIM Aeropuerto de Dallas



Fuente: Tomado de (Autodesk, 2024)

- Herramientas tecnológicas utilizadas en el proceso de digitalización: uso de escáner laser, proyectos nuevos desde su etapa de diseño (Autodesk, 2024)
- Objetivo de la digitalización: Iniciaron con un enfoque de coordinación, pero en 2019 hay un cambio y trabajan gemelos digitales para gestionar la operación y el mantenimiento de gran parte de la infraestructura y hoy día buscan la ser carbono Zero (Podcast, 2024).

Ilustración 4-4 Ventajas de un gemelo digital

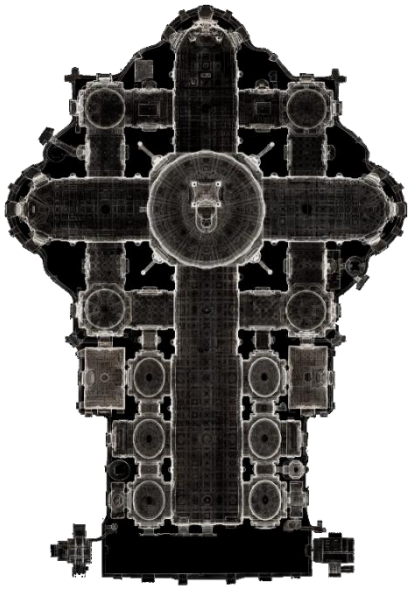


Fuente: Tomado de (Thompson & Shotz, 2022)

4.1.3. Basílica de San Pedro

- País: Ciudad del Vaticano, Italia
- Tiempo de implementación: Se conoce que inicio el proceso de digitalización en febrero 2022 (Doménech, 2024)

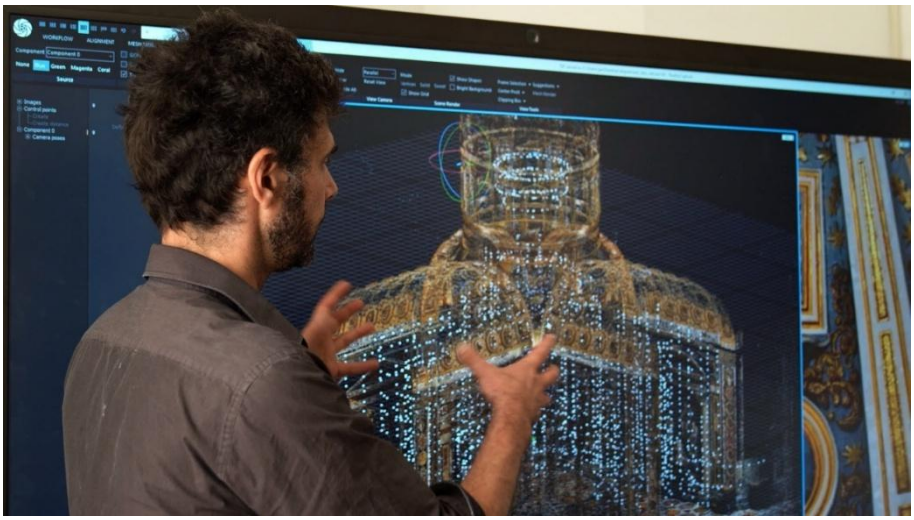
Ilustración 4-5 Planta digital Basílica de San Pedro



Fuente: Tomado de (Vaticano, S.F.)

- Herramientas tecnológicas utilizadas en el proceso de digitalización: se utilizaron drones, laser, cámaras, para tomar más de 400.000 imágenes (Microsoft, unlocked, S.F.)
- Objetivo de la digitalización: permitir una inmersión dentro de la edificación de la basílica sin tener que estar presente en el lugar y facilitar su mantenimiento para preservar la historia de una edificación icónica de la humanidad (Microsoft, The world's first 3D replica of St. Peter's Basilica, made with Microsoft AI, 2024)

Ilustración 4-6 Nube de puntos cúpula



Fuente: Tomado de (Microsoft, unlocked, S.F.)

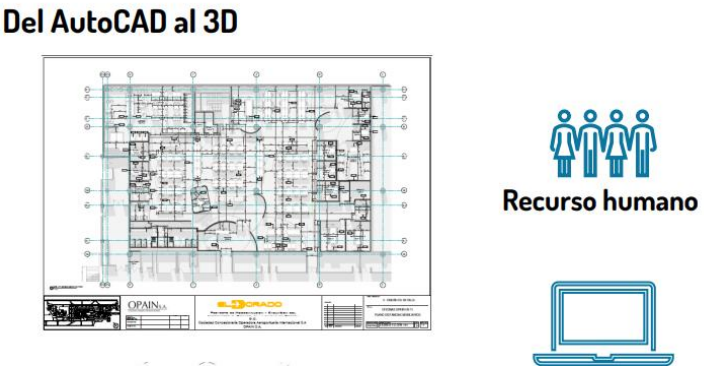
4.2. Edificaciones o infraestructuras a nivel Nacional

De acuerdo con la revisión bibliográfica realizada, se encontraron a nivel nacional las siguientes edificaciones.

4.2.1. Aeropuerto Internacional el Dorado

- Ciudad: Bogotá
- Tiempo de Implementación: desde finales de 2022 a la fecha y como el aeropuerto de Dallas los modelos digitales están en constante actualización.

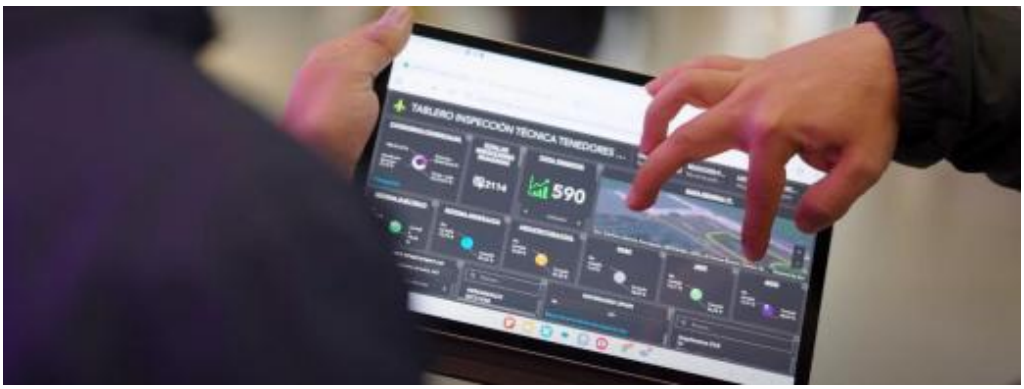
Ilustración 4-7 Proceso de modelado de Opain



Fuente: Tomado de (Camacol, 2024)

- Herramientas tecnológicas utilizadas en el proceso de digitalización: pasar de los planos en DWG a modelos digitales
- Objetivo de la digitalización: centralizar información, reducir los tiempos en procesos repetitivos, controlar datos en tiempo real de los activos.

Ilustración 4-8 Tableros con modelos digitales e información centralizada



Fuente: Tomado de (Esri, 2024)

4.2.2. Hospital San Juan de Dios

- Ciudad: Bogotá

- Tiempo de Implementación: los estudios y diseños tuvieron sus inicios en el 2021 a 2022 (DELGADO, 2024). A fecha de abril de 2024 lleva un avance la reconstrucción de las edificaciones de un 60% (Londoño, 2024)

Ilustración 4-9 Render de remodelación del hospital San Juan de Dios

Fuente: Tomado de (Renobo, 2024)

- Herramientas tecnológicas utilizadas en el proceso de digitalización: de acuerdo con la presentación realizada en 2024 por Carlos Felipe Reyes en el séptimo encuentro a nivel nacional del BIMCO, la metodología usada para la creación de los modelos digitales del proyecto fue la nube de puntos (comunicación personal, 2024).
- Objetivo de la digitalización: restauración arquitectónica a partir de nuevas tecnologías y metodologías, centralizando la información para las tres fases que componen el desarrollo de este tipo de proyectos: diseño, construcción y operación (Renobo, 2024).

4.2.3. Metro de Medellín

- Ciudad: Medellín
- Tiempo de Implementación: de acuerdo con Cristian Rincón (Comunicación personal, 2024) se realizó una prueba piloto con una subestación de una de las estaciones del metro de Medellín, pero no hay datos exactos del tiempo de implementación.

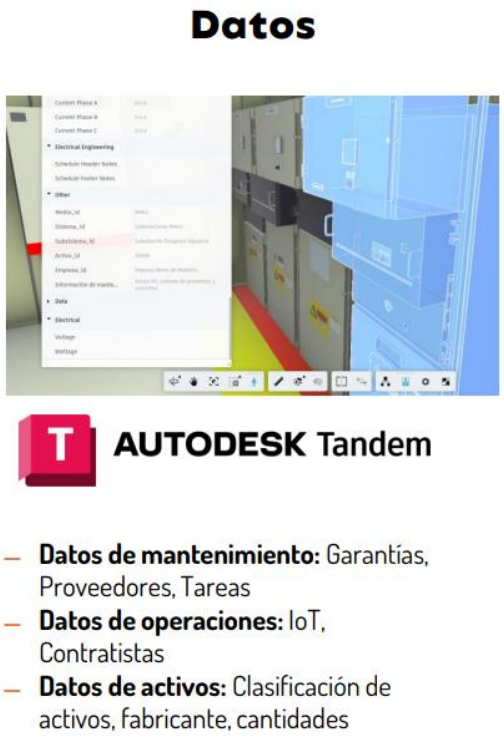
Ilustración 4-10 Presentación Cristian Rincón BIMCO 2024 - Piloto metro de Medellín

Fuente: Tomado de (Camacol, 2024)

- Herramientas tecnológicas utilizadas en el proceso de digitalización: de acuerdo con la presentación de Cristian Rincón en el BIMCO 2024, la tecnología utilizada para la prueba fue nube de puntos, y posteriormente un modelado en Revit (Camacol, 2024).

- Objetivo de la digitalización: centralizar datos de los activos, mantenimiento y operaciones.

Ilustración 4-11 Presentación Cristian Rincón BIMCO 2024 - Piloto metro de Medellín



Fuente: Tomado de (Camacol, 2024)

4.3. Conclusiones de la revisión bibliográfica

De acuerdo con la revisión bibliográfica señalada anteriormente, se puede determinar lo siguiente:

- La gestión y la conservación son el fin que tienen las edificaciones a nivel nacional e internacional en relación con la creación de los modelos digitales. Mientras unas edificaciones buscan preservar la infraestructura y dar accesibilidad virtual a visitantes de todas partes del mundo, otros se enfocan en la centralización de la información en un único espacio para optimizar la operación y el mantenimiento de las edificaciones.
- Las tecnologías más utilizadas para la creación de los modelos digitales es la nube de puntos, sin embargo, también se encuentra la fotogrametría (como en el caso de la Basílica de San Pedro) y la conversión de planos 2D de AutoCAD a modelos BIM (en el Aeropuerto Internacional El Dorado). Depende del enfoque con el que se crean los modelos digitales.
- La implementación de modelos digitales no se limita a un único tipo de edificación o espacio, ya que, como se pudo observar, puede ser hecha en espacios reducidos (Subestación Metro Medellín), en edificaciones de gran escala (como aeropuertos, templos y hospitales) e incluso en el modelado digital de toda una ciudad (ciudad de Génova).

5. PROPUESTA METODOLOGICA ESTUDIO DE CASO

A partir del estudio bibliográfico, y tras validar referentes a nivel internacional y nacional, se identificaron tres tipos de enfoques metodológicos predominantes para el desarrollo de modelos digitales de infraestructuras o edificaciones existentes, a pesar de las diferentes escalas de los proyectos. Estos enfoques metodológicos son:

- Levantamiento de nube de puntos
- Fotogrametría 360°
- AutoCAD a modelos digitales

Con el ánimo de evaluar la eficiencia de estas metodologías, se seleccionará un caso de estudio al cual se le puede aplicar de manera secuencial los tres procesos. Esto permitirá documentar el procedimiento detallado para la creación de modelos digitales, en donde se deben tener en cuenta en su fase inicial los siguientes aspectos:

- Condiciones generales para el inicio de proceso
- Equipos y personal necesarios para cada actividad

A partir del desarrollo de los modelos digitales se podrá medir el tiempo invertido y el perfil del personal requerido, así como el costo por metro cuadrado, permitiendo hacer comparaciones objetivas entre cada una de las metodologías.

Con el fin de garantizar una aplicabilidad y continuidad de esta investigación, se define como criterio para la selección de la edificación que esta se encuentre dentro del complejo universitario de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. La edificación debe contar con una planimétrica lo suficientemente detallada, así como con una geometría arquitectónica variada, permitiendo aplicar las metodologías antes mencionadas. Adicionalmente, se busca que a futuro este caso de estudio sirva como base para nuevas investigaciones sobre objetivos tales como la gestión de espacios, gestión de activos, gestión de operación y mantenimiento.

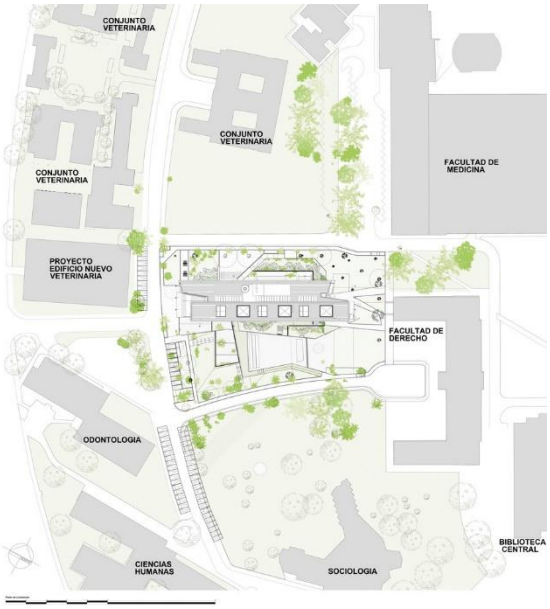
6. CASO DE ESTUDIO

6.1. Edificio 228, Facultad de enfermería Universidad Nacional sede Bogotá

Para el caso de estudio de la presente tesis se toma el edificio 228, la Facultad de Enfermería de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. El proyecto fue desarrollado en su totalidad por el arquitecto Leonardo Álvarez Yepes, docente de la Universidad Nacional de Colombia. Este edificio fue construido a principios de 2014 y puesto en operación el 29 de abril de 2016 (Archdaily, 2017).

El edificio tiene un área de 7200 m^2, cuenta con un auditorio, veintitrés salones en seis niveles, dos ascensores, dos escaleras de emergencia, unas terrazas en cubierta transitables y salones para docentes.

Ilustración 6-1 Localización General

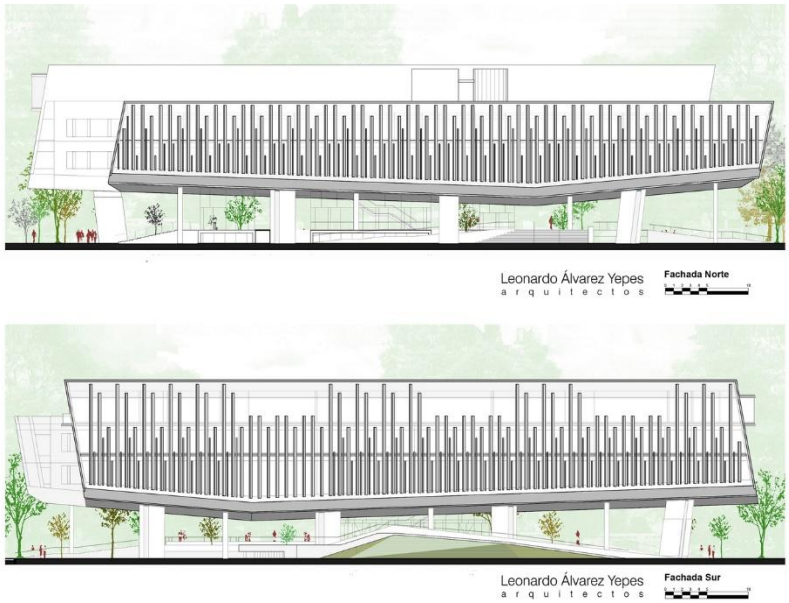


Fuente: Tomado de (Archdaily, 2017)

Ilustración 6-2 Planta semisótano con Auditorio

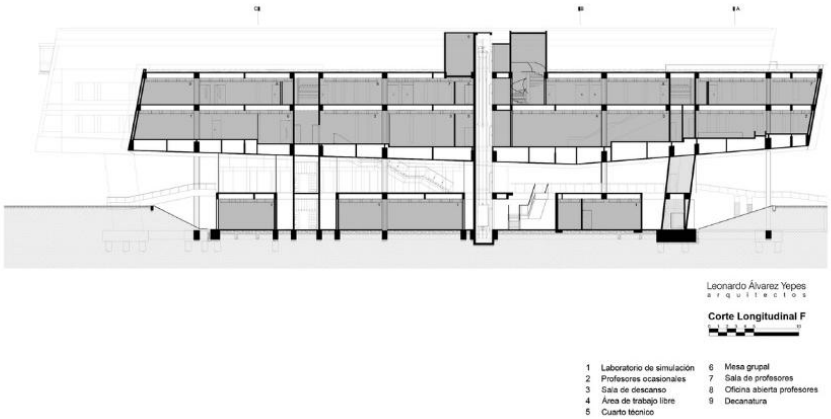
Fuente: Tomado de (Archdaily, 2017)

Ilustración 6-3 Fachadas laterales



Fuente: Tomado de (Archdaily, 2017)

Ilustración 6-4 Corte Transversal



Fuente: Tomado de (Archdaily, 2017)

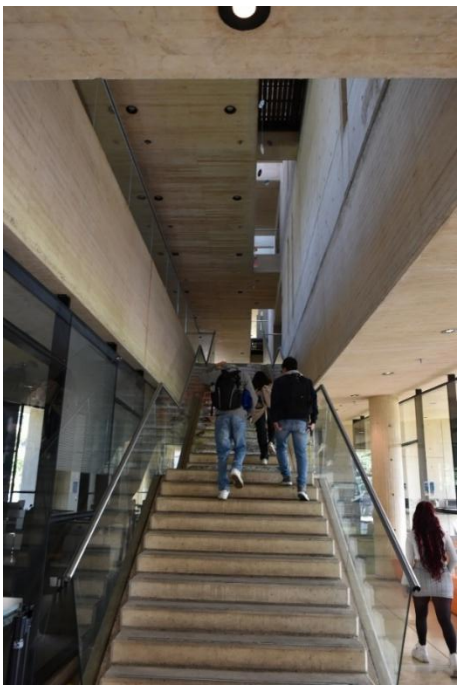
Ilustración 6-5 Fachada Occidental, diciembre 2024.

Fuente: Foto Diego Armando Castro Cárdenas.

Ilustración 6-6 Fachada Norte, diciembre 2024.

Fuente: Foto Diego Armando Castro Cárdenas.

Ilustración 6-7 Escalera interior, diciembre 2024.



Fuente: Foto Diego Armando Castro Cárdenas.

Una vez se definió la edificación, se procedió a crear el modelo digital a nivel arquitectónico bajo las tres diferentes metodologías antes mencionadas, de la siguiente manera.

6.2. AutoCAD al modelo digital

El modelo digital creado bajo esta metodología fue desarrollado en un tiempo de sesenta y cuatro (64) horas en un nivel de detalle LOD 300 en el software de Autodesk Revit. A continuación, se desglosa el paso a paso desarrollado para crear el modelo digital del edificio de enfermería bajo este proceso.

6.2.1. Condiciones generales

Se debe revisar la información recibida para clasificar el tipo de archivo. En ocasiones pueden ser solo planos en PDF o impresos, dependiendo de la edificación. Sin embargo, para el Edificio de Enfermería se contó con unos planos arquitectónicos en formato DWG, los cuales pueden llegar a vincularse con el software de Autodesk Revit 2024.

6.2.2. Equipos y personal

Se requirió un equipo con unas características mínimas específicas, las cuales son un disco duro SSD 1TB, RAM 32 o superior, tarjeta gráfica Nvidia Geforze 2070 o mayor, procesador Intel Core i7 11 GEN o similar. Así mismo, se debe contar con la licencia del software tanto de AutoCAD como de Revit, las cuales están alrededor de USD 1.450 y USD 1.950 anuales, respectivamente.

Por otra parte, para el desarrollo del modelo digital se trabajó con una sola persona, la cual cuenta con catorce años de experiencia general y ocho años de experiencia específica en el uso de la metodología BIM, así como en los softwares necesarios para esta actividad.

6.2.3. Planos AutoCAD

La primera actividad consiste en tomar la planimetría recibida en el programa de Autodesk AutoCAD, separar en archivos independientes cada una de las planimetrías, fachadas y cortes suministrados en un único archivo.

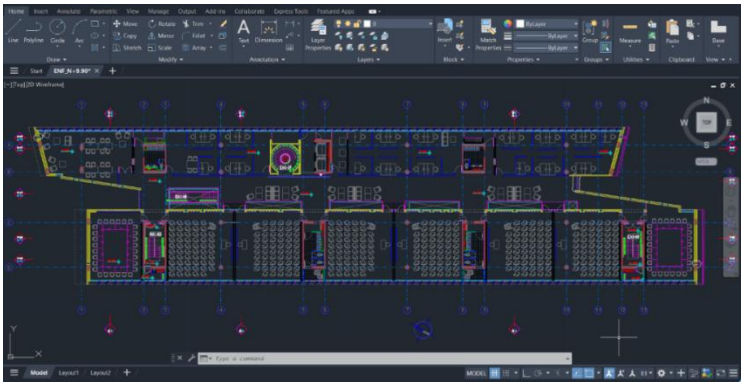
Ilustración 6-8 Listado general archivos DWG.

@ENF CORTES GENERALES	9/04/2024 12:04 p. m.	Archivo DWG	6.042 KB
@ENF FACHADAS GENERALES	9/04/2024 12:04 p. m.	Archivo DWG	1.780 KB
@ENF PLANTAS GENERALES	9/04/2024 12:04 p. m.	Archivo DWG	3.985 KB
ENF_N+0.00	28/10/2024 8:33 p. m.	Archivo DWG	675 KB
ENF_N+4.87	28/10/2024 8:33 p. m.	Archivo DWG	468 KB
ENF_N+9.90	28/10/2024 8:34 p. m.	Archivo DWG	415 KB
ENF_N+13.50	28/10/2024 8:28 p. m.	Archivo DWG	359 KB
ENF_N+17.10	28/10/2024 8:34 p. m.	Archivo DWG	118 KB
ENF_N-4.70	28/10/2024 8:33 p. m.	Archivo DWG	658 KB

Fuente: Elaboración Propia

Una vez los archivos se han dispuesto de manera independiente, se procede a limpiar el archivo de información innecesaria para el modelado del proyecto, entre esos elementos se eliminan textos y achurados que generan peso dentro de los archivos CAD.

Ilustración 6-9 Planta nivel +9.90 ajustada para Revit.



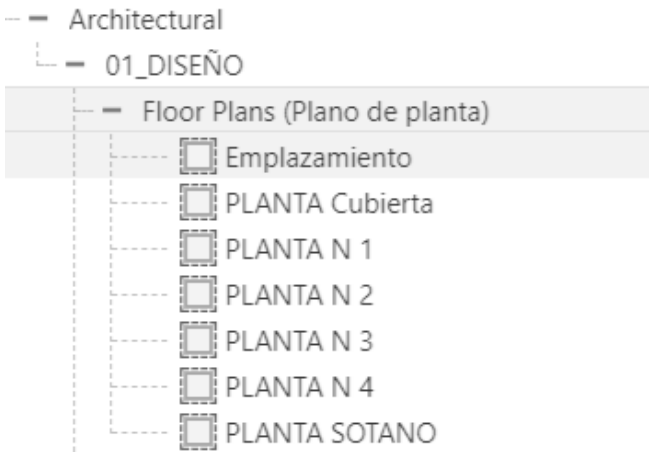
Fuente: Elaboración Propia

6.2.4. Creación archivo Revit

Para iniciar el modelado, se debe ajustar un *template* de arquitectura base que contemple las familias mínimas necesarias para crear el archivo, como tipos de muros,

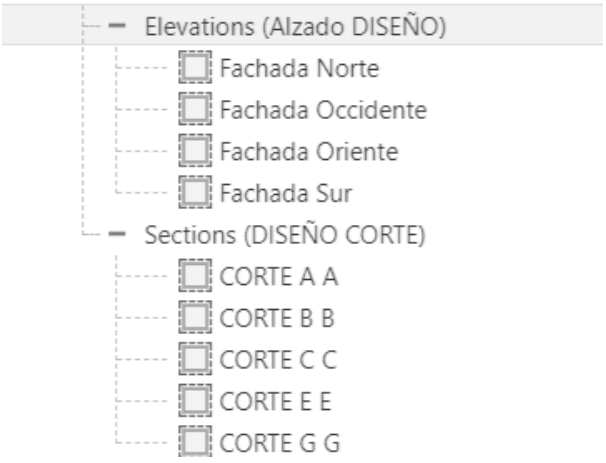
placas, acabados de pisos, puertas, ventanas entre otras familias, así como los ajustes de los ejes y niveles de acuerdo con las condiciones del proyecto a modelar.

Ilustración 6-10 Plantas en navegador de proyecto en Revit.



Fuente: Elaboración Propia

Ilustración 6-11 Fachadas y cortes en navegador de proyecto en Revit.

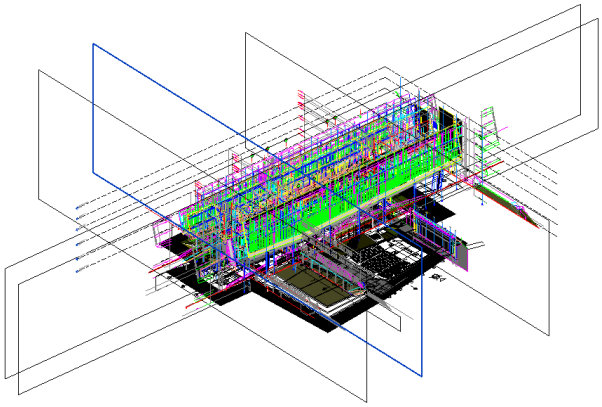


Fuente: Elaboración Propia

6.2.5. Vinculación de archivos CAD

Se procede a vincular cada una de las vistas ajustadas en AutoCAD a cada una de las vistas del proyecto, tanto plantas como elevaciones y cortes, esto con el fin de identificar su posición en el espacio y de que, a su vez, funcione como plantilla para modelar las condiciones del edificio.

Ilustración 6-12 Planos CAD en archivo Revit



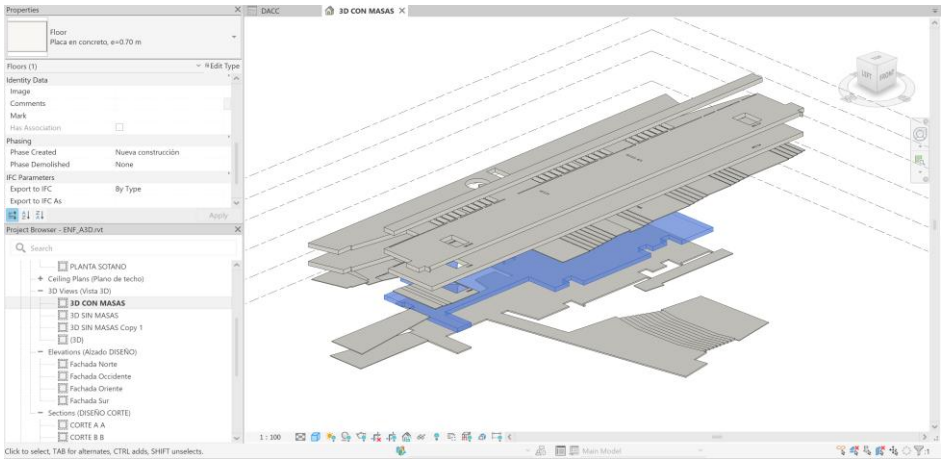
Fuente: Elaboración Propia

Las vistas son alineadas perfectamente de acuerdo con su ubicación en los planos CAD, lo cual facilitará el modelado de cada uno de los elementos que componen la edificación.

6.2.6. Placas a nivel

Al tener vinculado en cada uno de los niveles los archivos CAD, se procede a crear cada una de las losas de concreto que componen la edificación. Para eso se debe hacer un análisis de los grosores de las placas en todos los niveles y sus elevaciones.

Ilustración 6-13 Placas en concreto de entrepisos.



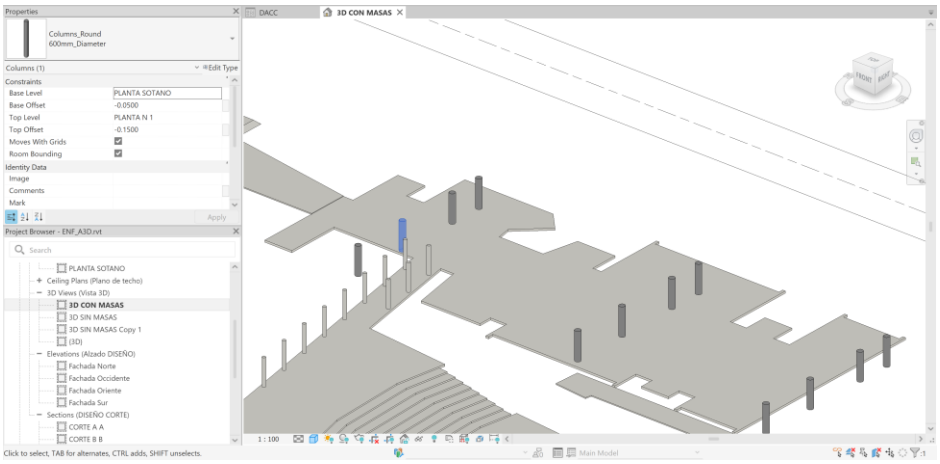
Fuente: Elaboración Propia

Cada losa queda ubicada en su posición y con sus vacíos respectivos.

6.2.7. Columnas

A pesar de ser un modelo arquitectónico, para el ejercicio es relevante colocar las columnas del proyecto. Se utiliza la función de columnas arquitectónicas y se vincula en cada una de las posiciones, según el plano.

Ilustración 6-14 implantación de columnas por niveles.

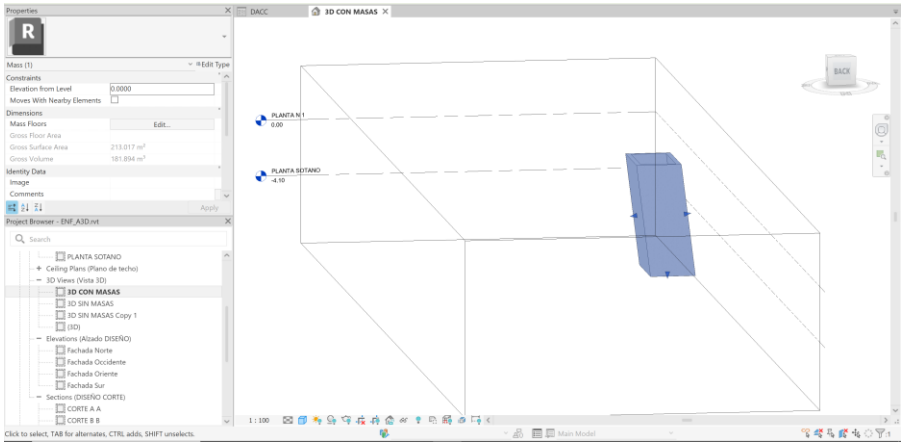


Fuente: Elaboración Propia

6.2.8. Fachadas inclinadas

Al tener una forma irregular, para crear parte de la fachada se requiere del uso de una de las herramientas más interesantes que tiene el software, y es la creación de masas. Esta herramienta permite crear geometrías irregulares, las cuales generan unos planos que pueden ser reemplazados por familias estándar de la plantilla arquitectónica utilizada como muro.

Ilustración 6-15 Masa y muros inclinados en Revit.



Fuente: Elaboración Propia

6.2.9. Muros

Se procede con la creación de los muros de fachada y divisores, según los detalles extraídos de los planos en AutoCAD. Para ello, se inicia con la elaboración de todas las familias de muros requeridas para el proyecto. Una vez definidas, se modelan los muros correspondientes a cada nivel, con su respectiva materialidad y espesor.

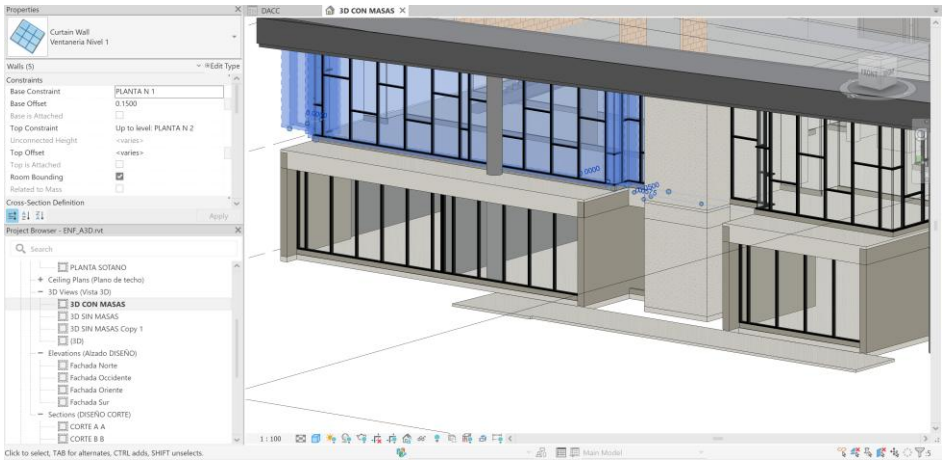
Ilustración 6-16 Muros nivel sótano en Revit.

Fuente: Elaboración Propia

6.2.10. Ventanas de fachadas e interiores

Una vez finalizada la creación de todos los muros arquitectónicos, se revisa la información técnica de los tipos de ventanas y las dimensiones de perfiles y se procede a crear con la herramienta de “muros cortina”.

Ilustración 6-17 Muros cortina en Revit.



Fuente: Elaboración Propia

Al tener un tipo de ventanería específica, es necesario hacer uso de las herramientas “curtain grid” y “mullion”, las cuales permiten ubicar de manera precisa los perfiles correspondientes.

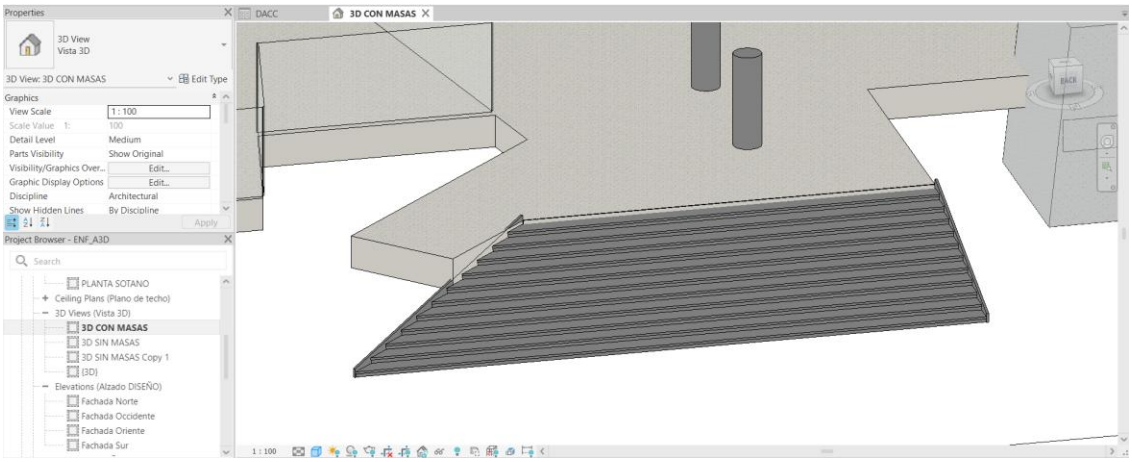
6.2.11. Puertas

Una vez ubicados todos los muros en el modelo, se procede a montar cada uno de los tipos de puertas utilizados en el mismo, especificando en un parámetro compartido el ID del espacio al cual pertenece.

6.2.12. Escaleras

Las escaleras de emergencia, así como las escaleras de circulación del proyecto, se modelan en los vacíos de placa y conforme a la planimetría disponible. En este ejercicio no se aplica materialidad, pero se respeta el número de peldaños indicado en los planos.

Ilustración 6-18 Modelado de escalera de acceso.



Fuente: Elaboración Propia

6.2.13. Barandas

Creadas todas las escaleras y vacíos internos de la edificación, se procede al modelado de las barandas del proyecto. Estas se desarrollan con la única fuente de información recibida: la planimetría general del proyecto.

6.3. Levantamiento fotos 360 tecnología Matterport

Para el desarrollo de los modelos digitales con esta metodología de trabajo, se trabaja de la mano con la empresa GeoSpatial, quienes proporcionan el equipo especializado, así como el personal necesario para el proceso.

El levantamiento fue desarrollado el 19 de abril entre las 10:00 a. m. y las 3:30 p. m. y se hicieron doscientas (200) tomas para crear el espacio máximo permitido por esta tecnología. A continuación, se relaciona el paso a paso para la creación del gemelo digital bajo esta metodología.

6.3.1. Condiciones generales

Al igual que en el levantamiento de nube de puntos, lo recomendable para este tipo de levantamientos es que el espacio se encuentre libre de personas durante las tomas. Si en el proceso se encuentran personas, el programa permite que se haga un difuminado a los rostros de las personas.

Por otra parte, similar al proceso anterior, para tomas en espacios abiertos es recomendable que no esté lloviendo y, a su vez, que no haya sol directo, ya que puede afectar la precisión en la toma de imágenes.

Por último, y no menos importante, se recomienda hacer tomas lo más continuas posibles para que la precisión del levantamiento sea más exacta y evitar espacios muertos en el modelo.

6.3.2. Equipos y personal

La empresa GeoSpatial promociona en el ejercicio un equipo de tecnología Matterport cámara Pro3 3D.

Ilustración 6-19 Equipo Matterport referencia Cámara Pro3 3D.

Fuente: Foto Diego Armando Castro Cárdenas.

Para el manejo de este equipo se requirió de dos personas técnicas que trasladaran la cámara especializada punto a punto y que, a su vez, contaban con una tablet con el aplicativo de Matterport para hacer el proceso de toma de imágenes.

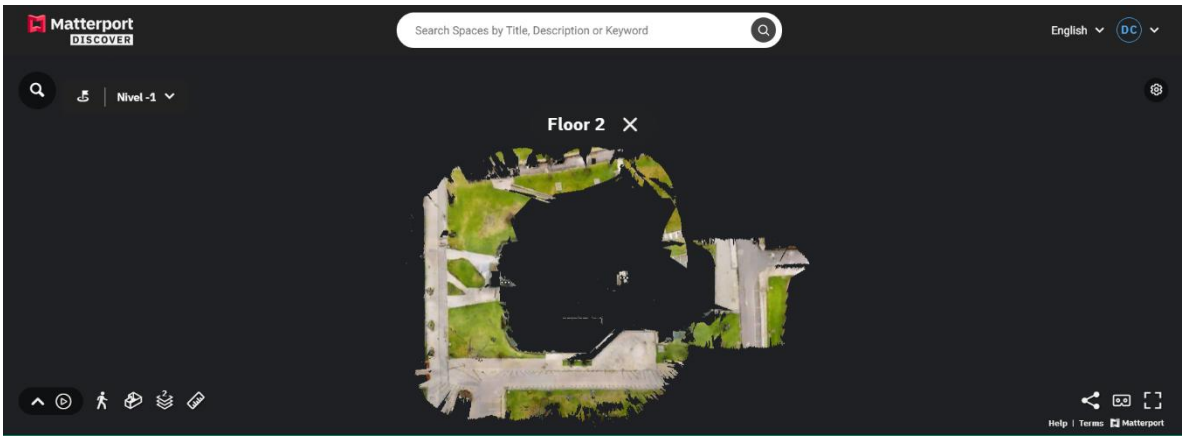
Ilustración 6-20 Personal trasladando equipo Matterport para una toma exterior.

Fuente: Foto Diego Armando Castro Cárdenas.

6.3.3. Digitalización de la edificación.

Para digitalizar el edificio, se hizo un levantamiento de las condiciones existentes desde la parte exterior con 21 tomas alrededor de toda la edificación y 179 internas, desde el nivel del sótano hasta el último nivel transitable.

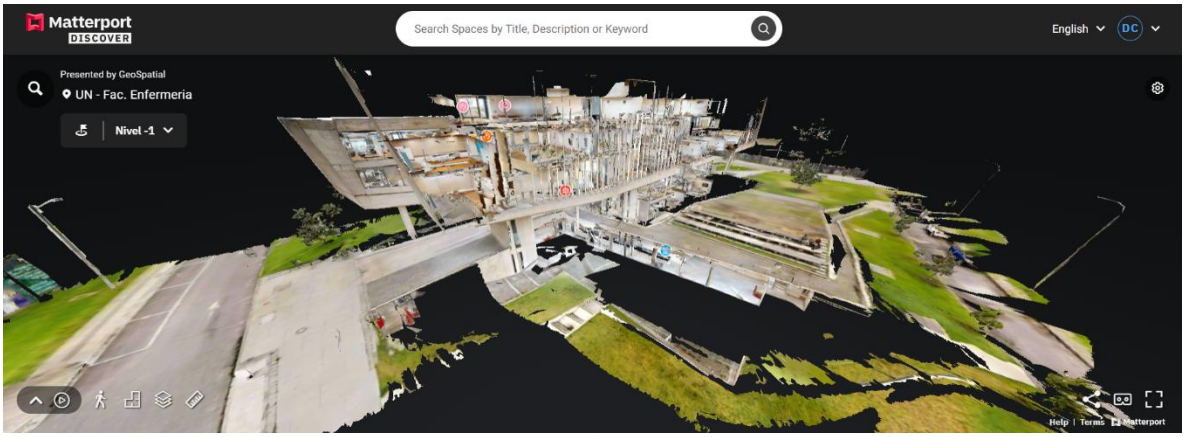
Ilustración 6-21 Planta primer nivel exterior.



Fuente: Tomado de espacio GeoSpatial en Matterport

El proceso tardó cuatro horas y media para procesar doscientas (200) imágenes. Solo se tomaron esa cantidad de imágenes ya que era el tope máximo por espacio. Ahora bien, si el espacio que uno desea modelar con esta metodología es más grande, se puede hacer uniendo varios de estos espacios por un costo adicional en la plataforma.

Ilustración 6-22 Modelo 3d en Matterport.

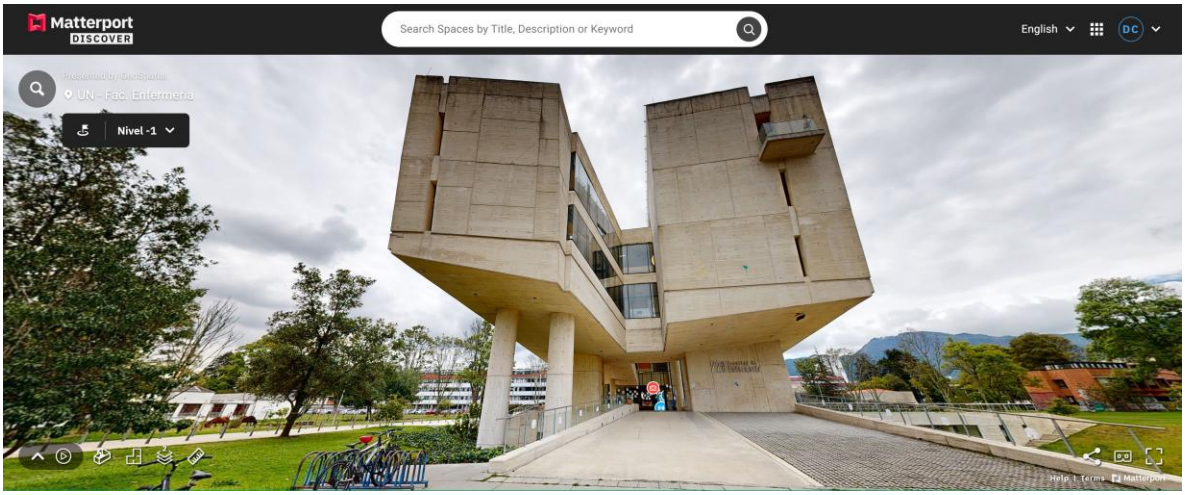


Fuente: Tomado de espacio GeoSpatial en Matterport

6.3.4. Creación y ajustes de modelo 3d en nube de Matterport

Una vez se termina el procesamiento de la información, en un promedio de una hora, el programa de Matterport crea por defecto la unión de todas las imágenes para representar el proyecto tomado en imágenes 360° como modelos 3D y planos 2D dentro del mismo programa.

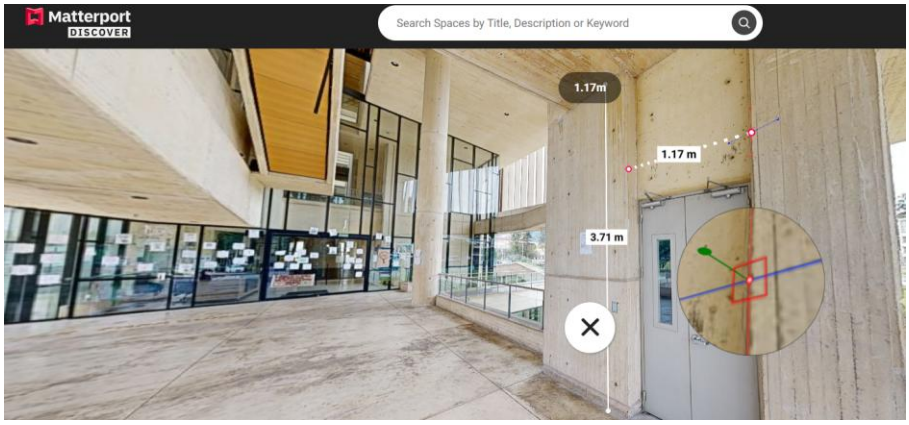
Ilustración 6-23 Imagen 360° en plataforma de Matterport.



Fuente: Tomado de espacio GeoSpatial en Matterport

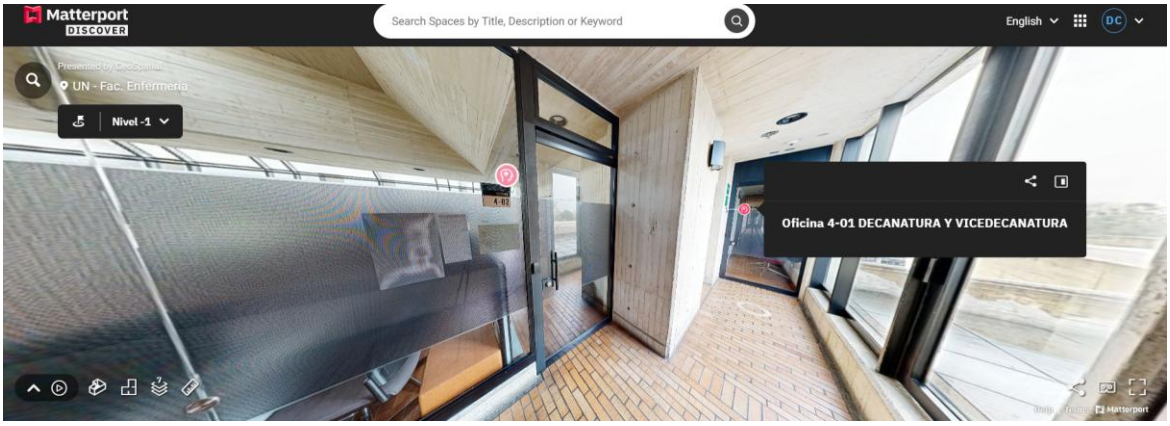
Por otra parte, el mismo programa en internet tiene varias ofertas de valor, la primera y más utilizada es la medida de espacios a partir de las imágenes. La segunda, es que se puede relacionar la nomenclatura de cada uno de los espacios a partir de tags personalizables en cada uno de los niveles o espacios creados. Ahora bien, la plataforma permite tener interoperabilidad con otras plataformas como la de Autodesk Construction Cloud, en donde con integraciones se pueden llevar los modelos 3D y, a su vez, se permite crear solicitudes exactas sobre las imágenes 360.

Ilustración 6-24 Toma de medidas en Matterport.



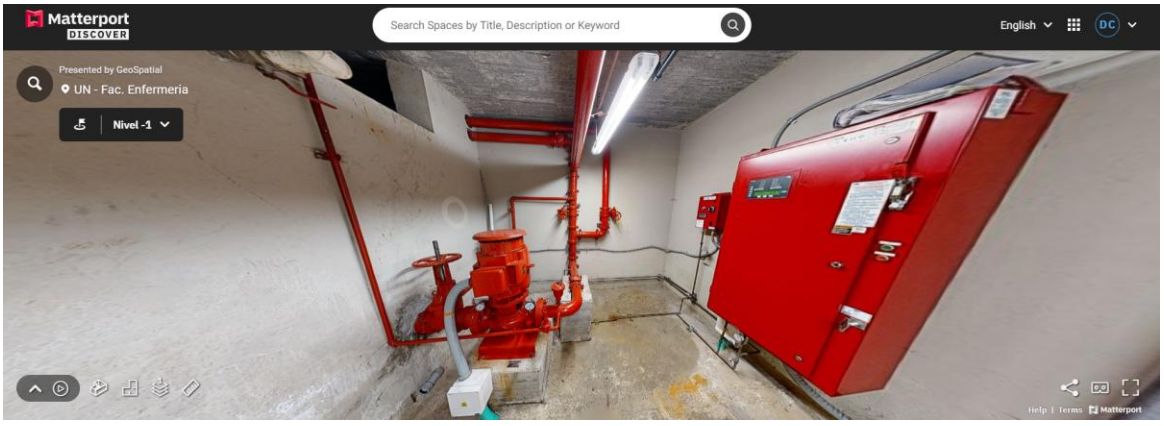
Fuente: Tomado de espacio GeoSpatial en Matterport

Ilustración 6-25 Tags personalizados de los nombres de cada espacio.



Fuente: Tomado de espacio GeoSpatial en Matterport

Ilustración 6-26 ubicación de Activos de la edificación.



Fuente: Tomado de espacio GeoSpatial en Matterport

6.4. Levantamiento nube de puntos

La aplicación de esta metodología para el desarrollo de la presente tesis inició el 22 de abril de 2024 a las 8:00 a. m. y finalizó a las 4:20 p. m. del 3 de mayo, tomando un tiempo total de 79.33 horas de trabajo. A continuación, se desglosa el paso a paso desarrollado para crear el modelo digital del Edificio de Enfermería bajo este proceso.

6.4.1. Condiciones generales

Para el levantamiento en campo, se recomienda por parte del proveedor en temas de condiciones climáticas un día sin lluvia para las tomas exteriores, así como en general que no sea un día tan soleado para evitar brillo en las tomas. Con respecto a las condiciones del lugar, entre menos personas estén cerca de las tomas fotográficas mejor, para no tener que hacer un tratamiento adicional en eliminar puntos con la silueta de alguna persona. Se recomienda, para que el levantamiento sea lo más exacto a la realidad, hacer tomas máximo entre tres (3) a cinco (5) metros.

6.4.2. Equipos y personal

Este proceso se dividió en tres etapas, levantamiento en campo, procesamiento de información en el software del equipo utilizado para luego ser vinculado con Autodesk ReCap y, por último, modelado a partir de la nube de puntos en Autodesk Revit.

Para la primera etapa se requirió de dos técnicos para la toma de imágenes y un equipo Leica ScanStation P40. El procesamiento de la información se hace de manera

automática en la plataforma del equipo, sin embargo, una vez procesado se requiere extraer los datos por un técnico, el cual los organiza, los carga en Autodesk ReCap y extrae el archivo para trabajar en Autodesk Revit.

Para la última etapa, al igual que en el método de AutoCAD a 3D, se requiere profesional en arquitectura con una experiencia mínima de cinco años con un computador de las siguientes características: disco duro SSD 1TB, RAM 32 o mayor, tarjeta gráfica Nvidia Geforze 2070 o superior, así como procesador Intel Core i7 11 GEN o similar.

Ilustración 6-27 Equipo Leyca ScanStation P40.

Fuente: Foto Diego Armando Castro Cárdenas.

6.4.3. Levantamiento en campo

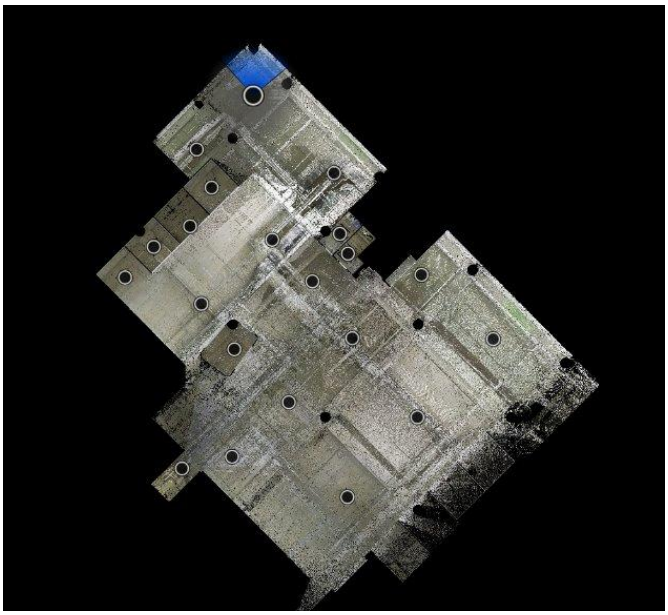
En campo, con el equipo y el personal dispuesto, se inicia actividad colocando en posición el equipo ScanStation P40, el cual debe quedar nivelado en lo posible. En la Tablet, con un aplicativo que conecta al equipo con la nube de Leica, se procede a iniciar el escaneo del espacio. Este proceso tardó alrededor de cinco minutos por toma.

6.4.4. Procesamiento y carga de archivos en Autodesk ReCap

Una vez hechas las tomas en campo, el programa del equipo Leica procesa la información para luego ser exportada en archivos fls. Este tipo de formato es compatible con el software de Autodesk ReCap.

Una vez cargada la información en el ReCap, se puede visualizar un modelo tridimensional conformado a partir de millones de puntos georreferenciados. El programa permite visualizar espacialmente la localización de cada una de las tomas realizadas.

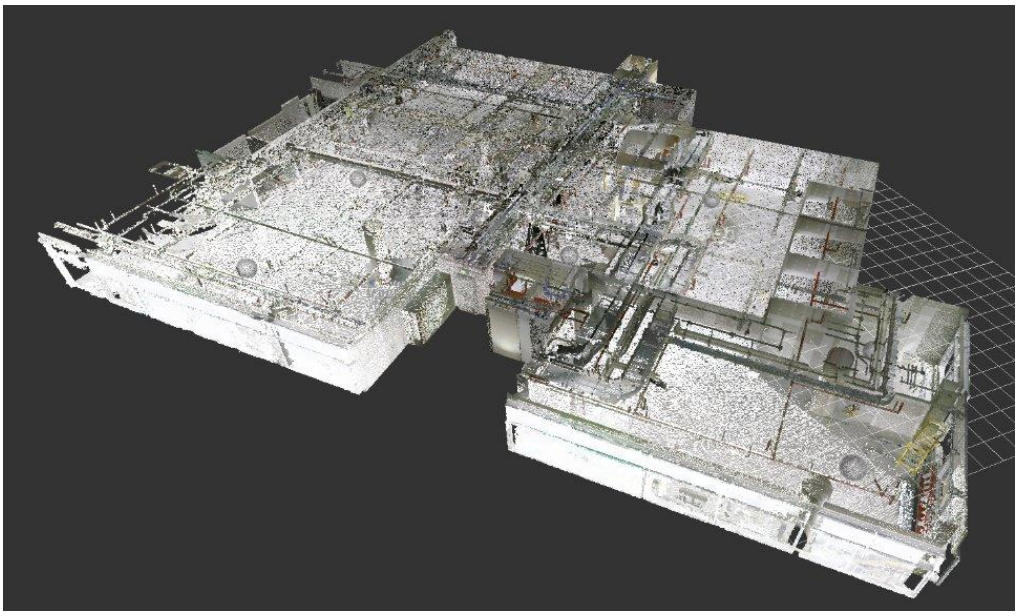
Ilustración 6-28 Localización de tomas realizadas en campo.



Fuente: Elaboración Propia

Adicional a la geolocalización de cada una de las tomas, se puede hacer uso de otro tipo de herramientas como mediciones verticales, horizontales y diagonales, así como visualizar fotografías 360° de las tomas realizadas, entre otras cosas.

Ilustración 6-29 Imagen 3D en puntos de ReCap.

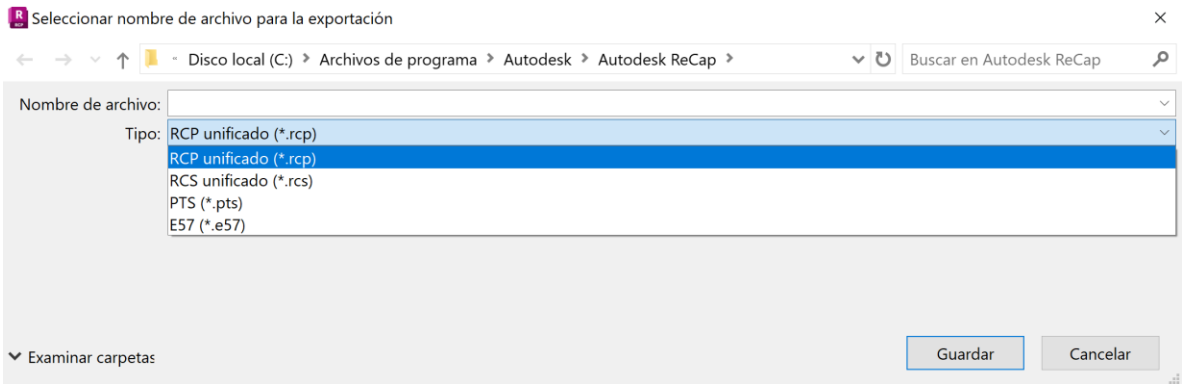


Fuente: Elaboración Propia

6.4.5. Exportación de Autodesk ReCap a Autodesk Revit

Una vez se carga la información a Autodesk ReCap, el software permite exportar archivos en cuatro formatos distintos.

Ilustración 6-30 Formatos de exportación de Autodesk ReCap.



Fuente: Elaboración Propia

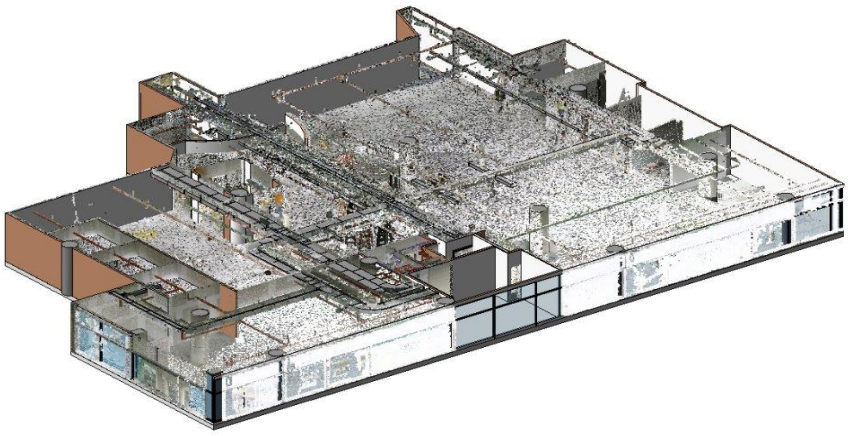
Para el desarrollo del caso de estudio, se utiliza el formato RCP unificado, el cual es compatible con el software de Autodesk Revit 2024.

Se debe tener en cuenta que este formato solo se puede cargar en un archivo de proyecto; si se desean hacer familias a partir de este archivo, se debe hacer uso de los componentes in situ.

6.4.6. Modelado de nube de puntos en Autodesk Revit.

Con el archivo RCP cargado en el Revit, se procede a realizar un proceso parecido al expuesto en el apartado sobre AutoCAD al BIM, ya que, en este, parte de lo que se debe realizar es el modelado de la disciplina a trabajar, y para el caso de estudio se modeló la arquitectura.

Ilustración 6-31 Nube de puntos en Revit con modelado arquitectura.



Fuente: Elaboración Propia

7. RESULTADOS

7.1. Resultados de la investigación

Antes de presentar el resultado del caso de estudio, en la siguiente tabla se hace un resumen general sobre los tres procesos desarrollados a nivel de equipos, personal y software, en el caso de estudio.

Tabla 7-1 Características generales sobre el estudio de caso

	AutoCAD al BIM	**Matterport**	**Nube de puntos**
Equipos	- Pc con características mencionadas	- Cámara Pro3 3D - Tablet - Pc con una RAM de 16 GB o superior	- Leyca ScanStation P40 - Tablet - Pc con características mencionadas
Personal	- Profesional en arquitectura con más de 8 años de experiencia en el uso de herramientas BIM	- Dos técnicos Para el levantamiento de información en campo.	- Para el levantamiento de información dos técnicos. - Un técnico para exportación de información de la plataforma del equipo a ReCap y de ReCap a archivo RCP. - Para el proceso del modelado profesional en arquitectura con 5 años de experiencia
Software	- Autodesk AutoCAD	- Aplicación en Tablet de la	- Nube de equipo de scanner

	- Autodesk Revit	conexión a la nube de Matterport. - Nube de Matterport	- Autodesk ReCap - Autodesk Revit
Características generales	- Entre más información planimétrica de la edificación o infraestructura, es más completo el modelado BIM de la misma. - El nivel de precisión con respecto a la realidad es medio, con desfase de 5 a 10 mm, sin embargo, si presentan cambios del Plano AutoCAD a la realidad se generaría reproceso en el proyecto modelado	- Si el espacio está totalmente libre de personas, las tomas de imágenes son más precisas. - Precisión baja, con un desfase de 30 a 50 mm - Su enfoque esta más hacia la inmersión virtual de los espacios que a la gestión de operación y mantenimiento.	- Si el espacio está totalmente libre de personas, las tomas de imágenes son más precisas. - Precisión alta, con un desfase de 3 a 5 mm - Al final es una mezcla de los dos procesos anteriores, ya que primero se hace levantamiento en campo con equipos especializados y luego se hace un modelado con esa información.
Costos del desarrollo	Pc anual: $8.500.000.00 COP Personal mensual: $10.288.850.00 COP Licencias anuales: $14.991.110.00 COP	Desarrollo por un tercero el cual incluye equipos técnicos y licencia a 1 año para visualizar la información: $1.150.000.00 COP	Desarrollo total por un tercero, se paga por m² y en este espacio salía alrededor de $23.734.872.00 COP Adicionalmente, la organización debe contar mínimo con las siguientes condiciones para hacer uso de los modelos digitales creados por el tercero: Pc anual:

			$8.500.000.00 COP Personal idóneo para el control del modelo: $7.342.767.00 COP (Valor salario de un coordinador BIM en Colombia de 5 Millones de pesos mensuales. Licencias anuales: $14.991.110.00 COP

Fuente: Elaboración Propia

Ahora, para presentar un resultado a nivel económico del caso de estudio, es necesario llevar el valor de cada uno de los procesos a una misma unidad de medida. En este caso la metodología de nube de puntos se hace por m^2. Por tal razón, se debe llevar el proceso de AutoCAD a BIM y de Matterport a la misma unidad de medida. Para llevar estos procesos a la unidad de medida, hay que tener presente que el precio a trabajar en la presente investigación es en pesos colombianos, por tal motivo, se debe considerar ajustar los precios de todos los requerimientos para este desarrollo a la misma moneda.

De acuerdo con las definiciones previamente expuestas, al trasladar el primer proceso al ámbito económico, se inicia por establecer el valor por hora del equipo utilizado. En este caso se trata de un computador Lenovo con un costo de $8.500.000 COP. Con este valor, dándole una vida útil al equipo de un año y teniendo en cuenta que en Colombia el tiempo promedio es de 2304 horas legales de trabajo, se divide el valor del equipo en las horas legales laborales, resultando en un valor de $ 3.687,50 COP.

Lo segundo, es identificar el valor del personal idóneo para la actividad por hora, así que, de acuerdo con todas las prestaciones sociales, parafiscales, seguridad social y el valor neto que se le debe pagar un empleador de forma mensual, para el perfil de la persona idónea para el desarrollo del proceso tomamos un valor de $10.288.850 COP. Este valor se divide

en el número de horas legales mensuales trabajadas en Colombia (192) y, como resultado, se tiene que el trabajador por hora para una empresa tiene un costo de $53.594 COP.

Lo tercero, es identificar el precio de las licencias, por tal motivo lo primero es convertir el valor de las licencias de AutoCAD y Revit de dólar a pesos colombianos, por lo que para la presente tesis se utiliza el valor de la TRM del 31 de diciembre de 2024 ($4.409,15 COP) ya que los precios utilizados para el presente caso de estudio fueron precios de ese año. Con este valor y con los precios de los softwares relacionados pasamos de USD 1450 y USD 1950 a $ 6.393.267,5 COP y $ 8.597.842,5 COP, respectivamente. Con los precios en pesos colombianos, y teniendo presente el valor anual de una licencia, se divide el valor total de las licencias en las horas anuales laborales en Colombia, dando como resultado $ 6.506,56 COP.

Por último, se suma el valor de los tres pasos anteriores, para tener un valor total por hora, el cual es de $ 63.788,06 COP. Con este valor, más el número de horas dedicado al caso de estudio y los metros cuadrados del proyecto, se pueden sacar un valor específico por metro cuadrado.

Ahora, para el segundo proceso, se tiene que un levantamiento de hasta 200 horas puede llegar a costar $1.150.000,00 COP, incluyendo equipo y mano de obra. Para el presente caso de estudio, solo se hizo la toma de la mitad de la edificación (3600 m²) llegando a un total de 200 imágenes para un valor total por hora de $209.090.91 COP. Segundo, se debe pagar una mensualidad de una plataforma en línea de unos USD 3.300, los cuales, pasándolos a pesos colombianos con la TRM del 31 de diciembre de 2024, corresponden a un valor total

de $14´550.195.00 COP. Como se hizo para el primer proceso, se divide por el número de horas legales de trabajo en Colombia, para un total de $6.315.19 COP.

Con esta información, se presenta a continuación una tabla con los resultados en tiempo y costos de cada uno de los procesos planteados.

Tabla 7-2 Resultados tiempo y costos del caso de estudio

	AutoCAD al BIM	**Matterport**	**Nube de puntos**
Horas de trabajo	64 horas	5.5 horas	79.33 horas
M² levantados y/o modelados	7200 m²	3600 m²	3600 m²
Costos	Valor m² arquitectura: $567,01 COP	Valor m² arquitectura: $329,09 COP	Valor m² arquitectura: $6.593,02 COP

Fuente: Elaboración Propia

7.2. Definición del método para la creación de un modelo digital

De acuerdo con los resultados antes señalados, se presenta el desarrollo de una matriz de evaluación para que las empresas a nivel nacional puedan analizar qué tipo de modelo digital requieren, así como definir cuál sería su camino para sumergirse en una transformación digital y hacer sus procesos más eficientes.

Para desarrollar la matriz de evaluación, se toma como referente la matriz de madurez BIM (BIM Maturity Matrix) creada por el arquitecto australiano Bilal Succar (2016). Para construir la matriz, se deben definir primero los niveles de modelos digitales, así como los ítems que permitan evaluar el estado de estos.

Como el resultado de la investigación se trabajó con tres tipos de modelos digitales, se plantean a continuación los mismos tipos como clase de modelo digital:

- **Modelo digital tipo 1:** Corresponde al modelo digital desarrollado por el proceso de fotogrametría 360° el cual plantea crear modelos a un bajo costo y en un tiempo muy corto, que a su vez no requiere un gran cambio y su enfoque es hacia la experiencia a usuarios de la infraestructura.
- **Modelo digital tipo 2**: Proceso del AutoCAD a 3D, en donde se hacen modelos a bajo costo en un tiempo más prolongado, sin embargo, presentan cambios periódicos y su enfoque es más para gestionar a detalle la infraestructura.
- **Modelo digital tipo 3:** Modelos a partir de nube de puntos, el cual tiene un costo elevado y se desarrolla en un tiempo a mediano plazo, los levantamientos son muy precisos y su enfoque es para gestionar la infraestructura.

Con esta clase de modelos definidos, se plantean los siguientes ítems comparables entre los modelos digitales, los cuales surgieron como resultado de la comparación de cada proceso:

- **Propósito para el modelo:** cuál es el fin con el que la compañía desea crear el modelo digital.
- **Costos de inversión:** cuál es el nivel económico de inversión solamente para la creación del modelo digital. El valor para invertir por metro cuadrado es **bajo** si su precio está entre 100 a 350 COP, es medio si está entre 350 a 1500 COP y es alto si está por encima de los 6500 COP.
- **Tiempo de desarrollo**: en cuánto tiempo tiene planeada la organización para obtener su modelo digital. Es tiempo corto si lo desea obtener en 1 a 3 días, a mediano plazo de 3 a 10 días y a largo plazo de 10 días en adelante.
- **Nivel de precisión en toma de medidas del modelo**: si la compañía va a hacer uso de los modelos para tomar dimensiones para alguna gestión, cuál es la tolerancia a la cual está dispuesta a trabajar sobre los modelos digitales.
- **Estado de transformación digital en la organización:** cuál es el estado de la compañía para afrontar iniciar con la creación del modelo digital.
- **Personal requerido:** con qué tipo de personal cuenta la empresa para mantener su modelo digital en el tiempo.
- **Software requerido:** con qué software cuenta la compañía para mantener el modelo digital en el tiempo.
- **Hardware disponible en la compañía:** la compañía puede contar con diferente hardware para sus trabajos, sin embargo, se puede definir dos tipos,

características básicas cuando son menores a las expuestas en la investigación y mínimas necesarias iguales o superiores a las expuestas anteriormente.

Definidos los ítems de comparación, se procede a la creación de la siguiente matriz para que las compañías puedan apropiar e identificar el mejor camino para la creación de sus modelos digitales.

Tabla 7-3 Matriz para determinar el tipo de modelo digital que una compañía puede realizar.

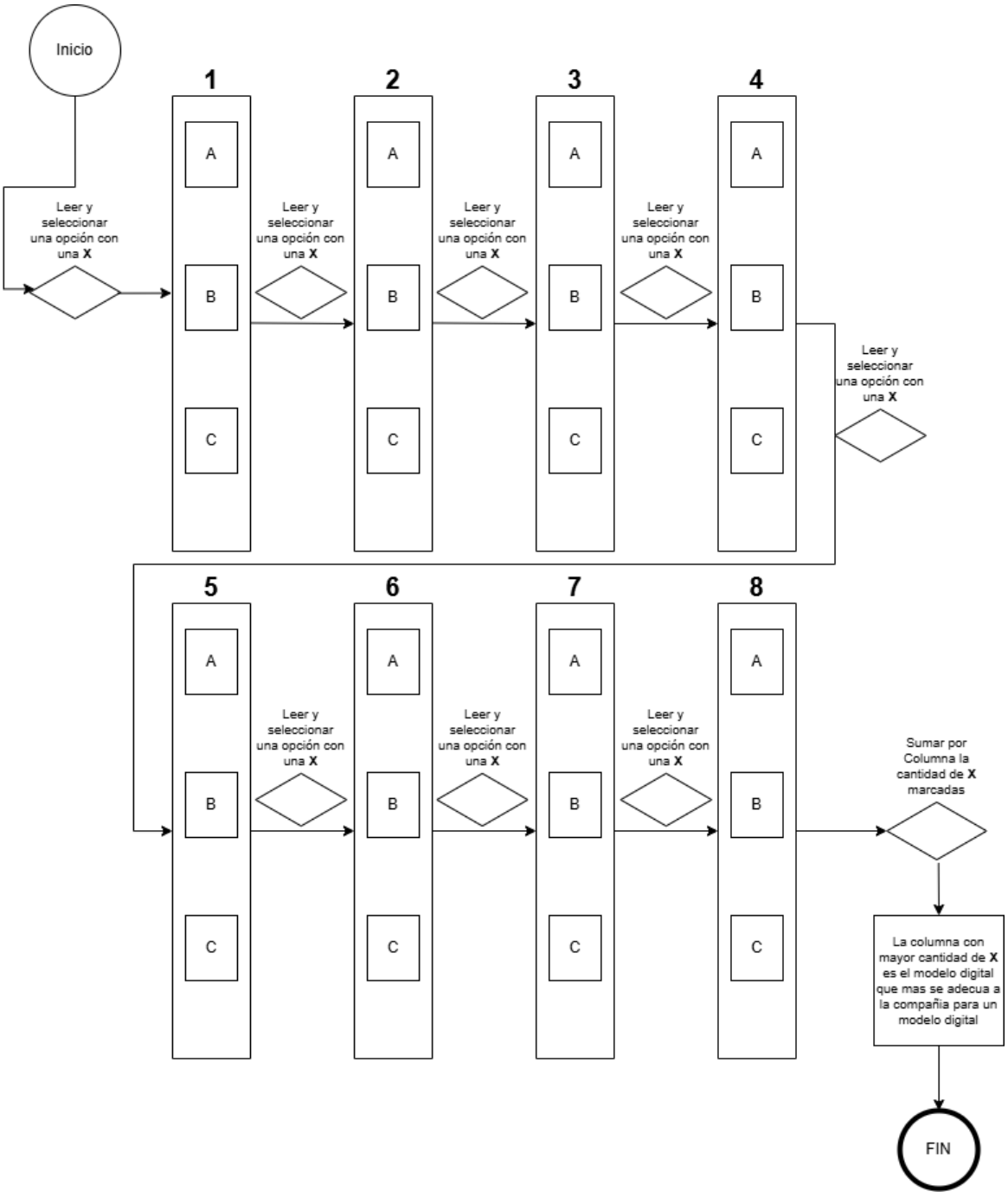
Item	Modelo digital tipo 1 (Modelo digital por Fotogrametría 360°)		Modelo digital tipo 2 (Modelo digital de AutoCAD a 3D)		Modelo digital tipo 3 (Modelo digital por Nube de puntos)	
Propósito para el Modelo	Experiencia al usuario y una gestión de infraestructura con cambios esporádicos, de 1 a 5 cambios en el año		Gestión de infraestructura con cambios constantes (de 1 a 3 en el mes)		Gestión de infraestructura con cambios constantes (de 3 o más en el mes)	
Costo de Inversión	Presupuesto bajo para hacer una transformación digital.		Presupuesto medio para iniciar con modelos digitales.		Presupuesto alto para tener un modelo digital detallado.	
Tiempo de desarrollo	Tiempo muy corto en proceso de levantamiento y digitalización de la información.		Tiempo a mediano plazo en procesos de levantamiento y digitalización de la información.		Tiempo a mediano y largo plazo en procesos de levantamiento y digitalización de la información.	
Nivel de precisión en toma de medidas del modelo	Precisión baja con una tolerancia de 30 a 50 mm		Precisión media con una tolerancia de 5 a 10 mm		Precisión alta con una tolerancia de 3 a 5 mm	
Estado para una transformación digital en la organización	No cuentan con información planimétrica ni física ni digital pero los espacios de la edificación son amplios para el levantamiento de la		Cuenta con información planimétrica de la edificación.		No cuentan con información planimétrica ni física ni digital pero los espacios de la edificación son reducidos (espacios con bastante	

	información en campo				información en menos de 6 m²) para el levantamiento de la información en campo	
Personal requerido	Personal con conocimientos bajos en modelos digitales y en implementación de nuevas tecnologías		Personal con conocimientos altos en modelos digitales pero baja implementación en nuevas tecnologías		Personal con conocimientos altos en modelos digitales y alto nivel de implementación en nuevas tecnologías	
Software disponibles en la organización	No cuenta con ningún Software para la gestión del modelo digital		Cuenta con los softwares básicos como AutoCAD y Revit		Cuenta con todo el paquete de software avanzados para la gestión de modelos digitales (Ejemplo, paquete AEC de Autodesk)	
Hardware disponible en la compañía	La compañía cuenta con computadores de características básicas		La compañía cuenta 2 a 5 computadores de características mínimas necesarias		La compañía cuenta con más de 5 computadores de características mínimas necesarias	
Total de X por cada tipo de modelo						

Fuente: Elaboración Propia

Ahora bien, el correcto uso de la matriz antes desarrollada se ve en la siguiente ilustración.

Ilustración 7-1 Diagrama de flujo para el uso de la Matriz que determina que tipo de modelo digital puede adoptar una compañía.



Fuente: Elaboración Propia

Leyenda:

1- Propósito para el Modelo
2- Costo de Inversión
3- Tiempo de desarrollo
4- Nivel de precisión en toma de medidas del modelo
5- Estado para una transformación digital en la organización
6- Personal requerido
7- Softwares disponibles en la organización
8- Hardware disponible en la compañía
A- Opción columna de modelo digital tipo 1
B- Opción columna de modelo digital tipo 2
C- Opción columna de modelo digital tipo 3

Nota 1. Se debe seleccionar solo una opción por cada ítem de comparación.
Nota 2. En el caso que haya la misma cantidad de X en dos tipos de modelos, prevalecerá el modelo con el mayor número de estas ya que tiene mayor nivel de precisión.

Por último, si la organización quiere hacerse a una idea de cuál sería el costo de hacer la creación de su modelo digital, lo puede hacer con los costos señalados anteriormente, teniendo en cuenta que son costos del año 2024 y, dependiendo del año en el que se encuentre, deberá hacer el aumento porcentual sobre el salario mínimo de cada año que incremente.

8. CONCLUSIONES

A continuación, se presentan unas conclusiones sobre el proceso, no sin antes mencionar que todos los caminos desarrollados son válidos para hacer esta implementación BIM en edificaciones o infraestructuras existentes.

- El resultado de la presente tesis de investigación desde su parte bibliográfica demuestra que los modelos digitales son esenciales para la gestión, conservación y experiencia de una edificación o infraestructura existente. Las tecnologías más utilizadas son el levantamiento de nube de puntos, planos 2D a 3D y fotogrametría. Así mismo, su implementación no se limita a un tipo de edificación, ya que como se vio tanto a nivel nacional como internacional, puede ser de pequeños cuartos técnicos hasta una ciudad completa. Esto demuestra la necesidad de seguir avanzando en nuevas metodologías para gestionar este tipo de proyectos de una manera más eficiente.
- Es viable conectar las edificaciones existentes a una transformación digital para hacer sus procesos más eficientes, ya el tiempo y el costo depende del camino tecnológico que desee tomar la compañía que lo quiera implementar. Haciendo uso de la matriz para definir el método planteado, una compañía puede lograr:
  - **Modelo digital tipo 1 (Modelo digital por Fotogrametría 360°)**: Información actualizada de la edificación, facilidad en la toma de

medidas generales, gestionar a futuro activos relacionados con los tags administrados en el modelo, facilitar la inmersión del usuario en recorridos virtuales.

  - **Modelo digital tipo 2 (Modelo digital de AutoCAD a 3D):** gestionar espacios a partir de un modelo base, el cual puede ir actualizando con los cambios constantes que se presenten en la edificación.
  - **Modelo digital tipo 3 (Modelo digital por Nube de puntos):** un modelo digital confiable con la información más actualizada de la realidad de la edificación, la cual, si desarrolla cambios constantes, facilitara el desarrollo a nivel de detalle de los mismo.

- El uso de la tecnología de nube de puntos es la opción más precisa para un levantamiento de condiciones existentes, sin embargo, es la más costosa en su implementación llegando a costar de 10 a 12 veces más que los otros procesos.
- Ahora, siendo la implementación más económica, aplicar el proceso de fotogrametría 360° con la tecnología de Matterport puede ser muy sencillo, solo que tiene sus limitaciones en cuanto a la precisión de las medidas y a todo el proceso manual previo a la carga de la información de la infraestructura como datos de los espacios o de los activos en específico.
- Pasar de AutoCAD a modelos digitales es un proceso viable, sin embargo, se enfrenta uno a la falta de información o información desactualizada con respecto a lo construido en la realidad.

- Sea cual sea el camino, los avances tecnológicos permiten conectar el modelo creado con plataformas que permiten operar y mantener una edificación o infraestructura como el programa IBM Maximo, plataforma de gestión de información de proyectos de construcción como Autodesk Construction Cloud, y conexión con plataformas como Autodesk tándem, Urbim para la gestión ya de activos y datos en tiempo real de los equipos.

Se recomienda tomar estos resultados como base para futuras investigaciones sobre la identificación de procesos para la gestión de espacios, gestión de activos, gestión de operación y mantenimiento, así como para llegar a identificar el retorno de la inversión en el uso de cada proceso.

Bibliografía

Airport, H. (s.f.). *https://www-heathrow-com.* Obtenido de https://www-heathrow-com.: https://www-heathrow-com.translate.goog/company/about-heathrow/company-faqs?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=sge#:~:text=Redevelopment%20of%20the%20area%20began,Airport%2C%20becoming%20Heathrow%20in%201966.

Aish, R. (1986). Building Modelling: The Key to Integrated Construction CAD. *CIB 5th International Symposium on the Use of Computers for Environmental Engineering related to Building* (págs. 7-9). CIB.

Archdaily. (9 de enero de 2017). *Archdaily.com*. Obtenido de https://www.archdaily.co/co/802381/edificio-facultad-de-enfermeria-universidad-nacional-de-colombia-leonardo-alvarez-yepes

Arquitectura, E. d. (22 de octubre de 2020). *https://postgradoingenieria.com/.* Obtenido de https://postgradoingenieria.com/: https://postgradoingenieria.com/como-funciona-fotogrametria/

Autodesk. (2024). *https://www.autodesk.com.* Obtenido de https://www.autodesk.com: https://www.autodesk.com/autodesk-university/article/the-digital-transformation-journey-at-dfw-airport

Banco Interamericano de Desarrollo. (agosto de 2024). Obtenido de https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Tech-Report-Gemelos-Digitales-ESP.pdf

buildingsmart. (20 de febrero de 2023). *https://www.buildingsmart.es/.* Obtenido de https://www.buildingsmart.es/: https://www.buildingsmart.es/2023/02/20/recomendaciones-para-el-uso-de-bim-en-fase-de-operaci%C3%B3n-y-mantenimiento/

Camacol. (2024). Obtenido de https://camacol.co/sites/default/files/EXT-OPAIN.pdf

Camacol. (2024). Obtenido de https://camacol.co/sites/default/files/EXT-DB.pdf

Camacol. (2024). *De la estrategia a la realidad: Políticas BIM y gemelos digitales en el sector ferroviario.* Obtenido de https://camacol.co: https://camacol.co/sites/default/files/EXT-DB.pdf

Colin, B. (27 de septiembre de 2018). *https://www.autodesk.com.* Obtenido de https://www.autodesk.com: https://blogs.autodesk.com/latam/2018/09/27/bim-en-la-construccion/

DELGADO, M. (2024). *La recuperación y reapertura del San Juan de Dios: un proyecto urbano, cultural y social.* Obtenido de https://cienciassociales.uniandes.edu.co: https://cienciassociales.uniandes.edu.co/opca/articulo/la-recuperacion-y-reapertura-del-san-juan-de-dios-un-proyecto-urbano-cultural-y-social/

Desarrollo, B. I. (agosto de 2024). Obtenido de https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Tech-Report-Gemelos-Digitales-ESP.pdf

Doménech, F. (15 de noviembre de 2024). *https://elpais.com/.* Obtenido de https://elpais.com/: https://elpais.com/tecnologia/2024-11-16/el-vaticano-recurre-a-la-ia-para-crear-una-nueva-experiencia-religiosa.html

Eastman, C. M. (1975). The use of computers instead of the drawings in building design. *AIA Journal*, 46-50.

Escuela Postgrado de Ingeniería y Arquitectura. (22 de octubre de 2020). *https://postgradoingenieria.com/.* Obtenido de https://postgradoingenieria.com/: https://postgradoingenieria.com/como-funciona-fotogrametria/

eSmartCity. (18 de febrero de 2025). *https://www.esmartcity.es*. Obtenido de https://www.esmartcity.es: https://www.esmartcity.es/2025/02/18/libelium-participa-en-un-proyecto-de-gemelo-digital-para-proteger-el-patrimonio-de-genova

Esri. (2024). *Aeropuerto Internacional El Dorado: Un salto hacia la transformación tecnológica .* Obtenido de https://www.esri.co: https://www.esri.co/es-co/nosotros/casos-de-exito/inicio/aeropuerto-internacional-el-dorado-un-salto-hacia-la-transformacion-tecnologica

Fracttal. (agosto de 2024). *El IoT en mantenimiento inteligente.* Obtenido de Fracttal: https://www.fracttal.com/es/guias-mantenimiento/iot-y-mantenimiento-inteligente

Golubeva, S. (24 de enero de 2022). *https://www.artec3d.com/es.* Obtenido de https://www.artec3d.com/es: https://www.artec3d.com/es/learning-center/laser-3d-scanning

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación.* MÉxico D.F.: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.

Hoyos, J. (18 de junio de 2020). *What is BIM? An EXPLANATION FOR EVERYONE in 3 minutes*. Obtenido de Juan Hoyos chanel:

https://www.youtube.com/watch?v=Sq6xkY87-8Q&list=PLKEl_gaSiLBJ0uksoEIsIqShyQuZHshn0&index=4

Inteligentes, C. (18 de febrero de 2025). *https://www.esmartcity.es*. Obtenido de https://www.esmartcity.es: https://www.esmartcity.es/2025/02/18/libelium-participa-en-un-proyecto-de-gemelo-digital-para-proteger-el-patrimonio-de-genova

Karchmer, A. (s.f.). *http://autodesk.com.* Obtenido de http://autodesk.com: http://autodesk.com/es/solutions/revit-vs-autocad

LAB, T. (19 de marzo de 2024). *https://camacol.co/.* Obtenido de https://camacol.co/: https://camacol.co/prensa/noticias/ya-estan-disponibles-los-resultados-de-la-primera-encuesta-nacional-bim

Libelium. (13 de febrero de 2025). Obtenido de https://www.libelium.com/es/libeliumworld/gemelos-digitales-clave-para-proteger-patrimonio-arquitectonico-unesco/

Libelium. (13 de febrero de 2025). . Obtenido de Youtube: https://www.youtube.com/watch?v=udJIqEp01GA&t=84s

Londoño, S. (12 de mayo de 2024). *La novedosa tecnología con la que se está restaurando edificio del hospital San Juan de Dios.* Obtenido de https://www.valoraanalitik.com: https://www.valoraanalitik.com/novedosa-tecnologia-de-restauracion-del-hospital-san-juan-dios/

Lorenzo, A. (19 de marzo de 2019). *https://andreslorenzo.com.* Obtenido de https://andreslorenzo.com: https://andreslorenzo.com/digitalizacion-del-sector-de-la-construccion

Matterport. (s.f.). Obtenido de Matterport: https://matterport.com/about-us

Microsoft. (11 de noviembre de 2024). *The world's first 3D replica of St. Peter's Basilica, made with Microsoft AI.* Obtenido de youtube: https://www.youtube.com/watch?v=5dQI_TXYJbU

Microsoft. (S.F.). *unlocked.* Obtenido de https://unlocked.microsoft.com/: https://unlocked.microsoft.com/vatican/

Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible. (27 de junio de 2023). Obtenido de https://cdn.mitma.gob.es/: https://cdn.mitma.gob.es/portal-web-drupal/cbim/v_26_bis_web_plan_bim_contratacion_publica.pdf

Podcast, B. T. (6 de noviembre de 2024). *Building the Path to Net Zero: DFW International Airport | Bridging the Gap Podcast Ep. 284*. Obtenido de youtube: https://www.youtube.com/watch?v=bP1Zui96wJs

Prytz, J. C. (s.f.). Obtenido de https://www.datech.es/: https://www.datech.es/software/autodesk-historia-del-software-lider-y-mas-utilizado/

Renobo. (2024). Obtenido de https://renobo.com.co/es/proyectos/complejo-hospitalario-san-juan-de-dios

Renobo. (29 de abril de 2024). Obtenido de https://renobo.com.co/es/noticias/obra-de-restauracion-arquitectonica-en-el-san-juan-de-dios-es-pionera-en-trabajar-con

Sostenible, M. d. (27 de junio de 2023). Obtenido de https://cdn.mitma.gob.es/: https://cdn.mitma.gob.es/portal-web-drupal/cbim/v_26_bis_web_plan_bim_contratacion_publica.pdf

Succar, B. (julio de 2016). *301in BIM Maturity Matrix*. Obtenido de https://bimexcellence.org: https://bimexcellence.org/resources/300series/301in/

Team, I. (28 de febrero de 2022). *Infraspeak Blog.* Obtenido de Los gemelos digitales y el futuro del mantenimiento: https://blog.infraspeak.com/es/los-gemelos-digitales-y-el-futuro-del-mantenimiento/

Thompson, A., & Shotz, H. (2022). *https://www.autodesk.com.* Obtenido de https://www.autodesk.com: https://www.autodesk.com/autodesk-university/class/airports-journey-implementing-Digital-Twin-integrating-BIM-GIS-EAM-2022#presentation

Vaticano. (S.F.). *virtual.basilicasanpietro.va*. Obtenido de virtual.basilicasanpietro.va: https://virtual.basilicasanpietro.va/it/explore-the-basilica

WSP. (15 de marzo de 2023). *https://www.wsp.com/es-es/.* Obtenido de https://www.wsp.com/es-es/: https://www.wsp.com/es-es/insights/claves-digitalizacion-edificios-dificil-acceso