



UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE INGENIERÍA

Proyecto de Grado para optar el Título de
Ingeniero Agrimensor

El rol del Ingeniero Agrimensor en la implementación de
metodología BIM en construcciones preexistentes:
Desafíos y oportunidades.

Nicolás Ogeda

Stefanie Ugalde

Tutores: Prof. Ing. Agrim. Luis Calderón

Prof. Ing. Agrim. Martin Wainstein

Montevideo, Uruguay

Diciembre, 2024

PÁGINA DE APROBACIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

El tribunal docente integrado por los abajo firmantes aprueba la Tesis de Investigación.

Título

.....
.....

Autor/s

.....

Tutor/s

.....

Carrera

.....

Puntaje

.....

Tribunal

Profesor.....(Nombre y firma)

Profesor.....(Nombre y firma)

Profesor.....(Nombre y firma)

Fecha: 17 de diciembre de 2024.

A nuestras familias, amigos, a quienes no están y a
todos los que fueron parte.

Agradecimientos

En primer lugar agradecemos al tutor Prof. Ing. Agrim. Luis Calderón y al cotutor Prof. Ing. Agrim. Martin Wainstein, quienes nos dieron su apoyo y nos orientaron para lograr este trabajo.

A la empresa KPN Metior en especial al Ing. Agrim. Antonio Villaluenga y a la Arq. Agustina Lemes, al Ing. Agrim. Dante Prato y Arq. Alicia Dauría de Geosys, quienes nos brindaron charlas, instrumental y softwares para la consecución de este proyecto.

También va el agradecimiento a los ingenieros Rafel Tornini y Sofia Alfaro quienes contribuyeron con el uso del escáner.

A nuestras familias por el apoyo brindado, a los que fueron parte de este proceso y que ya no están, en especial al laio y a Luis.

Por último, a nuestros amigos, compañeros de carrera y docentes que compartieron estos años con nosotros, gracias por la paciencia y el apoyo.

Esto es para ustedes.

Tabla de contenido

Resumen	6
Glosario.....	11
Introducción.....	13
Objetivos.....	14
Objetivo general.....	14
Objetivos específicos.....	14
Building Information Modelling BIM.....	15
Metodología BIM.....	16
¿Qué es la metodología BIM?.....	16
Orígenes de la metodología BIM.....	18
Estado de la metodología BIM a nivel nacional.....	19
BIM en otros países	24
Estándares utilizados	26
Etapas de la metodología BIM	28
Nomenclatura.....	29
Usos BIM.....	30
Entorno de datos compartidos (CDE)	37
Implementación BIM en construcciones edilicias preexistentes.....	38
Marco teórico	39
Softwares analizados para su uso práctico.....	44
Instrumental utilizado en trabajo de campo.....	48
Ejercicio de aplicación.....	50
Metodología.....	51

Planificación previa	51
Procesamiento de campo.....	52
Gestión de datos.....	60
Modelado en Revit.....	66
Análisis de resultados.....	79
Conclusiones.....	90
Bibliografía	93
Anexo.....	98

Resumen

En el presente proyecto de grado, se ha abordado el estudio de la implementación BIM en Agrimensura, con un enfoque específico en su aplicación para construcciones edilicias preexistentes.

En primer lugar, se presentó la herramienta BIM de forma general, se aportó información sobre esta metodología, su flujo de trabajo, sus orígenes, así como los beneficios que aporta y las oportunidades que brinda para el desarrollo profesional de los Ingenieros Agrimensores.

Se acotó las distintas aplicaciones que tiene la herramienta centrándose exclusivamente en el ámbito de la Agrimensura para luego desarrollar una aplicación práctica de la misma llevada a cabo en el Instituto de Agrimensura, de la Facultad de Ingeniería de la UdelaR, mostrando cómo la metodología BIM puede facilitar la gestión y documentación de información relacionada con las construcciones edilicias preexistentes, mejorando su mantenimiento y actualización.

Palabras claves: Metodología colaborativa, Gemelo digital , Gestión de la información, Scan to BIM, Escáner.

Tabla de ilustraciones

Figura 1: Ciclo de vida del Modelo BIM, muestra todas las fases del ciclo de vida de un edificio.....	18
Figura 2: Centro CAIF Aeroparque.....	20
Figura 3: Etapas en el proceso de aplicación BIM.....	29
Figura 4: Nomenclatura de documento utilizando metodología BIM.....	29
Figura 5: Ejemplo del Estadio Park Malšovice Arena en República Checa.....	32
Figura 6: Ejemplo de metodología BIM para sacar ticket en el estadio de Wembley.....	36
Figura 7: Ejemplo de nube de puntos tomada con Lidar.....	39
Figura 8: Ejemplo de gemelo digital.....	40
Figura 9: Escáner Fijo.....	41
Figura 10: Escáner de mano láser Leica BLK2GO.....	42
Figura 11: Escáner de mano láser 3D FJD Trion P.....	43
Figura 12: Escáner láser fijo Trimble X7.....	49
Figura 13: Posiciones de las estaciones de escáner láser Trimble X7 ...	52
Figura 14: Proceso de escaneado, estacionado y captura de puntos con lidar.....	54
Figura 15: Proceso de escaneado, escáner y tablet.....	55
Figura 16: Tablet en proceso de escaneo, imagen superior muestra la captura de imagen y la inferior proceso de escaneo con los escaneos registrados in-situ.....	57
Figura 17: Captura de punto de referencia en tablet.....	58
Figura 18: Captura de punto de referencia con escáner.....	58

Figura 19: Pantalla de tablet con tiempo de proceso de escaneo y escaneos registrados in-situ.....	59
Figura 20: Pantalla de tablet donde se aprecia el efecto de gemelo que genera el espejo del baño.....	60
Figura 21: Pantalla de software trimble realworks view con la nube de puntos cruda.....	61
Figura 22: Nube de puntos arriba representación por alturas, abajo por intensidad de los puntos en el software Recap.....	62
Figura 23: Nube de puntos segmentada en Trimble Realwork.....	63
Figura 24: Nube de puntos clasificada en Trimble Realwork.....	64
Figura 25: Clasificación automática como remanente en Trimble Realworks.....	64
Figura 26: Clasificación automática como paredes en Trimble Realworks.....	65
Figura 27: Clasificación automática, a la izquierda los pisos y a la derecha los techos, en Trimble Realworks.....	65
Figura 28: Plano de parte del instituto de Agrimensura.....	66
Figura 29: Niveles de trabajo, vista de perfil de la nube de puntos.....	67
Figura 30: Vista de planimetría y líneas de secciones.....	68
Figura 31: Vista de sección desde el pasillo.....	68
Figura 32: Proceso de modelado y barra de herramientas de Revit.....	70
Figura 33: Vista superior del modelo donde se muestra el techo, y debajo vista de suelo.....	71
Figura 34: Vistas desde el modelo del nivel inferior.....	72
Figura 35: Vista superior del modelo donde se muestran los pisos.....	73
Figura 36: Vista de vigas estructurales.....	73

Figura 37: Vista de muros estructurales.....	74
Figura 38: Vista de aberturas.....	74
Figura 39: Vista de pisos y techos.....	75
Figura 40: Herramienta para vincular archivos revit.....	76
Figura 41: Barra de herramientas disponibles en la sección 'Sistemas' para fontanería.....	76
Figura 42: Vista de artefactos y tubería sanitaria.....	77
Figura 43: Vista de luminaria, eléctrica, bandeja de cables y equipos eléctricos.....	77
Figura 44: Modelo terminado, superpuesto con la nube de puntos.....	78
Figura 45: Comparativo entre modelo, superpuesto a la nube de puntos, en el proceso de modelado.....	80
Figura 46: Comparativo entre modelo y foto del instituto.....	81
Figura 47: Comparativo entre modelo y foto del instituto.....	82
Figura 48: Comparativo de deslinde entre modelo y plano de Adrian Santos.....	84
Figura 49: Comparativo de áreas entre modelo y plano de Adrian Santos.....	88
Figura 50: Curva de aprendizaje, proceso contabilizados en meses.....	89
Figura 51: Georadar C-thrue.....	103
Figura 52: Detector de materiales Bosch D-Tect 200C.....	104
Figura 53: Conjunto de imágenes de Nube de puntos cruda en software Trimble Realworks view donde se aprecia los distintos niveles de techos, los colores de cada escaneo, como así los puntos generados por los espejos en los baños entre otros detalles.....	111

Figura 54: Fotos 360° sacadas con el escáner en cada estación, vistas desde software Trimble Realworks view.....	112
Figura 55: Fotos 360° sacadas con el escáner en cada estación, vistas desde software Trimble Realworks view.....	113
Figura 56: Fotos 360° sacadas con el escáner en cada estación, vistas desde software Trimble Realworks view.....	114
Figura 57: Nube de puntos segmentada vista planimétrica en Revit.....	114
Figura 58: Nube de puntos donde se pueden apreciar los detalles en una vista apartada de Box	115

Índice de tablas

Tabla 1: Tiempos de procesos	79
Tabla 2: Tabla comparativa entre áreas según modelo y áreas en el plano de arquitectura.....	85
Tabla 3: Tabla comparativa entre áreas según modelo y áreas medida en sitio con distanciómetro.....	85
Tabla 4: Tabla comparativa de alturas al techo por unidad según modelo y medida en sitio con distanciómetro.....	86
Tabla 5: Tabla ilustrativas sobre algunos cursos BIM.....	105
Tabla 6: Tabla ilustrativas sobre algunos cursos BIM dictados en Uruguay.....	106

Glosario

Acrónimo	Definición
BIM	Building information modeling
UdelaR	Universidad de la República
UNIT	Instituto Uruguayo de Normas Técnicas
ISO	Organización Internacional de Normalización
Autodesk	Compañía estadounidense dedicada al software de diseño en 2D y 3D para las industrias de manufacturas, infraestructuras, construcción, medios y entretenimiento y datos transmitidos vía inalámbrica
CAIF	Centros de Atención a la Infancia y a la Familia
INAU	Instituto del Niño y Adolescente del Uruguay
ANV	Agencia Nacional de Viviendas
MTOP	Ministerio de Transporte y Obras Públicas
CDE	Entorno Común de Datos
CCU	Cámara de la Construcción del Uruguay
CDN	Comisión Nacional para el Desarrollo
GTBIM UY	Grupo de Trabajo BIM del Uruguay
OPP	Oficina de Planeamiento y Presupuesto
MEF	Ministerio de Economía y Finanzas
AGESIC	Agencia de Gobierno Electrónico y Sociedad de la Información y del Conocimiento
UTE	Usinas y Transmisiones Eléctricas del Estado
IFC	Industry formation Classes
IDM	Information Delivery Manual
BsDD	buildingSMART Data Dictionary
BCF	BIM Collaboration Format

COBie	Construction Operations Building Information Exchange
IDS	Information Delivery Specification
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
MEP	Mecánica, Electricidad y Plomería
IMU	Unidad de Medición Inercial
RIEBT	Reglamento de instalaciones eléctricas de bajo tensión

Introducción

La metodología BIM (Building Information Modeling) ha experimentado un crecimiento constante en los últimos años, expandiéndose de manera creciente en diversas disciplinas, como por ejemplo en el área de la construcción.

En el presente proyecto de grado, se ha abordado el estudio de la implementación de BIM en Agrimensura, con un enfoque específico en su aplicación para construcciones edilicias preexistentes.

En primer lugar, se presentó la herramienta BIM de forma general, se aportó información sobre esta metodología, su flujo de trabajo, sus orígenes, así como los beneficios que ofrece y las oportunidades que brinda para el desarrollo profesional de los ingenieros agrimensores.

Se acotó las distintas aplicaciones que tiene la herramienta centrándose exclusivamente en el ámbito de la agrimensura y luego se desarrolló una aplicación práctica llevada a cabo en el Instituto de Agrimensura de la Facultad de Ingeniería de la UdelaR, mostrando cómo la metodología BIM puede facilitar la gestión y documentación de información relacionada con las construcciones edilicias preexistentes, mejorando su mantenimiento y actualización.

Objetivos

Objetivo General:

Estudiar la viabilidad de la metodología BIM para relevamiento de estructuras preexistentes y los posibles roles de los egresados de la carrera Ingeniería en Agrimensura en proyectos afines.

Objetivos Específicos:

1. Estudiar la metodología BIM, introducir dicha metodología describiendo los aspectos más importantes.
2. Aplicarla a un sector del instituto, y generar un modelo digital preciso y detallado de la construcción.
3. Evaluar sus características.

1. Building Information Modelling

BIM

1.1 Metodología BIM

El objetivo de este capítulo es aportar información sobre esta metodología, explicando en qué consiste, cuáles son sus orígenes y cuando comenzó a utilizarse el término BIM *Building Information Modelling*, los flujos de trabajo que se utilizan , cómo se posiciona nuestro país o cuales son las estrategias nacionales en esta temática.

1.1.1 ¿Qué es la metodología BIM?

La metodología BIM *Building Information Modelling*, es una metodología colaborativa que consiste en la elaboración de modelos gráficos computacionales, en el cual se centraliza toda la información utilizada en la elaboración y gestión de un proyecto constructivo.

A continuación, se citan algunas definiciones consultadas:

Buildingsmart España

Se define *Building Information Modelling (BIM)* como “*metodología de trabajo colaborativo para la creación y gestión de un proyecto de construcción. Su objetivo es centralizar toda la información del proyecto en un modelo de información digital creada por todos los agentes*”.

Autodesk

“*El modelado de información para la construcción (BIM, Building Information Modeling) es un proceso inteligente basado en modelos 3D que da a los profesionales de arquitectura, ingeniería y construcción (AEC) la perspectiva y las herramientas para planificar, diseñar, construir y administrar edificios e infraestructura con más eficiencia*”.

Forum BIM Uruguay

“Building Information Modeling (BIM) es una metodología de trabajo colaborativo que involucra la generación y gestión de representaciones digitales de las características físicas y funcionales de instalaciones, edificios e infraestructuras abarcando todo su ciclo de vida.

El acrónimo BIM también es entendido como Building Information Model haciendo referencia a la representación digital paramétrica del producto de construcción o como Building Information Management haciendo énfasis en la gestión del proceso de proyecto y construcción mediante modelos virtuales enriquecidos con información”.

Plan BIM Chile

“BIM es un conjunto de metodologías, tecnologías y estándares que permiten diseñar, construir y operar una edificación o infraestructura de forma colaborativa en un espacio virtual”.



Figura 1: Ciclo de vida del Modelo BIM, muestra todas las fases del ciclo de vida de un edificio. Fuente: Cámara argentina de la Construcción.

1.1.2 Orígenes de la metodología BIM

En el año 1974 Charles Eastman junto con otros colaboradores presentaron la investigación llamada "Building description system" la cual sirvió para establecer las bases de lo que hoy llamamos BIM.

En 1986, Graphisoft crea e introduce al mercado el producto llamado ArchiCAD, el cual tenía el concepto de "Virtual Building", este producto permite al usuario almacenar y manejar grandes cantidades de datos para generar la geometría 2D y 3D.

En 2002 Autodesk publicó un informe en el cual planteaba una nueva estrategia para lograr la aplicación de tecnología de la información a la industria de la construcción la cual denominó como “Building Information Modeling” BIM. Este producto tenía 3 principales características:

- Bases de datos digitales.
- Gestión de cambios en los datos y geometría.
- Captura y preservación de la información para usos futuros.

En 2004 se lanza al mercado el Autodesk Revit como un software capaz de utilizar la metodología BIM. Desde entonces, la metodología BIM ha crecido de manera exponencial a nivel mundial, convirtiéndose en un estándar adoptado en todo el mundo para aumentar la eficiencia, precisión y colaboración en los proyectos de construcción.

A pesar de que la metodología BIM avanzó mucho por el Autodesk Revit, esta metodología no fue creada por el propio Autodesk.

1.1.3 Estado de la Metodología BIM a nivel nacional

En cuanto al marco legal adoptado en nuestro país con respecto a BIM, mencionamos las principales normas que rigen al uso de BIM, fechas de elaboración e instituciones relacionadas a BIM que han participado en el desarrollo de estas.

Desde 2016 se viene trabajando con BIM en Uruguay, desde finales del 2020 está funcionando en UNIT el Comité Especializado en Modelado de la Información para Construcción, abarcando la elaboración de normas basadas en la adopción de documentos internacionales en su mayoría.

Actualmente se han dado pasos importantes para generar un Plan BIM en Uruguay como por ejemplo la utilización de esta metodología en obras públicas de gran envergadura y al tener la experiencia de países cercanos

se puede lograr un plan óptimo para su utilización. En comparación con otros países, existe una comisión que regula el marco normativo para la aplicación de la metodología BIM, así como la capacitación de los profesionales involucrados en proyectos de construcción. El siguiente paso sería la creación de esta comisión conformada por agentes privados y públicos.

El primer proyecto en el que se utilizó BIM en el país fue en un centro CAIF-INAU (Aeroparque en Canelones) en el año 2020. Un año más tarde, en 2021, se comenzó a utilizar en algunos proyectos piloto de la ANV. En el año 2024 se desarrolló BIM en proyectos piloto de obras viales del MTOP.



Figura 2: Centro CAIF Aeroparque. Fuente: MTA ingeniería

En cuanto a normativas, existen hoy en día 14 normas UNIT homologadas las cuales regulan los entornos de datos comunes, ellas son:

- UNIT 1398-1:2022: Entornos comunes de datos (CDE) para proyectos BIM - Conjuntos de funciones e intercambio de datos

abiertos entre plataformas de diferentes proveedores. Parte 1: Componentes y conjuntos de funciones de un CDE.

- UNIT 1398-2:2022: Entornos comunes de datos (CDE) para proyectos BIM - Conjuntos de funciones e intercambio de datos abiertos entre plataformas de diferentes proveedores. Parte 2: Intercambio de datos abiertos con Entornos Comunes de Datos.
- UNIT-ISO 22263:2008: Organización de la información acerca de las obras de construcción – marco para la gestión de la información de proyecto.
- UNIT-ISO 23386:2020: Modelado de la información de la construcción y otros procesos digitales utilizados en la construcción – Metodología para describir, crear y mantener propiedades en diccionarios de datos interconectados.
- UNIT-ISO 23387:2020: Modelado de la información para la construcción (BIM) - Planillas de datos para objetos de construcción utilizados en el ciclo de vida de los activos construidos - Conceptos y principios.
- UNIT-ISO 12006-2:2015: Construcción – Organización de la información de las obras de construcción - Parte 2: Marco para la clasificación.
- UNIT-ISO 16757-1:2015: Estructura de datos para catálogos electrónicos de productos para servicios de construcción - Parte 1: Conceptos, arquitectura y modelo.
- UNIT-ISO 16757-2:2016: Estructura de datos para catálogos electrónicos de productos para servicios de construcción - Parte 2: Geometría.
- UNIT-ISO 19650-1:2018: Organización y digitalización de la información en obras de edificación e ingeniería civil aplicando BIM

(Building Information Modelling) – Gestión de la información aplicando BIM – Parte 1: Conceptos y principios.

- UNIT-ISO 19650-2:2018: Organización y digitalización de la información en obras de edificación e ingeniería civil aplicando BIM (Building Information Modelling) – Gestión de la información aplicando BIM - Parte 2: Fase de desarrollo de los activos.
- UNIT-ISO 19650-3:2020: Organización y digitalización de la información en obras de edificación e ingeniería civil aplicando BIM (Building Information Modelling) – Gestión de la información aplicando BIM – Parte 3: Fase de operación de los activos.
- UNIT-ISO 19650-4:2022: Organización y digitalización de la información en obras de edificación e ingeniería civil aplicando BIM (Building Information Modelling) - Gestión de la información aplicando BIM - Parte 4: Intercambio de información.
- UNIT-ISO 19650-5:2020: Organización y digitalización de la información en obras de edificación e ingeniería civil aplicando BIM (Building Information Modelling) – Gestión de la información aplicando BIM – Parte 5: Enfoque basado en la seguridad para la gestión de la información.
- UNIT-ISO 29481-1:2016: Modelos de información para la construcción-Manual de entrega de la información - Parte 1: Metodología y formato.

Algunos hitos en cuanto a metodología BIM en Uruguay :

- 2016: Se crea la Comisión BIM CCU
- 2017: Se desarrolla el primer encuentro BIM Uruguay
- 2017: Se crea BIM Fórum Uruguay conformado por CND, CCU y Academia

- 2018: CND realiza el primer diagnóstico de la situación BIM en Uruguay, financiado por la Corporación Andina de Fomento
- 2018: Uruguay junto con otros países de la región (Argentina, Brasil, Chile y México) crean la red BIM de Gobiernos Latinoamericanos.
- 2019: “Estrategia de implementación BIM en Uruguay”, Transforma Uruguay, apoyo de la Embajada Británica.
- 2019: Primer llamado de licitación basado en términos de referencia BIM para contratos públicos (CAIF Aeroparque).
- 2019: Se desarrolla el Comité Nacional BIM (OPP, MEF, MVOTMA, MTOP, AGESIC, CND, BIM FORUM UY, URUGUAY XXI)
- 2020: UNIT - ISO dos normas BIM homologadas
- 2020: Se crea grupo de trabajo BIM, GTBIM UY, TDR BIM para contratos de obras públicas.
- 2021: UNIT - ISO cuatro normas BIM homologadas
- 2022: UNIT - ISO ocho normas BIM homologadas
- 2022: Nuevos llamados públicos con metodología BIM: CND/UTE/ANV etc.
- 2023: Se realiza un diagnóstico nacional bases para un CDE nacional

1.1.4 BIM en otros países

Chile

En el año 2020 el gobierno chileno implementó el Plan BIM Chile el cual busca la implementación de BIM en proyectos constructivos a nivel nacional. Se planea que para 2025, todos los proyectos de infraestructura pública sean desarrollados utilizando BIM, con el fin de mejorar la eficiencia de los recursos utilizados y mejorar la calidad de la construcción.

El plan establece un marco normativo para el uso de BIM en el país, incluyendo creación de guías y manuales que regulen su uso. Además, este plan incluye formatos de capacitación y formación para los profesionales del sector constructivo para lograr las habilidades necesarias para el uso correcto de BIM.

Esperan que la utilización de BIM pueda reducir tiempos y costos de los proyectos debido a una mejor coordinación dentro de las áreas del proyecto y la optimización de recursos.

Al hacer accesible la información a los distintos actores involucrados en el proyecto se busca que se mejore en la transparencia del mismo logrando un mejor control de los fondos y reduciendo la corrupción.

La gran problemática con la que se encuentra este plan es la capacitación masiva que se debe realizar en el sector requiriendo una gran inversión inicial en la misma, por lo que no todas las empresas constructoras del país pueden hacerse cargo de esta inversión lo que puede provocar la desaparición de algunas.

Argentina

En el año 2019 se establece el Plan BIM Argentina llamado SiBIM, el cual es un plan destinado a incorporar la tecnología BIM al sector de la construcción, principalmente está enfocado al proceso de desarrollo de la obra pública.

Este plan busca establecer un marco normativo para la adopción de esta tecnología, teniendo de guía la norma ISO-19650. Al igual que en Chile se necesita una primera gran inversión para la capacitación de los profesionales tanto del sector público como del sector privado. Actualmente se sigue capacitando profesionales, por ende, la tarea de capacitación aún no ha finalizado. Dentro del campo de capacitación es de destacar la inclusión del tratamiento de esta tecnología en universidades por medio de convenios, por lo que se espera que los egresados universitarios se encuentren capacitados en BIM

El Plan BIM Argentina apunta a que las obras públicas sean más eficientes, controladas y transparentes mediante el uso de esta metodología.

España

El plan BIM en España se establece en el año 2015 a cargo de la comisión de BIM en España la cual es el órgano encargado de lograr la implantación de esta tecnología en el país. Esta comisión la integran profesionales tanto del sector privado como del sector público.

Con este proyecto se busca que se utilice la metodología BIM de forma obligatoria en un futuro cercano en todas las obras de construcción, aunque todavía no se dictó la obligatoriedad debido a que se sigue capacitando a todos los profesionales que influyen en este proceso.

La ejecución del plan se encuentra de forma avanzada, en el sector público las nuevas obras utilizan esta metodología, pero en el sector privado en especial en las obras de menor envergadura aún no se aplica esta metodología por lo que la comisión de BIM sigue trabajando en la aplicación de este plan.

Entre los países que aplican esta metodología muchos hacen énfasis en la utilización de la misma para el desarrollo de obra pública, de aquí que surge el siguiente punto.

Beneficios de integrar BIM a la obra pública

Se realizaron varios estudios tomando una muestra pequeña en la cual se evaluó como impacto en distintos puntos la integración de BIM a la obra pública. (Estudios realizados por la Comisión de Productividad de Chile en el año 2020 y por PricewaterhouseCoopers de Reino Unido en 2018)

En 2014 se realizó este estudio en 32 grandes proyectos en Estados Unidos dando los siguientes resultados, 7% menos en los tiempos por lo que resulta en un ahorro del 10% en los costos y a su vez se reduce en un 80% el tiempo de estimación de presupuestos de costos.

Estos resultados provienen de los beneficios que da el aumento de eficiencia en la comunicación entre los profesionales además de las herramientas que la propia tecnología ofrece.

También es de destacar que utilizando esta metodología se reduce el riesgo de corrupción en el mismo.

1.1.5 Estándares utilizados

Los estándares BIM son un conjunto de normas y guías que proporcionan una estructura y definición clara de la información en los proyectos de construcción. Estas normas establecen las bases necesarias para la creación, intercambio y gestión eficiente de la información en el modelo BIM a lo largo de todo el ciclo de vida del proyecto, asegurando una interoperabilidad y consistencia de los datos y modelos utilizados por los diferentes actores involucrados.

Estos estándares promueven la colaboración, la comunicación efectiva y la integración de información entre los diferentes actores involucrados.

La adopción de estos estándares es fundamental para asegurar la calidad y compatibilidad de los modelos y datos, permitiendo una gestión más efectiva y precisa de la información.

Algunos de los estándares internacionales BIM más utilizados son:

IFC (Industry formation Classes): Estándar internacional abierto, es norma ISO internacional ISO 16739-1:2018. Transporta información.

“Las Industry Foundation Classes (IFC), es un estándar internacional abierto para datos del Modelo de información de construcción (BIM) que se intercambian y comparten entre aplicaciones de software utilizadas por los distintos participantes en el sector de la industria de la construcción o la gestión de instalaciones. La norma incluye definiciones que cubren los datos necesarios para los edificios durante su ciclo de vida.”

IDM : Documento que describe procesos, una metodología para definir y documentar procesos de negocio y requisitos de datos – Manual de entrega de información. ISO 29481-1:2016 ISO 29481-2:2012

BsDD: Es un diccionario, son servicios en línea que aloja clasificaciones y sus propiedades.

BCF: Son protocolos de comunicación independientes del software y basados en modelos: formato de colaboración BIM.

COBie (Construction Operations Building Information Exchange): Es un estándar internacional, desarrollado en 2007 por el Army Corps of Engineers de Estados Unidos, que establece un formato de intercambio de información para la gestión de activos de construcción. Permite la transferencia de datos desde el diseño y construcción hasta la operación y mantenimiento de un edificio.

IDS: Documentos interpretables que definen los requisitos, o especificación de la entrega de información.

Uniformat 2: Sirve para lograr un sistema de clasificación que organiza la información de un proyecto de construcción en función de elementos, lo que permite evaluar los costos de los distintos elementos.

1.1.6 Etapas de la metodología BIM

En el proceso de aplicación de BIM se pueden visualizar cuatro etapas:

Planificación: Este es el primer paso de aplicación de la metodología BIM, en esta etapa se define las tareas a realizar y los operadores que utilizan BIM. Este modelo, generado en esta etapa, será presentando al cliente.

Diseño: En esta etapa no solo se diseña el modelo en 3D sino que también se diseña en 4D, 5D y 6D, por esta razón los modelos generados con BIM son modelos multidimensionales. Esta herramienta permite generar el activo digitalmente a construir antes de su construcción física pero además permite analizar y predecir el tiempo de ejecución (modelo 4D), el costo de construcción (modelo 5D) y permite analizar la sostenibilidad (modelo 6D).

En la etapa de diseño también se destaca la característica de multidisciplinaria y colaborativa, lo que permite que los profesionales de distintas áreas puedan compartir la información y así actualizar el proyecto en tiempo real, permitiendo que el traslado de información sea más sencillo.

El resultado de esto es un único modelo de información que servirá para todo el ciclo de vida de la construcción.

Construcción: En esta etapa, la herramienta BIM permite el control de la construcción visualizando el estado de la obra y compararlo con el

desarrollo previsto en un inicio. Esto puede ser de gran importancia para resolver obstáculos que pudieran aparecer ahorrando tiempo y recursos económicos.

Mantenimiento: La aplicación del BIM permite la gestión a lo largo de todo su ciclo de vida y así a partir del modelo tridimensional generar un modelo 7D el cual contiene la información necesaria para su gestión y mantenimiento.



Figura 3: Etapas en el proceso de aplicación BIM. Fuente: BuildingSmart.

1.1.7 Nomenclatura

La nomenclatura que propone buildingSMART España, consiste en una serie de campos concatenados, los cuales forman el nombre del documento como se muestra en la figura 4. Esta nomenclatura sirve para lograr una cohesión y claridad en la comunicación entre los distintos profesionales actuantes en el proyecto.

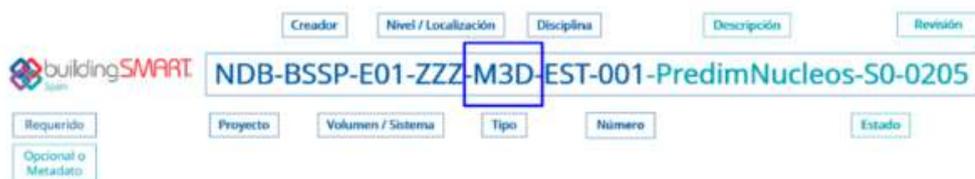


Figura 4: Nomenclatura de documento utilizando metodología BIM. Fuente: BuildingSmart.

El conjunto de campos que proponen:

- Código de proyecto: código identificador de proyecto. Puede tener entre 2 y 12 caracteres de tipo alfanumérico.
- Autor: Originario del documento. Puede tener entre 3 y 6 caracteres alfanuméricos.
- Fase: fase del proyecto constructivo.
- Volumen o sistema: bloque, edificio, o agrupaciones como parcelas.
- Tipo identificativo de documento: tipología del documento.
- Subtipo identificativo: segundo nivel de clasificación de la tipología del documento.
- Disciplina: ámbito del documento.
- Subdisciplina: segundo nivel de clasificación del ámbito del documento.
- Nivel: bajo/sobre rasante o la planta específica.
- Número secuencial: enumerador.
- Revisión: versión del documento.
- Estado: situación del documento.
- Descripción: breve definición del documento.

1.1.8 Usos BIM

Los usos de BIM son técnicas de implementación de BIM a lo largo del ciclo de vida de un edificio o infraestructura con el fin de lograr uno o varios objetivos específicos.

La guía de planificación de la ejecución de proyectos de Building Information Modeling de la Universidad del Penn State en Estados Unidos establece veinticinco aplicaciones de BIM.

1. Modelado de condiciones existentes.

Usar un modelo para identificar las condiciones existentes y futuras de un determinado emplazamiento. Estudiar las repercusiones en el entorno que un edificio puede ocasionar desde su diseño, hasta la construcción y vida útil.

2. Estimación de costes

Usar el modelo para el control de costes en cada una de las fases del proyecto: construcción, operación y mantenimiento.

La estimación de Costos se encuentra en la etapa previa al inicio de la obra. Utilizando la tecnología BIM el paso a paso de la estimación es la siguiente

- Realizar el modelo BIM detallado del edificio con el apoyo de un software de diseño arquitectónico 3D;
- Utilizar un BIM 5D ;
- Elegir las partidas del listado de precios de referencia;
- Seleccionar al menos dos entidades directamente en el modelo BIM para que el software BIM 5D identifique automáticamente todas las entidades similares;
- Definir el criterio de medición (aplicando modelos/plantillas predefinidos o crearlos desde cero).

3. Planificación 3D y 4D

Usar el modelo para poder planificar el trabajo en función del tiempo. Este uso permite marcar hitos y poder gestionar la planificación de la obra.

4. **Análisis de emplazamiento**

Usar el modelo para estudiar la ubicación adecuada del edificio o infraestructura dentro de un emplazamiento.

5. **Programación**

Este uso permite evaluar el rendimiento de diseño para los requisitos espaciales existentes. Estudio de normativas utilizando el diseño. Toma de decisiones en las primeras fases de diseño.

6. **Revisión del diseño**

Utilizar el modelo para la toma de decisiones, revisión espacial y arquitectónica del edificio.

En el diseño en la construcción hay varios ejemplos, entre ellos se encuentra la construcción del estadio Park Malšovice Arena en República Checa el cual es un estadio multifuncional que alberga distintos eventos deportivos y sociales. Dentro de esta estructura, además del campo y las gradas se encuentra un centro comercial, gimnasio, un restaurante y una sala de atletismo. Debido a la gran cantidad de espacios que tiene se dispuso la metodología BIM principalmente al inicio que se realizaron varios modelos 3D inteligentes para presentarlas al inversor. Sin estos modelados 3D en forma inteligente se hubiese perdido mucho tiempo en la toma de decisiones.

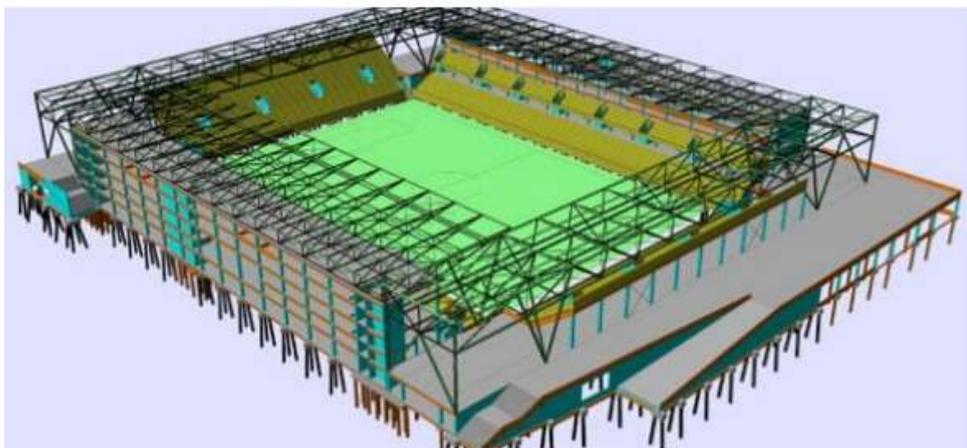


Figura 5: Ejemplo del Estadio Park Malšovice Arena en República Checa. Fuente: AllPlan

7. Validación de códigos

Usar los parámetros de los elementos de modelo para incluir códigos universales que puedan ser reconocidos por procesos industriales de construcción.

8. Sostenibilidad y Evaluación LEED

Usar el modelo para obtener la certificación LEED u otros certificados donde se evalúe la sostenibilidad de lo modelado.

9. Análisis de las ingenierías – estructural, iluminación, energético, mecánico y otros

Usar el modelo para poder realizar análisis, cálculos y estudios relativos a estructuras, instalaciones, estudios energéticos, etc.

10. Análisis de las ingenierías estructuristas

Usar el modelo para poder realizar los análisis, cálculos y estudios de todo lo referido a estructuras.

11. Análisis de las ingenierías de iluminación y electricidad

Usar el modelo para poder realizar los análisis, cálculos y estudios de todo lo referido a electricidad e iluminación.

12. Análisis de las ingenierías de energía

Usar el modelo para poder realizar los análisis, cálculos y estudios de todo lo referido a energía.

13. Análisis de las ingenierías de climatización y mecánica

Usar el modelo para poder realizar los análisis, cálculos y estudios de todo lo referido a climatización y mecánica.

14. Autoría de diseño

Utilizar el modelo para extraer toda la documentación gráfica necesaria para cubrir el alcance del proyecto contratado. Proyecto básico, de ejecución.

15. Coordinación 3D

Utilizar los modelos para la detección de interferencias entre las

diferentes especialidades, permitiendo eliminar los conflictos en fase previa a obra.

16. Control y planificación 3D

Usar el modelo para organizar y decidir la mejor ubicación e instalación concreta de un determinado equipo en obra.

Planificación de tiempos y trabajos para ubicación de dichos equipos.

17. Producción digital

Utilizar la información digital del modelo para procesos de fabricación de elementos constructivos.

18. Diseño en la construcción

Usar el modelo para resolver el diseño de elementos y estructuras complejas en fase de obra.

19. Planificación de implantación en obra

Ubicar y gestionar la implantación en obra de las casetas, vestuarios y maquinaria. Permite también establecer flujo de personal, etc.

20. Registro del modelo

Representar las condiciones físicas de los elementos estructurales, arquitectónicos y MEP. Entrega del modelo *As built* con las instrucciones específicas para la operación y el mantenimiento.

21. Plan de emergencias

Usar el modelo como referencia para los servicios de emergencia en caso de incidencias o para actuar con mayor rapidez y eficacia en caso de cualquier catástrofe.

22. Gestión de espacios

Usar el modelo para organizar la distribución y gestión de espacios del edificio en base a necesidades reales, modificación de usos de espacios, etc.

23. Gestión de activos

Usar el modelo para poder gestionar a corto y largo plazo las repercusiones financieras de cambios físicos en el edificio. Programar dichos costes, con la ayuda del modelo se pueden controlar las inversiones de costes de posibles modificaciones.

24. Análisis de sistema de edificio

Medir el rendimiento de un edificio comparado con lo que se ha especificado en diseño. Control de la energía que se utiliza, análisis de iluminación, control de ventilación, etc.

25. Programación de mantenimiento

Establecer un programa de mantenimiento del edificio o la infraestructura.

En el estadio Wembley en Inglaterra se usó la metodología BIM para la construcción pero también para la gestión y mantenimiento del estadio, además sirve para generar la vista real que se tiene desde los distintos asientos haciendo que el comprador de la entrada del evento pueda tener una sensación real de la visualización desde el asiento seleccionado al momento de la compra como se puede ver en la Figura 6.

The image displays two examples of a ticket purchasing interface. Each example consists of a table header, a table row, and two side-by-side panels: 'Delivery Method' and 'Your View'.

Block	Row	Seat	FAN	Membership	Customer	Type	Price
105	9	72	76523817		Nicolas Ogeda	Adult	£45.00

Delivery Method
E-Ticket (Tickets emailed at a later date) - £1.50

Billing/Delivery Address
Postal Code * N/A
Address 1 * N/A
FIND MY ADDRESS

Your View
A 3D perspective view of the stadium from the selected seat, showing the pitch and surrounding seating.

Block	Row	Seat	FAN	Membership	Customer	Type	Price
238	10	257	76523617		Nicolas Ogeda	Adult	£35.00

Delivery Method
E-Ticket (Tickets emailed at a later date) - £1.50

Billing/Delivery Address
Postal Code * N/A
Address 1 * N/A
FIND MY ADDRESS

Your View
A 3D perspective view of the stadium from the selected seat, showing the pitch and surrounding seating.

Figura 6: Ejemplo de metodología BIM para sacar ticket en el estadio de Wembley.

Fuente :Wembley Park

1.1.8 Entorno de datos compartidos (CDE)

El entorno de datos compartido es una herramienta que proporciona una única fuente de información para recopilar, gestionar y compartir documentos y modelos entre los participantes del proyecto, utilizando un proceso estandarizado. Por lo general, el CDE incluye un sistema de gestión documental donde se puede acceder a la información de manera centralizada, colaborativa y coordinada, lo que facilita la gestión eficiente del proyecto.

A nivel internacional, las normas ISO 19650 partes 1 y 2, y a nivel nacional las homologadas UNIT-ISO 19650-1:2018 y UNIT-ISO 19650-2:2018 estandarizan la estructura CDE, definiendo cuatro estatus para los archivos alojados en el CDE:

- **Trabajo en Progreso**, se usa para la información que está desarrollando un equipo, tales como esquemas, modelos parciales o conceptos en desarrollos.
- **Compartido**, permite el desarrollo colaborativo del modelo de información. La información compartida debe ser visible y accesible por todos pero no editable. Si se requiere la edición debe devolverse al estado de trabajo en progreso para que el autor pueda editarlo.
- **Publicado**, información verificada y autorizada por el equipo de gestión para ser visible para el cliente.
- **Archivado**, Se utiliza para material en desuso o reemplazado, además de para alojar el modelo *As built*.

2. Implementación BIM en construcción edilicia preexistente

2.1 Marco teórico

A continuación se desarrollarán conceptos importantes que se deben conocer cuando se utiliza la metodología BIM.

Nube de puntos

Una nube de puntos es una colección de puntos que representan una forma o un objeto en 3D. Estos puntos son relevados mediante equipos especiales como puede ser un escáner, estos puntos se identifican en el espacio mediante coordenadas cartesianas y están definidos por coordenadas (x, y, z) que indican su posición en el espacio.



Figura 7 : Ejemplo de nube de puntos tomada con lidar, Fuente: Grupo Trato

Gemelo digital

Un gemelo digital se refiere a una réplica digital precisa de un objeto o entorno físico, construida a partir de los datos capturados en la nube de puntos, además también puede ser enriquecido con datos adicionales, como materiales, propiedades físicas, y comportamiento dinámico. El

gemelo digital permite simular el comportamiento de un objeto bajo distintas situaciones, en el caso de un edificio se podría evaluar la resistencia estructural.



Figura 8: Ejemplo de gemelo digital, Fuente: SEYS

Scan to BIM

Scan to BIM es un proceso que traduce modelos digitales de nube de puntos escaneados con láser en plataformas de modelado de información de construcción (BIM) que interpretan los datos y los integran en un sitio 3D o un modelo de construcción para equipos de desarrollo, diseño y construcción. Estos modelos ensamblados rápidamente ofrecen precisión visual y conciencia espacial granular.

Con escáner fijo

El flujo de trabajo comienza con un escáner láser fijado a un trípode, el cual se va moviendo a lugares estratégicos para la captura de datos.

El escáner láser registra puntos en el espacio correspondientes a la geometría del sitio, incluidas paredes, puertas, el plano del suelo y techo,

aberturas y demás objetos, rastreando la posición de cada punto a lo largo de sus ejes x,y,z.

La nube de puntos contiene inmensa cantidad de datos, y se determina la ubicación de los puntos enviando rayo de luz y midiendo la distancia que tarda en rebotar y regresar.

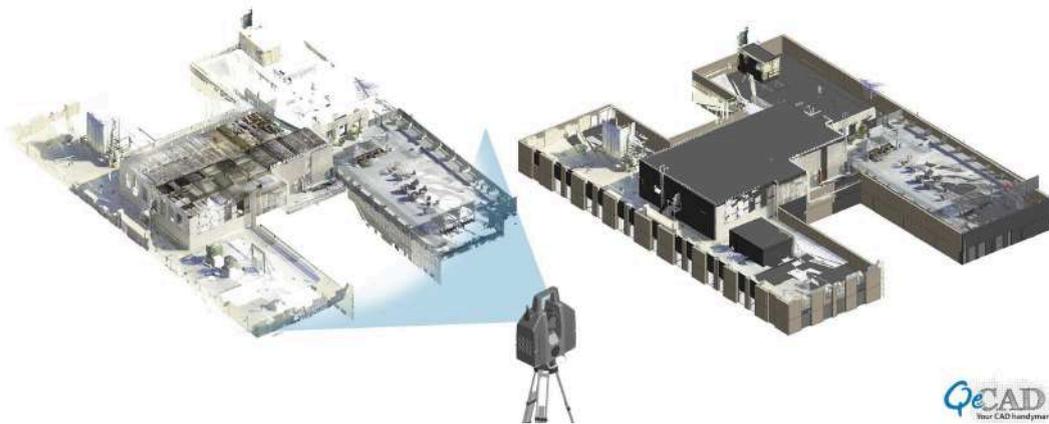


Figura 9: Escáner fijo, Fuente: QECAD

Con escáner de mano

El uso del escáner de mano permite que el operador mueva libremente el escáner, esto puede tener ciertas ventajas como puede ser el énfasis que se le quiere dar a determinadas áreas pero también, en la teoría, pierde un poco de precisión en comparación con el escáner que va sobre un trípode.

En general estos escáneres utilizan la tecnología LIDAR o fotogramétrica para el relevamiento, además algunos permiten visualizar el escaneo en tiempo general y verificar si quedan huecos sin relevar.

De acuerdo a los proveedores de estos instrumentos, la diferencia del relevamiento con escáner de mano es el tiempo de relevamiento y la precisión. En cuanto al proceso del relevamiento de puntos es lo mismo para ambos escáneres y el post proceso también es el mismo.

Luego de obtener la nube de puntos, se carga en uno de los softwares elegidos para el procesamiento de la misma, el primer paso en este procesamiento es la eliminación de errores para no generar falsas representaciones de la zona escaneada.

Luego de esta etapa se comienza a modelar en 3D lo escaneado a partir de la nube de puntos, esto se realiza en un software que permita crear este tipo de modelados como pueden ser el REVIT perteneciente a Autodesk como también puede ser el Bricscad entre otros. A partir de este modelo es que se va a poder aplicar la metodología BIM en la cual los distintos profesionales van a trabajar sobre ella.



Figura 10: Escáner de mano láser Leica BLK2GO. Fuente: geosystems



Figura 11: Escáner de mano láser 3D FJD Trion P1. Fuente: KPN metior

Levantamiento de condiciones existentes

Proceso de desarrollo de uno o más modelos BIM considerando las condiciones actuales de un sitio y/o sus instalaciones y/o un área específica dentro de una edificación o infraestructura. Este modelo se puede desarrollar de múltiples maneras, por ejemplo, a partir de escaneo láser o técnicas de topografía convencionales. Una vez que se construye el modelo, éste se puede consultar para obtener información, ya sea para una nueva construcción o un proyecto de remodelación y/o ampliación.

La generación de este modelo implica una nueva visión del mantenimiento del edificio, lo cual permite una optimización de los recursos económicos y de los tiempos.

Otro punto destacable en el levantamiento de condiciones existentes es que con seguridad se va a tener toda la información que el escáner puede ver con facilidad como la estructura en un solo archivo y actualizado, aunque cuando se necesite la información de objetos ocultos como pueden ser sanitaria o eléctrica no basta con un escáner básico. Si se viera únicamente el plano en 2D podría haber faltante actualizada por lo

que podría generar problemas en una reparación o renovación de algún ambiente de la construcción. El tener un modelo en 3D también genera una fácil interpretación del espacio el cual puede ser interpretado fácilmente por un profesional pero también para los propietarios de la construcción los cuales podrían no tener el conocimiento necesario como para interpretar un plano.

2.2 Softwares analizados para su uso práctico

Existen varios softwares para el procesamiento de nube de puntos y modelado de SCAN TO BIM, a continuación se presentan aquellos softwares que fueron analizados para su utilización en el marco de este proyecto de grado.

Revit

“Revit es un software de diseño inteligente de modelado BIM para arquitectura e ingeniería, que facilita las tareas de diseño de proyecto y los procesos de trabajo. Este software utiliza objetos inteligentes (familias paramétricas) y modela en 3D a medida que se desarrolla el proyecto.”

Revit es un software de pago, perteneciente a la empresa Autodesk, el cual se considera el más utilizado a nivel mundial para el desarrollo de proyectos BIM.

El software REVIT permite :

- Modelar formas, estructuras y sistemas en 3D con exactitud paramétrica, precisión y facilidad.
- Agilizar la gestión de proyectos con revisiones instantáneas de planos, elevaciones, planificaciones y hojas.
- Combinar equipos de proyectos multidisciplinarios para que sean más eficientes, colaborativos e influyentes.

Se puede manipular un proyecto desde varias vistas como pueden ser cortes de planta, planos estructurales, elevaciones, vistas en 3D. Estas vistas ayudan al usuario a tener un gran flujo de información desde la creación del proyecto hasta su implementación.

Además de permitir el modelado 3D del proyecto, puede generar un archivo que contenga todos los datos necesarios para el mantenimiento del edificio.

El software REVIT tiene la gran ventaja que tiene una conectividad con las distintas dimensiones de un proyecto BIM como pueden ser:

- Programas de planificación de obra.
- Estimación de costes.
- Análisis energético.
- Software de Facility Management en fase de uso.
- Herramientas digitales para el análisis de ciclo de vida.

¿Cuál es la diferencia entre REVIT y AUTOCAD?

La mayor diferencia es que AutoCAD es un software de diseño CAD y Revit es un software para BIM. Mientras que AutoCAD es una herramienta de dibujo general con una amplia gama de aplicaciones, Revit consiste en una solución de diseño y documentación que abarca cada una de las fases y disciplinas involucradas en un proyecto de construcción.

Generalmente estos softwares se complementan en un mismo proyecto para trabajar distintos aspectos del mismo. El revit permite cargar archivos DWG y DXF utilizados previamente en AutoCAD.

Recap

Recap es una aplicación perteneciente a Autodesk que sirve para crear modelos 3D a partir de información ya escaneada o para limpiar, organizar y visualizar sets de datos masivos de una nube de puntos

Permite a los usuarios importar, visualizar y editar una nube de puntos generando así los modelos 3D.

El precio de lista de este software ronda los USD 400 por año; además de ser un precio elevado, no hay posibilidad de adquirir una licencia perpetua. Como gran ventaja a destacar, al ser una aplicación perteneciente a Autodesk, permite un amplio tipo de archivos de salida de datos que permiten la fácil adaptación con los demás softwares como AutoCAD o Civil 3D.

Trimble RealWorks

Es un software desarrollado por la empresa Trimble “proporciona un conjunto de herramientas especializadas en el proceso y análisis de nube de puntos, incluyendo clasificaciones automáticas de nube, herramientas de dibujo, y un conjunto de herramientas específicas de inspección y análisis de nube de puntos en relación a modelos 3D de diseño.” Este software a pesar de ser desarrollado por una empresa que también tiene equipos de escaneo es compatible con equipos de distintas fabricación como pueden ser Leica o Topcon.

Agisoft Metashape

“Agisoft Metashape es un software independiente que realiza el procesamiento fotogramétrico de imágenes digitales y genera datos espaciales 3D para ser utilizados en aplicaciones SIG, documentación del

patrimonio cultural y producción de efectos visuales, así como para mediciones indirectas de objetos de diversas escalas.” En comparación con muchos de los programas que actualmente están en el mercado su precio es inferior a estos.

Una gran ventaja que tiene este software es que a partir de un mismo punto de coincidencia se pueden hacer la correspondencia de imágenes, aunque en este caso no será necesario debido a que el equipo utilizado lo hace automáticamente.

Cloud Compare

CloudCompare es un software de código abierto el cual sirve para el procesamiento de nubes de puntos 3D (y mallas triangulares). Fue diseñado originalmente para realizar comparaciones entre dos nubes de puntos 3D densas. La gran ventaja de este software es que es gratuito, por lo que compensa su interfaz un poco antigua con su precio.

BricsCAD BIM

Es un software desarrollado por el grupo Bricsys el cual trabaja con archivos del tipo DWG por lo que se puede integrar a Autocad. Permite modelar y crear geometría en 3D y a partir de estructuras en 3D se pueden generar planos en 2D como los son los cortes y las secciones. El uso de BIM se puede agregar en cualquier momento y no desde un comienzo como otros softwares.

Además existen otros softwares para la utilización de la herramienta BIM como pueden ser:

- ARCHICAD (Graphisoft)
- ALLPLAN (Nemetschek)

- AECOSIM (Bentley Systems)
- VECTORWORKS (Nemetschet)
- EDIFICIUS (Acca software)

2.3 Instrumental utilizado en trabajo de campo

Escáner Láser Trimble X7

Trimble X7 es un escáner láser de alta velocidad y precisión para el levantamiento de nubes de puntos.

Cuenta con una unidad de medición inercial (IMU) y un sensor de nivelación automática que permiten el **registro automático** de los escaneos en campo, sin necesidad de colocar objetivos. Esto agiliza el proceso de captura de datos en terreno.

Con el software Trimble Perspective instalado en la controladora o tablet permite visualizar los escaneos 3D en tiempo real durante la captura de datos, lo que facilita la verificación de la cobertura y calidad de los datos recolectados.

Posee un sensor de autonivelación de un rango de 10° y precisión de 3" (0.3mm @ 20m).

Cuenta con un modo de escaneo de alta sensibilidad que mejora la captura de datos en superficies oscuras y brillantes.

El rango de medición es de 0.6-80 m con precisión 3D.

Los formatos de archivos descargables:

- Formatos nativos de Trimble, son formatos que contienen las coordenadas x, y, z, la reflectividad y el color, así como la posición del escáner.

- .rwp (Real Works Project, proyecto de nube de puntos creado desde el software de Trimble).
- Formatos nativos Lidar: .las y .laz, archivos con información de las coordenadas de los puntos de la nube de punto así como la reflectividad y el color de los mismos.

El modo de generar la nube de puntos consiste en un barrido láser del escáner, que mediante la emisión de un haz permanente, se proyecta con aquella superficie que está dentro de su alcance. Durante dicho barrido se va almacenando información de valores XYZ y de color RGB de cada punto registrado.



Figura 12: Escáner láser fijo Trimble X7.

3. Ejercicio de aplicación

3.1 Metodología

El primer paso consistió en el escaneo tridimensional de la construcción existente utilizando tecnología de escáner láser. Esto permitió capturar con precisión la geometría y la apariencia del edificio, para luego generar un modelo detallado.

En la actualidad no existe procedimiento estándar para el escaneo láser terrestre, pero si se debe planificar y seguir algunas pautas de trabajo como:

- Análisis previo del área a relevar.
- Procedimiento de campo.
- Gestión de datos.

3.1.1 Planificación previa:

En primer lugar se decidió la zona de escaneo, las salas correspondientes al departamento de geomática, los baños del instituto y la cocina, además del tramo de pasillo que corresponde a este espacio, dado que son lugares representativos de elementos constructivos, de sanitario y eléctrica.

Para definir las posiciones donde estacionar el escáner se tuvieron en cuenta:

- Cubrir la mayor área posible sin obstáculos en la línea de visión, la menor cantidad de sombras posibles y la cantidad de estaciones por pieza que se harán.
- Comprobar que se cumplan los alcances mínimo y máximo para la precisión requerida. Teniendo en cuenta que cuanto mayor sea la distancia al objeto, menor será la precisión y la resolución.

Se analizó también cuáles puntos se iban a tomar como puntos de referencia, dentro de los que ya existen en el instituto, y donde faltaban marcar puntos, para luego relevarlos en el momento del escaneo así como con estación total, de manera de poder atar los distintos relevamientos.

La primera intención de la práctica era realizar un escaneo del edificio, y luego relevar por otro método los servicios y canalizaciones empotradas en las paredes. Debido a que no se pudo conseguir el instrumental necesario para esto, se optó por realizar únicamente el escaneo.

3.1.2 Procedimiento en campo:

Dado que el objeto de estudio intervenía varias instalaciones dentro del Instituto se debieron realizar trece estaciones del escáner como se muestra en la figura 13.



Figura 13: Posiciones de las estaciones de escáner láser Trimble X7.

Se procedió a estacionar el escáner de manera similar que una estación total, se abre el trípode y se coloca el instrumento a una altura próxima a los ojos, ó en una posición óptima para el levantamiento de puntos de interés.



Figura 14: Proceso de escaneado, estacionado y captura de puntos con lidar. Fuente:
Creación propia

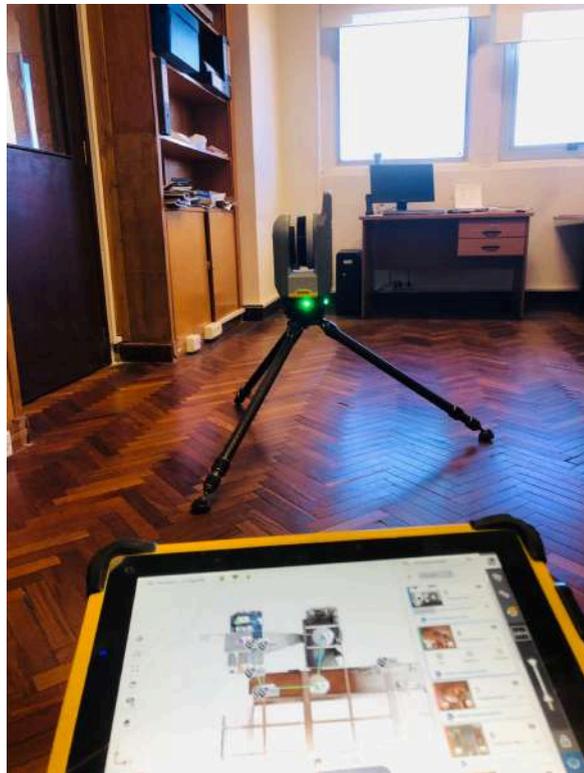


Figura 15: Proceso de escaneado, escáner y tablet. Fuente: Creación propia

En la tablet o controladora se conectó el escáner a través de la red de internet. Se buscó la red Wi-Fi del Trimble X7 en la controladora y se conectó a ella. Se creó un proyecto y se configuraron los parámetros (nombre del proyecto, ubicación, etc.). Seguido de esto se definieron los parámetros del escaneo, como la resolución y el rango de escaneo, para este proyecto se tomaron puntos a un alcance máximo de 20 metros lineales, dado que las habitaciones se escanean de manera independiente por su geometría y el pasillo no comprendía en su totalidad, era más que suficiente dicho alcance.

Colocando el escáner en la posición deseada, se inició el escaneo desde el software Trimble Perspective.

El escáner comienza a capturar datos láser de la escena, finalizado el escaneo, se toman fotografías del mismo lugar. En la siguiente estación del escáner se debe tomar en cuenta que debe tener elementos en común con la anterior, de esta forma, se puede registrar los distintos escaneos. A modo de ejemplo si se toma una habitación desde afuera y se visualizan suficientes elementos, cuando se coloque (o instale) el escáner dentro de la habitación se puede escanear con la puerta cerrada y ubicarse el relevamiento con los elementos dentro de esta.

Otro punto a destacar es que los espejos crean un gemelo de la habitación a través de su reflejo, lo que podría generar problemas si no se toma en cuenta previamente.

Teniendo en cuenta esto al momento de escanear desde la primera estación del escáner, se levantó él mismo y se movió a una nueva zona de interés, así repetidamente, hasta completar toda el área de interés.

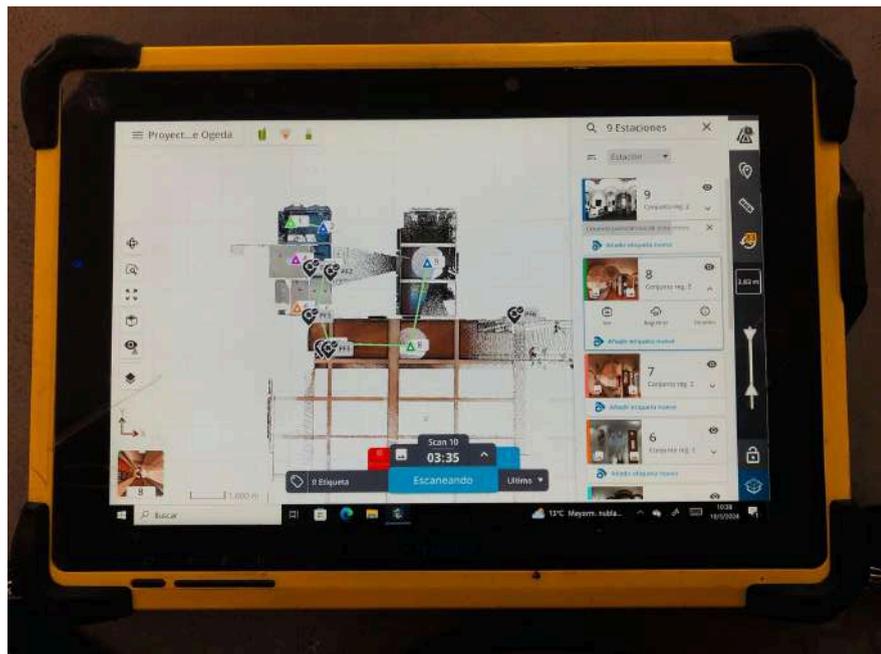
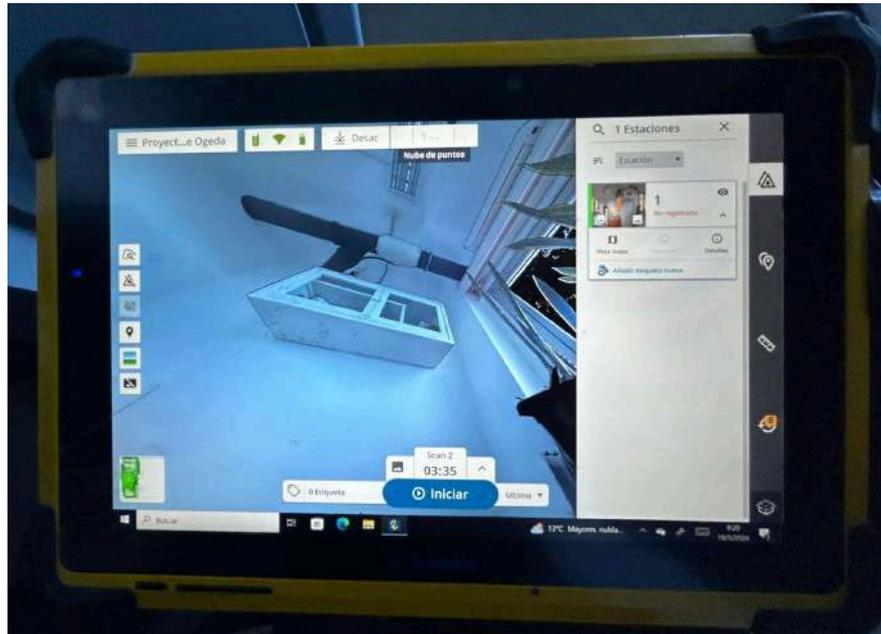


Figura 16: Tablet en proceso de escaneo, imagen superior muestra la captura de imagen y la inferior proceso de escaneo con los escaneos registrados in-situ. Fuente: Creación propia.

El software Trimble Perspective permite ir registrando los distintos escaneos, e ir viendo los resultados en sitio. Con la controladora o tablet también se procedió a tomar puntos de referencia ya marcados en el instituto para posterior trabajo en gabinete.

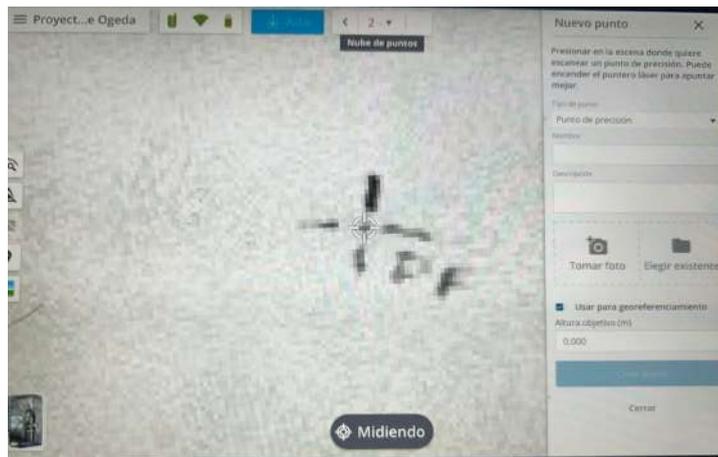


Figura 17: Captura de punto de referencia en tablet. Fuente: Creación propia



Figura 18: Captura de punto de referencia con escáner. Fuente: Creación propia.

Una vez terminados los escaneos y registrados se procedió a exportar los datos en formatos compatibles con otros softwares de modelado y análisis (por ejemplo, .las, .rcp).

Se contabilizó el tiempo que demora cada escaneo, el cual corresponde a 4 minutos de escaneo y toma de fotografía, con un total de 13 escaneos, por lo que se estimó un tiempo total de 52 minutos de trabajo en campo.

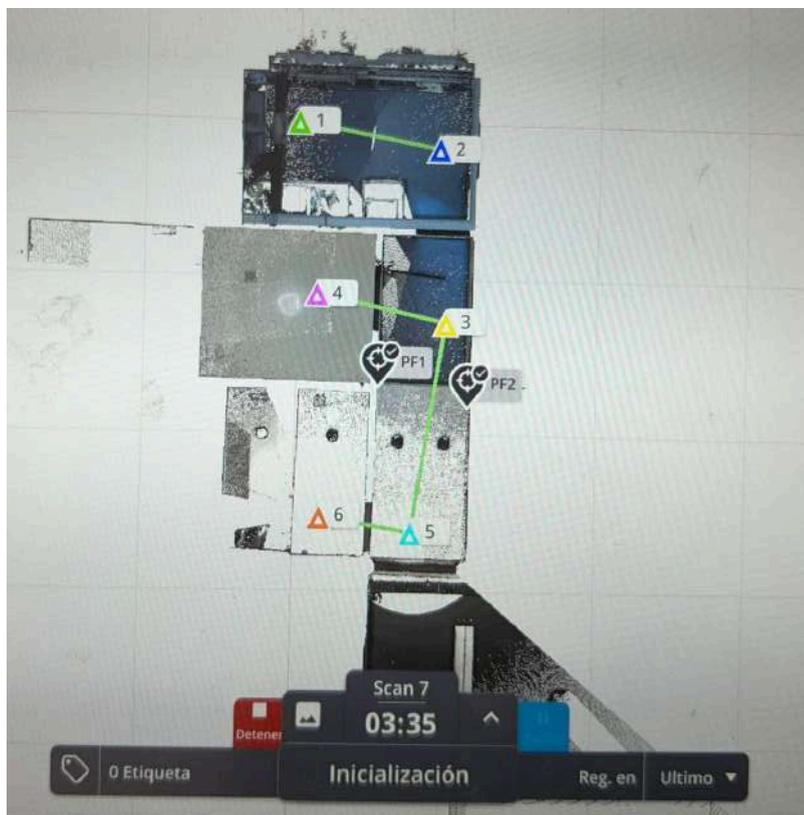


Figura 19: Pantalla de tablet con tiempo de proceso de escaneo y escaneos registrados in-situ. Fuente: Creación propia.

3.1.3 Gestión de datos:

Una vez descargados los datos del escaneo se procedió a realizar la gestión de datos en gabinete, para ellos se importó la nube de puntos a un software de procesamiento de nube de puntos y se comenzó a procesar.

En una primera etapa se depuro la nube de puntos, eliminando objetos que no son necesarios o ruidos que se generan en el levantamiento de datos. En la figura 20 se puede ver el gemelo creado a partir del espejo de uno de los baños, estos puntos se eliminan en esta primera etapa de depuración así como también los puntos que se toman por fuera del área delimitada de trabajo.

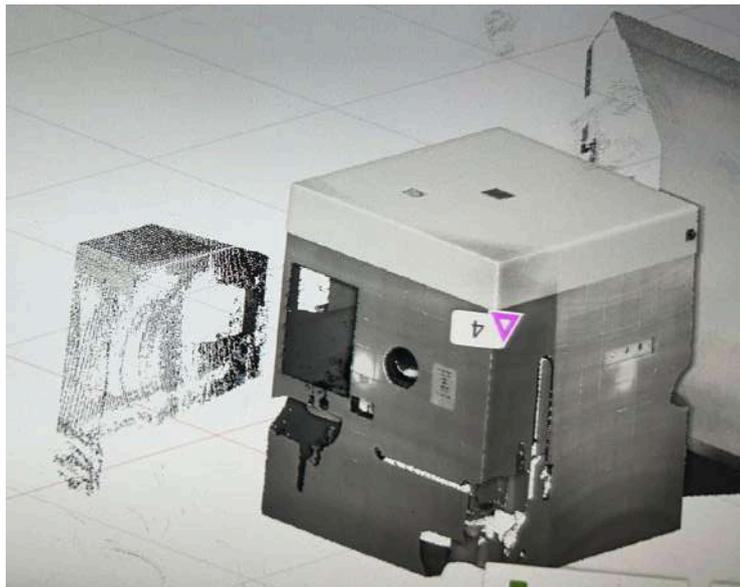


Figura 20: Pantalla de tablet donde se aprecia el efecto de gemelo que genera el espejo del baño. Fuente: Creación propia.

Cada posición de escaneo tiene su color, se puede apreciar que donde un color se sobrepone con otro es lo que se conoce como traslape y es lo que permite hacer el registro de la nube de puntos. (Proceso que se generó en la tablet).

El escáner Trimble X7 tiene incorporada una cámara con la cual se captura el color del punto, facilitando la visualización en escritorio de la nube.

El total de puntos tomados en sitio fue de 126.375.870 millones de puntos como se puede ver en la figura 21.

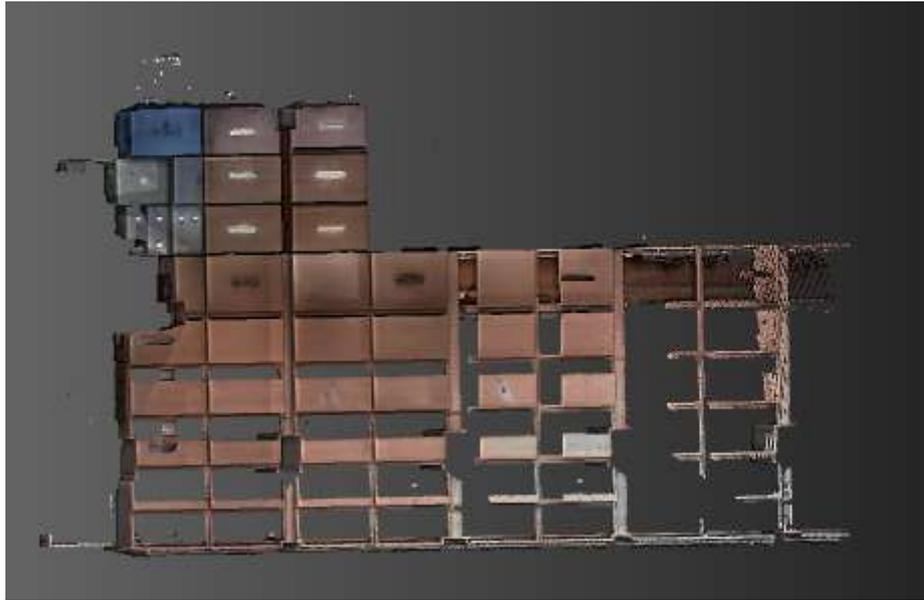


Figura 21: Pantalla de software trimble realworks view con la nube de puntos cruda.

Fuente: Creación propia.

Complementando lo anterior, los softwares tienen la capacidad de mostrar de distintas maneras los puntos en color real, por escaneo, por estación, por intensidad, por elevación, lo cual sirve como referencia para evaluar la calidad de la nube de puntos.

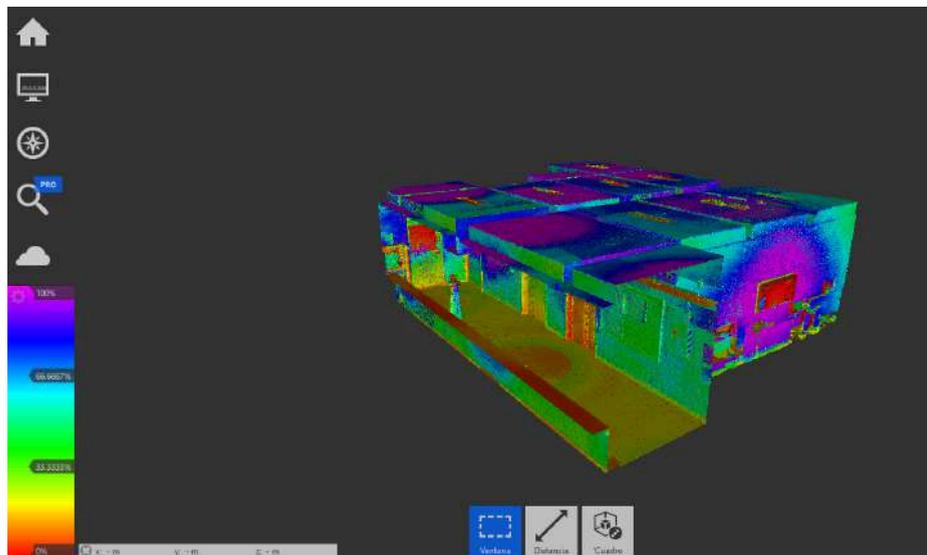
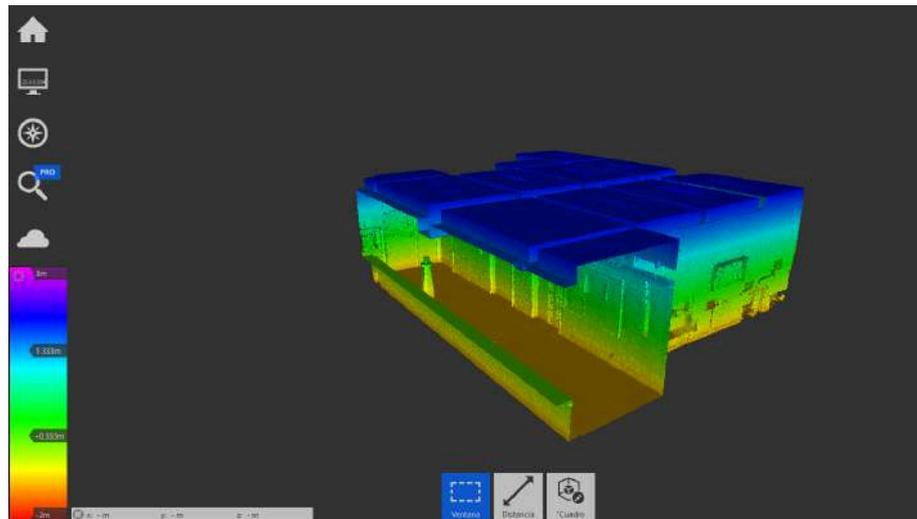


Figura 22: Nube de puntos arriba representación por alturas, abajo por intensidad de los puntos en el software Recap. Fuente: Creación propia.

Para no trabajar con toda la nube de puntos, sino solo con el área de interés, se procedió a la segmentación de la nube de puntos original, con la herramienta de segmentación en Trimble Realworks se recortó la nube de puntos con el área de interés. Quedando un total de 111.055.920 millones de puntos.

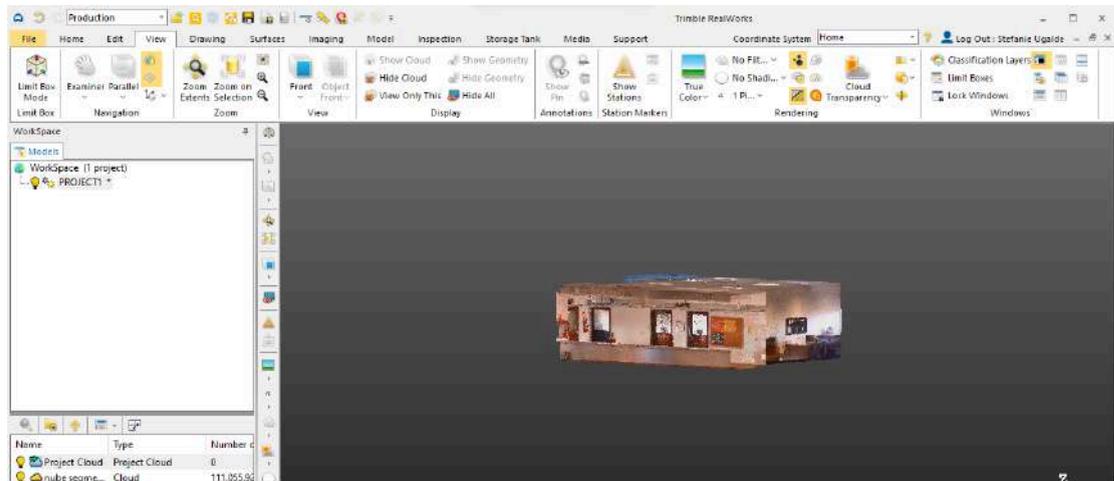


Figura 23: Nube de puntos segmentada en Trimble Realworks .Fuente: Creación propia.

Para eliminar los ruidos dentro del levantamiento como pueden ser mobiliarios, instrumental o computadoras, se clasificó la nube de puntos con una herramienta, dentro del software Trimble Realwork, llamada 'Clasificar nube de puntos'. Esta herramienta clasifica de forma automática los objetos que detecta, se generan cuatro regiones, techos, muros, piso y restante, con el objetivo de facilitar el modelado de la construcción existente sobre la nube de puntos.

Clasificación de la nube segmentada, con la cual se trabajó de aquí en adelante.

Hay dos opciones de autoclasificación, dependiendo de la zona en la que estemos:

1. Interior
2. Exterior

Esta autoclasificación separa la nube de puntos en varias capas, al haber trabajado en el interior se separa en Piso, Techo, Paredes y Restante, como se aprecia en las figuras 24 a 27.

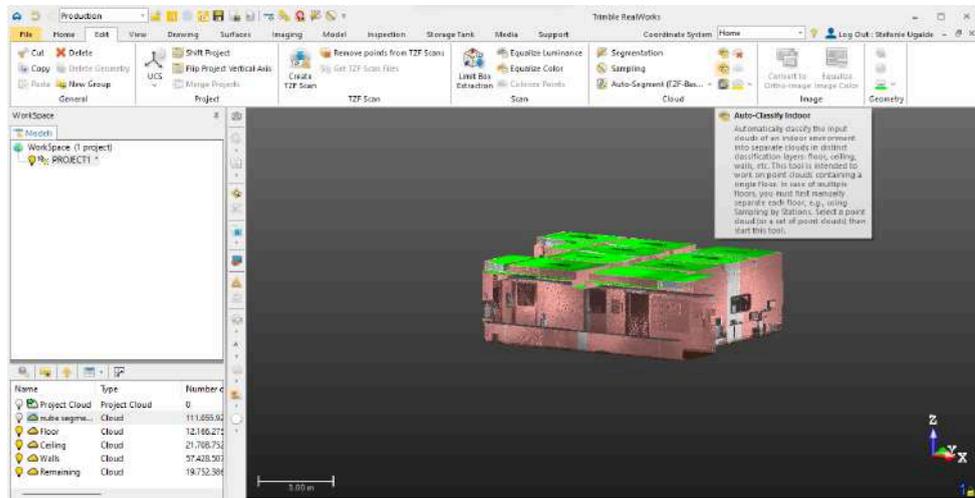


Figura 24: Nube de puntos clasificada en Trimble Realworks. Fuente: Creación propia.

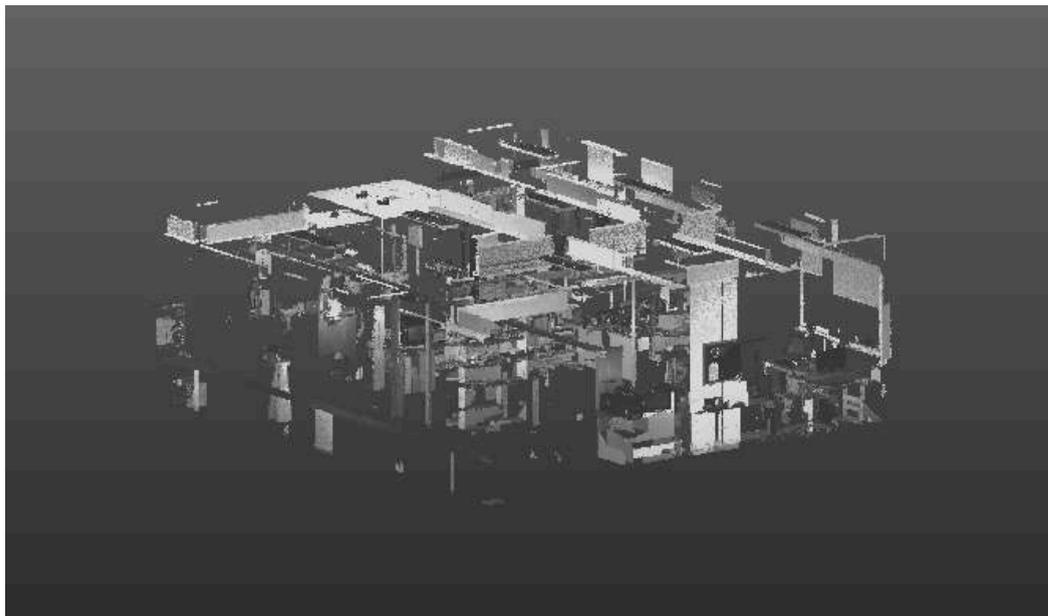


Figura 25: Clasificación automática como remanente en Trimble Realworks. Fuente: Creación propia.



Figura 26: Clasificación automática como paredes en Trimble Realworks. Fuente: Creación propia.

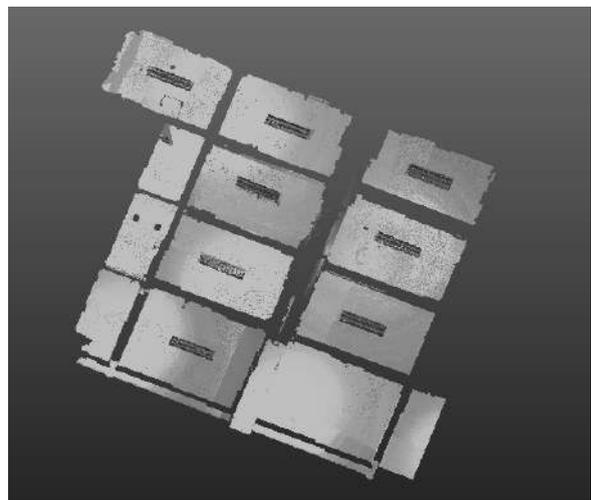
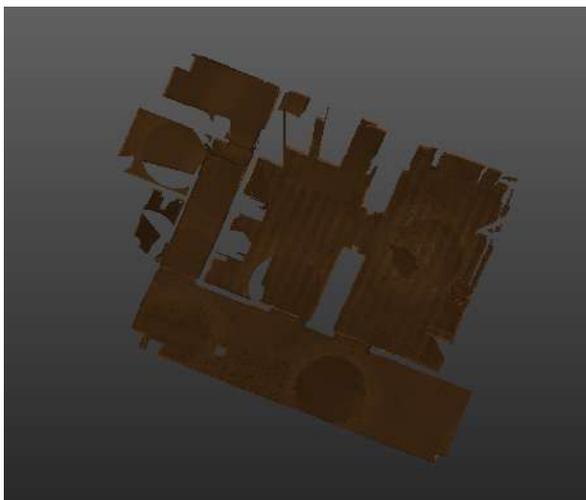
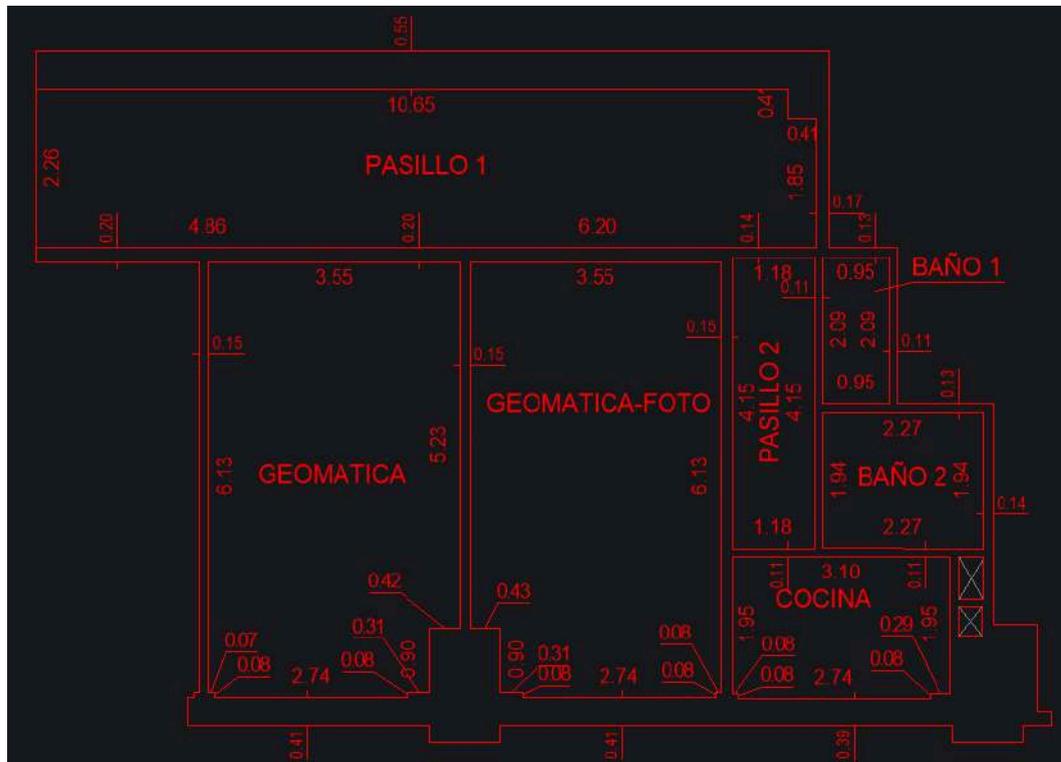


Figura 27: Clasificación automática, a la izquierda los pisos y a la derecha los techos, en Trimble Realworks. Fuente: Creación propia.

Para modelar se usó el software Revit de Autodesk y planos del instituto de Agrimensura, estos últimos proporcionados por Adrian Santos quien forma parte del plan de obras de la facultad de Ingeniería.



PLANILLA DE AREAS (en m ² y dm ²)							
PLANTA	NIVEL	UNIDAD	PROP. INDIV.	EDIF.	LIBRE	TOTAL EDIF.	OBSERVACIONES
IA		GEOMATICA		21.60			
		GEOMATICA - FOTO		21.60			
		BAÑO 1	1	1.99			
		BAÑO 2	2	4.40			
		PASILLO 1	1	24.82			
		PASILLO 2	2	4.90			
		COCINA		6.26			
		Totales		0.00	85.57	0.00	85.57

Figura 28: Plano de parte del instituto de Agrimensura. Fuente: Adrian Santos

3.1.4 Modelado en Revit:

Para generar el modelo detallado a partir de la nube de puntos se procedió de la siguiente manera.

En primer lugar, se creó un nuevo proyecto en Revit.

Luego se cargó la nube de puntos desde la herramienta 'insertar' en la barra superior, en la sección nube de puntos. Una vez insertada la nube de puntos se debió alinear a la vista de pantalla, para ello se generó una línea auxiliar que sirvió de base para mover y rotar la nube de puntos hasta que quedara ajustada a la vista.

Antes de comenzar a modelar se generaron los distintos niveles de lo construido, los cuales se corresponden con las distintas alturas del proyecto. Las vistas en Revit responden a un nivel, por lo que es necesario definir las antes de empezar a modelar. Por defecto se generan dos niveles en el software los cuales fueron ajustados para poder empezar a trabajar.

Revit permite crear nuevos niveles de trabajo, para ello se debió crear previamente secciones en las cuales se generaron estos nuevos niveles, completando un total de 4 niveles de alturas; nivel 1 correspondiente al piso, nivel 2 altura del cielorraso de los techos de baños, nivel 3 base de las vigas y finalmente nivel 4 altura del techo.

Las secciones, además de ser necesarias para crear nuevos niveles, son útiles para ajustar lo que se va modelando, teniendo más detalle de sectores específicos.

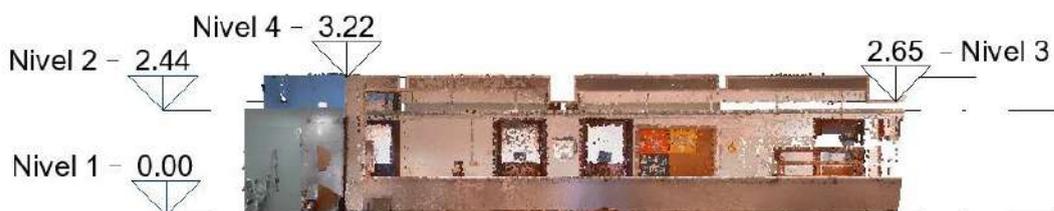


Figura 29: Niveles de trabajo, vista de perfil de la nube de puntos. Fuente: Creación propia.



Figura 30: Vista de planimetría, con muros, aberturas y la nube de puntos. Fuente: Creación propia.



Figura 31: Vista de sección desde el pasillo. Fuente: Creación propia.

Para comenzar se modelaron los muros de los baños, desde el nivel 1 al nivel 2, con la herramienta de muros en la pestaña 'Arquitectura' en la barra superior. Se seleccionó el tipo de muro, las propiedades, materiales y dimensiones. Revit ofrece varios tipos de muros en su biblioteca o se puede definir los tipos de muros de acuerdo a especificaciones.

En la vista seleccionada, en este caso en el nivel 1, haciendo uso de la herramienta de dibujo se creó el contorno del muro marcando la posición de inicio y fin desde la nube de puntos, como también la línea de ubicación y la altura, la cual puede ser detectada por el propio software o seteada según los niveles que se quieran conectar en el modelo. Luego de dibujar el contorno, Revit crea automáticamente el muro pudiendo ajustar las propiedades, altura, ancho y material.

Este procedimiento se replicó con todos los muros de la nube, tanto externos cómo internos.

Una vez que se tuvieron todos los muros dibujados y ajustados, se procedió a modelar las aberturas. Para ello con la herramienta 'Ventana' y 'Puerta' en la misma sección de arquitectura, se realiza el mismo procedimiento que para modelar los muros. Se seleccionó el tipo de abertura y se configuraron las propiedades, desde la vista seleccionada, se colocaron las aberturas arrastrandolas desde la paleta de elementos hasta la posición deseada.

Una vez modelados los muros y aberturas, se continuó modelando las vigas desde la vista de nivel 4 con la herramienta 'Viga' en la sección estructural, al igual que el resto de los elementos se configuraron las propiedades y se seleccionó la ubicación inicial y final dentro de la nube de puntos donde quedará emplazada la viga.

Para el ajuste de los elementos modelados se fueron realizando cortes de secciones donde se superpone la nube de puntos con el modelo .

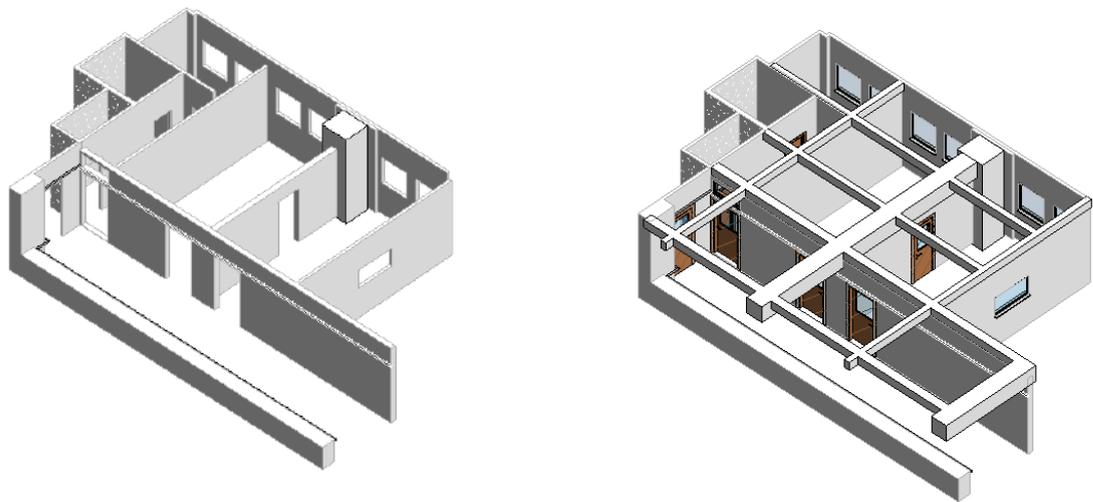
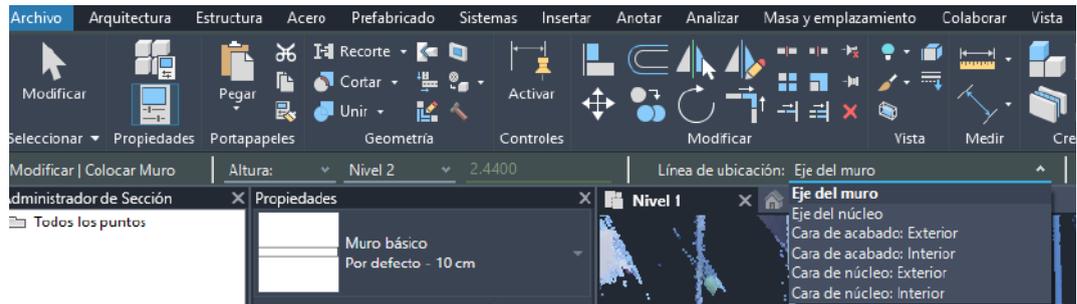


Figura 32: Proceso de modelado y barra de herramientas de Revit. Fuente: Creación propia.

Una vez modelados todos los elementos estructurales, se procedió a modelar el techo y el suelo. Desde la barra superior, en la sección Arquitectura, tanto con la herramienta 'Suelo' como con la herramienta 'Techo' se modelaron los mismos. Para ello se determinaron en el nivel 1 los polígonos que delimitan el suelo y, en el nivel 2 y nivel 4, los polígonos que delimitan los techos. Las herramientas generan automáticamente ambos elementos, pudiendo darle sus propiedades como para los elementos anteriormente modelados.

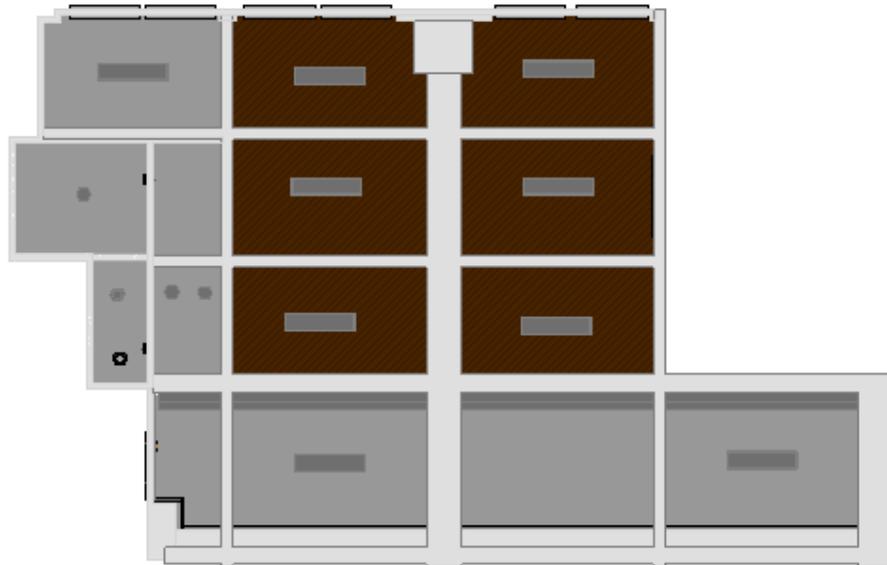


(a)

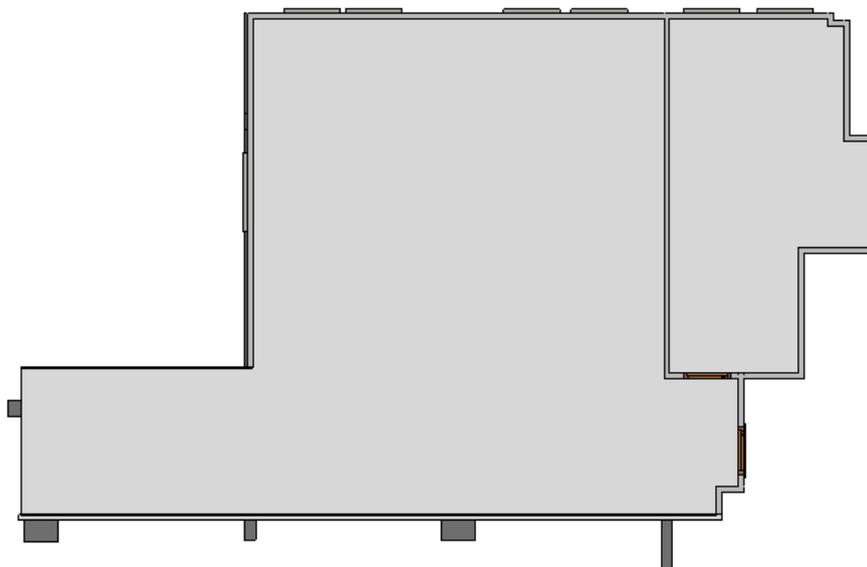


(b)

Figura 33: Vista superior del modelo donde se muestra el techo (a), y debajo vista de suelo (b). Fuente: Creación propia.



(a)



(b)

Figura 34: Vistas desde el modelo del nivel inferior nivel de suelo, vista desde arriba (a) vista de abajo (b). Fuente: Creación propia.



Figura 35: Vista superior del modelo donde se muestran los pisos. Fuente: Creación propia.

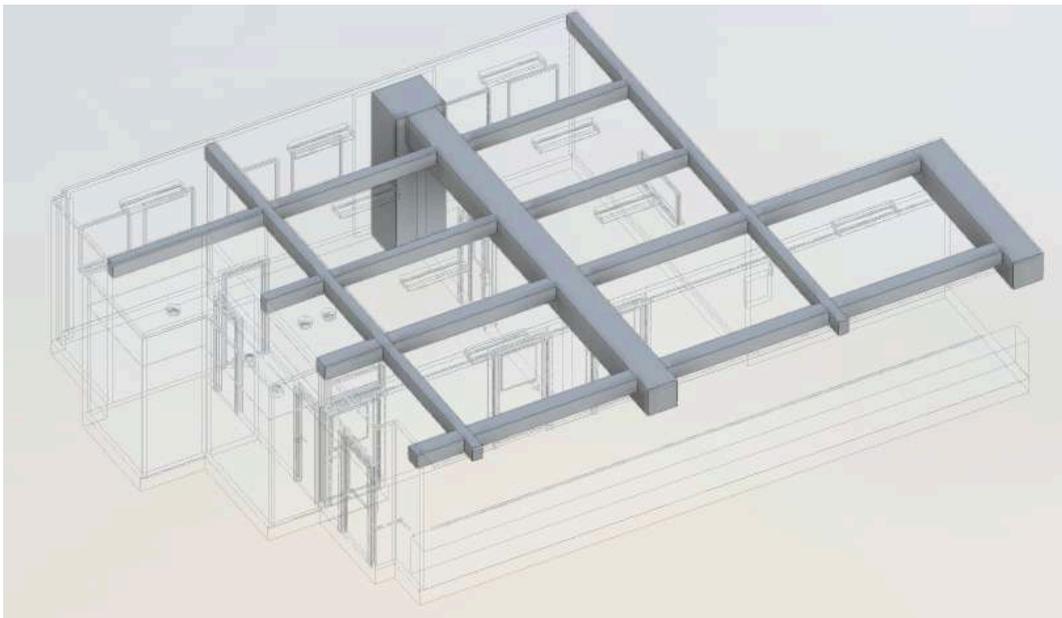


Figura 36: Vista de vigas estructurales. Fuente: Creación propia.

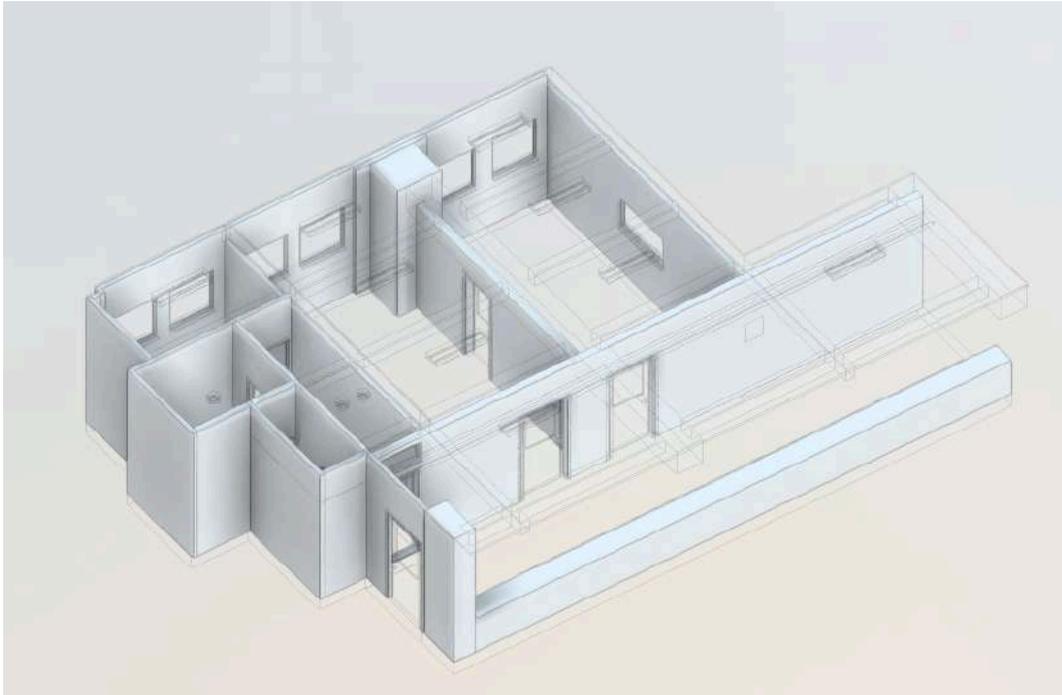


Figura 37: Vista de muros estructurales. Fuente: Creación propia.

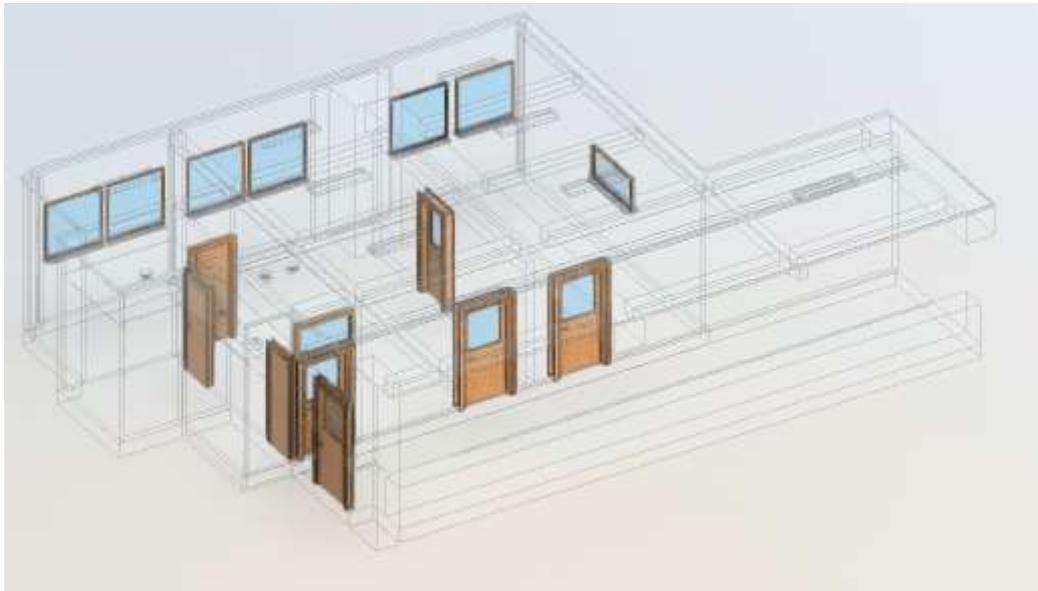


Figura 38: Vista de aberturas. Fuente: Creación propia.



Figura 39: Vista de pisos y techos. Fuente: Creación propia.

El modelado de las instalaciones sanitarias y eléctricas se realizó desde una planilla de fontanería y eléctrica respectivamente.

Las instalaciones a nivel sanitario se diferencian por sistemas según los colores, azul tuberías de agua fría, en rojo tuberías de agua caliente y en verde lo que corresponde a desagües. Para modelar estas instalaciones existen normativas de sanitaria y eléctrica, las cuales no serán tratadas en este documento por excederse del objetivo planteado. Es posible que en algunos casos el modelo no se ajuste a dichas normativas, ya que el enfoque que se pretendió fue representar una integración de datos dentro de la metodología colaborativa.

Desde la pestaña importar seleccionamos vincular con archivo revit donde vinculamos el modelado arquitectónico al nuevo proyecto de sanitaria.

El vincular los archivos da la posibilidad que al momento de modificar el archivo de arquitectura instantáneamente se pueda ver reflejado en el modelado de sanitaria.

Quedando como una imagen de segundo plano, la cual no puede ser modificada.



Figura 40: Herramienta para vincular archivos Revit. Fuente: Creación propia.

Se comenzó por modelar los artefactos de baño, Revit cuenta con una biblioteca de familia de elementos tanto para el área de construcción, como artefactos de distintas índoles, fontanería, eléctrica, mobiliarios y más.

Dentro de la herramienta 'Sistemas', 'Fontanería', 'Instalaciones de fontanería' se agregaron los artefactos del baño. Puede que en la biblioteca no se encuentre el modelo de artefacto que se desea, por lo que es necesario descargar el modelo de alguna página web que lo proporcione y, con la herramienta de 'Insertar', 'Cargar familia' cargar dicho elemento.



Figura 41: Barra de herramientas disponibles en la sección "Sistemas" para fontanería.

Fuente: Creación propia.

Seguidamente se modelaron todas las instalaciones sanitarias de baños y cocina. Dentro de las mismas herramientas de fontanería, se pueden diseñar las tuberías. Para ello se utilizó como base los planos del Instituto proporcionados por Adrian Santos quien es asistente académico del plan

de obras de la facultad de Ingeniería, que tenían graficadas dichas instalaciones.

Los planos además de ser el insumo utilizado para modelar las instalaciones eléctricas y sanitarias, fueron el insumo para contrastar anchos de muros modelados en base a la nube de puntos, como también de áreas y deslindes.



Figura 42: Vista de artefactos y tubería sanitaria . Fuente: Creación propia.

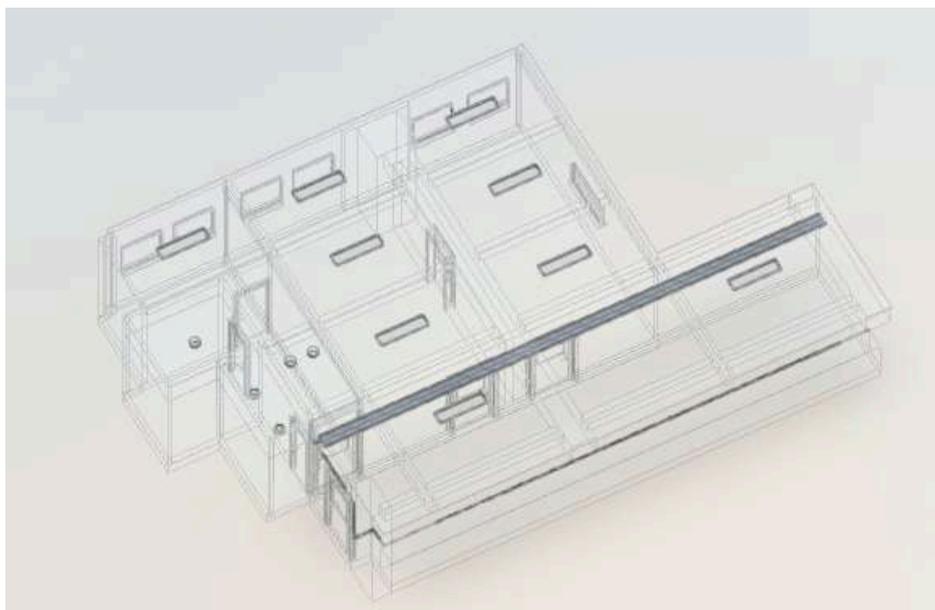
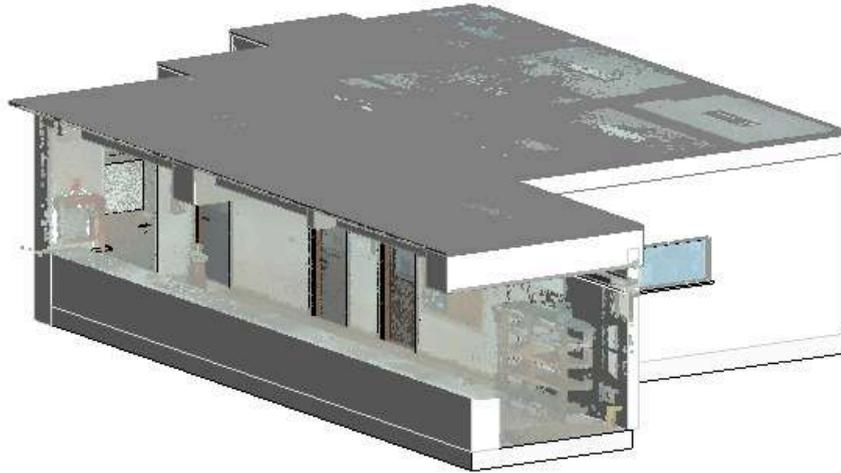
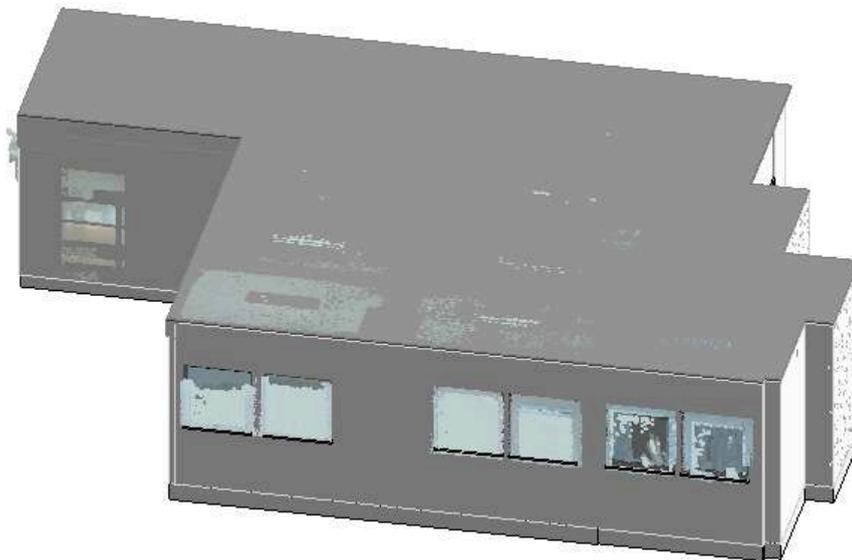


Figura 43: Vista de luminaria, eléctrica, bandeja de cables y equipos eléctricos. Fuente: Creación propia.



(a)



(b)

Figura 44 : Modelo terminado, superpuesto con la nube de puntos, vista desde el pasillo de entrada (a), vista desde ventanas de salones y cocina (b), Fuente: Creación propia.

3.2 Análisis de resultados

Como resultado se obtuvo un modelo detallado de lo existente en la zona relevada dentro del instituto de Agrimensura.

Como se aprecia en la tabla 1, los tiempos estimados entre trabajo de campo y gabinete fueron de 153 horas. Este tiempo se divide en escaneo de la edificación a modelar. Estudio y análisis del funcionamiento del software de procesamiento, depuración de la nube de puntos y modelado de la edificación existente. Por otro lado, tanto los tiempos de depuración de nube de puntos como de modelado también contabilizan tiempos de capacitación en los distintos software utilizados.

Tabla 1: Tiempos de procesos

Procesos	Tiempos (hs)
Escaneo	3
Depuración de nube de puntos	30
Modelado	120

Fuente: Creación propia en base a medidas tomadas en el trabajo de este proyecto.

En la siguiente figura 45 se muestra la nube de puntos superpuesta con el modelo, se aprecian las paredes del instituto en una tonalidad rosada en la nube de puntos y en gris en el modelo. Se visualizan las puertas de las oficinas y algunas de las vigas del pasillo como van calzando el modelo con la nube de puntos. Por último, se nota como la parte estructural coincide todo entre lo relevado con el escáner y lo modelado en gabinete.



Figura 45: Comparativo entre modelo, superpuesto a la nube de puntos, en el proceso de modelado. Fuente: Creación propia.

En tanto las figuras 46 y 47 muestran el resultado del modelo vs la realidad. Se ve que en la parte estructural y la eléctrica a la vista coincide la realidad con el modelo, pero aclarando siempre que hay que eliminar los objetos que no pertenecen a estos grupos mencionados anteriormente como pueden ser la cartelera o los artículos de bomberos. Dos detalles a destacar en esta comparativa son primeramente que se buscó un diseño de puerta que coincida con los que hay actualmente en el instituto para aproximarse aún más a la realidad y el otro detalle es que sobre las puertas hay un soporte que contiene muchos cables, a la hora de modelar se optó por realizar este soporte únicamente y no cada cable que había.



Figura 46: Comparativo entre modelo y foto del instituto. Fuente: Creación propia.

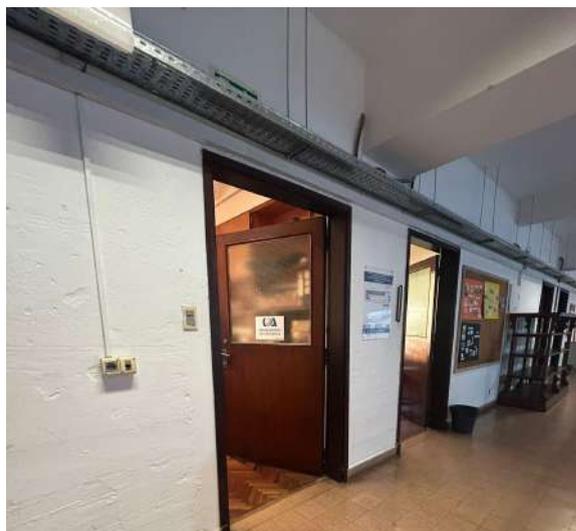
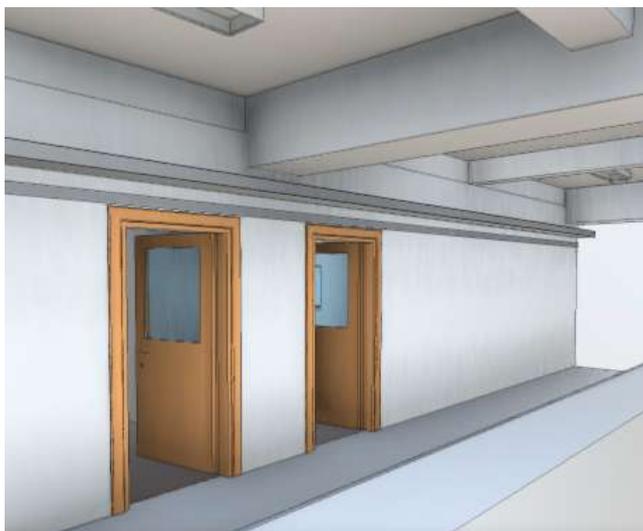


Figura 47: Comparativo entre modelo y foto del instituto. Fuente: Creación propia.

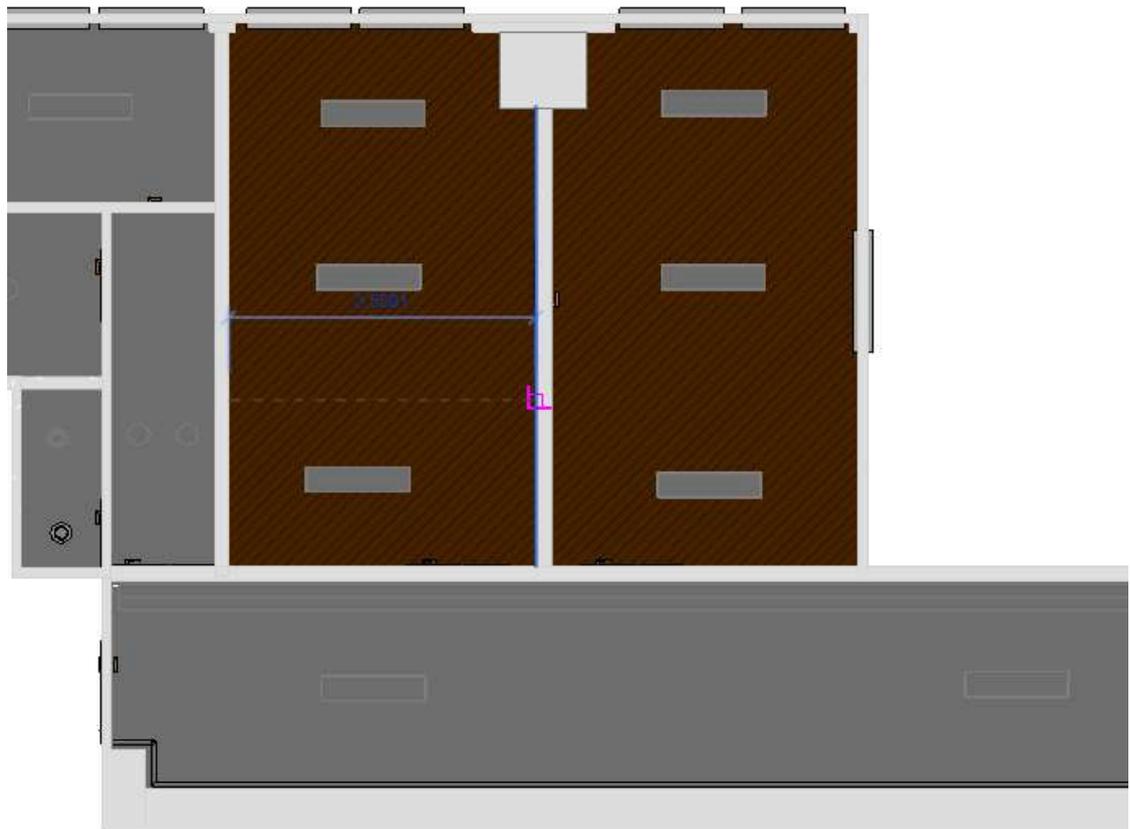
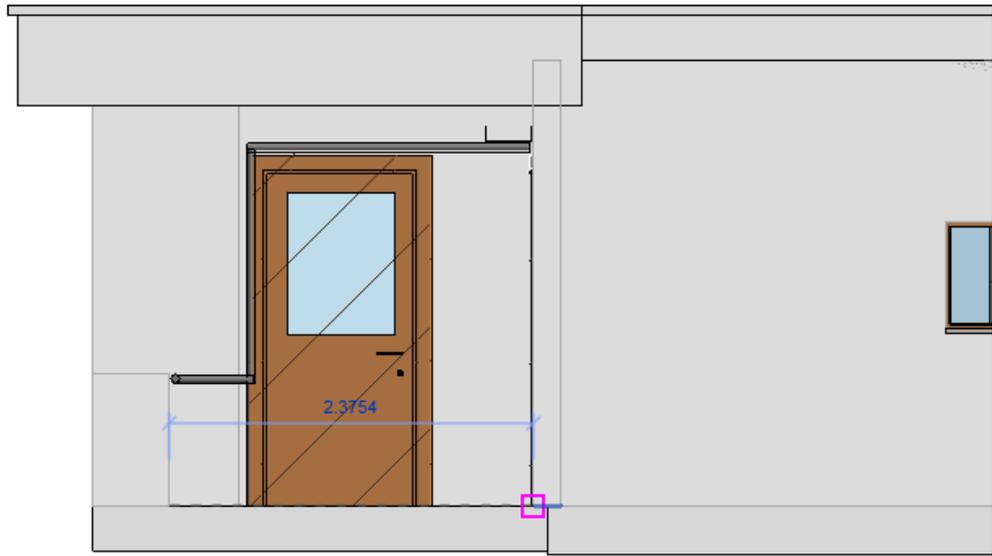




Figura 48: Medidas de deslindes en el modelo para comparar con plano y medida con distanciometro en sitio. Fuente: Creación propia.

Tabla 2: Tabla comparativa entre áreas según el modelo y áreas en el plano de arquitectura.

Unidad	Área según plano (m²)	Área según modelo (m²)	Diferencia (m²)	%
Geomática	21.60	21.78	0.18	0.83
Geomática - Foto	21.60	21.80	0.20	0.92
Baño 1	1.99	1.94	0.05	2.51
Baño 2	4.40	4.32	0.08	1.82
Pasillo 2	4.90	4.86	0.04	0.82
Cocina	6.26	6.38	0.12	1.92

Fuente: Creación propia en base a medidas tomadas en sitio.

Tabla 3: Tabla comparativa entre áreas según modelo y áreas medida en sitio con distanciómetro.

Unidad	Área según Distanciometro (m²)	Área según modelo (m²)	Diferencia (m²)	%
Geomática	21.72	21.78	0.06	0.28
Geomática - Foto	21.85	21.80	0.05	0.23
Baño 1	1.93	1.94	0.01	0.54
Baño 2	4.39	4.32	0.07	1.62
Pasillo 2	4.90	4.86	0.04	0.82
Cocina	6.28	6.38	0.10	1.57

Fuente: Creación propia en base a medidas tomadas en sitio.

Tabla 4: Tabla comparativa de alturas al techo por unidad según modelo y medida en sitio con distanciómetro.

Unidad	Altura medida con distanciómetro (m)	Altura según modelo (m)	Diferencia (m)	%
Geomática	3.19	3.22	0.03	0.94
Geomática - Foto	3.19	3.22	0.03	0.94
Baño 1	2.41	2.44	0.03	1.24
Baño 2	2.39	2.44	0.05	2.10
Pasillo 2	2.88	2.92	0.04	1.38
Cocina	3.17	3.22	0.05	1.57

Fuente: Creación propia en base a medidas tomadas en sitio.

En la siguiente comparativa de realidad vs modelo se tuvo en cuenta que dentro de los salones hay muebles empotrados los cuales se deben eliminar para la comparativa de deslindes y áreas por que pueden generar errores en esta evaluación.

En la comparativa de deslindes en primer lugar se eligieron dos muestras al azar a evaluar estas fueron el ancho del pasillo principal del instituto en el cual en la planilla de areas se llamó "Pasillo 1", esta diferencia es de 10cm entre lo teórico y lo práctico, lo cual es un aproximadamente 4,5%, lo cual es una diferencia bastante grande pero esperable debido a que se espera que si hubiera diferencia entre el proyecto de una edificación con respecto a lo realizado ocurriría en un pasillo y no en un salon. A pesar de esto también se encontró una diferencia entre el largo de ambos salones de geomática. En el proyecto es 7,25 m pero en la realidad es 7,30 m. Por ende es una diferencia de un 0.5% algo mucho más chico que en comparación al pasillo.

En cuanto las áreas, se puede ver una diferencia en porcentaje en promedio de un 2,5% salvo en el baño donde es aún mayor y en uno de los salones donde es menor al 1%.

En la comparativa con distanciómetro se ve que las diferencias bajan considerablemente de áreas entre las del plano y el modelo en comparación a distanciómetro vs modelo. Esto es un resultado esperable debido a que se asemeja más a la realidad cualquiera de los dos métodos que lo que está en un plano de arquitectura debido a que en general hay diferencias aunque sean pequeñas.

Las mayores diferencias porcentuales se presentan en espacios reducidos (como los baños), lo que puede deberse a la sensibilidad de los métodos de medición en áreas pequeñas, o pueden ocurrir por múltiples factores, como pueden ser las distintas precisiones con los equipos, el error del usuario que efectúa las mediciones o también el error del usuario en el manejo de los datos, este error puede verse aún más en la creación del modelo a partir de la nube de puntos debido a la poca experiencia en el campo que se tenía.

Estos datos demuestran la importancia del Scan to BIM, si se quisiera hacer un proyecto de renovación del instituto a partir de los datos del plano que se tenía se tendrían diferencias a lo que sucede en la realidad por lo que por ejemplo para poner un mueble empotrado a la pared se tendrían diferencias por lo que no se estaría optimizando tiempos de trabajo ni tampoco costos.

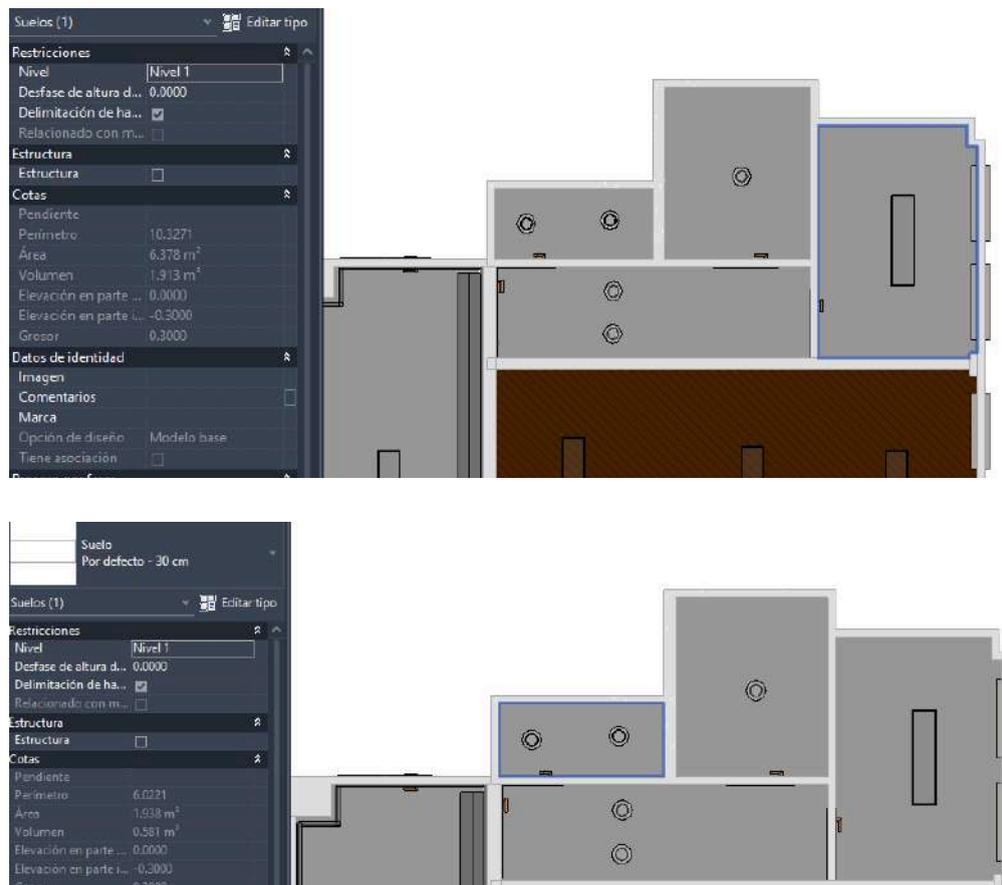


Figura 49: Medidas de áreas en modelo, para comparar con plano y medida con distanciometro en sitio. Fuente: Creación propia.

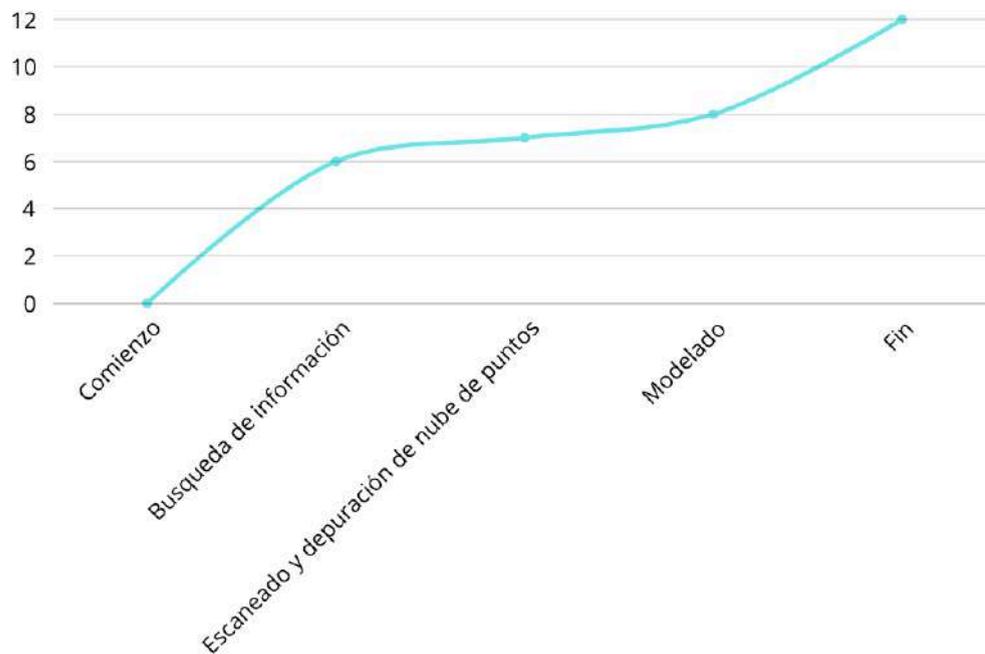


Figura 50: Curva de aprendizaje, procesos contabilizados en meses. Fuente: Creación propia.

En la figura 50 se muestra la curva de aprendizaje a lo largo del proceso. La fase de búsqueda de información (meses 0-6) presenta un crecimiento progresivo, evidenciando un aumento continuo del conocimiento en esta etapa. El escaneo y depuración de Nube de Puntos (mes 6-7) constante, reflejando estabilidad en el nivel de conocimiento adquirido. Por último etapa de modelado (mes 7-12) con un crecimiento lento, lo que refleja un avance gradual en esta etapa.

Conclusiones

Respondiendo la pregunta formulada al comienzo de este proyecto de grado sobre el rol del Ingeniero Agrimensor en la aplicación de BIM en construcciones existentes, se puede decir que su papel es muy importante. Por su formación y experiencia el Ingeniero Agrimensor puede participar en un proyecto realizando el escaneo de la construcción, la posterior depuración y tratamiento de la nube de puntos generada a partir de este escaneo. Además, puede asumir la tarea de modelar en 3D la nube de puntos, esto requiere unas habilidades que escapan un poco a la formación convencional del profesional por lo que para realizar esta tarea debería tener una formación particular en el tema. Luego de tener este modelo le entregaría el proyecto a los distintos profesionales actuantes como puede ser el arquitecto o el sanitario para que se encarguen de la aplicación de BIM.

A partir de lo anterior, se podría decir que el Ingeniero Agrimensor es el primer profesional actuante en un proyecto que involucre la aplicación de BIM en una construcción preexistente en lo que se considera "Scan to BIM" por lo que es una parte fundamental del proyecto.

En el proceso de llegar al modelo 3D se puede concluir que la falta de conocimiento sobre modelado hizo que se demorara en la ejecución del mismo, debido a que fue necesario capacitarse a través de videos o charlas sobre como modelar a partir de la nube de puntos. Vale aclarar que los videos aunque útiles, eran generales por lo que muchas veces se tuvo que hacer "intento y error" lo que generó más atraso en la ejecución, especialmente en el modelado de eléctrica y sanitaria del lugar, los videos eran poco explicativos y daban por sentado que el profesional que los veía ya tenía conocimientos previos del tema que nosotros no los teníamos.

Es evidente la necesidad de capacitación de los futuros Ingenieros Agrimensores en el tratamiento de nube de puntos y en el modelado básicos en 3D, debido a que el escáner y el uso de BIM es algo que se está usando cada vez más en el ámbito de la construcción. La falta de formación en estas áreas podría resultar una desventaja en la carrera profesional del Ingeniero Agrimensor generando la pérdida de oportunidades laborales que se pueden brindar en la misma, debido a que otros profesionales como pueden ser los Arquitectos pueden aprovechar estas oportunidades debido a que ya están siendo formados en herramientas específicas a modo de ejemplo (como puede ser REVIT) y en el uso de escáneres en sus programas académicos.

Otro punto importante es destacar el alto costo que tienen los cursos de formación de BIM, que generalmente son virtuales y brindados desde el exterior. En nuestro país aún estamos muy lejos en cuanto a la aplicación de esta metodología en comparación a otros países como España o Chile. En nuestro caso, optamos por una capacitación más general como son los videos de Youtube pero esto limita el “feedback” por lo que si se generan dudas se debe buscar otros vídeos que permitan evacuar las dudas.

El uso del escáner presenta ventajas significativas, permite relevar nubes de puntos de construcción existente en un tiempo mucho más corto que si se tomara con otros equipos como puede ser la estación total, con una precisión aceptable. Llevando esta situación a una generación de un plano de propiedad horizontal, a modo de ejemplo, se destaca un menor tiempo en el relevamiento pero un mayor tiempo en el post proceso, aunque esto suponemos que es por la falta de formación en el tratamiento de la nube de puntos. Sin embargo, podemos concluir que con la capacitación adecuada estos tiempos podrían optimizarse. Por lo que el uso del escáner para otras funciones como pueden ser el plano de propiedad horizontal puede ser una buena idea aunque, al igual que con

el modelado y la depuración de nube de puntos, se debe comenzar a formar a los futuros ingenieros agrimensores debido a que nosotros tuvimos que tener una breve capacitación antes del relevamiento.

A través de la metodología BIM, se puede optimizar la planificación, gestión y uso de los recursos, con un enfoque en la mejora de la eficiencia operativa durante todo el ciclo de vida del edificio. Como así, facilitar la toma de decisiones en proyectos de mantenimiento, rehabilitación o ampliación mediante la disponibilidad de información confiable y actualizada.

La digitalización de los datos estructurales y de infraestructura, integrando múltiples disciplinas dentro de un único modelo compartido, aumenta la eficiencia en la gestión de recursos, con la posibilidad de prever necesidades de mantenimiento y planificar intervenciones de manera más precisa.

En Conclusión, la metodología BIM está ganando terreno y es algo que se está comenzando a usar cada vez más en el ámbito mundial, por lo que para que los Ingenieros Agrimensores no pierdan oportunidades laborales en el futuro, es fundamental la formación en el modelado en 3D y manejo de nube de puntos, dado que el rol del Ingeniero Agrimensor es muy importante en este ámbito, pero puede ser sustituible por otros profesionales como Arquitectos, si no se adquiere la formación necesaria, ya que para ciertas tareas no se requieren conocimientos profundos de topografía ni la firma del profesional actuante.

Bibliografía:

1. Comité Nacional BIM. (2023). Estrategia Nacional BIM. Presentado en la 7ma Conferencia de la Construcción-BIM, a cargo de la Arq. Alicia Dauría.
2. Instituto Uruguayo de Normas Técnicas (UNIT). (n.d.). Normas de la página web de UNIT. Recuperado de [<https://www.unit.org.uy/normalizacion/normas/cte/163/>]
3. International Organization for Standardization (ISO). (n.d.). ISO 70303: Estándar BIM para proyectos públicos. Recuperado de [<https://www.iso.org/standard/70303.html>]
4. Scanphase. (n.d.). Scan to BIM. Recuperado de [<https://www.scanphase.com/scan-to-bim>]
5. PlanBIM Chile. (n.d.). Estándar BIM para proyectos públicos. PlanBIM.
6. BIM Forum Uruguay. (2021). Introducción al BIM. Recuperado de [<http://www.bimforum.org.uy/wp-content/uploads/2021/06/E-Book-BIM-Forum-Introducci%C3%B3n-Al-BIM-Versi%C3%B3n-Mayo-2021.pdf>].
7. buildingSMART España. (n.d.). BIM en España. Recuperado de [<https://www.buildingsmart.es/bim/>].
8. Autodesk. (2024). Página de Autodesk sobre BIM. Autodesk.
9. BIM Forum Uruguay. (n.d.). Página oficial de Forum BIM Uruguay. Recuperado de [<https://www.bimforum.org.uy>]
10. Plan BIM Chile. (n.d.). Plan BIM Chile. PlanBIM Chile.
11. Ramos, J. (2023). Curso de geofísica. Curso dictado por el Ing. Julian Ramos.
12. Leica Geosystems. (n.d.). C-THRUE Concrete Scanner. Recuperado de

- [<https://leica-geosystems.com/products/detection-systems/concrete-scanner-c-thru/>].
13. Especialista 3D. (n.d.). BIM en fase de obra con Navisworks. Recuperado de [<https://especialista3d.com/navisworks-2/bim-fase-obra/>]
 14. Modelical. (n.d.). BIM management in existing buildings. Recuperado de [<https://www.modelical.com/en/bim-management-in-existing-buildings/>].
 15. Pennsylvania State University. (n.d.). Appendix B-23: BIM Use - Existing Conditions Modeling. Recuperado de [<https://psu.pb.unizin.org/bimprojectexecutionplanningv2x2/back-matter/appendix-b-23-bim-use-existing-conditions-modeling/>]
 16. Allplan. (n.d.). 4 ejemplos de uso del modelado BIM en construcción. Recuperado de [<https://blog.allplan.com/es/4-ejemplos-de-uso-del-modelado-bim-en-construccion>]
 17. Autodesk Latinoamérica. (n.d.). Beneficios del BIM. Recuperado de [<https://latinoamerica.autodesk.com/solutions/bim/benefits-of-bim>]
 18. BIMnD. (n.d.). Diferencias entre modelado 3D y modelado BIM. Recuperado de [<https://www.bimnd.es/modelado-3d-modelado-bim-diferencias/>].
 19. Global Mediterránea. (n.d.). Beneficios de un levantamiento topográfico en un entorno BIM. Recuperado de [<https://www.globalmediterranea.es/beneficios-de-un-levantamiento-topografico-en-un-entorno-bim/>].
 20. Ferrer, C., & Rodríguez, L. (2020). Una metodología Scan-to-BIM aplicada a edificios patrimoniales. *Heritage*, 3(1), 13-29. doi:10.3390/heritage3010004
 21. BIM Forum Uruguay. (2021). 5to encuentro anual BIM: Digitalización de la construcción. Recuperado de

- [\[http://www.bimforum.org.uy/novedades/revivi-5to-encuentro-anual-bim-digitalizacion-la-construccion-2021-organizado-ccu-cnd-apoyo-bim-forum-uruguay/\]](http://www.bimforum.org.uy/novedades/revivi-5to-encuentro-anual-bim-digitalizacion-la-construccion-2021-organizado-ccu-cnd-apoyo-bim-forum-uruguay/)
22. buildingSMART. (n.d.). buildingSMART International. Recuperado de [\[https://www.buildingsmart.org/\]](https://www.buildingsmart.org/)
23. buildingSMART España. (n.d.). BIM en España. Recuperado de [\[https://www.buildingsmart.es/\]](https://www.buildingsmart.es/)
24. BIMnD. (n.d.). Formato IFC en BIM. Recuperado de [\[https://www.bimnd.es/formato-ifc/\]](https://www.bimnd.es/formato-ifc/).
25. Acca Software. (n.d.). BIM Process: ¿Qué es y cuáles son sus fases?. Recuperado de [\[https://biblus.accasoftware.com/es/bim-process-que-es-y-cuales-s-on-sus-fases/\]](https://biblus.accasoftware.com/es/bim-process-que-es-y-cuales-s-on-sus-fases/).
26. Universidad de Cataluña. (n.d.). BIM: Conceptos y metodologías. Recuperado de [\[https://www.ucatalunya.edu.co/blog/bim-conceptos-y-metodologias/\]](https://www.ucatalunya.edu.co/blog/bim-conceptos-y-metodologias/).
27. Wiggot. (n.d.). Sistema BIM: Cómo funciona y para qué sirve. Recuperado de [\[https://wiggot.com/archivos/sistema-bim-como-functiona-para-que-sirve/\]](https://wiggot.com/archivos/sistema-bim-como-functiona-para-que-sirve/).
28. BIMUY. (n.d.). Video del Ing. Agrim. Dante Prato sobre BIM. Recuperado de [\[https://www.bim.uy/\]](https://www.bim.uy/).
29. Instituto Uruguayo de Normas Técnicas (UNIT). (n.d.). Normas UNIT BIM en Uruguay. Recuperado de [\[https://www.unit.org.uy/normalizacion/normas/cte/163/\]](https://www.unit.org.uy/normalizacion/normas/cte/163/).
30. International Organization for Standardization (ISO). (2018). ISO 16739-1:2018: Industry Foundation Classes (IFC). Recuperado de [\[https://www.iso.org/standard/70303.html\]](https://www.iso.org/standard/70303.html).
31. Instituto de Educación Continuada (IBEC). (n.d.). Curso BIM Revit. Recuperado de [\[https://www.ibec.edu.uy/bim-revit/\]](https://www.ibec.edu.uy/bim-revit/).

32. EIGP Escuela Internacional de Gestión de Proyectos. (n.d.). Curso Certificación BIM. Recuperado de [\[https://eigp.es/curso-certificacion-bim\]](https://eigp.es/curso-certificacion-bim).
33. Domestika. (n.d.). Revit Architecture. Recuperado de [\[https://www.domestika.org/es/courses/software/95-revit-architecture\]](https://www.domestika.org/es/courses/software/95-revit-architecture).
34. Espacio BIM. (n.d.). Curso Revit online. Recuperado de [\[https://www.espaciobim.com/cursos/bim/revit-online\]](https://www.espaciobim.com/cursos/bim/revit-online).
35. RFAeco. (n.d.). ¿Qué es Revit?. Recuperado de [\[https://www.rfaeco.com/que-es-revit/\]](https://www.rfaeco.com/que-es-revit/).
36. Autodesk. (n.d.). Revit: Visión general del producto. Recuperado de [\[https://www.autodesk.mx/products/revit/overview?term=1-YEAR&tab=subscription\]](https://www.autodesk.mx/products/revit/overview?term=1-YEAR&tab=subscription).
37. Reto Kömmerling. (n.d.). ¿Qué es Revit?. Recuperado de [\[https://retokommerling.com/que-es-revit/\]](https://retokommerling.com/que-es-revit/).
38. Autodesk Latinoamérica. (n.d.). Comparación Revit vs AutoCAD. Recuperado de [\[https://latinoamerica.autodesk.com/solutions/revit-vs-autocad\]](https://latinoamerica.autodesk.com/solutions/revit-vs-autocad).
39. Geocom. (n.d.). Trimble RealWorks. Recuperado de [\[https://www.geocom.cl/products/trimble-realworks\]](https://www.geocom.cl/products/trimble-realworks).
40. University of Cambridge. (n.d.). CloudCompare. Recuperado de [\[https://www.ch.cam.ac.uk/computing/software/cloudcompare-0\]](https://www.ch.cam.ac.uk/computing/software/cloudcompare-0).
41. Agisoft. (n.d.). Tienda en línea de Agisoft. Recuperado de [\[https://www.agisoft.com/buy/online-store\]](https://www.agisoft.com/buy/online-store).
42. Encuesta sobre el uso de BIM en América Latina y el Caribe 2020.
43. Estudio ESE. (2023). Situación BIM en América Latina en 2023. Recuperado de [\[https://estudioese.com.uy/situacion-bim-en-america-latina-en-2023-7?nid=61\]](https://estudioese.com.uy/situacion-bim-en-america-latina-en-2023-7?nid=61).
44. Red BIM de Gobiernos Latinoamericanos. (2023, diciembre 15). Documento: Estrategias BIM de los países miembros de la Red

- BIM de Gobiernos Latinoamericanos. Recuperado de [\[https://redbimgoblatam.com/2023/12/15/documento-estrategias-bim-de-los-paises-miembros-de-la-red-bim-de-gobiernos-latinoamericanos/\]](https://redbimgoblatam.com/2023/12/15/documento-estrategias-bim-de-los-paises-miembros-de-la-red-bim-de-gobiernos-latinoamericanos/).
45. Red BIM de Gobiernos Latinoamericanos. (n.d.). Guía de estándares ISO relacionados con BIM. Recuperado de [\[https://redbimgoblatam.com/archivos_biblioteca/guia-estandares-iso-relacionadas-con-bim/\]](https://redbimgoblatam.com/archivos_biblioteca/guia-estandares-iso-relacionadas-con-bim/).
46. BIM en la construcción. (n.d.). BIM en la construcción: Introducción y aplicaciones. YouTube. Recuperado de [\[https://www.youtube.com/watch?v=vO89EEw7928\]](https://www.youtube.com/watch?v=vO89EEw7928).
47. Revit para BIM. (n.d.). Revit para la gestión de proyectos BIM: Lo que debes saber. YouTube. Recuperado de [\[https://www.youtube.com/watch?v=x_K6lWYytdQ\]](https://www.youtube.com/watch?v=x_K6lWYytdQ).
48. BIM y la digitalización de la construcción. (n.d.). BIM y la digitalización de la construcción: Transformación en la industria. YouTube. Recuperado de [\[https://www.youtube.com/watch?v=36XU1_Pll\]](https://www.youtube.com/watch?v=36XU1_Pll).
49. Trimble Solutions Corporation. (n.d.). *Wembley Stadium: From 160 phase models to a single BIM*. Tekla. Retrieved November 22, 2024, from <https://www.tekla.com/resources/case-studies/wembley-stadium-from-160-phase-models-to-a-single-bim>

Anexo:

METODOLOGÍA A UTILIZAR PARA DETECTAR OBJETOS OCULTOS

Uno de los objetivos propuestos al inicio de este proyecto era la detección de objetos ocultos en las paredes del instituto, dado que no se consiguió el instrumental necesario para su realización no se pudo llevar a cabo. En este apartado se pretende dejar una metodología de trabajo pensada para cumplir dicho objetivo planteado.

El procedimiento sería complementar el realizado con el escáner con el uso de un detector de objetos ocultos y una estación total.

En primer lugar se utilizará la metodología realizada con el escáner desarrollada anteriormente, agregando que se debe tener enfoque en el escaneo de algunos puntos fijos para poder conectar el sistema del escáner con la estación, esto se pueden ver en las figuras 17 y 18.

Luego para la detección de objetos ocultos se pretendió utilizar un georradar el cual es un equipo que permite detectar cañerías e instalaciones eléctricas utilizando el método electromagnético. El instrumento que se utilizaría para este trabajo en particular sería el Bosch D-Tect 200C o el Leica C-Thru, los cuales son un georradar de mano y de fácil uso.

Con la estación total se estacionaría y se trabajaría en el mismo sistema que se utilizara con el escáner, para medir los puntos fijos, para georreferenciar o evaluar la precisión de la nube de puntos.

Con el georradar se buscarán las instalaciones eléctricas y las cañerías, una vez que se detecte una de estas, se relevaría la posición con la estación total. Luego de detectados todos los objetos ocultos en las paredes se debería seguir con el procedimiento de depuración de nube de puntos, junto con la georreferenciación de la misma en base a los puntos fijos marcados y comenzar el modelado como se desarrolla anteriormente. Una vez finalizado el modelado estructural, estando en el

sistema local, se debería modelar los objetos no visibles en el mismo proyecto. El desarrollo de esta manera brinda una mayor precisión en la ubicación de estos objetos en comparación a modelar en base a la ubicación teórica de un plano de albañilería.

Georradar

Un georradar, o radar de penetración terrestre (GPR, por sus siglas en inglés), es un dispositivo que utiliza ondas electromagnéticas para explorar y mapear las capas subterráneas de la tierra. Funciona emitiendo pulsos de radar desde una antena hacia el suelo y registrando las señales reflejadas que vuelven al receptor. Estas señales reflejadas varían según las propiedades del suelo o la superficie, como la composición del suelo, la presencia de objetos enterrados o cambios en la estructura geológica.

Método electromagnético

Para la detección de cañerías e instalaciones eléctricas se puede emplear el método electromagnético de georradar, el cual es un método de muy alta frecuencia donde además de trabajar con la resistividad eléctrica aparece la propiedad de la permitividad dieléctrica.

Es una técnica de alta resolución de imágenes de estructuras mayoritariamente del subsuelo que utiliza ondas electromagnéticas en la banda de frecuencias de los 10 a los 1000 Mhz. Esta técnica permite detectar variaciones anómalas en las propiedades dieléctricas del material geológico.

Consta de un transmisor que genera la señal y un receptor, cada uno con una antena correspondiente. La antena transmisora envía un tren de radio-onda que se propaga a 300.000 km/seg, 0,3 m/nseg.

Se generan pulsos electromagnéticos los cuales se propagan al interior de la superficie y conforme haya un contraste de propiedades eléctricas se generan reflexiones. Esas reflexiones u ondas que se reflejan se miden su llegada en la antena receptora.

El producto obtenido en un radargrama , la cual es una imagen en la que se pueden distinguir ciertos sectores asociados a la reflexión de cada una de las ondas.

Para que se genera un fenómeno de reflexión tiene que existir un contraste de las propiedades eléctricas, en este caso está asociado a la permitividad dieléctrica del medio.

Para la interpretación, se tiene una onda directa que es la que se establece entre la fuente emisora y la receptora, una onda que viaja y se refleja en el material y se mide en la antena receptora. El georradar no nos da un corte en profundidad sino que un corte en tiempo y ese tiempo está asociado a el viaje que hizo la onda al llegar a cierta profundidad y volver. Luego se hace una calibración para convertir este corte de tiempo en profundidad.

Se utilizan algunas técnicas para conocer la velocidad y poder conocer las profundidades conociendo cómo se mueve esa onda electromagnética a partir de la medición del tiempo de llegada.

Cuando hay presencia de un cuerpo metálico bajo la superficie lo que se genera es un efecto de tipo campana, la onda electromagnética comienza a rebotar muchas veces entre el cuerpo y la antena receptora y ese efecto cuando se mira en un radargrama se traduce en una figura como efecto de eco en profundidad.

Propiedades dieléctricas del material geológico

Las propiedades dieléctricas del material geológico son una medida de su capacidad para almacenar y conducir electricidad. Estas propiedades son

importantes para comprender cómo interactúan las ondas electromagnéticas con el suelo o pared, según el caso en estudio.

Las tres propiedades dieléctricas más importantes de un material geológico son:

Permitividad dieléctrica: es una medida de la capacidad de un material para almacenar energía eléctrica. Se define como la relación entre la densidad de flujo eléctrico y el campo eléctrico en un material.

Conductividad eléctrica: es una medida de la capacidad de un material para conducir electricidad. Se define como la densidad de corriente eléctrica dividida por el campo eléctrico en un material. Cuanto mayor sea la conductividad eléctrica de un material, mayor será la facilidad con la que la electricidad puede fluir a través de él .

Permeabilidad magnética: es una medida de la capacidad de un material para ser magnetizado. Se define como la relación entre la densidad del flujo magnético y el campo magnético de un material. Cuanto mayor sea la permeabilidad magnética de un material, más fácil será magnetizar.

El proceso seguido en estas metodologías de trabajo consiste en:

La adquisición de datos, en esta etapa se realiza el escaneo del área de interés mediante el georradar. Se registran las señales de retorno de las ondas electromagnéticas reflejadas por las diferentes capas del subsuelo o la superficie de trabajo.

Procesamiento, se lleva adelante un procesamiento para limpiar los datos y eliminar el ruido. Esto puede incluir filtrados para mejorar la calidad de la señal y eliminación de artefactos no deseados.

Migración, es un proceso que se realiza para corregir la distorsión de las reflexiones de las ondas en los datos recopilados. Esto ayuda a mejorar la

precisión espacial de las imágenes y a ubicar con mayor precisión las características del subsuelo.

Interpretación, los datos procesados se interpretan para identificar y mapear características relevantes del subsuelo, como capas de suelo, estructuras enterradas o anomalías geológicas.

Visualización y análisis: Finalmente, los resultados se visualizan en forma de imágenes o mapas que muestran las características del subsuelo detectadas por el georradar.

Georradar C - Thru

C-Thru es un radar de penetración terrestre (GPR) para escaneo preciso y análisis en tiempo real de estructuras en concreto. C-thru cuenta con una tecnología de radar de polarización dual (que muestra canales HH y VV), lo que hace que este dispositivo sea capaz de localizar e identificar objetivos superficiales y profundos de un solo golpe con la máxima claridad de datos.

- HH: las señales de radar se transmiten y se reciben horizontalmente.
- VV: las señales de radar se transmiten y se reciben verticalmente

Ambas polarizaciones en banda X y con longitudes de onda de 3,1cm.

C-Thru se compone de un poste telescópico compacto y liviano y un controlador externo, a su vez permite maximizar su alcance en operaciones de escaneo de concreto en ubicaciones desafiantes: debajo de una plataforma, a lo largo de paredes o techos verticales, etc.

El controlador externo permite una interpretación de datos más fácil y rápida ya que ofrece un procesamiento de datos en tiempo real y la representación de resultados en Realidad Aumentada.



Figura 51: Georadar C-thru, Fuente: Geosystems.

Detector de materiales Bosch D-Tect 200C

Es un detector de materiales de alta precisión diseñado para detectar objetos dentro de techos, paredes y pisos como pueden ser tuberías o cables de electricidad sin tener la necesidad de perforar la pared. Utiliza tecnología de radar de banda ultra ancha

El nivel de detección dentro de una pared, piso o techo va a depender de su material pero se podría detectar con facilidad objetos que se encuentren a 20 cm de profundidad. Dependiendo del material que se esté buscando detectar se ajustará los distintos modos de detección.

En cuanto a la calibración se ajusta automáticamente al encenderse por lo que no hay necesidad de calibrar cuando se empieza el trabajo, además con esto se reducen posibles errores en la detección.

Este instrumento es de gran utilidad en las distintas áreas de construcción especialmente para los sanitarios y los electricistas para poder detectar los cables y cañerías y poder cambiarlos si así fuera necesario sin tener que romper toda la pared.



Figura 52: Detector de materiales Bosch D-Tect 200C. Fuente: bosch Professional

Tabla 5: Tabla ilustrativas sobre algunos cursos BIM.

Curso	Precio	Duración	Descripción
IBEC	500 USD	No especificada	Curso sobre el uso de BIM en el software Revit.
EIGP	390 EUR	16 horas	Curso de certificación BIM, con enfoque en el uso de Revit.
Domestika	No especificado	No especificada	Curso de Revit Architecture disponible online.
Espacio BIM	450 EUR	No especificada	Curso online especializado en Revit.
EADIC	451 EUR	No especificada	Curso 100% online sobre modelado arquitectónico con Autodesk Revit, con un enfoque en flexibilidad y la posibilidad de obtener certificaciones(Eadic).
IBM Structure	No especificado	No especificada	Curso técnico enfocado en el uso de Revit para estructuras, cubriendo elementos como columnas, vigas y armado de acero(IBM Structure).

Fuente: Creación propia en base consultas web.

Tabla 6: Tabla ilustrativas sobre algunos cursos BIM dictados en Uruguay

Curso	Institución	Modalidad	Duración	Descripción
Modelado BIM con Revit Arquitectura	Konstruedu	Online	30 horas	Curso completo de modelado en Revit con enfoque en la arquitectura.
Conceptualización BIM	Universidad ORT Uruguay	Online	45 horas	Experiencia colaborativa en metodología BIM utilizando Revit, Navisworks y Excel.
Curso de Revit para arquitectura	Instituto Politécnico del Uruguay	Presencial/ Online	40 horas	Enfocado en diseño arquitectónico y modelado en 3D.
Taller de BIM en Infraestructura	Universidad de la República (Udelar)	Presencial	20 horas	Orientado a ingenieros civiles, utilizando Revit para proyectos de infraestructura.
Curso de Introducción a Revit	ATEC (Asociación de Técnicos del Estado)	Presencial/ Online	30 horas	Introducción al software, ideal para principiantes.
Curso BIM para Ingenieros de Construcción	Cámara de Comercio y Servicios del Uruguay	Presencial	32 horas	Aprendizaje de herramientas BIM aplicadas a la ingeniería civil y construcción.

Fuente: Creación propia en base consultas web.

Además de todos estos cursos siempre se encuentra la opción de ver tutoriales en youtube de forma gratuita pero para casos en específico y es muy difícil encontrar un curso que empiece de cero por lo que se debe tener ciertos conocimientos previos para poder entender todo el contenido que ofrece el video, además no tiene el feedback necesario por si quedaran dudas en la ejecución por lo que este caso servirá para alguna duda en específica o algún caso de emergencia, pero para formarse en BIM desde cero le falta contenido.

Normativa eléctrica

En cuanto a la normativa eléctrica en construcciones en Uruguay está regido por el RIEBT (Reglamento de instalaciones eléctricas de bajo tensión) con influencia de la norma IEC 60364 para la seguridad en instalaciones eléctricas de baja tensión y a su vez por las normas UNIT.

El diseño y la ejecución de la instalación eléctrica debe estar a cargo de un Ingeniero o un electricista habilitado cumpliendo con la normativa vigente. Toda nueva instalación eléctrica debe contar con un plano firmado por el profesional actuante.

Algunos puntos importantes dentro de la normativa son, la instalación de un diferencial que sirva para proteger a las personas en caso de una descarga eléctrica.

En zonas húmedas como pueden ser un baño o una cocina se debe realizar la instalación en circuitos independientes además que los enchufes deben estar colocados a una distancia segura de las fuentes de agua.

Los materiales utilizados varían según el tipo de instalación por ende también varían los costos del material en sí pero se puede utilizar únicamente materiales aprobados en la normativa RIEBT.

Normativa Sanitaria

Las instalaciones sanitarias deben cumplir con lo establecido por OSE, además de estas normas establecidas por este ente público cada departamento puede tener normas complementarias. El MVOTMA también establece lineamientos para la construcción del sistema sanitario. La normativa hace énfasis en las normas UNIT y en ASTM (American society for testing and materials)

Algunos puntos importantes son la potabilidad del agua la cual debe cumplir con lo que establece el Ministerio de Salud pública y por la unidad reguladora de servicios de energía y agua.

También es importante la ventilación de las cañerías para evitar así la acumulación de gases tóxicos y evitar los malos olores provenientes del sistema sanitario.

En cuanto a los materiales que se pueden utilizar varían según el tipo de obra que se quiere hacer y por ende los costos pero deben ser materiales habilitados por la normativa, como pueden ser el PVC o el cobre entre otros.

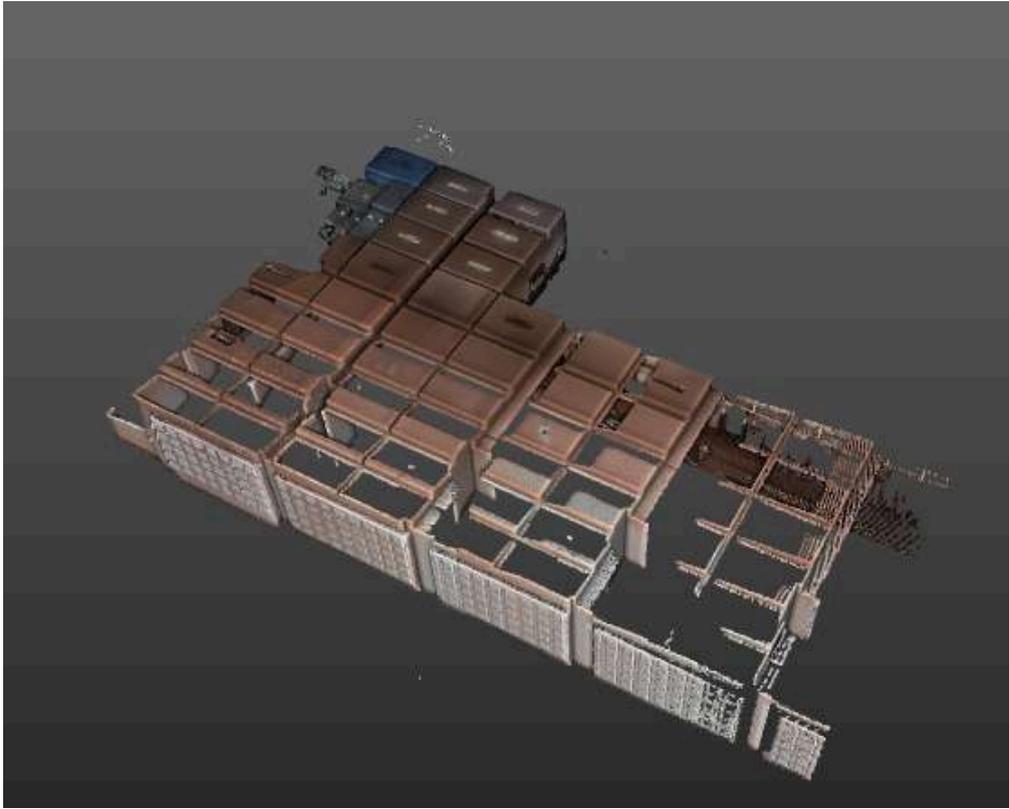
Ilustraciones



(a)



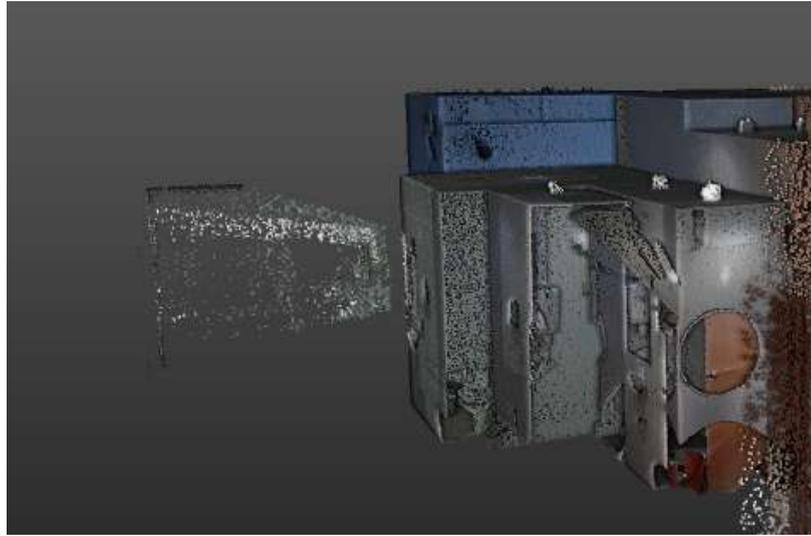
(b)



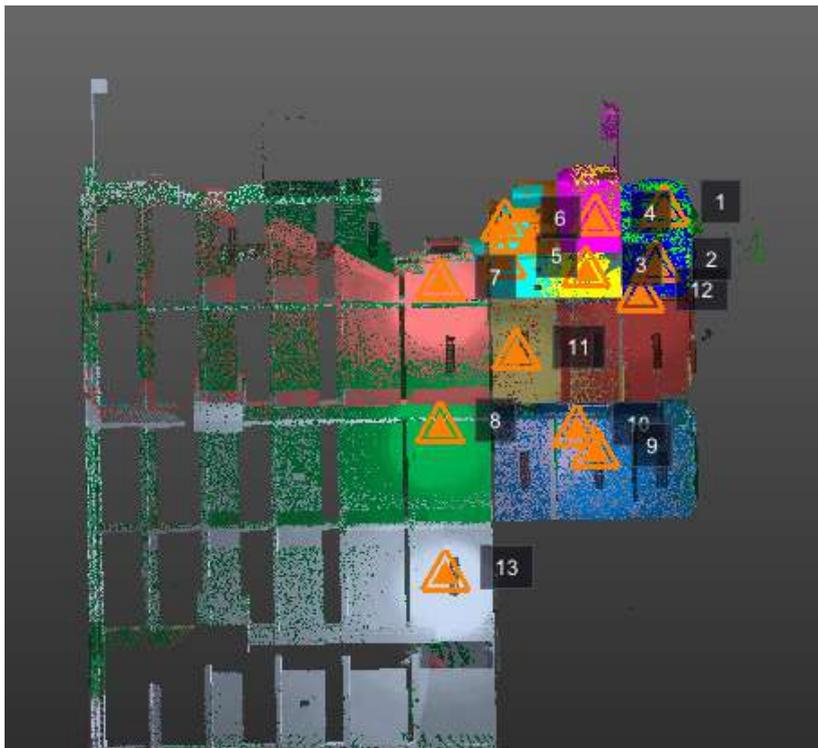
(c)



(d)



(e)



(f)

Figura 53: Conjunto de imágenes de Nube de puntos cruda en software Trimble Realworks view donde se aprecia los distintos niveles de techos (d) (e), los colores de cada escaneo (f), como así los puntos generados por los espejos en los baños (d) (e) entre otros detalles. Fuente: Creación propia.

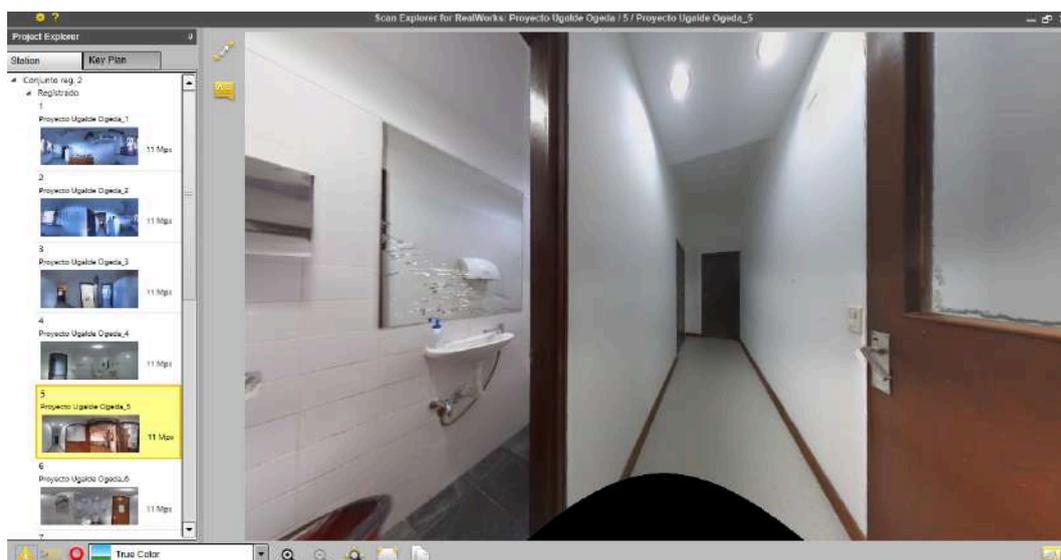


Figura 54: Fotos 360° sacadas con el escáner en cada estación, vistas desde software Trimble Realworks view , Fuente: Creación propia.

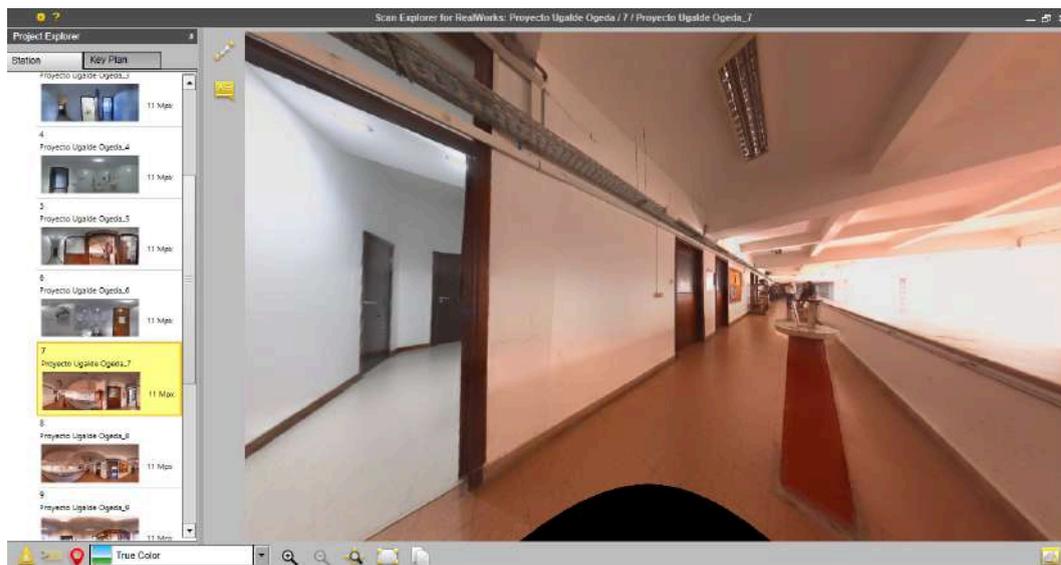


Figura 55: Fotos 360° sacadas con el escáner en cada estación, vistas desde software Trimble Realworks view , Fuente: Creación propia.

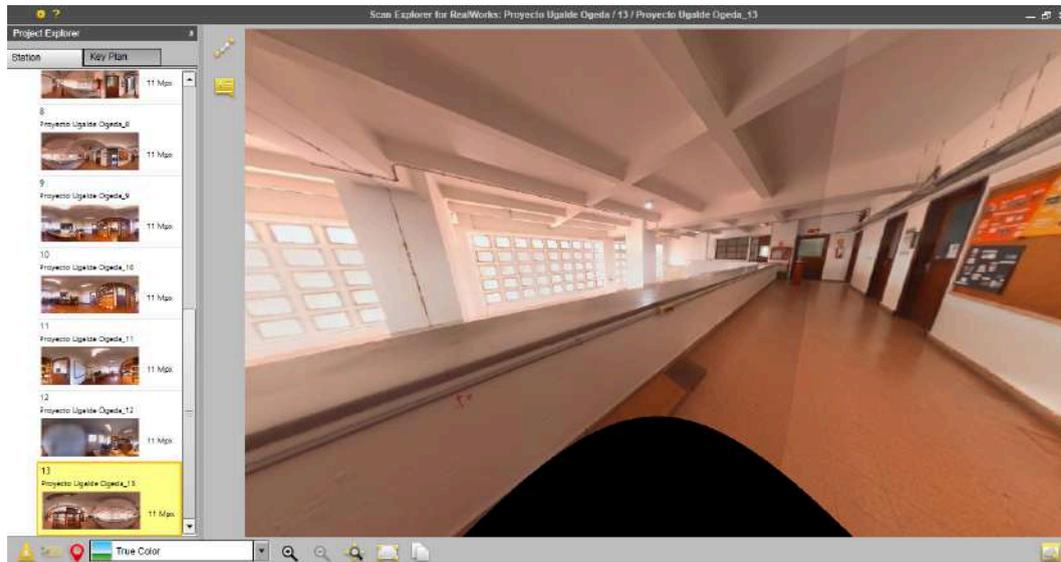


Figura 56: Fotos 360° sacadas con el escáner en cada estación, vistas desde software Trimble Realworks view , Fuente: Creación propia.

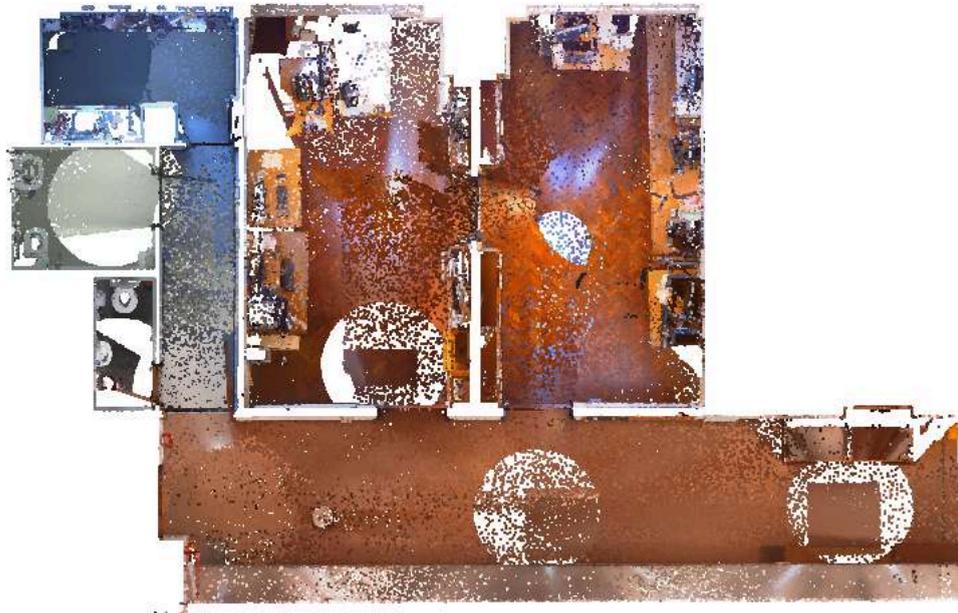


Figura 57: Nube de puntos segmentada vista planimétrica en Revit , Fuente: Creación propia.

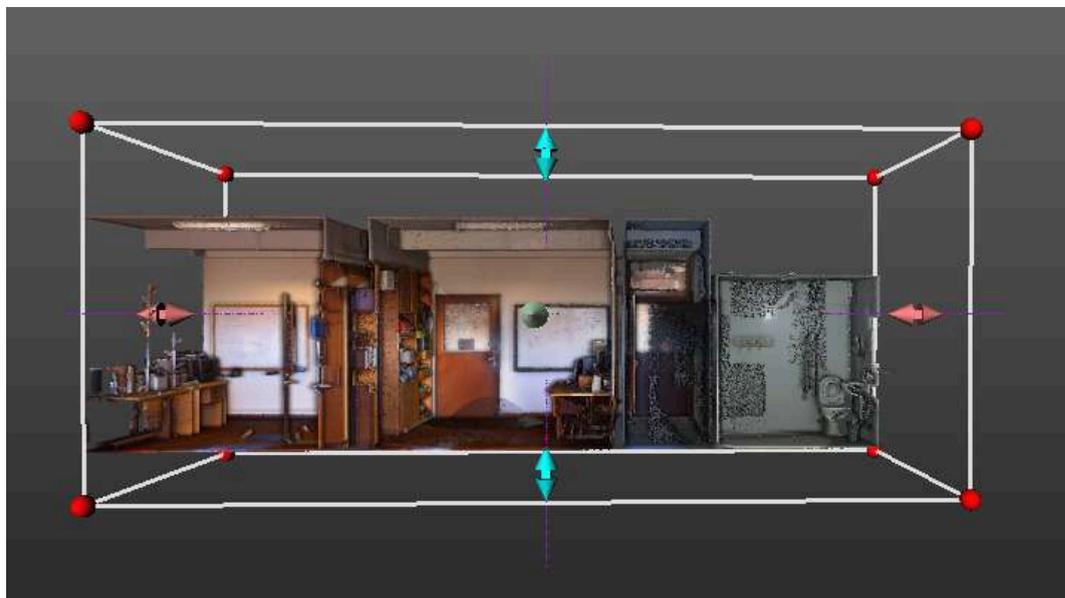
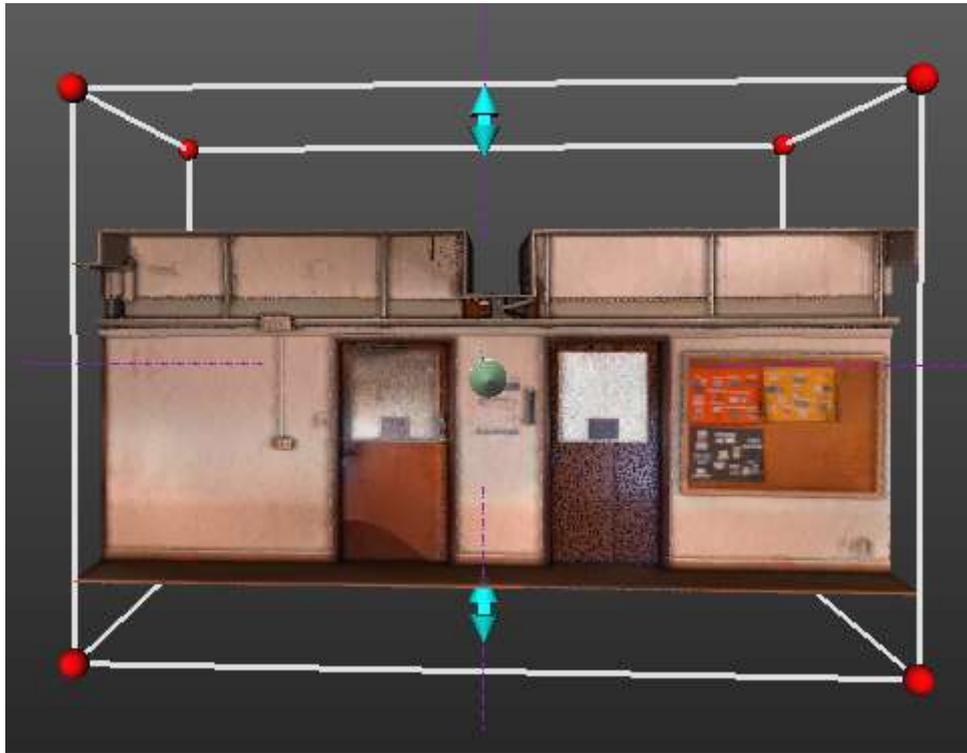


Figura 58: Nube de puntos donde se pueden apreciar los detalles en una vista apartada de Box , Fuente: Creación propia.