



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE
TECNOLOGIA, INFRAESTRUTURA E
TERRITORIO (ILATIT)**

ENGENHARIA CIVIL DE INFRAESTRUTURA

"APLICACIÓN DE AEROFOTOGRAMETRÍA DIGITAL Y ESCANEEO LÁSER TERRESTRE PARA EL MODELADO 3D DE EDIFICACIONES RELIGIOSAS: CASO DE ESTUDIO EN FOZ DE IGUAZÚ"

STEFANY BEATRIZ CABALLERO RAMIREZ

Foz do Iguaçu

2025



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE TECNOLOGIA,
INFRAESTRUTURA E TERRITORIO (ILATIT)**

ENGENHARIA CIVIL DE INFRAESTRUTURA

STEFANY BEATRIZ CABALLERO RAMIREZ

Trabajo de conclusión de curso presentado al instituto Latino-Americana de Tecnología, Infraestructura y territorio de la Universidad Federal de la Integración Latino-Americana, como requisito parcial a la obtención del título de pregrado en Ingeniería Civil de Infraestructura.

Orientador: Prof. Dr. Ing. Noé Villegas Flores.
Co-orientadora: Prof. Mara Rubia Silva

Foz do Iguaçu
2025.

STEFANY BEATRIZ CABALLERO RAMIREZ

**"APLICACIÓN DE AEROFOTOGRAMETRÍA DIGITAL Y ESCANEEO LÁSER
TERRESTRE PARA EL MODELADO 3D DE EDIFICACIONES RELIGIOSAS: CASO DE
ESTUDIO EN FOZ DE IGUAZÚ"**

Trabajo de conclusión de curso presentado al instituto Latino-Americana de Tecnología, Infraestructura y territorio de la Universidad Federal de la Integración Latino-Americana, como requisito parcial a la obtención del título de pregrado en Ingeniería Civil de Infraestructura.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Noé Villegas Flores
UNILA

Prof. Dr. Diego Moraes Flores
UNILA

Prof. Dra. Adriana Zemiani Challiol
UNILA

Foz do Iguacu, _____ de _____ de _____.

TERMO DE SUBMISSÃO DE TRABALHOS ACADÊMICOS

Nome completo do autor/a: _____

Curso: _____

Documento de identificação (RG, CPF, Passaporte, etc.): _____

E – mail: _____ Fone: _____

Tipo de Documento

(.....) graduação

(.....) artigo

(.....) especialização

(.....) trabalho de conclusão de curso

(.....) mestrado

(.....) monografia

(.....) doutorado

(.....) dissertação

(.....) tese

(.....) CD/DVD – obras audiovisuais

(.....) _____

Título do trabalho acadêmico: _____

Nome do orientador: _____ Data da Defesa: ____/____/____

Licença não-exclusiva de Distribuição

O referido autor:

a) Declara que o documento entregue é seu trabalho original, e que o detém o direito de conceder os direitos contidos nesta licença. Declara também que a entrega do documento não infringe, tanto quanto lhe é possível saber, os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade.

b) Se o documento entregue contém material do qual não detém os direitos de autor, declara que obteve autorização do detentor dos direitos de autor para conceder à UNILA – Universidade Federal da Integração Latino-Americana os direitos requeridos por esta licença, e que esse material cujos direitos são de terceiros está claramente identificado e reconhecido no texto ou conteúdo do documento entregue.

Se o documento entregue é baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não a Universidade Federal da Integração Latino-Americana, declara que cumpriu quaisquer obrigações exigidas pelo respectivo contrato ou acordo.

Na qualidade de titular dos direitos do conteúdo supracitado, o autor autoriza a Biblioteca Latino-Americana – BIUNILA a disponibilizar a obra, gratuitamente e de acordo com a licença pública *Creative Commons Licença 3.0 Unported*.

Foz do Iguaçu, ____ de _____ de _____.

Assinatura do Responsável pela doação

Recebido por: _____ em: ____/____/____

Dedico este trabajo a mis padres y hermanas, mi lugar seguro cuando todo se desordena, mi fuerza cuando flaqueo, y mi luz cuando los días se nublan. Gracias por estar, por creer en mí en silencio, por ese amor que no hace ruido, pero lo sostiene todo, y por nunca soltarme la mano, aun cuando yo misma dudaba del camino.

AGRADECIMENTOS

Primeramente, agradezco a Dios, por sostenerme en cada paso de esta caminata. Por no soltarme nunca, por ser mi refugio, mi roca firme y la luz que me guio incluso en los momentos más oscuros dándome la fuerza necesaria para seguir adelante sin derrumbarme, recordándome que todo lo podemos en aquel que nos fortalece. Como dice su palabra: “Si Dios está con nosotros, ¿quién contra nosotros?”

A mis padres, Mirtha y Adalberto, gracias por ser el pilar que sostiene mi vida, por ese amor que no pide nada y lo da todo, por la paciencia que abriga y las palabras que siempre llegan a tiempo. Gracias por ser empuje en mis dudas, calma en mis tormentas y abrigo en cada paso. No hay forma de medir lo que han hecho por mí, pero en cada logro mío, hay también parte de ustedes.

A mis hermanas, Andrea y Diana, gracias por cada palabra de aliento cuando más lo necesitaba, por recordarme que sí era posible y que todo saldría bien. Su cariño y apoyo marcaron una gran diferencia en los momentos en que más lo necesitaba.

A mis colegas y amigos de la facultad, por estar presente en los días de angustia, de tristeza, y por regalarme sus risas y enseñanzas. Cada uno aportó algo valioso a esta etapa, y gracias a su compañía, el camino se hizo más llevadero. En especial, agradezco a Aracely y Gloria por su apoyo incondicional en los últimos tiempos su paciencia y comprensión hicieron posible que este trabajo llegara a buen término.

A mi orientador, el profesor Noé Villegas, le expreso mi agradecimiento por su dedicación, su paciencia y por cada uno de los conocimientos que me brindó a lo largo de este proceso. Sus orientaciones fueron esenciales para la realización de este trabajo y para mi crecimiento académico.

De manera muy especial, quiero agradecer a mi co-orientadora la profesora Mara, sin su entrega, su dedicación y su paciencia infinita, este logro no habría sido posible. Sus palabras de aliento, su apoyo constante y su disposición para guiarme en cada paso fueron un pilar fundamental en este camino. Siempre estaré profundamente agradecida por haber contado con su acompañamiento.

Y de la misma forma, quiero agradecer al profesor Diego Moraes por su acompañamiento constante a lo largo de este proceso. Su disposición para orientar, su claridad al explicar y su apoyo en los momentos clave fueron de gran ayuda. Agradezco sinceramente el tiempo y la atención que me brindó, y valoro mucho haber contado con su guía durante esta etapa.

Extiendo también mi sincero agradecimiento a todos los profesores del curso de Ingeniería Civil, quienes, con sus enseñanzas, su compromiso y su ejemplo, contribuyeron significativamente a mi formación profesional y personal, dejando huellas que llevaré conmigo para siempre.

Y, por último, me agradezco a mí misma. Por no rendirme, por mantenerme firme incluso ante los obstáculos. Por enfrentar cada desafío con esmero y paciencia. Porque sí, todo es posible cuando se persevera con el corazón.

“Pero los que esperan en el Señor tendrán nuevas fuerzas; levantarán alas como las águilas; correrán, y no se cansarán; caminarán, y no se fatigarán”

Isaias 40:31.

RESUMO

Atualmente, o avanço acelerado das tecnologias tem impactado significativamente diversos campos, especialmente a engenharia e a arquitetura. Essas inovações facilitaram e otimizaram processos como análise, diagnóstico, planejamento e execução de levantamentos e modelagens tridimensionais. Nesse contexto, os veículos aéreos não tripulados (VANTs), comumente conhecidos como drones, apresentam-se como ferramentas altamente eficazes para a realização de diversas atividades relacionadas à captura e ao processamento de dados espaciais. O objetivo principal deste estudo foi analisar e comparar as técnicas de fotogrametria e escaneamento a laser 3D, aplicadas à modelagem tridimensional de edificações culturais, especialmente aquelas de caráter religioso. Além disso, buscou-se avaliar a eficiência de cada método, a qualidade dos modelos gerados, suas limitações e o grau de aplicabilidade nesse tipo de estrutura. Para tanto, o trabalho de campo foi realizado na Catedral de Nossa Senhora de Guadalupe. O levantamento com drones, por meio da fotogrametria, destacou-se pela acessibilidade, versatilidade e capacidade de abranger grandes áreas, permitindo uma visão integral da edificação. Por outro lado, o escâner a laser 3D, operado através de uma estação total robótica, apresentou vantagens quanto à precisão e rapidez na captura dos dados, embora seu alcance seja limitado em áreas de difícil acesso ou localizadas em grandes alturas. Para a georreferenciar o projeto, foi realizado um levantamento com receptores GNSS, estabelecendo-se 25 pontos de controle. Esses pontos foram essenciais para garantir a precisão e a correta vinculação espacial do escaneamento a laser. Quanto ao processamento dos dados, utilizou-se o *software Agisoft Metashape* para a geração do Modelo Digital de Elevação (MDE) a partir das imagens capturadas pelos VANTs. Para o tratamento das nuvens de pontos obtidas com o escâner a laser, foram utilizados os softwares *Leica Infinity* e *Cyclone*, sendo este último destinado à limpeza de ruídos e visualização final do modelo. A análise permitiu identificar as vantagens e limitações de cada tecnologia. A fotogrametria é especialmente recomendada para levantamentos de grandes áreas, enquanto o escaneamento a laser 3D é mais eficiente em espaços reduzidos e alturas moderadas, devido às limitações do equipamento para alcançar áreas elevadas ou de difícil visibilidade direta. Em síntese, a combinação de ambas as tecnologias demonstrou ser complementar, proporcionando resultados confiáveis e de alta precisão, o que reforça sua aplicabilidade em projetos voltados à conservação e documentação do patrimônio arquitetônico.

Palavras-chave: Tecnologia, planejamento, drone, fotogrametria, modelagem 3D.

RESUMEN

Actualmente, el vertiginoso avance de las tecnologías ha impactado de forma notable en diversos campos, especialmente en la ingeniería y la arquitectura. Estas innovaciones han facilitado y optimizado procesos como el análisis, diagnóstico, planificación y ejecución de levantamientos y modelados tridimensionales. En este contexto, los vehículos aéreos no tripulados (VANT), comúnmente conocidos como drones, se han consolidado como herramientas altamente eficaces para la captura y el procesamiento de datos espaciales. El objetivo principal de este estudio fue analizar y comparar las técnicas de fotogrametría y escaneo láser 3D aplicadas al modelado tridimensional de edificaciones, en particular aquellas de carácter religioso. Además, se buscó evaluar la eficiencia de cada método, la calidad de los modelos generados, sus limitaciones y el grado de aplicabilidad en este tipo de construcciones. El trabajo de campo se realizó en la Catedral de Nuestra Señora de Guadalupe. El levantamiento con drones, mediante fotogrametría, se destacó por su accesibilidad, versatilidad y capacidad de cubrir grandes áreas, ofreciendo una visión integral del conjunto edificado. Por otro lado, el escáner láser 3D, operado con una estación total robótica, presentó ventajas en términos de precisión y rapidez en la captura de datos, aunque mostró limitaciones en zonas de difícil acceso o ubicadas a gran altura. Para la georreferenciación del proyecto, se utilizó un sistema GNSS con el que se establecieron 29 puntos de control. Estos fueron esenciales para garantizar la precisión y la correcta vinculación espacial del escaneo. En cuanto al procesamiento de datos, se utilizó el *software Agisoft Metashape* para generar el Modelo Digital de Elevación (MDE) a partir de las imágenes captadas por los drones. Para el tratamiento de las nubes de puntos obtenidas mediante el escáner láser, se emplearon los programas *Leica Infinity* y *Cyclone*, este último destinado a la depuración de ruidos y visualización final del modelo. El análisis permitió identificar ventajas y limitaciones propias de cada tecnología. La fotogrametría se mostró especialmente adecuada para levantamientos de grandes extensiones, mientras que el escaneo láser 3D fue más eficiente en espacios reducidos y alturas moderadas, dadas las restricciones del equipo para alcanzar zonas elevadas o sin línea de visión directa. En síntesis, la combinación de ambas tecnologías demostró ser complementaria, proporcionando resultados precisos y fiables, lo que refuerza su aplicabilidad en proyectos de documentación de edificaciones religiosas.

Palabras clave: Tecnología, planificación, dron, fotogrametría, modelado 3D.

ABSTRACT

Currently, the rapid advancement of technology has significantly impacted various fields, particularly engineering and architecture. These innovations have facilitated and optimized processes such as analysis, diagnostics, planning, and the execution of 3D surveys and modeling. In this context, unmanned aerial vehicles (UAVs), commonly known as drones, have proven to be highly effective tools for the capture and processing of spatial data. The main objective of this study was to analyze and compare photogrammetry and 3D laser scanning techniques applied to the three-dimensional modeling of buildings, particularly those of religious character. Furthermore, the study aimed to evaluate the efficiency of each method, the quality of the models produced, their limitations, and the degree of applicability to this type of construction. Fieldwork was conducted at the Cathedral of Our Lady of Guadalupe. The drone survey, using photogrammetry, stood out for its accessibility, versatility, and ability to cover large areas, offering a comprehensive view of the built structure. Conversely, the 3D laser scanner, operated via a robotic total station, provided advantages in terms of accuracy and speed in data capture, although it showed limitations in hard-to-reach areas or those located at significant heights. For project georeferencing, a GNSS system was used to establish 29 control points. These were essential to ensure the spatial accuracy and proper alignment of the laser scan. For data processing, *Agisoft Metashape software* was used to generate the Digital Elevation Model (DEM) from the drone images. For processing the point clouds obtained via laser scanning, the *Leica Infinity* and *Cyclone software* were employed, the latter focused on noise filtering and final model visualization. The analysis helped identify the specific advantages and limitations of each technology. Photogrammetry proved particularly suitable for surveying large areas, while 3D laser scanning was more efficient in confined spaces and moderate heights, due to equipment limitations in reaching elevated or visually obstructed zones. In summary, the combination of both technologies proved to be complementary, delivering precise and reliable results, reinforcing their applicability in projects aimed at documenting religious buildings.

Keywords: Technology, planning, drone, photogrammetry, 3D modeling.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Modelos en 3D del Teatro: a) nube de puntos 3D del scanner a láser; b) nube de puntos 3D da fotogrametría; c) modelo 3D BIM; y d) modelo BIM renderizado em 3D.....	18
Figura 2 - Tipologías de tomas fotográficas en función de la geometría de captura	28
Figura 3 - Generación de datos (a) Proceso de escaneo láser para crear una nube de puntos; (b) Nube de puntos georreferenciada, (X, Y, Z).....	30
Figura 4 - Sistema y precisión del escaneo láser terrestre (TLS).....	31
Figura 5 - Adquisición de datos con el instrumento MS60.....	31
Figura 6 - Aplicación para el sistema láser escáner 3D.....	32
Figura 7 - Ilustración de una red de puntos de referencias.	34
Figura 8 - Esquema funcional de un escáner láser 3D.....	38
Figura 9 - Representación del proceso de registro utilizando referencias globales.....	38
Figura 10 - Proceso de captura de datos por agrupamiento de referencias.	39
Figura 11 - Visualización del proceso de corrección diferencial en tiempo real (RTK).....	42
Figura 12 - Levantamiento topográfico utilizando coordenadas rectangulares.....	43
Figura 13 - Etapas metodológicas para la digitalización de la catedral.	43
Figura 14 - Perfil de estabilizador de la cámara	45
Figura 15 - Tecnología de movilidad autónoma.....	46
Figura 16 – Receptor GNSS.....	47
Figura 17 - Software para procesamiento de datos.....	48
Figura 18 - Estación Robótica MS60	50
Figura 19 - Flujo de etapas para evaluar la precisión del escáner 3D.....	50
Figura 20 - Prismas máxima precisión y alcance	52
Figura 21 - Punto de control en el campo a) Modelo de punto de control b) Modelo adoptado en el campo.	53
Figura 22 - Localización geográfica del área de estudio.	54
Figura 23 - Catedral Nuestra Señora de Guadalupe	55
Figura 24 - Simbolismo de la Catedral	56
Figura 25 - Núcleo estructural de la nave central	57
Figura 26 - La simetría perfecta de la cruz griega	58

Figura 27 - Simbología cristológica en los vitrales de la Catedral.	60
Figura 28 - Accesos del templo como símbolo de igualdad trinacional.	60
Figura 29 - Georreferenciación con GNSS	63
Figura 30 - Flujo de procesamiento de imágenes para modelos 3D en <i>Agisoft Metashape</i>	65
Figura 31 - Áreas de cobertura planificadas: a) Mavic Air 3, b) Mavic Pro	65
Figura 32 - Orientación de las fotografías.....	66
Figura 33 - Nubes de Puntos densas	67
Figura 34 - Nubes de puntos mejorado	68
Figura 35 - Modelo de malla en alambre (wireframe).....	68
Figura 36 - Representación texturizada del modelo digital	69
Figura 37 - Modelo teselado detallado	69
Figura 38 - Detalles de la cobertura de la catedral	70
Figura 39 - Visualización del modelo digital de elevación de superficie (MDS)	71
Figura 40 - Modelo digital de elevación del terreno (MDE).....	71
Figura 41 - Representación orto mosaica del sitio de estudio	72
Figura 42 - Modelo ortomosaico sobre mapa de referencia	72
Figura 43 - Nube de puntos generada con la estación total MS60, visualizada en la colectora.	73
Figura 44 – Visualización de las nubes de puntos en Software Leica Infinity.	74
Figura 45 - Vista superior de la catedral.....	74
Figura 46 - Nubes de puntos sin interferencias	75
Figura 47 - Representación gráfica de las nubes de puntos depuradas.....	75
Figura 48 - Representación tridimensional generada fachada principal	76
Figura 49 - Representación tridimensional en Software Cyclone	76
Figura 50 - Modelado 3D de la fachada superior.....	77
Figura 51 - Visualización del objeto escaneado en entorno 3D en cyclone....	77
Figura 52 - Vista tridimensional de la fachada posterior.....	78

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 - Parámetros de escaneo 3D del sistema Leica.....	49
Tabla 2 - Señales de prisma predeterminadas.	52
Tabla 3 - Registro de los datos obtenidos en campo	62
Tabla 4 - Resultados del cálculo de azimut para el levantamiento	64
Tabla 5 - Especificaciones del levantamiento del vuelo.....	66

LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ALS	Escaneo Láser Aéreo
BIM	Modelo de Digital y modelación
END	Ensayos No Destructivos
GCP	Ground Control Points
GNSS	Sistema Global de Navegación por Satélite
GLONAS	Sistema Global de Navegación por Satélite
HBIM	Modelado de Información para Edificaciones Históricas
HDS	Topografía de Alta Definición
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPHAN	Instituto do Patrimonio Histórico y Artístico Nacional
ITRF	Marco Internacional de Referencia Terrestre
MDE	Modelo digital de elevación
MDS	Modelo digital de superficie
PPP	Posicionamiento Puntual Preciso
PTH	Plano Topográfico Horizontal
RV	Realidad Virtual
SIG	Sistemas de información geográfica
SFM	Técnica Fotogramétrica de bajo costo
SGB	Sistema Geodésico Brasileño
SIRGAS	Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas
TLS	Escaneo Láser Terrestre
TOF	Tiempo de Vuelo
UAVs	Vehículos Aéreos No tripulados
UTM	Universal Transverse Mercator

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	17
1.1. Objetivo General	22
1.2. Objetivos Específicos.....	22
1.3. Limitaciones metodológicas y alcance del estudio.....	23
1.4. Organización y lógica del desarrollo del trabajo.....	24
2. ESTADO DEL ARTE	25
2.1. Avances tecnológicos para la digitalización de estructura arquitectónica..	25
2.1.2. Digitalización	25
2.1.2. Realidad Virtual (RV).....	26
2.1.3. Técnica de Fotogrametría	27
2.1.4. Lenguaje Visual: Clasificación de las tomas fotográficas	28
2.2. Aplicaciones técnicas del escaneo láser	29
2.2.1. Ejemplo de aplicaciones del sistema laser escáner	32
2.2.2. Análisis Visual.	33
2.2.3. Redes de referencia y puntos de apoyo geodésico.	33
2.2.5. Fotogrametría con dispositivos no tripulados (VANTs).....	34
2.3. Tecnologías de escaneo 3D para el análisis y conservación de estructuras arquitectónicas	35
2.3.1. Técnicas aplicadas en la documentación geométrica en edificaciones	36
2.3.1.1. Métodos Directos	36
2.3.2.2. Métodos Indirectos	37
2.4. Registro del escaneo.....	37
2.4.1 Registro de escaneos en pares utilizando objetos de referencia globales.....	38
2.4.2. Ajuste relativo de escaneos en agrupamientos	39
2.5. Métodos de levantamiento topográfico y geodésico aplicados.....	39
2.5.1. Técnicas de GNSS.....	39
2.5.2. Modalidades de procesamiento GNSS: Tiempo real y Postproceso. .	40
2.5.3. Posicionamiento GNSS por método absoluto: Aplicación de la técnica PPP.	40
2.5.4. Levantamiento topográfico con posicionamiento cinemático RTK.	41
2.5.5. Técnica de determinación espacial mediante coordenadas rectangulares.	42

3. ENFOQUE METODOLÓGICO Y RECURSOS UTILIZADOS	43
3.1. Etapa 1: Método de investigación	44
3.2. Etapa 2: Instrumento empleado	45
3.3. Etapa 3: levantamiento técnico y diagnóstico in situ	47
3.4. Etapa 4: Etapa de posprocesamiento y análisis técnico	48
3.4.1. Procesamiento de datos software utilizados	48
3.4.2. Estación total leica MS60 - tecnología multiusos.	49
3.4.3. Prisma	51
3.4.4. Punto de control	52
4. ESTUDIO DE CASO	53
4.1. Ubicación Geográfica.....	53
4.2. Descripción Arquitectónica.....	54
4.3. Simbolismo y Arquitectura Sagrada	55
4.4. Gruz Griega	57
4.5. La Ermita – Santuario De Devoción.....	58
4.6. Vitrales - Iconografía De La Espiritualidad Cristiana	59
5. RESULTADOS Y DISCUSIONES	61
5.1. Recolección de información primaria	61
5.1.1. Desarrollo de la fase de campo	61
5.1.2. Cálculo de azimut.....	63
5.2. Procesamiento de imágenes para la obtención de modelado 3D.....	64
5.2.1. Planeamiento del levantamiento del vuelo	65
5.2.2. Orientación de fotografías.....	66
5.2.3. Generación de nubes de puntos densas.....	67
5.2.4. Generación y mejora de nubes de puntos	68
5.2.5. Desarrollo de la malla para el modelo 3D	68
5.2.6. Generación de textura.....	69
5.2.7. Modelo teselado.....	69
5.2.8. Modelo de digital de elevación (MDE).....	70
5.3. Levantamiento de nube de puntos mediante estación robótica (MS60)	73
5.3.1. Vista del levantamiento escáner	73
5.3.2. Procesamiento en el Software Cyclone	74
6. CONSIDERACIONES FINALES	78
REFERENCIAS	83

1. INTRODUCCIÓN

La conservación y el mantenimiento de una infraestructura constituyen una labor compleja e interdisciplinaria que integra múltiples enfoques metodológicos, los cuales no se limitan exclusivamente a la preservación física de las edificaciones, sino que requieren de una planificación detallada y la aplicación de criterios técnicos rigurosos.

Según la revisión de la literatura este proceso involucra tanto la selección y aplicación de materiales adecuados como la implementación de procedimientos técnicos que aseguren la calidad y durabilidad de los elementos constructivos, desde la fase inicial de diseño hasta la ejecución de las estrategias de control de calidad, cada etapa del proceso debe ser realizada con precisión técnica, garantizando la estabilidad estructural, la autenticidad histórica y la sostenibilidad a largo plazo de la estructura (Bolina, 2019).

En este contexto, el registro preciso y detallado de las estructuras adquiere un papel central, ya que no solo se limita a la captura de información in situ, sino que implica también su procesamiento, análisis y almacenamiento en formatos que permitan representar con exactitud la forma, dimensiones, colores y texturas de los elementos arquitectónicos en un momento determinado (GAR-CÍA et al., 2024; FRANCISCO et al., 2018).

Esta labor ha evolucionado gracias a la incorporación de tecnologías avanzadas como el escaneo láser 3D, la fotogrametría, el modelado de información para edificaciones históricas (HBIM), el uso de drones y los ensayos no destructivos (END) (Freitas, 2025; Rojas & Nieto, 2024; Zapata, 2024). Dichas herramientas no solo mejoran la precisión de los diagnósticos técnicos, sino que facilitan la planificación estratégica de intervenciones, optimizan recursos y minimizan riesgos durante las labores de conservación (Rubio, 2025; Almeida, 2022; Silva, 2019).

Unos de los programa de gran relevancia para la digitalización es “Europeana”, una iniciativa de la Unión Europea lanzada en 2008 con el objetivo principal de apoyar la preservación, acceso y digitalización de las infraestructuras arquitectónicas en formato digital. Esta plataforma reúne millones de recursos culturales procedentes de museos, archivos, bibliotecas y colecciones audiovisuales de toda Europa, facilitando así el acceso libre y sostenible al acervo cultural del continente (Hazan, 2021).

En este contexto, existen diversas iniciativas internacionales que desempeñan un papel clave en la preservación de obras edilicia, especialmente mediante el uso de tecnologías emergentes. Entre las más destacadas se encuentran CyArk y Google Arts & Culture, plataformas que han centrado sus esfuerzos en la aplicación de herramientas avanzadas como el escaneo 3D y la realidad virtual (VR). Estas tecnologías permiten la documentación precisa y la recreación inmersiva de sitios históricos, facilitando tanto su conservación digital como el acceso educativo y cultural a públicos de todo el mundo.

Unos de las tecnologías también que se hace relevantes es el escaneo láser 3D, que permite capturar con gran precisión la geometría de los bienes patrimoniales, generando modelos digitales detallados que son fundamentales para diagnósticos técnicos y proyectos de restauración (Freitas, 2025; Rojas, Nieto, 2024; Uzal, 2020; Borrazás, 2009).

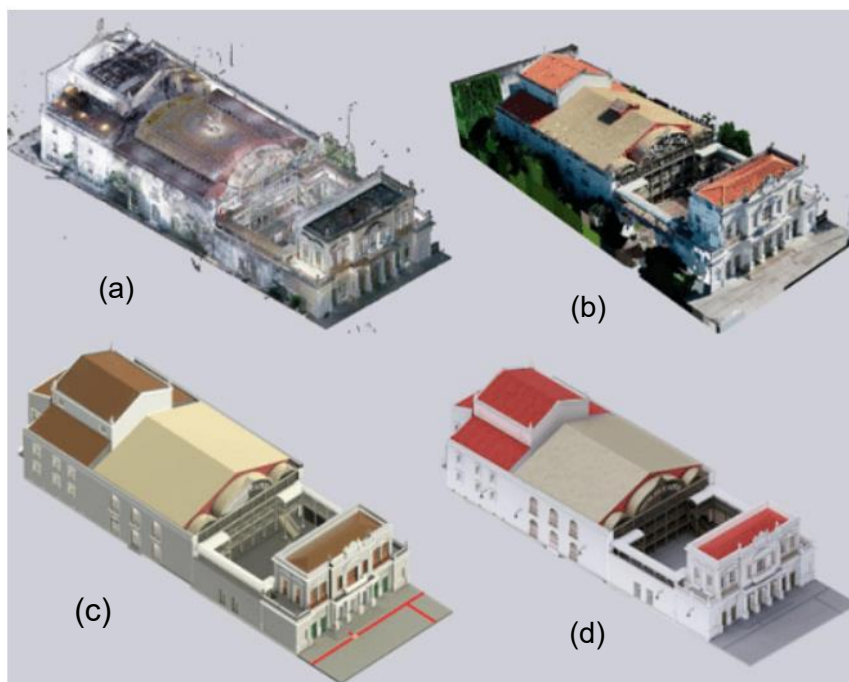
Siendo así, la preservación de inmuebles construidos ha sido abordada de distintas maneras a lo largo del tiempo y en diversos contextos geográficos. Durante siglos, las técnicas empleadas para el registro de edificaciones se basaban fundamentalmente en representaciones gráficas elaboradas mediante instrumentos de medición tradicionales, muchos de los cuales se remontan a la antigüedad, entre los dispositivos comúnmente utilizados se encuentran el teodolito, el nivel, el clinómetro, la brújula, el goniómetro, la plomada, entre otros elementos similares (Leija, 2023; Volpato, 2020).

Según Pérez (2022) y Echeverría (2018), el avance de las tecnologías aplicadas a modelaciones 3D ha surgido como respuesta a la necesidad de métodos precisos para la documentación, supervisión, restauración y control del deterioro en edificaciones patrimoniales y civiles.

Estas metodologías se consolidaron inicialmente en Europa y Asia, y posteriormente fueron adoptadas con mayor intensidad en Estados Unidos. No obstante, en América Latina, la incorporación de estas tecnologías ha sido más limitada, debido a la escasa disponibilidad de herramientas avanzadas que permitan realizar levantamientos con alta precisión y nivel de detalle (Martinez, 2020).

En la figura 1, se muestra el primer modelo 3D del patrimonio cultural en Brasil, correspondiente al Teatro José de Alencar, ubicado en Fortaleza, Ceará, inaugurado en 1910 y reconocido como patrimonio histórico por el IPHAN desde 1964. El teatro fue digitalizado mediante escaneo láser y modelado tridimensional. El proyecto, desarrollado en 2021 por investigadores y estudiantes de la UFC, permitió crear un modelo digital detallado del edificio (Sousa; Santana, 2023).

Figura 1 - Modelos en 3D del Teatro: a) nube de puntos 3D del scanner a láser; b) nube de puntos 3D da fotogrametría; c) modelo 3D BIM; y d) modelo BIM renderizado em 3D.



Fuente: (Agencia UFC,2023).

Los dispositivos de escaneo 3D con tecnología láser comenzaron a comercializarse en Brasil a principios de la década del 2000 (Calvalcanti, 2019). En ingeniería, arquitectura y preservación patrimonial, este avance impulsó las técnicas de levantamiento métrico y fotográfico. Los registros obtenidos capturan dimensiones, ubicación espacial, color y textura del objeto, requieren mínimo procesamiento posterior y pueden ser operados por equipos reducidos. Además, permiten visualizar modelos 3D con las tonalidades originales, reflejando fielmente el color según las condiciones de luz y clima del momento del escaneo, funcionando como una fotografía tridimensional metrificada (Veiga, 2008, p. 114-115).

Asimismo, comprende los instrumentos, objetos, artefactos y espacios que mantienen una relación directa con dichas manifestaciones (SILVA; Patrício,2025). Se trata de un legado construido colectivamente, conservado a lo largo del tiempo y enraizado en el territorio, estrechamente vinculado con la historia, la identidad y su proyección hacia el futuro (Maria Tereza, 2011 p. 2)

En este contexto, el uso de escáneres láser, tanto estáticos como dinámicos, se ha convertido en una herramienta clave para el registro tridimensional de la unidad edilicia. El escáner láser estático opera desde una posición fija, lo que le otorga una alta precisión y una densidad de puntos considerable, siendo ideal para el escaneo detallado de estructuras en estudios de conservación.

Por otro lado, el escáner láser dinámico, montado sobre plataformas móviles, permite capturar datos en movimiento, optimizando la cobertura en grandes extensiones. Sin embargo, este sistema requiere tecnologías adicionales de posicionamiento, como GNSS, lo que aumenta su complejidad y costos

operativos.

Por otra parte, la digitalización y el modelado tridimensional mediante técnicas como el escaneo láser y la fotogrametría han adquirido un protagonismo creciente, ya que permiten realizar una representación precisa y exhaustiva de los inmuebles, desde pequeños objetos hasta grandes edificaciones. (Atik et al., 2022), destaca que diversas investigaciones han demostrado la eficacia de estas tecnologías en la documentación, señalando ejemplos como la medición de herramientas históricas (Navarro, 2022), la documentación de edificios históricos (Borrazás, 2010), digitalización de iglesias (Pérez, 2022), así como el análisis de daños estructurales mediante escaneo láser (Lourenci, et al., 2019).

Estas metodologías han demostrado ser fundamentales no solo en el ámbito de la preservación, sino también en el registro preciso de las condiciones actuales de los sistemas construidos, permitiendo un seguimiento detallado de su evolución en el tiempo.

Entre las características más relevantes de estos modelos se destacan su capacidad para representar gráficamente los elementos patrimoniales en un entorno tridimensional, su comportamiento dinámico y su operación en tiempo real. Además, su funcionalidad se sustenta en la integración activa del usuario en el entorno digital, posibilitando una interacción que, en su nivel más avanzado, se manifiesta como una experiencia inmersiva, interactiva y multisensorial, orientada a fortalecer tanto la comprensión técnica como la valorización cultural del bien patrimonial (Pérez, 2022; Alconada, 2017).

La mayoría de las representaciones planialtimétricas se encuentran en 2D, pero en la actualidad las representaciones geométricas han evolucionado hacia los registros de un sistema de digitalización 3D implicando de esa forma la obtención de numerosas posibilidades para el análisis como la documentación, divulgación y conservación de carácter religioso o proyectos a ser realizado, el láser escáner terrestre, o el láser escáner estacional 3D su uso es útil en proyecto de ingeniería, de esta forma es una excelente alternativa a los métodos tradicionales (Luigini et al., 2024; Marín, 2019).

Este sistema, en combinación con otras técnicas de documentación digital y tradicional, ofrece una solución útil para la documentación de todas las características espaciales y geométricas a través del desarrollo de una base de datos, realmente fiel y que nos permita conservar en memoria digital este legado. (RAIMUNDO, 2023; Cáceres, 2020; FRANCISCO et al., 2018).

El láser escáner es un instrumento de alta precisión diseñado para la captura tridimensional mediante un sistema de barrido óptico. Emplea un haz láser vertical que permite un muestreo masivo de puntos sobre la superficie, con una capacidad de captura de miles de puntos por segundo.

El instrumento opera generando un barrido sistemático que registra cada punto mediante un sistema de coordenadas planas UTM (x, y). Cada punto

capturado representa una medición precisa de la geometría superficial, permitiendo la reconstrucción digital detallada del objeto o entorno escaneado (Rubio, 2025; RODRÍGUEZ, 2022; CÁCERES et al., 2019).

Por otra parte, la fotogrametría constituye una técnica fundamental para la digitalización y reconstrucción tridimensional de objetos y estructuras, basada en el principio de "Estructura a partir del Movimiento" (*Structure from Motion – SfM*). Esta metodología permite la generación de modelos 3D a partir de conjuntos de imágenes analógicas o digitales, capturadas desde diferentes perspectivas.

Los productos derivados de estos procesos, como los Modelos Digitales de Elevación (*Digital Elevation Models – DEM*), en su denominación en inglés, representan de manera precisa la morfología de las superficies documentadas, contribuyendo significativamente a los procesos de análisis, documentación y conservación de los edificios edilicias (Jeronymo, 2016).

Este proceso se fundamenta en la captura de fotografías desde diferentes ángulos, las cuales, mediante un software especializado, son procesadas para calcular las coordenadas tridimensionales de los objetos mediante la identificación de puntos conjugados entre las imágenes (Freitas, 2025; Santana, 2023).

La fotogrametría es un proceso semiautomatizado que permite generar modelos 3D a partir de imágenes fotográficas, integrando datos volumétricos y cromáticos para representar con fidelidad tanto la geometría como las características superficiales del objeto (Leija, 2023). En su versión digital, constituye una ciencia y tecnología que permite obtener información precisa sobre geometría, dimensiones, colores y texturas, combinando fidelidad, precisión, velocidad, flexibilidad y bajo costo (Heidtmann et al., 2017, p.10). Esto permite crear modelos digitales que preservan información espacial y visual detallada, siendo una herramienta eficiente para la documentación y análisis en diversas áreas del conocimiento.

1.1. JUSTIFICACIÓN

La preservación del patrimonio arquitectónico requiere de metodologías que combinen precisión técnica, eficiencia operativa y respeto por el valor cultural de las edificaciones (Martínez, 2020). Tradicionalmente, los procesos de documentación se basaban en mediciones manuales y representaciones gráficas en 2D elaboradas mediante instrumentos como el teodolito, la brújula o la plomada, limitadas para capturar la complejidad geométrica y material de los bienes construidos (Leija, 2023; Volpato, 2020). La evolución de las tecnologías de digitalización tridimensional ha transformado este panorama, ofreciendo herramientas capaces de registrar y analizar con gran exactitud las características físicas y cromáticas de las estructuras (Pérez, 2022; Echeverría, 2018).

El uso conjunto de escaneo láser 3D y fotogrametría proporciona una solución integral que supera las limitaciones de cada técnica por separado (Atik et

al., 2022). El primero garantiza una captura milimétrica de la geometría (Santana, 2023; Calvacanti, 2019), mientras que la segunda aporta flexibilidad y un registro detallado de texturas y colores (Araujo, 2018; IPHAN, 2019). La incorporación de vehículos aéreos no tripulados (UAVs) amplía aún más las posibilidades, permitiendo acceder a zonas de difícil alcance, como cubiertas y torres, sin comprometer la seguridad del personal ni la integridad de la edificación (Rodríguez, 2022).

En contextos urbanos densos, como el de Foz de Iguazú, estas tecnologías resultan especialmente relevantes, ya que permiten sortear obstáculos visuales y espaciales, generando un modelo digital integral que conserva no solo la forma, sino también el estado de conservación en un momento determinado. Esto es crucial para la conservación preventiva, ya que un registro detallado facilita la detección temprana de patologías, el seguimiento de cambios estructurales y la planificación de intervenciones con base en datos verificables (Rubio, 2025; Raimundo, 2023).

La Catedral de Nuestra Señora de Guadalupe representa un hito arquitectónico y cultural para la comunidad local, no solo por sus características constructivas, sino también por su papel simbólico y espiritual (López, 2020). Documentar este bien con tecnologías de última generación preserva su memoria física para las generaciones futuras y permite su difusión mediante entornos digitales interactivos, fomentando el acceso global, la educación patrimonial y el turismo cultural sostenible (Luigini et al., 2024; Marín, 2019).

Este trabajo se justifica, por tanto, en la necesidad de establecer protocolos replicables para el levantamiento digital de bienes patrimoniales que integren diferentes tecnologías y puedan adaptarse a otros contextos. La experiencia obtenida en este estudio podrá servir como referencia para proyectos similares, fortaleciendo las capacidades locales de conservación y contribuyendo a la salvaguarda de la memoria arquitectónica, no solo en Foz de Iguazú, sino en cualquier región interesada en preservar su acervo cultural de manera innovadora y eficiente (Cáceres et al., 2020; Francisco et al., 2018).

1.2. Objetivo General

El objetivo principal de este proyecto de conclusión de curso se centra en desarrollar un modelo tridimensional digital de una edificación religiosa ubicada en la ciudad de Foz de Iguazú.

1.3. Objetivos Específicos

A continuación, se presentan los objetivos específicos que guiarán el proceso de análisis detallado de la digitalización en edificaciones históricas culturales:

- Realizar una revisión bibliográfica y trabajos existente relacionada con el tema, ya sea internacionales como nacionales relacionadas con el modelado tridimensional, así como también las distintas metodologías de levantamiento aplicado.
- Analizar las capacidades técnicas de los dispositivos no tripulados (UAVs) y estación robótica aplicadas a la captura de datos fotogramétricos tridimensionales en edificaciones de carácter religioso, considerando variables como resolución, precisión y eficiencia operativa.
- Procesar y generar un modelo digital tridimensional de alta resolución a partir de los datos obtenidos, mediante software especializado, evaluando la calidad métrica y visual de los modelos generados para fines de conservación, documentación y difusión.
- Comparar la eficacia del uso combinado de UAVs y estaciones robóticas frente a métodos tradicionales de levantamiento en proyectos de documentación patrimonial, identificando ventajas, limitaciones y posibles mejoras tecnológicas o metodológicas.

1.4. Limitaciones metodológicas y alcance del estudio

Este estudio tiene como objetivo la digitalización y modelado tridimensional de bienes patrimoniales mediante la aplicación de tecnologías avanzadas de escaneo láser 3D y modelación digital. No obstante, es fundamental reconocer que existen limitaciones de orden metodológico y operativo que pueden incidir en la precisión y fidelidad de los resultados obtenidos.

En cuanto a la **limitación de alcance geográfico**, el estudio se circunscribió exclusivamente a edificaciones ubicadas en Foz de Iguazú, con énfasis particular en la Catedral de Nuestra Señora de Guadalupe, lo que limitó la generalización de los resultados a otras áreas con condiciones constructivas, ambientales y de conservación disímiles. Para asegurar la precisión geométrica en el levantamiento del inmueble objeto de estudio, se implementó el uso del Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS), el cual permitió la georreferenciación precisa de las estructuras, así como la obtención de coordenadas espaciales con alta exactitud.

Adicionalmente, se integraron Puntos de Control Terrestre GCP (*Ground Control Points*), que consisten en marcadores físicos colocados estratégicamente sobre el terreno, cuyas coordenadas son determinadas mediante receptores GNSS de alta precisión. Estos GCP se emplearán para validar y ajustar los modelos generados mediante técnicas de fotogrametría aérea con vehículos aéreos no tripulados (UAV), mejorando la calidad métrica de los productos obtenidos, tales como ortomosaicos, modelos digitales de elevación (MDE) y sistemas de información geográfica (SIG).

Respecto a las **limitaciones técnicas y tecnológicas**, la investigación contempla la utilización de una estación total robótica MS60 equipado con sistemas de escaneo láser de alta precisión y vehículos aéreos no tripulados (Drone Mavic DJI o Mavic pro) vuelo realizado a una altura de 100 metros con respecto a la Catedral de Nuestra señora de Guadalupe.

Estas herramientas permiten la captura detallada de datos geométricos, la generación de nubes de puntos de alta densidad y la elaboración de modelos tridimensionales detallados de las edificaciones patrimoniales. Esta metodología optimiza la documentación y análisis de los inmuebles, garantizando una representación fiel de su geometría, así como una identificación precisa de las condiciones actuales de conservación y de los deterioros presentes en las estructuras.

1.5. Organización y lógica del desarrollo del trabajo

De esta manera, con el objetivo de presentar de forma más clara y detallada la estructura del trabajo a desarrollar, se ha organizado el contenido en diferentes capítulos. Cada uno de ellos abordará un aspecto clave del estudio, permitiendo una comprensión progresiva y bien fundamentada del tema.

El **capítulo 1**, se presenta la introducción la justificación del estudio, contextualizando su relevancia dentro del marco general del tema abordado y destacando su importancia técnica, social y académica. Asimismo, se expone de manera clara el objetivo general junto con los objetivos específicos que orienta el desarrollo de la investigación. Finalmente, se describe la estructura del trabajo, indicando la organización y el desarrollo de las etapas que conformarán la línea de investigación propuesta.

El **capítulo 2**, desarrolla el estado de arte proporcionando un análisis crítico de la evolución histórica y conceptual de las técnicas utilizadas para la digitalización en edificios arquitectónico, con énfasis en la fotogrametría digital tridimensional y el escaneo láser. Se examinan las principales corrientes metodológicas, así como los tipos de estudios que han contribuido a la consolidación de estas herramientas en el ámbito de la preservación patrimonial. Asimismo, se abordan las definiciones fundamentales y se describen las tecnologías vinculadas a los procesos de captura, tratamiento y modelado digital aplicados a bienes culturales, destacando su relevancia para la conservación, difusión y gestión.

El **capítulo 3**, está enfocado en la descripción metodológica empleada en la investigación. Por ende, se detalla el uso de la estación robótica MS60, destacando su importancia en la recolección y análisis de datos. Se presentan los criterios de selección, las herramientas utilizadas y los procedimientos aplicados, garantizando la precisión y fiabilidad de los resultados obtenidos. Además, se complementó el trabajo con registros fotogramétricos aéreos obtenidos mediante vehículos no tripulados (UAVs), proporcionando información que facilite una documentación más completa.

El **capítulo 4**, centrado a la presentación del estudio de caso, desarrollado en la ciudad de Foz de Iguazú, e incluye el levantamiento a campo. Se describe el contexto geográfico de la región, destacando su importancia dentro del marco de la investigación. Además, se analizan las características específicas del área de estudio, proporcionando una base sólida para la interpretación de los datos y la comprensión de los resultados obtenidos.

El **capítulo 5**, se detallan los resultados obtenidos y su correspondiente análisis crítico. Se discuten los principales hallazgos, enfatizando su relevancia para el avance de la digitalización dentro del campo de la arquitectura.

El **capítulo 6**, detalla las conclusiones generales derivadas del trabajo realizado a lo largo de todo el proyecto. Se sintetizan los principales hallazgos, destacando su relevancia en el contexto de la investigación.

Finalmente se exponen las referencias bibliográficas que sustentan el desarrollo de este Trabajo de Conclusión de Curso. Se incluyen las fuentes consultadas a lo largo de la investigación, las cuales han servido de base teórica y metodológica para el estudio.

2. ESTADO DEL ARTE

2.1. Avances tecnológicos para la digitalización de estructura arquitectónica.

Las tecnologías de captura digital han revolucionado numerosos campos, como la conservación del patrimonio cultural, la arqueología, la ingeniería, y la geografía, permitiendo obtener representaciones precisas de objetos, estructuras y paisajes en formato digital. Estas tecnologías se basan en la conversión de información del mundo real en datos digitales que pueden ser procesados, analizados y almacenados. Este avance no solo facilita el análisis detallado de objetos y entornos, sino que también abre la puerta a nuevas metodologías para su restauración, análisis y preservación.

2.1.2. Digitalización

La digitalización es conceptualizada de manera diversa, en algunos casos como una técnica autónoma y, en otros, como un proceso intrínseco a metodologías más amplias, como el escaneo 3D y el prototipado rápido (Rodríguez, 2019; Canuto, 2018). Esta variabilidad interpretativa se debe a que dichas tecnologías dependen ineludiblemente del empleo de software especializado para la conversión de datos físicos a formatos digitales.

En virtud de esta relevancia conceptual, este documento reservará un apartado específico para analizar en profundidad el proceso de digitalización, particularmente en su aplicación al escaneo 3D y al prototipado rápido.

La digitalización se define como el proceso de generación de un modelo informático tridimensional de un objeto, mediante la captura de datos físicos y su posterior procesamiento computacional (Torres, Cano, Melero, Moreno, 2010). En este contexto, el escaneo 3D se consolida como una herramienta fundamental, ya que permite la observación y análisis de geometrías complejas que serían imposibles de estudiar mediante métodos tradicionales (Balletti, Ballarin y Guerra, 2017).

2.1.2. Realidad Virtual (RV)

En ciertos trabajos se menciona que la realidad virtual (RV) se posiciona como una tecnología clave al permitir la inmersión del usuario en entornos digitales tridimensionales (Vilela, 2021). A través de esta inmersión, no solo se visualizan espacios virtuales, sino que también se pueden asociar comportamientos específicos a los objetos que componen estos entornos, generando una interacción más intuitiva y natural.

De manera análoga a los principios de la programación, la RV posibilita que los usuarios actúen directamente sobre elementos tridimensionales, por ejemplo, abrir una puerta, accionar una palanca, extraer una gaveta o girar un botón en lugar de limitarse a interfaces tradicionales basadas en menús y botones (Tori y Kirner, 2006, pag. 2-3). Esta aproximación redefine la relación entre usuario y aplicación, al integrar acciones físicas virtuales que enriquecen la experiencia interactiva.

El concepto de Realidad Virtual (RV) fue introducido a finales de la década de 1980 por Jaron Lanier (Biocca, 1995), artista y científico computacional, quien logró integrar lo real y lo virtual en un nuevo paradigma tecnológico. Sin embargo, las bases de esta tecnología fueron establecidas décadas antes de su formalización conceptual.

En los años 1960, Ivan Sutherland, tras desarrollar el Sketchpad el primer sistema interactivo de diseño gráfico, considerado el origen de la computación gráfica moderna, propuso el proyecto "Ultimate Display" (Packer, 2001), en el cual vislumbraba un entorno virtual totalmente inmersivo. Como resultado, hacia finales de esa década, Sutherland construyó el primer prototipo de casco de visualización de realidad virtual, precursor de los actuales dispositivos inmersivos.

Este desarrollo pionero marcó el inicio de una línea de investigación y evolución tecnológica que desembocaría en los sofisticados sistemas de RV contemporáneos (Tori y Kirner, 2006, p. 4).

Según diversos autores expresan que los sistemas de Realidad Virtual (RV) se dividen en inmersivos y no inmersivos, dependiendo del nivel de presencia que generan (Leija, 2023) y (Tori y Kirner, 2006, p. 8). Los sistemas inmersivos utilizan dispositivos multisensoriales para integrar al usuario en el entorno virtual, mientras que los no inmersivos permiten la interacción a través de interfaces

tradicionales como monitores o proyecciones. En ambos casos, la interacción constituye un componente central de la experiencia.

En el ámbito de la investigación en arquitecturas religiosas, la Realidad Virtual (RV) facilita la reconstrucción tridimensional de edificios históricos, permitiendo simular su evolución a lo largo del tiempo, apoyar las acciones de preservación y ampliar el acceso a la información. Desde la década de 1980 los modelos digitales se utilizan como herramientas de comunicación científica y de transferencia de conocimiento (Harfst, 2017).

Inicialmente enfrentaron resistencia académica, hoy los modelos 3D se reconocen como un medio eficaz para divulgar y generar nuevo conocimiento sobre el volumen construido. Como es señalado, el conocimiento siempre está vinculado a un medio y a una forma de representación, y los modelos virtuales cumplen un papel fundamental como transmisores de conocimiento (Harfst, 2017).

Por otra parte, la interpretación del conjunto edificado enriquece la experiencia del visitante mediante la provisión de información y representaciones que destaquen la historia, los valores culturales y los aspectos ambientales de un sitio (Vilela, 2021). En este sentido, la interpretación no solo actúa como una herramienta de mediación cultural, sino también como una estrategia fundamental para valorar, comunicar y preservar el significado de los bienes inmuebles en los contextos contemporáneos de gestión y educación.

2.1.3. Técnica de Fotogrametría

De acuerdo con diversos autores las fotografías son herramientas de documentación altamente efectivas, ya que permiten una interpretación más rápida y precisa que los dibujos tradicionales (Martín et., al 2024; Haddad, 2012). Capturan detalles de la superficie con gran fidelidad y ofrecen información valiosa sobre el estado de conservación de un monumento antes, durante y después de los procesos de restauración, lo cual resulta más complejo de lograr mediante técnicas de representación gráfica convencionales. No obstante, factores como las sombras pueden introducir distorsiones en la interpretación visual.

Por otro lado, la fotogrametría se consolida como una técnica ampliamente utilizada en la documentación patrimonial contemporánea. Permite la adquisición rápida y precisa de información tridimensional, siendo especialmente eficaz para el registro de estructuras de gran escala y geometría compleja. Gracias a los avances tecnológicos, hoy en día la fotogrametría ofrece resultados de alta resolución y precisión, complementando otras metodologías de captura digital (Martín et., al 2024; González et al., 2022).

El levantamiento fotográfico permite generar imágenes ortográficas o modelos tridimensionales compuestos por superficies trianguladas y texturizadas, que representan de manera precisa las características geométricas y visuales

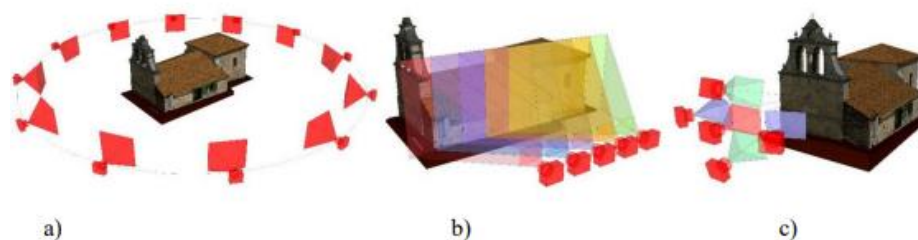
del objeto documentado (Ahnin, 2023).

Se destaca que antes de realizar la captura fotográfica, es esencial analizar las condiciones de iluminación del entorno, ya que influyen directamente en los parámetros de la cámara, como exposición, apertura y sensibilidad (Ahnin, 2023; Alex Giné et.,al, 2018). Además, se debe identificar la presencia de obstáculos que puedan causar ocultaciones, afectando la cobertura de la escena y los solapes necesarios entre imágenes. La longitud focal debe mantenerse constante en infinito durante toda la toma, excepto en tomas de detalle cercano, donde podría ajustarse para adaptarse a la proximidad del objeto.

2.1.4. Lenguaje Visual: Clasificación de las tomas fotográficas

El tipo de toma fotográfica a realizar dependerá de diversos factores. Entre los factores intrínsecos al edificio se encuentran sus dimensiones, geometría y morfología; mientras que los factores extrínsecos están vinculados a su entorno inmediato, como la presencia de obstáculos visuales (oclusión), la accesibilidad y la proximidad de edificaciones adyacentes. En la figura 2 se ilustran tres modalidades de toma fotográfica comúnmente empleadas en levantamientos arquitectónicos:

Figura 2 - Tipologías de tomas fotográficas en función de la geometría de captura



Fuente: Adoptado según (Ahnin, 2023).

a) Toma circular o en forma de anillo:

Para la generación del modelo 3D completo del edificio, es importante emplear una toma fotográfica circular, adecuada para capturar todas sus caras y generar posteriormente las secciones necesarias para la elaboración de la planta.

Estos tipos de imágenes serán convergentes, con un solape mínimo del 80% entre fotografías contiguas. En las esquinas se incrementa la cantidad de capturas, permitiendo vincular correctamente las distintas fachadas del objeto (Ahnin, 2023).

La disposición de las estaciones de toma se planifica para mantener una relación adecuada entre la base distancia entre tomas y la distancia al objeto, favoreciendo una correcta reconstrucción geométrica. Para asegurar la correspondencia entre imágenes durante la fase de orientación, se procurará que los

ángulos de intersección entre estaciones formen, en promedio, 15° respecto al objeto (Ahnin, 2023; Perez, 2021).

El número total de imágenes requeridas dependerá de varios factores, tales como las dimensiones, forma, morfología, proximidad de edificaciones colindantes y la distancia focal del equipo utilizado (Valdecantos, 2024; Ahnin, 2023).

b) Tomas planas

Recomendada para la documentación de una única fachada, esta modalidad consiste en la captura de una serie de imágenes frontales y paralelas al plano de la fachada, asegurando un solape mínimo del 80% entre fotografías consecutivas para garantizar una correcta reconstrucción fotogramétrica (Ahnin, 2023).

c) Tomas independientes

Se recomienda para la documentación de fachadas de dimensiones reducidas o de elementos arquitectónicos aislados y fácilmente abarcables (Ahnin, 2023). Esta configuración se compone de cinco imágenes dispuestas en cruz, con un solape superior al 90% entre tomas adyacentes. La captura principal se realiza frontalmente al objeto, mientras que las cuatro imágenes complementarias se toman desde posiciones laterales, superior e inferior respecto a la central, con una ligera convergencia hacia el centro, optimizando así la reconstrucción tridimensional.

2.2. Aplicaciones Técnicas del Escaneo Láser

En diversos estudios se destaca que las tecnologías de escaneo láser se adoptan ampliamente debido a su capacidad para optimizar y acelerar la captura de datos espaciales de edificaciones existentes y superficies de geometría compleja, garantizando además altos niveles de precisión, exactitud y densidad de información (Ahnin, 2023; Borrazás, 2009). Estas soluciones permiten generar representaciones tridimensionales detalladas, fundamentales para procesos de análisis, modelado digital, conservación patrimonial y planificación de intervenciones.

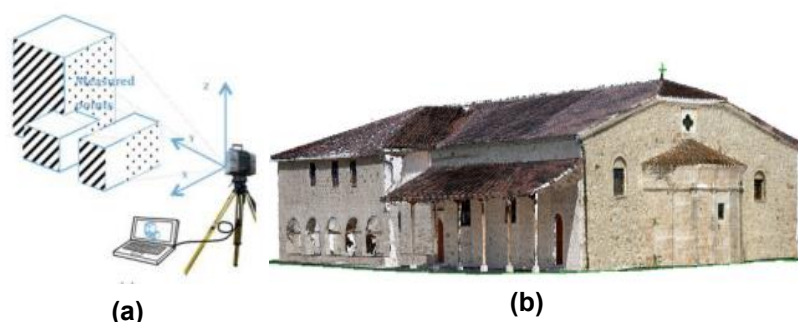
De esta forma se resalta que, este equipamiento es altamente adecuada para la documentación de edificaciones coloniales, como casas e iglesias históricas, detección de patologías en general (Liamnisbel et., 2024; Pérez, 2022). Esto es posible gracias a su elevada versatilidad y capacidad de adaptación a geometrías complejas, el escáner permite la obtención de detalles precisos tanto de los espacios interiores como de las fachadas exteriores de estas estructuras.

No obstante, es importante señalar que las superficies translúcidas o transparentes, como vitrinas y vitrales policromáticos, presentan limitaciones para

este método, dado que las propiedades ópticas de dichos materiales interfieren en la correcta captación del retorno del haz láser.

Los sistemas de escaneo láser se clasifican principalmente en dos categorías operativas: aéreo (ALS) y terrestre (TLS). Cada modalidad presenta rangos de alcance, resolución y precisión ajustados a sus aplicaciones específicas. Particularmente, el (TLS) opera mediante la emisión de un haz láser que incide sobre las superficies del entorno y retorna al sensor, permitiendo la medición simultánea de ángulos y distancias con niveles de precisión que oscilan entre milímetros y centímetros figura (3a) conforme esta tecnología que posibilita la captura rápida y detallada de la geometría tridimensional de objetos y estructuras, generando nubes de puntos de alta densidad, en las que cada punto está registrado con coordenadas espaciales (X, Y, Z) en un sistema digital (Santana; Ahnin, 2023). Adicionalmente, figura (3b) demuestra las nubes de puntos incorpora información métrica y radiométrica, facilitando tanto el análisis geométrico como el estudio de las propiedades reflectivas de las superficies (Facundo López et., 2018).

Figura 3 - Generación de datos (a) Proceso de escaneo láser para crear una nube de puntos; (b) Nube de puntos georreferenciada, (X, Y, Z).



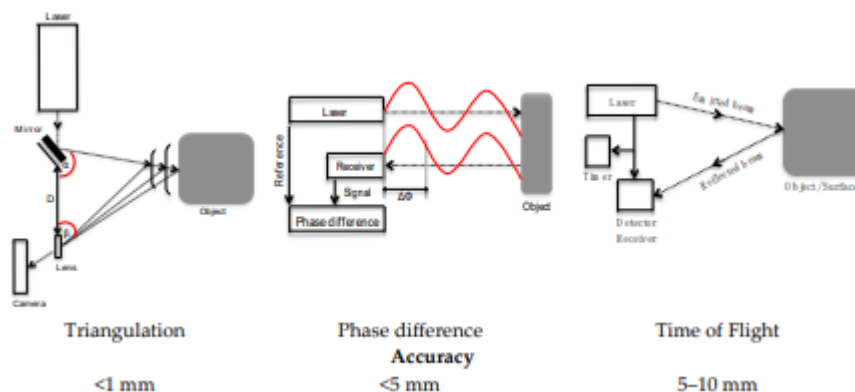
Fuente: Adaptado de según (Ahnin, 2023; Facundo López et., 2018).

Dentro de los sistemas de Escaneo Láser Terrestre (TLS), se distinguen principalmente tres tecnologías de medición: *triangulación*, *medición por diferencia de fase* y *medición por tiempo de vuelo (Time of Flight, TOF)*. Cada uno de estos métodos permite la generación de nubes de puntos tridimensionales de los objetos escaneados; sin embargo, tanto la precisión como la densidad de los datos varían en función de la tecnología empleada y del número de escaneos realizados figura 4. La elección del tipo de escáner y de la estrategia de adquisición de datos resulta determinante para la calidad final de la nube de puntos.

Por otra parte, es importante destacar que, debido a obstrucciones en el campo de visión, es necesario realizar múltiples escaneos desde diferentes posiciones, generando nubes de puntos parciales (x_i, y_i, z_i). Posteriormente, mediante el proceso de registro de nubes de puntos, estas se integran en un único modelo global. Para un registro preciso, se requiere una superposición del (20–

30%) entre escaneos, identificando puntos de control comunes que aseguren la correcta alineación geométrica (Ahnin; Hardt et.,al, 2023).

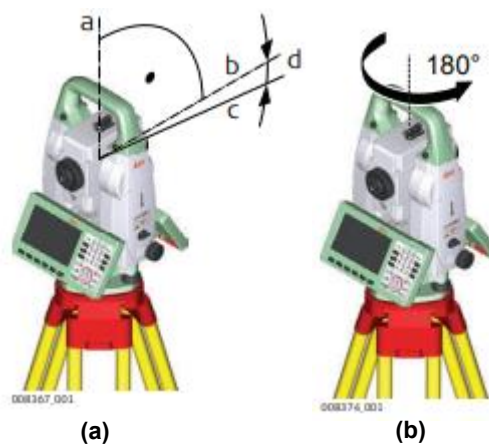
Figura 4 - Sistema y precisión del escaneo láser terrestre (TLS)



Fuente: Adaptado de según (Facundo López et., 2018).

La lectura del láser escáner realiza un barrido de mediciones a alta velocidad. En la Figura 5a se observa el movimiento vertical de 90° (ubicación del anteojo) y, en la Figura 5b, los giros de 360° , lo que permite alcanzar puntos que quedarían ocultos desde la posición inicial del equipo. En instrumentos como la MultiStation Leica Nova MS60, este giro horizontal, junto con el movimiento vertical del anteojo, permite escanear un objeto de forma envolvente sin necesidad de mover el aparato. El *software* combina los barridos en una nube de puntos continua, mejorando la cobertura y la precisión. Si bien superficies completamente ocultas por obstáculos pueden requerir ajustes de posición, en general esta metodología permite obtener modelos tridimensionales detallados de manera rápida y eficiente.

Figura 5 - Adquisición de datos con el instrumento MS60.



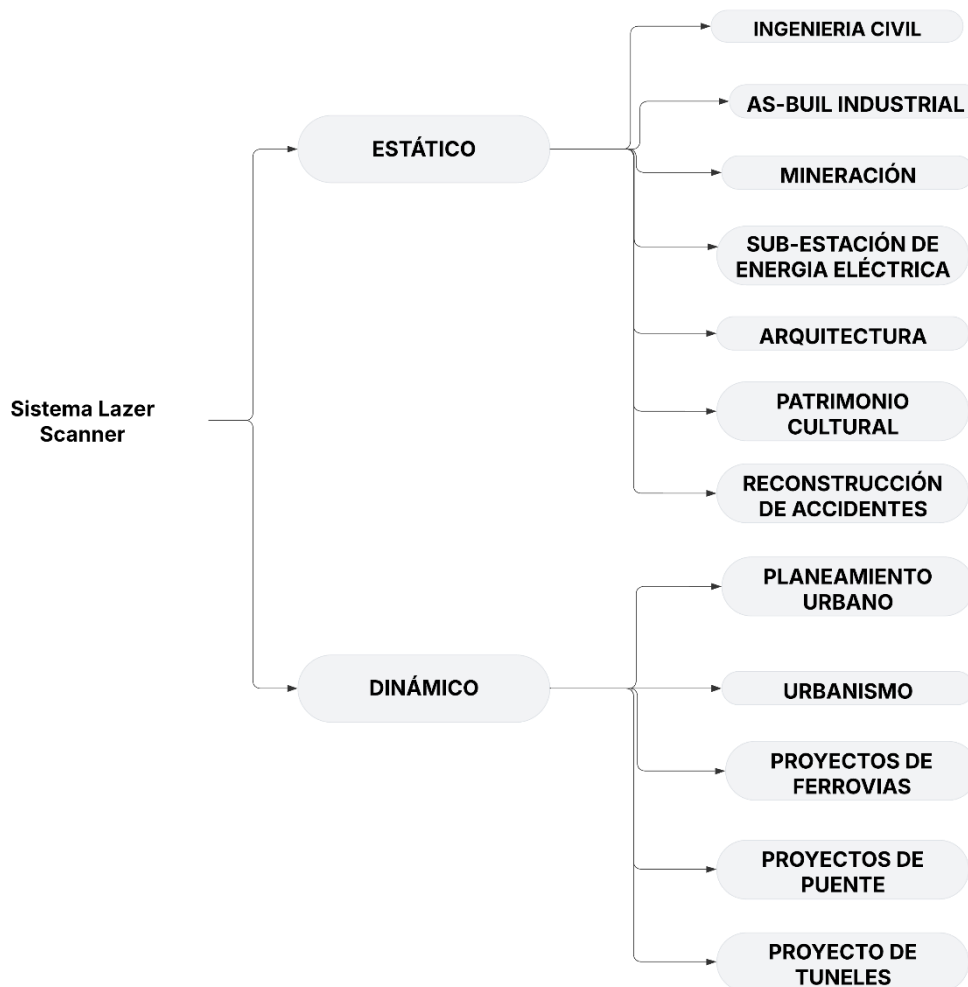
Fuente: Adaptado de según manual (Leica Captivate, 2020)

Las mediciones realizadas por el escáner se registran automáticamente, generando una densa nube de puntos. Esta elevada densidad de datos permite la producción de documentación gráfica de alta definición (*High-Definition Survey, HDS*). Además, algunos equipos integran cámaras fotográficas sincronizadas, capturando no solo las coordenadas espaciales de cada punto, sino también su información cromática (Pérez, 2022; Talaverano, 2015).

2.2.1. Ejemplo de Aplicaciones del sistema laser escáner

El avance y la accesibilidad de tecnologías como el escáner láser 3D en sus modalidades estática y cinemática (dinámica) han permitido la captura de datos espaciales con alta precisión y velocidad. Esta capacidad ha optimizado significativamente los procesos de documentación y análisis en múltiples áreas del conocimiento, al reducir los tiempos de levantamiento y procesamiento, al mismo tiempo que se incrementa la calidad y el nivel de detalle de la información generada, como se ejemplifica en la figura 6.

Figura 6 - Aplicación para el sistema láser escáner 3D.



Fuente: Adoptado según (Andrade, 2014).

2.2.2. Análisis Visual.

Este procedimiento consiste en una observación detallada de la estructura, los elementos arquitectónicos y las condiciones funcionales del inmueble. Puede llevarse a cabo de manera presencial, mediante la visita de un especialista que examina directamente la construcción, o de forma remota, empleando tecnologías como fotografías y videos (María et al., 2016; Jorge et al., 2024)

El registro fotográfico dentro de la inspección visual se convierte en una herramienta invaluable para documentar con precisión el estado del edificio a lo largo del tiempo. Las imágenes permiten no solo capturar la estética y los detalles arquitectónicos, sino también identificar problemas estructurales y otros aspectos clave para su evaluación (Koerich, 2024; Wijesuriya et al., 2016). Así mismo, la comparación de registros visuales en distintos períodos posibilita un análisis detallado de la evolución de los elementos del edificio y la efectividad de las intervenciones aplicadas, facilitando así una gestión más estratégica en los procesos de conservación y restauración.

2.2.3. Redes de referencia y puntos de apoyo geodésico.

Para llevar a cabo levantamientos precisos en bienes patrimoniales, es esencial contar con puntos de referencia georreferenciados, que sirvan como base para las mediciones en campo (BOSCATTO, 2014). Sin embargo, la implantación de una red de referencia va más allá de la simple localización de puntos. Implica una planificación rigurosa, que abarca desde la elección estratégica de sus ubicaciones hasta la definición de los métodos de medición y los márgenes de tolerancia admisibles.

Blachut et al. (1979) menciona que, la delimitación precisa de una parcela territorial constituye, fundamentalmente, un problema de levantamiento. Su resolución depende de la existencia de una red de referencia bien estructurada, materializada de forma consistente y homogénea, acompañada de procedimientos técnicos adecuados, tal como lo requieren los sistemas catastrales.

Durante la recolección de datos para la conformación de una red, es imprescindible prever el ajuste de observaciones, asegurando que los datos registrados en campo estén orientados a ese fin. Uno de los beneficios clave del trabajo en red es la homogeneización de los puntos de control y la mitigación de errores sistemáticos (BOSCATTO, 2014).

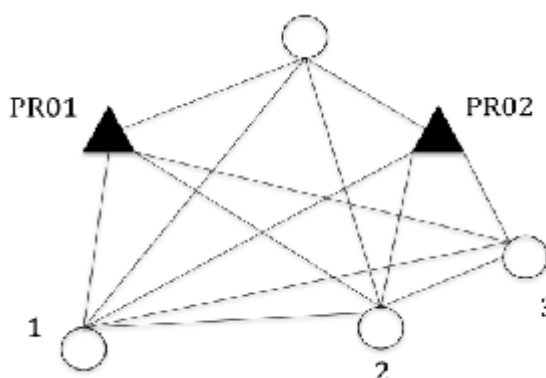
En la figura 7 se presenta una ilustración esquemática en la que los triángulos negros representan puntos de coordenadas conocidas que integran la red de apoyo, y los círculos blancos indican los nuevos puntos por determinar las líneas entre ellos simbolizan las observaciones necesarias para la ejecución del ajuste.

Por otra parte, una de las principales ventajas del sistema de proyección UTM radica en su capacidad para representar grandes extensiones de territorio

dentro de un solo huso, como ocurre en el caso del estado de Santa Catarina (Airton, 2018). Además, la mayoría de los softwares de procesamiento GNSS y plataformas de automatización topográfica están optimizados para operar en este sistema, facilitando las tareas de gabinete y la generación de documentación técnica.

De este modo, se adopta el sistema de coordenadas UTM referenciado al datum SIRGAS 2000, norma oficial en Brasil, junto con el uso de (PTH), particularmente eficiente para levantamientos específicos o expeditos que no requieren georreferenciación precisa.

Figura 7 - Ilustración de una red de puntos de referencias.



Fuente: (BOSCATTO, 2014).

Respecto al componente altimétrico, se recomienda la utilización de altitudes geométrica como referencia vertical. No obstante, resulta crucial considerar la integración con tecnologías GNSS y el empleo de modelos geoidales nacionales publicados por el IBGE para una conversión precisa de altitudes elipsoidales a ortométricas, lo que asegura mayor confiabilidad en los resultados.

De acuerdo con Lima y Dell'Amico (2024), cuando no se aplica un ajuste en red, la implantación de puntos de referencia puede realizarse de forma más directa. Aunque el método más utilizado actualmente es el GNSS, también pueden emplearse técnicas como la poligonal tradicional, el método de estación libre o incluso una simple irradiación desde un punto de coordenadas conocidas.

Durante la ejecución de estas tareas, es posible optar por un ajuste riguroso de las observaciones, a partir de múltiples puntos de control, incrementando así la precisión del levantamiento. Como alternativa, se puede adoptar una metodología más simplificada, derivando las coordenadas de nuevos puntos desde una única base georreferenciada (BOSCATTO, 2014)

2.2.5. Fotogrametría con dispositivos no tripulados (VANTs)

Esta técnica permite la obtención de las propiedades geométricas de un objeto o superficie mediante el análisis de múltiples imágenes con información

redundante (Golwes et al., 2024; Pérez, 2022). Para lograr una reconstrucción fiel y precisa, es fundamental que el objeto esté presente en un número suficiente de capturas desde distintas perspectivas, lo que garantiza una adecuada triangulación y precisión en la generación del modelo tridimensional.

El porcentaje de solape entre imágenes, factor crítico en la adquisición fotogramétrica, suele establecerse en un rango del 60% al 90%, en función de la complejidad morfológica del objeto y los requisitos de precisión del modelo. Este valor es determinado en la etapa de planificación mediante software especializado de misión, el cual calcula la secuencia óptima de disparos fotográficos a partir de parámetros como la altitud de vuelo, la resolución del sensor, la distancia entre trayectorias (pasadas) y el traslape longitudinal y transversal deseado (Pérez, 2022; Perez, 2021).

Gracias a su eficiencia operativa y bajo costo relativo, la fotogrametría con drones se presenta como una técnica altamente efectiva, ya que requiere mínima intervención humana y permite cubrir grandes superficies en tiempos significativamente menores que los métodos tradicionales.

Además de proporcionar información geométrica y dimensional precisa de estructuras patrimoniales, esta técnica resulta especialmente útil en el diagnóstico estructural y patológico, al permitir inspecciones visuales detalladas sobre las imágenes y modelos 3D generados (Pérez, 2022).

2.3. Tecnologías de escaneo 3D para el análisis y conservación de estructuras arquitectónicas

La preservación, conservación y restauración de edificaciones y monumentos requieren de una documentación tridimensional rigurosa, así como de un análisis diagnóstico preciso, generalmente desarrollado por equipos interdisciplinarios (Ahnin, 2023). Estas tareas implican la generación y gestión de una gran variedad de datos heterogéneos, que comprenden modelos geométricos 3D, restituciones en 2D, bocetos realizados in situ, material textual, e imágenes en diferentes espectros, incluyendo visible, multiespectral y térmico.

Por otra parte, uno de los principales desafíos actuales en el campo de la arquitectura moderna es la integración efectiva de toda esta información en un modelo de datos unificado que respalde las distintas operaciones de análisis, conservación y difusión. En particular, los datos tridimensionales exigen altos recursos de procesamiento, visualización y comprensión, así como soluciones técnicas eficientes que permitan su manejo sin comprometer la calidad ni la accesibilidad de la información.

En este contexto, el desarrollo de herramientas capaces de gestionar modelos 3D de forma rápida, precisa y accesible se vuelve prioritario, especialmente en proyectos de documentación digital de edificaciones religiosas. Mejorar la comprensión y disponibilidad de estos datos para los usuarios especializados es

clave para garantizar el aprovechamiento pleno del contenido geométrico, textural y semántico asociado (Valdecantos, 2024; Facundo López et., 2018).

Una solución destacada en este ámbito es el uso de nubes de puntos generadas mediante escaneo láser terrestre. Estudios recientes, han demostrado la eficacia de esta tecnología en la segmentación automática de muros de mampostería en edificaciones históricas (Valero et al., 2018). Dicha metodología permite diferenciar con alta precisión las unidades constructivas de ladrillo o piedra y las áreas de mortero, facilitando así una representación tridimensional detallada del estado estructural del inmueble.

Esta capacidad de análisis es fundamental tanto para la elaboración de modelos diagnósticos como para la planificación de intervenciones de conservación. Además, el uso de algoritmos aplicados sobre las nubes de puntos mejora significativamente la eficiencia y exactitud en la documentación, optimizando la identificación de elementos constructivos y contribuyendo a una comprensión más profunda de las técnicas históricas empleadas.

En este contexto, es posible identificar distintos enfoques para la generación de modelos paramétricos, los cuales pueden implementarse de forma automática o manual. El procedimiento automático se basa en la segmentación de nubes de puntos y la creación de geometrías paramétricas mediante algoritmos específicos y herramientas de software, orientadas principalmente a superficies regulares o formas geométricas básicas.

Por otro lado, el enfoque manual requiere la inserción directa de nubes de puntos preprocesadas en entornos de modelado BIM, donde el operador genera los objetos constructivos de forma controlada y precisa, adaptándolos a la complejidad morfológica de los elementos patrimoniales (Valdecantos, 2024).

2.3.1. Técnicas aplicadas en la documentación geométrica en edificaciones

La documentación geométrica se define como un proceso de medición no intrusivo que permite capturar de forma rápida, precisa y detallada las características espaciales de una superficie o volumen, mediante el uso de herramientas especializadas (Rodríguez, 2019; Borrazás, 2009).

Existen diversas metodologías para llevar a cabo esta tarea, sin embargo, las más comúnmente empleadas pueden clasificarse en dos categorías principales según el enfoque utilizado: **métodos directos**, que implican mediciones físicas in situ, y **métodos indirectos**, que se basan en tecnologías de captura remota, como la fotogrametría o el escaneo láser.

2.3.1.1. Métodos Directos

Los métodos directos se incrementan con la medición topográfica, que se basan en el uso de dispositivos de captura manual, donde el operador decide in situ qué elementos deben documentarse. Este tipo de levantamiento permite una

toma de datos relativamente rápida y requiere poco procesamiento posterior (Facundo López et., 2018; Torres & Díaz, 2011).

Sin embargo, demanda personal calificado, tanto en el manejo de los equipos como en el conocimiento específico del objeto o sitio que se está registrando. El operador realiza una observación directa, analiza el objeto y selecciona la información relevante que debe ser medida y registrada. Entre los instrumentos más comunes se encuentran la cinta métrica, el nivel, el distanciómetro láser, el GPS y la estación total.

Estas herramientas suelen utilizarse en conjunto con técnicas de documentación indirecta, aportando una estructura espacial precisa que sirve de base para planificar y organizar la documentación detallada por sectores.

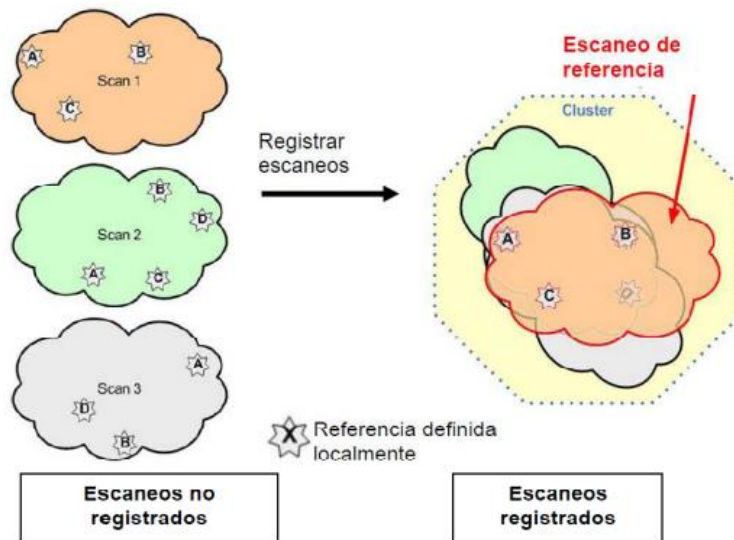
2.3.2.2. Métodos Indirectos

Estos métodos emplean tecnologías de medición no invasivas, basadas en sensores ópticos, que se clasifican en dos grandes grupos: sensores pasivos, que capturan la radiación emitida o reflejada por los objetos, y sensores activos, que emiten su propia señal para registrar la respuesta del entorno (Rodríguez, 2019),. Este tipo de técnicas resulta especialmente útil para el registro preciso de edificaciones patrimoniales, ya que minimiza el contacto físico con las estructuras y permite generar modelos tridimensionales detallados y fieles a la realidad.

2.4. Registro del Escaneo

Los datos obtenidos en cada escaneo están referenciados a un sistema de coordenadas local, en la figura 8, corresponde a la posición del escáner en el momento de la captura. En consecuencia, cuando se realizan múltiples escaneos desde diferentes posiciones, es necesario seleccionar uno de ellos como sistema de referencia base. a partir de este, se procede a registrar los demás escaneos mediante la identificación de objetos de referencia comunes ya sean puntos de control globales o características locales que permitan alinear y unificar todos los conjuntos de datos dentro de un mismo sistema de coordenadas coherente (Cristiana Aquiles et., al 2025; Elozegi, 2010),.

Figura 8 - Esquema funcional de un escáner láser 3D



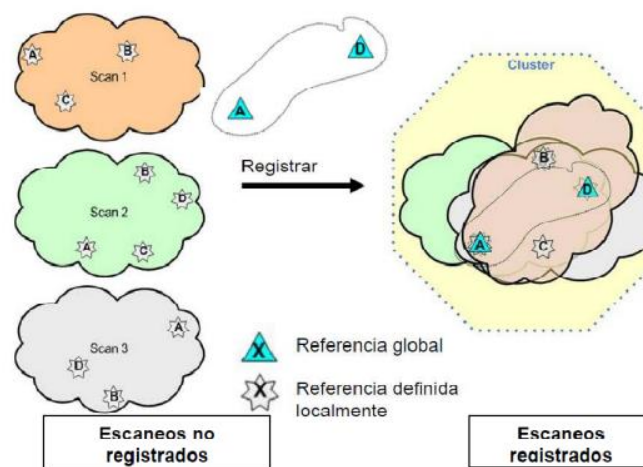
Fuente: Adoptado según (Elosegi, 2010).

Existen distintos métodos para llevar a cabo este proceso, los cuales se describen a continuación.

2.4.1 Registro de escaneos en pares utilizando objetos de referencia globales

En la figura 9 se ilustra el proceso de registro utilizando referencias globales. Este método se basa en la correspondencia entre los objetos de referencia identificados en cada escaneo y sus equivalentes definidos dentro de un sistema de coordenadas global. La alineación se realiza de manera individual para cada conjunto de datos, de modo que cada escaneo se ajusta directamente a los elementos de referencia globales, permitiendo integrar todos los registros en un sistema común con alta precisión (Conti, 2024).

Figura 9 - Representación del proceso de registro utilizando referencias globales.

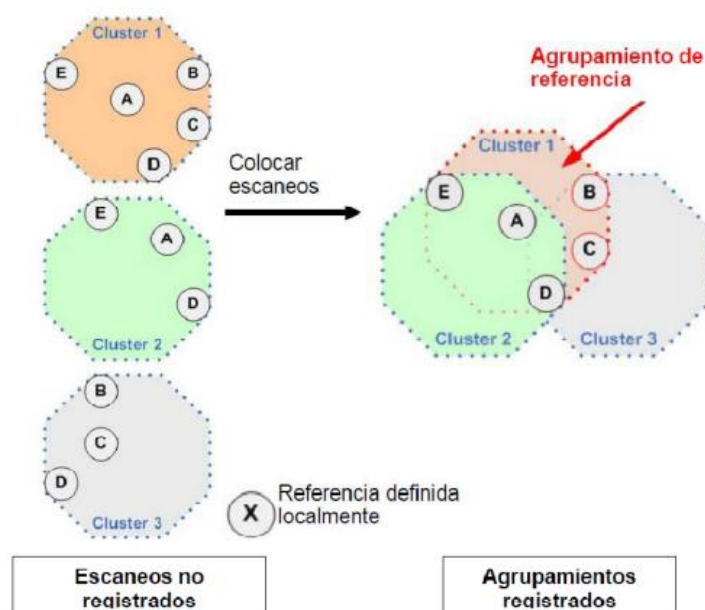


Fuente: Adoptado según (Elosegi, 2010).

2.4.2. Ajuste relativo de escaneos en agrupamientos

Este método permite organizar varios escaneos dentro de un mismo grupo, sin requerir necesariamente un sistema de referencia global (Perez, 2021). En este caso, la alineación se realiza considerando únicamente la relación entre los escaneos del mismo conjunto. Para ello, se utilizan algoritmos que detectan y ajustan coincidencias geométricas entre elementos comunes presentes en los diferentes escaneos, logrando así una integración coherente dentro del agrupamiento.

Figura 10 - Processo de captura de dados por agrupamento de referências.



Fuente: Adoptado según (Elosegi, 2010).

2.5. Métodos de levantamiento topográfico y geodésico aplicados.

Esta sección presenta inicialmente los métodos de medición empleados mediante técnicas GNSS, abordando aspectos como el tipo de procesamiento aplicado, las modalidades de posicionamiento utilizadas y los métodos de levantamiento adoptados en función de los objetivos del estudio.

2.5.1. Técnicas de GNSS.

El desarrollo de las tecnologías satelitales y la creciente difusión de los sistemas GNSS han transformado radicalmente las prácticas de levantamiento geoespacial. Con la consolidación de constelaciones como el **GPS** estadounidense y el **GLONASS** ruso, los receptores GNSS modernos han alcanzado niveles de precisión y eficiencia que permiten asignar coordenadas georreferenciadas con alto grado de confiabilidad, incluso en condiciones operativas exigentes (Hofmann-Wellenhof et al., 2001; Ghilani & Wolf, 2012).

En este contexto, las mediciones realizadas con tecnología GNSS se destacan por su capacidad de integrar precisión milimétrica con agilidad operativa, convirtiéndose en una herramienta esencial en estudios topográficos y geodésicos contemporáneos (Karsch, 2017). Para su correcta aplicación, es indispensable considerar dos aspectos fundamentales:

1. **La modalidad de procesamiento de datos** ya sea en tiempo real (RTK) o mediante procesamiento posterior (postproceso), lo cual influye directamente en la precisión y disponibilidad de los resultados;
2. **El tipo de posicionamiento empleado**, que puede ser absoluto o relativo, estático o cinemático, según los requerimientos del proyecto y las condiciones del entorno (Silva & Dell'Amico, 2021).

2.5.2. Modalidades de procesamiento GNSS: Tiempo real y Postproceso.

Los datos obtenidos mediante técnicas GNSS pueden ser procesados bajo dos modalidades principales: en tiempo real (RTK) o mediante procesamiento posterior (postproceso). Ambas formas pueden aplicarse a diferentes tipos de señales satelitales, como las observaciones basadas en la fase de la portadora, y su elección incide directamente en el método de levantamiento adoptado y en el nivel de precisión alcanzado (Ghilani & Wolf, 2012; BOSCATTO, 2014).

En el caso del procesamiento en tiempo real, el cálculo de las coordenadas se realiza instantáneamente durante la captura de datos. Esta técnica requiere un sistema compuesto por al menos un receptor GNSS fijo (base), un receptor móvil (rover) y una unidad de control equipada con software especializado para ejecutar los algoritmos de corrección diferencial y calcular las coordenadas en campo (Karsch, 2017).

Por otro lado, el posprocesamiento implica que los datos brutos recolectados en terreno son posteriormente procesados en gabinete mediante softwares específicos. En este escenario, los resultados no están disponibles inmediatamente durante el levantamiento, y la evaluación de la calidad de las mediciones se realiza únicamente tras completar el procesamiento en oficina (Silva & Dell'Amico, 2021). Esta opción suele ofrecer mayor control sobre las variables del entorno y permite obtener precisiones superiores en entornos con limitaciones operativas.

2.5.3. Posicionamiento GNSS por método absoluto: Aplicación de la técnica PPP.

Según el IBGE, (2025), el PPP también conocido como *posicionamiento absoluto preciso*, es una técnica avanzada de posicionamiento GNSS que

permite determinar coordenadas geodésicas con alta precisión sin necesidad de estaciones base locales.

En Brasil, el (IBGE) ofrece el servicio IBGE-PPP, una plataforma en línea gratuita que procesa datos GNSS recolectados por receptores de una o dos frecuencias, en modos estático o cinemático. Este servicio utiliza el software CSRS-PPP, desarrollado por el Natural Resources Canada (NRCan), y proporciona coordenadas referenciadas al sistema WSG84 y al ITRF.

Para utilizar el servicio, el usuario debe enviar un archivo de observación en formato RINEX, especificar el modo de levantamiento, el modelo y la altura de la antena utilizada, y proporcionar un correo electrónico válido. Tras el procesamiento, el sistema devuelve un informe detallado con las coordenadas calculadas y sus respectivas incertidumbres. Es importante destacar que el IBGE-PPP procesa datos GNSS recolectados a partir del 25 de febrero de 2005, fecha en que Brasil adoptó oficialmente el sistema SIRGAS 2000 como referencia geodésica (Agência de Notícias IBGE, 2025).

El método PPP corrige errores relacionados con el reloj del satélite, la ionosfera, la troposfera, la temperatura y la presión atmosférica, utilizando efemérides precisas de los satélites para los cálculos. Aunque no realiza ajustes de observaciones en relación con las bases del Sistema Geodésico Brasileño (SGB), el PPP ofrece una precisión significativa, siendo especialmente útil en aplicaciones que requieren alta exactitud sin la infraestructura de estaciones base locales.

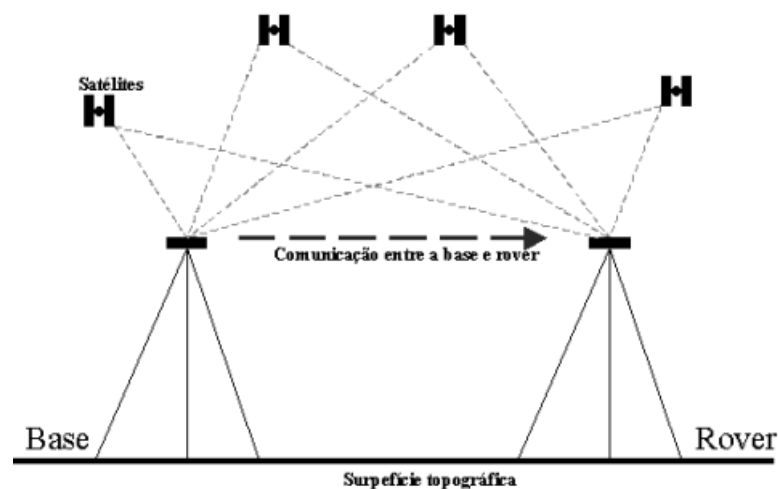
2.5.4. Levantamiento topográfico con posicionamiento cinemático RTK.

El método RTK (Real Time Kinematic) se caracteriza por la obtención de coordenadas precisas en tiempo real, mediante el uso de mediciones de la fase de la portadora de señales GNSS (Dell'Amico, 2024; BOSCATTO, 2014).

Este sistema requiere la instalación de un receptor base sobre un punto de coordenadas conocidas, una unidad controladora de datos y un canal de comunicación entre la base y el receptor móvil (rover), generalmente establecido por radiofrecuencia.

Durante el levantamiento, la base transmite correcciones diferenciales en tiempo real, iniciadas desde un software de gestión GNSS donde se introducen las coordenadas del punto base. En la figura 11, es demostrado el receptor rover, previamente configurado, recibe estas correcciones en tiempo real, lo que permite calcular en el momento la posición tridimensional del punto observado, junto con información sobre su precisión horizontal y vertical, así como el tipo de solución obtenida (fija o flotante) (BOSCATTO, 2014).

Figura 11 - Visualización del proceso de corrección diferencial en tiempo real (RTK).



Fuente: (BOSCATTO, 2014).

Una vez concluido el levantamiento, los datos recopilados se exportan al software de procesamiento para su análisis y documentación. Este método es especialmente recomendado para la obtención de detalles topográficos y para la implantación de puntos de control que servirán de apoyo en trabajos con estación total.

Cabe destacar que una de las limitaciones técnicas del método RTK es la distancia máxima efectiva entre la base y el rover, determinada principalmente por el alcance del sistema de transmisión de datos, habitualmente de tipo UHF o radio de corto alcance, lo que puede restringir su aplicación en áreas extensas sin apoyo de repetidores o redes virtuales VRs (KARSCH, 2016).

2.5.5. Técnica de determinación espacial mediante coordenadas rectangulares.

El método de levantamiento por coordenadas rectangulares tiene como finalidad la obtención directa en campo de las coordenadas tridimensionales de los puntos de interés, sin requerir cálculos adicionales ni procesamiento posterior.

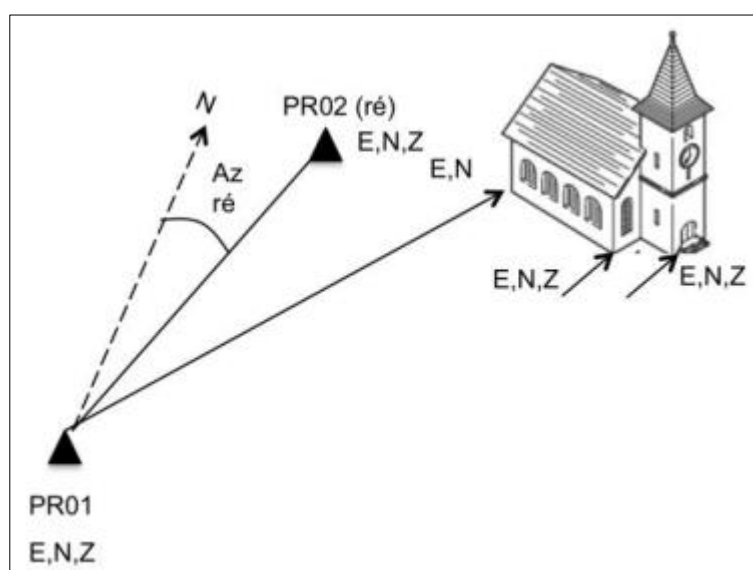
Este procedimiento opera bajo el principio de irradiación, donde las estaciones totales convierten automáticamente los valores angulares y las distancias originalmente expresadas en coordenadas polares en coordenadas planas cartesianas X, Y, Z en sistemas locales como el PTH, o E, N, Z en el sistema UTM (Silva et al., 2022).

Debido a que el método no contempla correcciones posteriores, resulta indispensable aplicar el factor de escala durante el trabajo de campo. Este factor ajusta las distancias medidas al sistema de referencia utilizado, asegurando así la coherencia métrica del levantamiento con respecto a la red geodésica o los puntos de control establecidos (IBGE, 2020).

La aplicación práctica del método requiere que el operador ocupe un punto de coordenadas conocidas, instalando sobre él la estación total. Además, debe realizarse una orientación inicial (llamada "ré") hacia otro punto también conocido, ya sea por coordenada o azimut. Estos datos deben ser introducidos previamente en el software interno del equipo.

La figura 12 presenta un esquema representativo de este proceso, en el cual se observa una estación instalada en el punto PR01, con orientación hacia el punto PR02. Una vez realizada la orientación, el instrumento se encuentra listo para realizar mediciones hacia nuevos puntos —como elementos arquitectónicos de una iglesia— cuyas coordenadas E y N son determinadas en tiempo real y almacenadas automáticamente en la memoria del equipo (BOSCATTO, 2014).

Figura 12 - Levantamiento topográfico utilizando coordenadas rectangulares



Fuente: (BOSCATTO, 2014).

3. ENFOQUE METODOLÓGICO Y RECURSOS UTILIZADOS

La presente investigación se desarrolló a partir de unas series de etapas metodológicas aplicadas directamente en el campo, orientadas a la caracterización y análisis del estado de conservación del inmueble patrimonial.

La figura 13 presenta una representación esquemática y simplificada de la metodología adoptada en este estudio, ilustrando de manera clara las etapas principales del proceso, desde la revisión bibliográfica inicial hasta la planificación y digitalización de este. Esta organización visual permite comprender de forma estructurada cómo se integraron las distintas técnicas y herramientas empleadas para el diagnóstico y análisis de la catedral nuestra señora de Guadalupe.

Figura 13 - Etapas metodológicas para la digitalización de la catedral.



Fuente: (Autor, 2025)

3.1. Etapa 1: Método de Investigación

Esta fase del estudio consistió en una revisión bibliográfica estructurada, llevada a cabo mediante el acceso al Portal de Periódicos CAPES, explorando bases de datos científicas reconocidas como SciELO, Scopus, Sciencedirect, Scholar Academic, BDTD Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (IBICT).

Para la selección de las publicaciones, se aplicó la metodología PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), la cual permitió una organización rigurosa y transparente del proceso de búsqueda y filtrado de contenidos relevantes.

Se recopilaron artículos científicos, tesis de grado y disertaciones en los idiomas portugués, inglés y español, con énfasis en estudios relacionados con la aplicación de tecnologías de digitalización tridimensional en edificaciones históricas y de valor cultural.

La revisión se centró especialmente en trabajos que abordaran metodologías de levantamiento mediante escaneo láser terrestre, fotogrametría digital y el uso de vehículos aéreos no tripulados (UAVs), con el objetivo de documentar con alta precisión los elementos arquitectónicos, volumetría y geometría de fachadas en contextos patrimoniales.

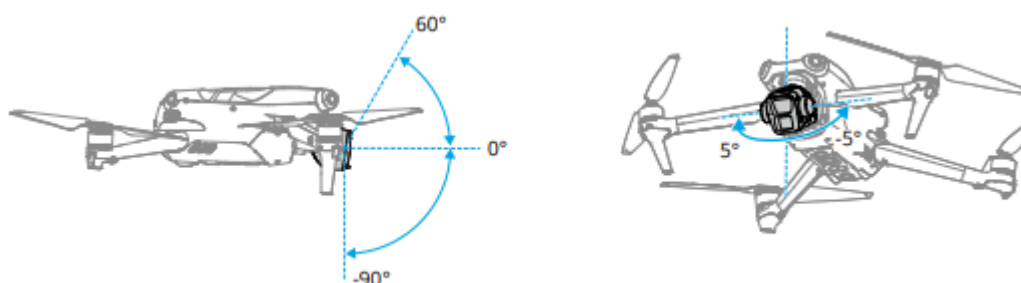
3.2. Etapa 2: Instrumento empleado

Se incluyeron también investigaciones sobre el uso de tecnologías no destructivas en levantamientos técnicos de precisión, destacando la implementación de vehículos aéreos no tripulados (VANT/drones), puede ser observado en la figura 14 utilizados en este trabajo (a) es el *Dron DJI Mavic Pro Fly Air 3*, este modelo fue empleado para la obtención de imágenes aéreas destinadas a la generación del modelo tridimensional del bien patrimonial.

El dron Mavic Pro Fly Air 3 está equipado con una cámara de alta resolución capaz de capturar imágenes de 12 megapíxeles y grabar video en calidad 4K a 60 fps. Incorpora un sistema de estabilización mediante gimbal de tres ejes, que asegura tomas fluidas y estables durante el vuelo. La cámara, de gran angular, ofrece un rango de zoom óptico mínimo de 3x y máximo de 9x, permitiendo obtener imágenes nítidas incluso en condiciones de ligera inestabilidad atmosférica.

Por otra parte, Gracias al sistema avanzado de asistencia al piloto 5.0, la aeronave es capaz de detectar y esquivar obstáculos en todas las direcciones de manera rápida y precisa, aumentando así la seguridad del vuelo y la estabilidad de las imágenes. Estos modos incluyen funciones como FocusTrack, MasterShots, QuickShots, Hyperlapse y vuelo de trayectoria, que facilitan la captura de videos con calidad cinematográfica sin necesidad de maniobras complejas por parte del usuario.

Figura 14 - Perfil de estabilizador de la cámara



Fuente: (Manual de usuario DJI AIR 3, 2023).

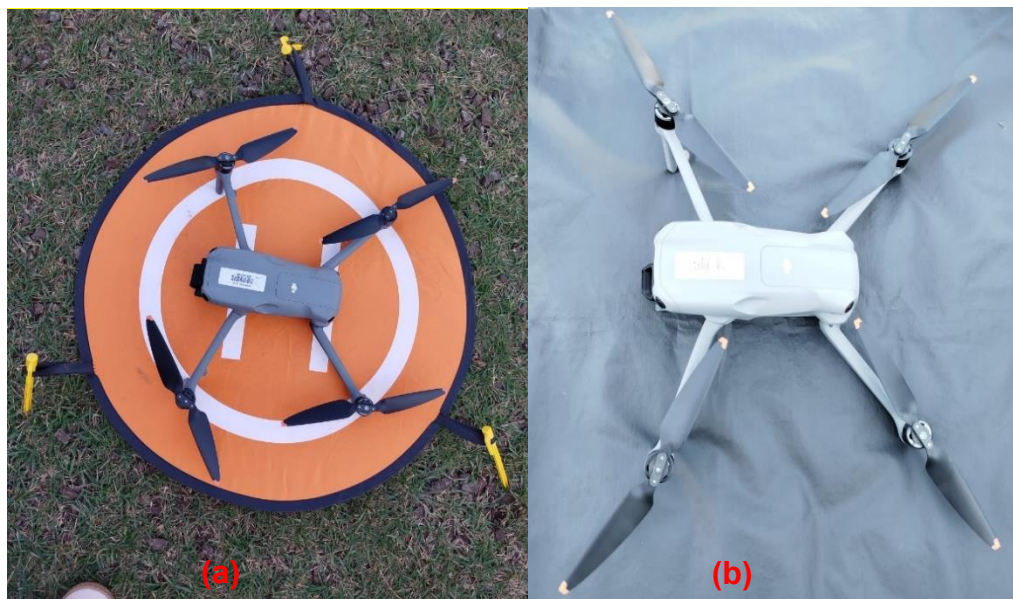
La cámara incorpora un sensor CMOS de 1/2.3" y una lente con apertura $f/2.2$, lo que permite obtener imágenes nítidas, con buena fidelidad de color y alto nivel de detalle, por tanto, el estabilizador de la cámara posee un rango de inclinación de control de -90 a 60° y un rango de paneo de control de -5 a 5 .

Además, el dron cuenta con sistema de posicionamiento por satélite (GPS/GLONASS), lo que asegura la georreferenciación precisa de las imágenes capturadas. Con un peso de 734 gramos y una velocidad máxima de vuelo de 65 km/h, el Mavic Pro se presenta como una herramienta eficaz para levantamientos fotogramétricos de precisión en entornos patrimoniales y (b) *Dron DJI Mavic pro* fue utilizado para la generación de 2D, este equipo es de categoría

compacta diseñado para captación de imágenes aéreas de alta calidad y operaciones de mapeo en entornos urbanos e históricos. Incorpora una cámara con sensor CMOS de 1/2.3 pulgadas, capaz de registrar fotografías en resolución de 12 megapíxeles y videos en formato 4K a 30 fps, y por otra parte se encuentra la estación robótica Leica MS60, que facilitó el escaneo tridimensional de alta precisión de las estructuras patrimoniales.

Ya este equipo no posee una cámara de alta resolución. Esta combinación de herramientas permitió la obtención de datos detallados acerca de la geometría, sin necesidad de realizar intervenciones directas sobre los elementos analizados.

Figura 15 - Tecnología de movilidad autónoma



Fuente: (Autor, 2025).

Además, en la figura 16 se presenta el receptor GNSS utilizado durante el levantamiento, el cual fue empleado para la obtención precisa de coordenadas geográficas de referencia.

La topografía clásica desempeña un papel fundamental en todo el proceso de documentación geométrica, ya que establece la base técnica sobre la cual se sustenta la precisión del escaneo tridimensional (Angás Pajas et al., 2010). Su función es esencial para la georreferenciación, el registro y el control de calidad del modelo digital generado.

Este levantamiento previo proporciona puntos de control como dianas reflectantes o esferas topográficas que permiten la correcta alineación y fusión de los diferentes escaneos dentro de un sistema unificado de coordenadas.

Figura 16 – Receptor GNSS



Fuente: (Autor, 2025).

Además, actúa como una referencia externa indispensable para verificar la fidelidad dimensional del modelo, así como para posibilitar su ampliación temporal (diacrónica), especialmente en intervenciones arqueológicas o patrimoniales. Por estos motivos, la topografía clásica se convierte en una etapa prioritaria del proceso metodológico, siendo determinante para garantizar la exactitud final del modelado tridimensional (LÓPEZ-MENCHERO BENDICHO et al., 2016).

El uso de esta tecnología avanzada fue crucial para realizar un análisis exhaustivo sin comprometer la integridad de los bienes culturales. La elección de los equipos se basó en criterios técnicos rigurosos, adaptados a las condiciones específicas del entorno construido, así como en la clasificación tipológica de las edificaciones, tomando en cuenta su altura, estado de conservación y las metodologías empleadas por otros autores en estudios diagnósticos de bienes patrimoniales.

De esta manera, el desarrollo paso a paso de este levantamiento se presenta al final del trabajo, en el apartado *ANEXO*.

3.3. Etapa 3: Levantamiento técnico y diagnóstico in situ

En esta etapa del trabajo, se realizó la clasificación de los bienes patrimoniales históricos y religiosos seleccionados para el análisis. El estudio se centró en la Catedral Nuestra Señora de Guadalupe, por lo que fue necesario aplicar un enfoque metodológico integral.

Este enfoque combinó técnicas avanzadas de levantamiento topográfico, escaneo tridimensional y registro fotogramétrico. La aplicación de estas herramientas permitió obtener una documentación precisa de los elementos arquitectónicos del edificio, facilitando el desarrollo del modelado 3D.

3.4. Etapa 4: Etapa de posprocesamiento y análisis técnico

En esta última etapa, el enfoque se dirige al procesamiento y tratamiento de los datos recolectados in situ. A partir de los escaneos realizados con la estación robótica MS60 y otras herramientas de levantamiento, se procede a la generación de modelos tridimensionales detallados de la infraestructura patrimonial. Este proceso incluye la limpieza de la nube de puntos, la optimización geométrica del objeto, y la reconstrucción precisa de sus elementos arquitectónicos.

Asimismo, la generación del modelo tridimensional permite una representación precisa y detallada de la geometría arquitectónica de la Catedral de Nuestra Señora de Guadalupe, facilitando la visualización integral de sus elementos constructivos, proporciones espaciales y características morfológicas.

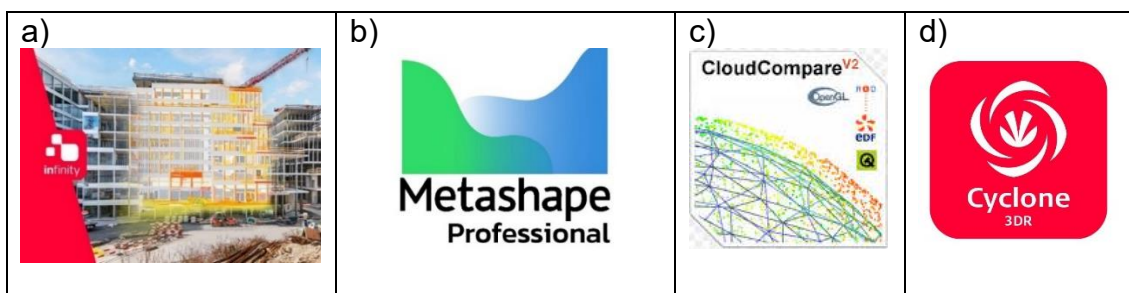
Esta documentación digital constituye una herramienta esencial para el registro, análisis y difusión de la edificación, posibilitando su estudio y preservación en entornos digitales con alta fidelidad geométrica y visual.

3.4.1. Procesamiento de datos software utilizados

De esta forma para el procesamiento de los datos de campo, se utilizaron los softwares siguientes (figura 17):

- Software Leica Infinity*, como herramienta para la visualización, detallada de la nube de puntos generada por la estación total MS60, garantizando precisión y eficiencia en el procesamiento de los datos espaciales.
- Metashape*, fue empleado para el procesamiento fotogramétrico de las imágenes, permitiendo la generación precisa de modelos 3D, nubes de puntos y ortomosaicos, a partir de datos obtenidos mediante captura aérea o terrestre.
- CloudCompare*, para comparar diferentes nubes de puntos, analizar discrepancias y validar la calidad de los modelos obtenidos.
- Software Cyclone*, utilizado como apoyo en la gestión y organización de la nube de puntos, permitiendo trabajar de manera ordenada y eficiente durante el procesamiento y análisis de los datos recolectados y generación del modelado 3D.

Figura 17 - Software para procesamiento de datos.



3.4.2. Estación Total Leica MS60 - Tecnología Multiusos.

La Leica Nova MS60 es la primera multiestación del mundo que integra en un solo equipo todas las funciones necesarias para realizar trabajos topográficos, escaneos 3D de alta densidad, adquisición de imágenes y conexión con sistemas GNSS, ofreciendo una solución versátil y de alta precisión directamente en el campo.

Según las especificaciones técnicas de la (MS60, 2020), su diseño está orientado a facilitar un flujo de trabajo completo, desde la captura hasta el análisis, optimizando el tiempo y la calidad de los datos obtenidos. Este equipo permite realizar levantamientos topográficos convencionales como una estación total, y al mismo tiempo a lo largo de la barradura del láser tridimensional, en la cual recolecta hasta 30.000 puntos por segundo.

Incorpora la función Auto Height, que calcula automáticamente la altura del instrumento, aumentando la eficiencia en la preparación del trabajo. Además, cuenta con la funcionalidad Inspect Surface, que permite llevar a cabo análisis inmediatos de superficies directamente en terreno, como comprobaciones de planitud y control de obra (MS60, 2020).

Cabe destacar la importancia de seleccionar adecuadamente el modo de escaneo aplicado en campo, ya que este influye directamente en la calidad, alcance y eficiencia del levantamiento. Las diferentes configuraciones disponibles en términos de velocidad de adquisición de puntos y alcance se presentan de forma detallada en la tabla 1, permitiendo adaptar la metodología a los requerimientos específicos de cada situación.

De este modo, se puede afirmar que la estación total Leica Nova MS60 es aplicable en una amplia variedad de campos, gracias a su versatilidad y capacidad de integración de tecnologías de escaneo láser 3D, topografía convencional y captura de imágenes de alta precisión (figura 18).

Tabla 1 - Parámetros de escaneo 3D del sistema Leica.

Campo	Opción	Descripción
Seleccione la velocidad y alcance de escaneo adecuados	1000 pt/s, hasta 300 m	- Modo de escaneo de 1000 Hz. - Alcance hasta 300 m. - Recomendado cuando el tiempo es prioritario.
	250 pt/s, hasta 400 m	- Modo de escaneo de 250 Hz. - Alcance hasta 400 m. - Recomendado cuando el tiempo y la precisión son equilibradamente importantes.
	62 pt/s, hasta 500 m	- Modo de escaneo de 62 Hz. - Alcance hasta 500 m. - Recomendado cuando la precisión y el alcance son más relevantes que la velocidad.
	Aprox. 1 pt/s, hasta 1000 m	- Modo de escaneo de largo alcance de 1 Hz. - Alcance hasta 1000 m. - Recomendado para aplicaciones de gran distancia.
Tiempo necesario	Campo informativo	Tiempo estimado necesario para completar la medición.

Distancia media de escaneo (opcional)	Campo editable	Distancia geométrica hacia el punto de escaneo. Este valor es opcional. Si se conoce de antemano, el sistema ajusta la velocidad de escaneo automáticamente.
---------------------------------------	----------------	--

Fuente: Adaptado según la especificación técnica (Leica Captivate, 2020).

- **Topografía, cartografía y monitoreo**, generando modelos 2D y 3D para mapas y análisis espaciales.
- **Construcción y minería**, con cálculos de superficies y volúmenes, análisis de espesor de materiales, nivelación de terrenos y drenajes.
- **Inspección estructural**, útil en proyectos industriales y civiles, control dimensional, mantenimiento y detección de deformaciones.
- **Documentación patrimonial y arquitectónica**, ideal para el levantamiento de fachadas, elaboración de alzados, modelado tridimensional de elementos históricos y registro fotográfico de alta resolución.
- **Monitorización geotécnica y estructural**, proporcionando mediciones periódicas o en tiempo real de presas, puentes, edificios y zonas de riesgo como taludes o deslizamientos.

Figura 18 - Estación Robótica MS60



Fuente: Adaptado según la especificación técnica (Leica Captivate, 2020).

La figura 19, muestra el proceso estructurado para la adquisición y procesamiento de datos mediante escáner láser terrestre. El flujo inicia con la captura de datos, que se divide en levantamientos de alta y baja densidad, según el nivel de detalle requerido.

Posteriormente, se integran datos topográficos, dianas de control y puntos de contraste geométrico para garantizar la georreferenciación y calidad del modelo. El posprocesamiento de la nube de puntos y la verificación en campo permiten validar los resultados, concluyendo con un análisis cuantitativo de exactitud en los datos 3D.

Figura 19 - Flujo de etapas para evaluar la precisión del escáner 3D



Fuente: (Autor, 2025)

3.4.3. Prisma

El prisma 360° Leica GRZ101 es un accesorio diseñado para su uso con estaciones totales robóticas como la Leica Nova MS60. Este prisma permite la medición automática desde cualquier dirección, facilitando el seguimiento continuo del objetivo sin necesidad de reorientar el instrumento manualmente (MS60, 2020).

Cada tipo de prisma posee una constante geométrica específica, también conocida como constante de prisma, la cual representa la distancia entre el centro óptico del prisma y el punto de referencia mecánico utilizado por la estación total para realizar mediciones.

En los equipos de Leica Geosystems, estas constantes están preconfiguradas de fábrica según las especificaciones de cada modelo de prisma, lo que garantiza una alta precisión en las mediciones sin necesidad de ajustes manuales. Sin embargo, el sistema también permite la definición personalizada de nuevas constantes para otros tipos de prismas no estándar, asegurando así la compatibilidad con una amplia variedad de accesorios y condiciones de campo (Leica, 2021).

La tabla 2, presenta las especificaciones técnicas de prismas 360° utilizados en levantamientos topográficos con estaciones totales Leica. Estos prismas permiten la medición automatizada desde cualquier dirección, lo que es esencial en trabajos con estaciones robóticas. Se detallan los modelos GRZ4, GRZ122 y GRZ101, incluyendo sus respectivas constantes. La constante Leica es el valor

preestablecido que debe configurarse en el instrumento para garantizar precisión en la medición de distancias.

Tabla 2 - Señales de prisma predeterminadas.

Descripción del Prisma				
Nombre	Nombre en la lista	Tipo	Constante Leica	Constante Absoluta
GRZ4-GRZ122	Leica prisma 360°	Prisma	+23.1 mm	-11.3 mm
GRZ101	Leica prisma 360°	Prisma	+30.0 mm	-4.4 mm

Fuente: (Leica, 2021).

La constante absoluta representa el desplazamiento real del punto de medición respecto al centro geométrico del prisma, lo cual es relevante en aplicaciones de alta precisión (figura 20). Seleccionar el valor correcto en el software evita errores sistemáticos en el levantamiento y procesamiento de datos espaciales (Leica Geosystems, 2021).

Figura 20 - Prismas máxima precisión y alcance



Fuente: (Leica Geosystems, 2021)

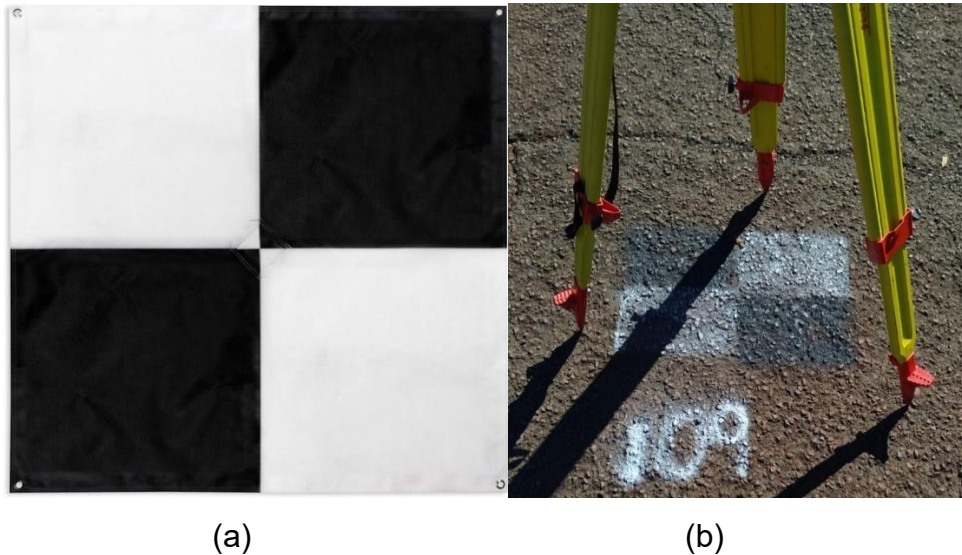
3.4.4. Punto de Control

Los puntos de control son elementos fundamentales en el levantamiento con escáner láser terrestre (TLS), ya que permiten la georreferenciación precisa de las nubes de puntos capturadas. Estos puntos, cuyas coordenadas son conocidas con exactitud, sirven para alinear y escalar los datos escaneados dentro de un sistema de referencia geodésico, asegurando la coherencia espacial del modelo tridimensional generado (Pintos et al., 2025).

La correcta distribución y cantidad de puntos de control influyen directamente en la precisión del modelo. Estudios han demostrado que una disposición estratégica y uniforme de estos puntos mejora significativamente la exactitud de los resultados, mientras que una distribución inadecuada puede introducir errores sistemáticos en el modelo final (Almeida, 2023).

En la figura 21 se muestra uno de los puntos de control georreferenciados (GCP) instalados en el terreno, los cuales fueron utilizados posteriormente como referencia para el procesamiento y validación de los datos obtenidos durante el levantamiento fotogramétrico y el escaneo a láser.

Figura 21 - Punto de control en el campo a) Modelo de punto de control b) Modelo adoptado en el campo.



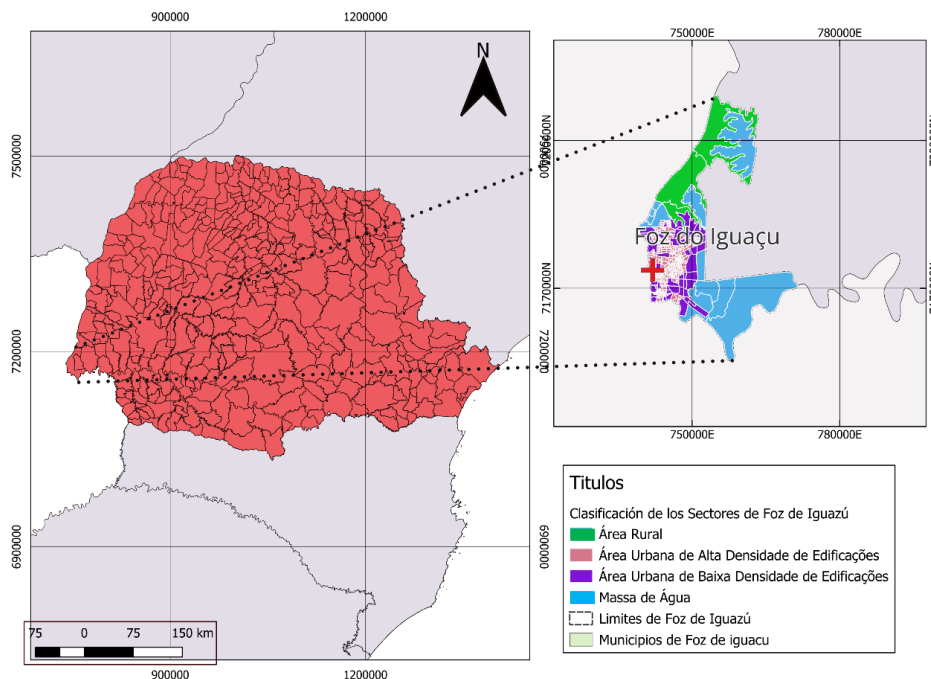
Fuente: (Autor, 2025)

4. ESTUDIO DE CASO

4.1. Ubicación Geográfica

La Catedral Diocesana Nuestra Señora de Guadalupe se encuentra emplazada en una posición topográfica privilegiada, en uno de los puntos más altos de la ciudad de Foz de Iguazú Vila A, estado de Paraná, Brasil. Su localización exacta corresponde a las coordenadas geográficas $25^{\circ}31'28.3''$ de latitud Sur y $54^{\circ}34'42.2''$ de longitud Oeste (25.524528° S, 54.578386° W), lo que la sitúa en el hemisferio sur y en el cuadrante suroeste del globo terrestre (figura 22). Esta ubicación elevada no solo garantiza su visibilidad desde diversos sectores urbanos, sino que también refuerza su carácter simbólico como hito espiritual y visual dentro del paisaje urbano de la región triple frontera (Itaipu, 2021).

Figura 22 - Localización geográfica del área de estudio.



Fuente: (Autor, 2025).

4.2. Descripción Arquitectónica

La palabra "Catedral" proviene del término "Cátedra", que hace referencia a la sede del obispo, simbolizando la autoridad episcopal en una diócesis. En Foz de Iguazú, la Catedral Diocesana Nuestra Señora de Guadalupe, actual sede principal de la diócesis tuvo su piedra fundamental bendecida el 26 de junio de 2003.

El proyecto arquitectónico fue concebido por el arquitecto Emilio Benvenuto Zanon, y las obras de construcción comenzaron oficialmente el 1º de mayo de 2004, con la colocación simbólica de la primera pala de cemento y la instalación del campamento de obra (Cultura, 2023).

El 1º de mayo de 2005, se erigió un pequeño oratorio dedicado a Nuestra Señora de Guadalupe, denominado "Ermita", con el propósito de atender la devoción de los fieles durante el proceso de construcción. Esta fue bendecida por Dom Laurindo Guizzardi, obispo diocesano de la época (Gooda, 2008).

En el año 2010, la comisión encargada del proyecto contrató a la empresa Beton Steel para la instalación de la estructura metálica y la cubierta del edificio. A partir de ese momento, la catedral comenzó a adquirir su forma definitiva, consolidándose como uno de los monumentos arquitectónicos más emblemáticos y significativos de la ciudad.

Como se aprecia en la figura 23, desde una perspectiva arquitectónica, la Catedral de Nuestra Señora de Guadalupe sobresale por la integración de un lenguaje contemporáneo con una carga simbólica profundamente cristiana. Su

trazado en planta responde al esquema de la cruz griega con brazos de igual longitud, una elección que no solo aporta equilibrio compositivo al conjunto, sino que también alude a la universalidad de la fe cristiana, evocando la centralidad de Cristo y la igualdad de los caminos que conducen hacia Él.

El templo ha sido diseñado con una capacidad total para albergar a 1.600 personas sentadas, distribuidas en dos niveles, 1.200 asientos en la nave principal y 400 en el entresuelo o mezzanina.

Tres fechas clave a recordar, la primera piedra para la construcción de la iglesia fue colocada y bendecida el 26 de junio de 2003. En esa misma ocasión, se depositó una *cápsula del tiempo* junto a la piedra fundamental, conteniendo documentos relacionados con la catedral.

Está previsto que dicha cápsula sea reabierto en el año 2033, marcando así el trigésimo aniversario del evento. Posteriormente, el 1 de mayo de 2004, se dio inicio oficial a las obras con el vertido simbólico del primer cargamento de cemento y la instalación del campamento de construcción (Gooda, 2008).

Figura 23 - Catedral Nuestra Señora de Guadalupe



Fuente: (Autor,2025)

4.3. Simbolismo y Arquitectura Sagrada

Cada una de las fachadas de la catedral está coronada por una sofisticada estructura metálica en tres niveles ascendentes, todos cuidadosamente concebidos con un profundo simbolismo cristiano. El primer nivel, el más próximo al observador, adopta la forma estilizada del manto de Nuestra Señora: una

superficie ondulada que sugiere la ternura con la que ella envuelve el rostro de su Hijo y, por extensión, a toda la humanidad (Iguasu, 2020).

El segundo nivel evoca, en sus formas y caídas, la majestuosidad de las Cataratas del Iguazú, símbolo de la gracia derramada, al tiempo que remite a las estolas litúrgicas portadas por los sacerdotes como signo de su vocación y servicio. Por encima de todo, una tercera ondulación culmina el conjunto: una corona elevada, representación simbólica de Cristo Rey del Universo, soberano absoluto y centro espiritual de la construcción.

De esta forma en la figura 24 se contempla el diseño de los techos presenta una sutil elevación desde el interior hacia el exterior, una decisión arquitectónica intencional que sugiere la proyección de la Palabra, nacida en el seno de la Iglesia, hacia los cuatro puntos cardinales y más allá, en misión universal. Esta configuración, por su potencia estética y teológica, constituye una verdadera obra maestra de la arquitectura sacra contemporánea, digna de ser visitada y contemplada (Itaipu, 2021).

Figura 24 - Simbolismo de la Catedral



Fuente: (Autor,2025).

En el interior, justo en el punto de intersección de los planos que conforman la cruz estructural del techo, se halla un gran círculo, figura perfecta que, para los fieles católicos, simboliza la alianza eterna de amor entre Dios y la humanidad.

En el centro de la estructura se encuentra un gran círculo que simboliza la eternidad y la alianza entre Dios y la humanidad. En la figura 25 se observa, la nave principal se eleva imponente, con una altura interna que alcanza los 26

metros, transmitiendo una sensación de verticalidad que invita al recogimiento espiritual.

La torre principal, rematada con una cruz, alcanza los 46 metros de altura, convirtiéndose en un hito visual de la ciudad, visible incluso desde localidades vecinas como Ciudad del Este Paraguay. La combinación de acero, concreto y vidrio otorga al conjunto una estética moderna y atemporal, en armonía con el entorno urbano y natural de Foz de Iguazú (Vergara, 2020).

Figura 25 - Núcleo estructural de la nave central



Fuente: (Autor,2025).

4.4. Cruz Griega

La configuración arquitectónica responde fielmente al trazado de una cruz griega, sobre cuyo centro se erige una torre de forma circular. En el punto más elevado de dicha torre fue instalada una cruz, coronando simbólicamente el edificio. En la figura 26, es observado desde una perspectiva aérea, el conjunto adquiere la forma de una cruz inscrita en un círculo. Esta disposición geométrica cruz griega contenida en un círculo da lugar a la representación abstracta de una corona, símbolo de profunda significación teológica (Cultura, 2023).

Dicha figura simboliza, en primer lugar, la realeza de Cristo Rey del Universo, fundamento central de la fe cristiana. En segundo término, evoca la devoción mariana bajo el título de María, Reina del Cielo y de la Tierra, honrada como figura corredentora y madre espiritual de la humanidad.

En la base de la cruz se encuentra un círculo de menores proporciones, símbolo de la perfección, la eternidad y la infinitud de Dios. Este elemento también representa la Gran Alianza de Amor establecida entre Dios y la humanidad, reafirmando el mensaje de comunión y redención que atraviesa toda la estructura del templo (Santana, 2023).

Figura 26 - La simetría perfecta de la cruz griega



Fuente: (Autor,2025).

4.5. La Ermita – Santuario de Devoción

En el atrio de la catedral se destaca la Ermita, un santuario dedicado a Nuestra Señora de Guadalupe, concebido como un espacio sagrado para la oración, la meditación y el fortalecimiento de la vida espiritual de los fieles. Esta estructura ha sido construida con materiales sólidos y cuidadosamente seleccionados, integrando elementos estéticos y simbólicos que refuerzan su carácter devocional (Vitrais, 2022)

En su interior se encuentra una réplica de la imagen de Nuestra Señora de Guadalupe, una figura profundamente venerada dentro de la tradición católica, reconocida por su papel como símbolo de consuelo, intercesión y fe para millones de creyentes.

La imagen, ricamente ornamentada, se encuentra dispuesta en un altar central, rodeada por motivos iconográficos que evocan la presencia maternal y protectora de la Virgen María (Gooda, 2008).

La Ermita se configura como un lugar de recogimiento espiritual, diseñado para acoger tanto a devotos como a visitantes, invitándolos a expresar sus oraciones, formular peticiones y profundizar su vínculo con lo sagrado. Es, además, un punto de convergencia de la religiosidad popular, donde se refuerzan los lazos comunitarios a través de la experiencia compartida de la fe.

Más allá de su dimensión física, la Ermita se erige como un verdadero refugio espiritual, un espacio de serenidad y contemplación que facilita el encuentro interior con lo divino. Su ambiente tranquilo propicia la introspección y la renovación espiritual, constituyéndose como un santuario de paz y esperanza en el corazón de la comunidad católica (Tarobá, 2023).

4.6. Vitrales - Iconografía de la espiritualidad cristiana

Los vitrales de la catedral constituyen elementos artísticos y simbólicos que integran estética y teología, actuando como ventanas catequéticas que narran aspectos esenciales de la fe cristiana. Cada vitral representa uno de los cuatro evangelistas, asociados a elementos de la naturaleza y a momentos clave de la vida de Cristo, estableciendo un puente visual entre lo divino y lo terrenal (Guadalupe, 2021).

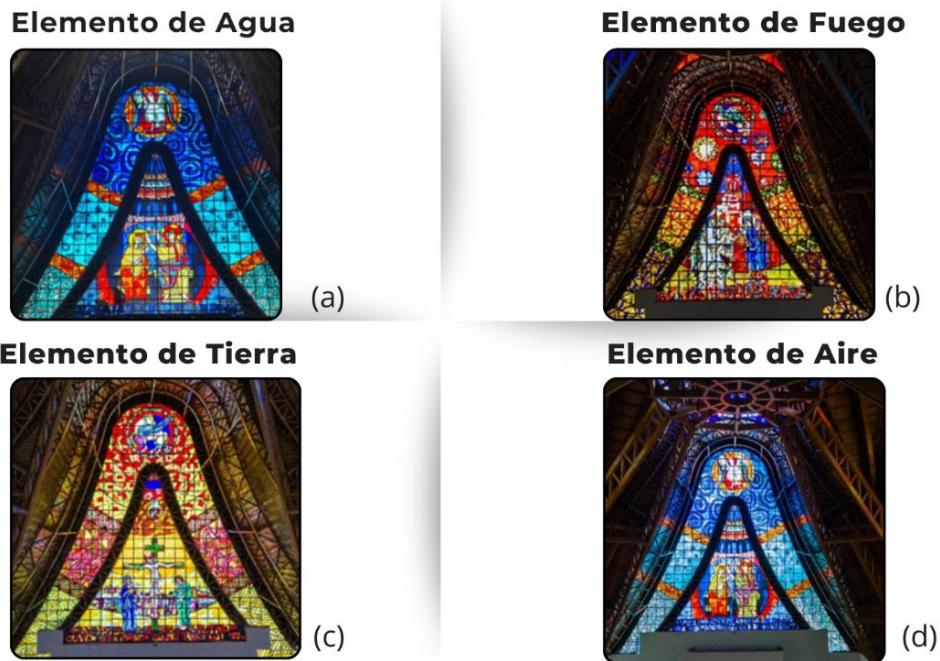
La figura 27, ilustra los elementos iconográficos presentes en los vitrales de la catedral, los cuales combinan representaciones de los cuatro evangelistas con los elementos de la naturaleza, integrando simbolismo teológico y cosmología cristiana (Cultura, 2023).

- (a) Mateo: Representado por un ángel, está asociado al elemento agua, simbolizando el nacimiento de Jesús. Esta imagen evoca la pureza, la renovación espiritual y el inicio de la encarnación divina.
- (b) Marcos: Simbolizado por un león, se vincula al elemento fuego, haciendo referencia a la fuerza de la resurrección y a la victoria de Cristo sobre la muerte. Representa el coraje, la transformación y la promesa de vida eterna.
- (c) Lucas: Representado por un toro, se asocia al elemento tierra, en alusión al sacrificio de Cristo y su conexión con la humanidad. Refleja firmeza, entrega y redención.
- (d) Juan: Simbolizado por un águila, se relaciona con el elemento aire, representando la ascensión de Cristo. Esta figura remite a la elevación espiritual, la trascendencia y la contemplación divina.

Cada vitral constituye una composición visual cargada de significado, que contribuye no solo a la estética del templo, sino también a la formación espiritual del observador mediante la contemplación simbólica de la doctrina cristiana. Estos vitrales no solo cumplen una función decorativa, sino que facilitan una

experiencia contemplativa, guiando a los fieles hacia la reflexión espiritual a través de la iconografía litúrgica.

Figura 27 - Simbología cristológica en los vitrales de la Catedral.



Fuente: (Autor, 2025).

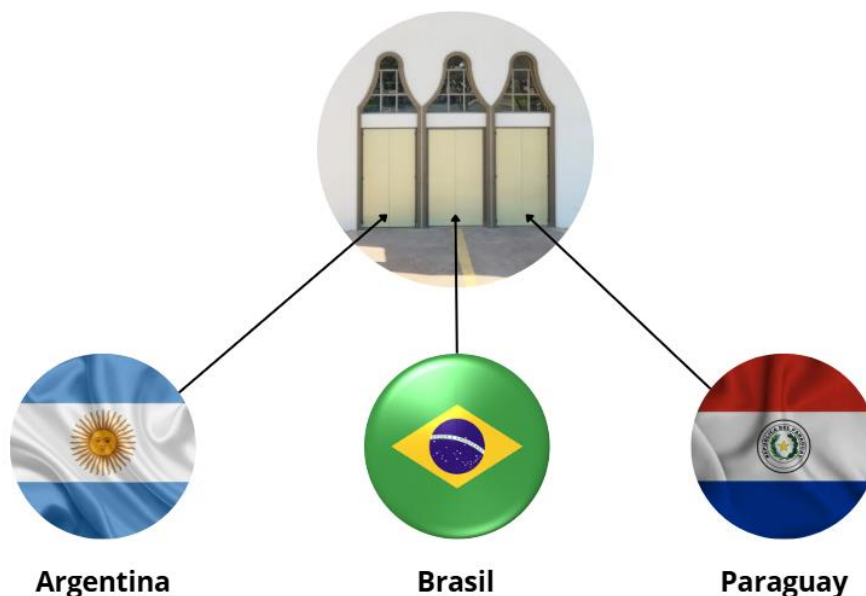
4.7. Elementos de acceso principal y secundario de la Catedral.

El acceso al templo se realiza a través de tres puertas principales, cada una de las cuales simboliza uno de los países que conforman la región de la Triple Frontera, Argentina, Brasil y Paraguay.

En la figura 28, se puede apreciar las puertas, idénticas en dimensiones y diseño, fueron concebidas con un fuerte valor simbólico representan la igualdad, la fraternidad y la convivencia armónica entre los tres pueblos que cohabitan esta región geopolítica singular (Paraná, 2022).

La disposición simétrica de los accesos no solo cumple una función arquitectónica, facilitando el flujo de personas hacia el interior del templo, sino que también transmite un mensaje de unidad cultural y espiritual. De este modo, las puertas no son meros elementos constructivos, sino verdaderos umbrales simbólicos que conectan a las naciones a través de la fé y el respeto mutuo (Vitrais, 2022).

Figura 28 - Accesos del templo como símbolo de igualdad trinacional.



Fuente: (Autor, 2025)

5. RESULTADOS Y DISCUSIONES

En el capítulo anterior se describieron detalladamente las herramientas y el enfoque metodológico aplicado en este estudio. Como parte del proceso, se llevó a cabo un levantamiento digital mediante un vehículo aéreo no tripulado (VANT), a partir del cual se obtuvieron datos precisos destinados a la cualificación y modelado tridimensional de la catedral.

En el presente capítulo, se exponen las etapas de procesamiento de las imágenes recolectadas, así como el resultado final del modelo generado, permitiendo una evaluación técnica de la representación obtenida.

5.1. Recolección de información primaria

La recolección de datos representa una fase fundamental dentro del proceso investigativo, ya que permite obtener información empírica mediante la aplicación de diversas metodologías, como observaciones sistemáticas, mediciones cuantificables y análisis estructurados.

Estas técnicas se emplearon con el fin de proporcionar insumos confiables que respalden una toma de decisiones rigurosa y fundamentada. Por tanto, en esta sección se expone de manera detallada la etapa de trabajo de campo

5.1.1. Desarrollo de la fase de campo

En la tabla 3, se aprecian los datos recolectados con la GNSS las coordenadas alrededor de la iglesia, obteniendo el este, norte, y la altitud geométrica, cada punto levantado fue identificado con un código específico (ID) asignado durante la jornada de campo para su correcta referencia y organización.

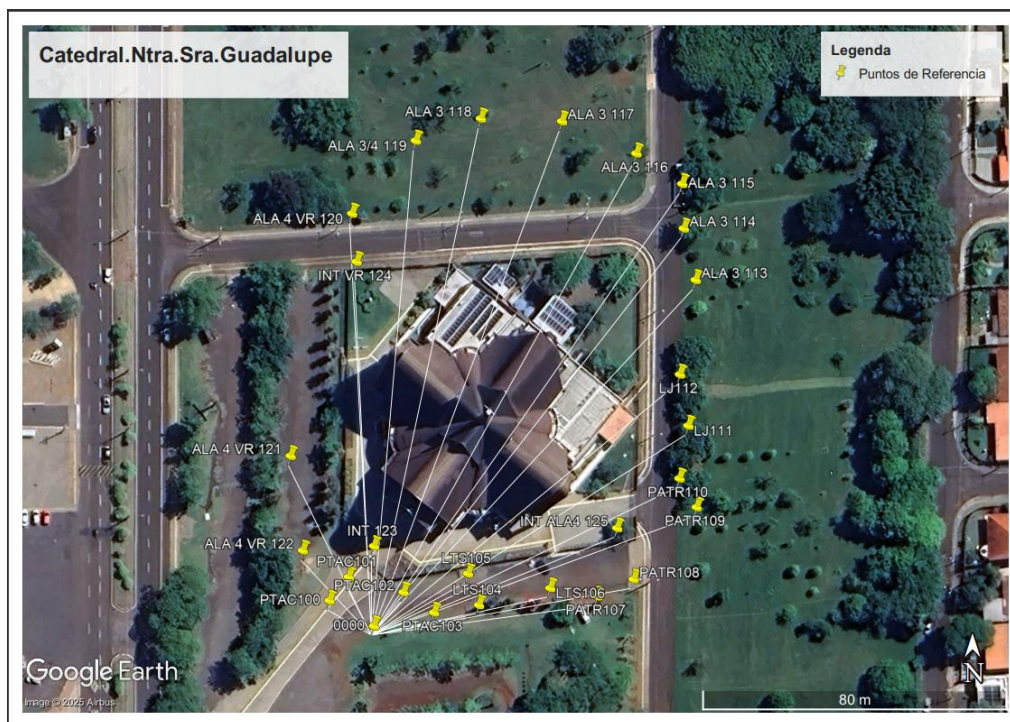
Tabla 3 - Registro de los datos obtenidos en campo

ID	E	N	h (m)
100	743871,275	7177696,988	236,240
Base 000	743882,694	7177689,976	236,170
101	743876,407	7177703,067	236,649
102	743890,658	7177698,689	236,602
103	743898,539	7177693,147	236,560
104	743910,354	7177694,833	236,813
105	743907,649	7177703,183	237,033
106	743929,219	7177698,834	236,828
107	743941,642	7177696,340	236,806
108	743951,291	7177700,700	236,534
109	743968,131	7177719,436	237,435
110	743963,709	7177727,087	237,346
111	743966,210	7177740,901	238,058
112	743964,196	7177754,320	238,475
113	743968,566	7177778,835	239,569
114	743965,599	7177792,180	239,985
115	743965,296	7177803,646	240,459
116	743953,513	7177811,670	240,648
117	743934,322	7177820,277	240,410
118	743913,320	7177821,373	240,010
119	743896,324	7177816,052	239,408
120	743879,336	7177797,589	238,387
121	743861,904	7177734,987	236,142
122	743864,589	7177710,238	236,195
123	743883,195	7177710,974	237,261
124	743880,230	7177785,122	238,421
125	743947,140	7177714,305	237,643
A	743873,570	7177725,444	236,105
B	743863,026	7177730,116	235,936
C	743862,997	7177744,740	236,294
D	743866,426	7177765,034	236,783
E	743870,002	717778,673	237,197
M11	743798,547	7177776,399	236,052

Fuente: (Autor, 2025)

En la figura 29 se presentan los puntos georreferenciados recolectados mediante la GNSS, totalizando 25 puntos de control distribuidos estratégicamente en el área de estudio. Estos puntos sirven como referencia espacial para garantizar la precisión y la fidelidad geométrica en el procesamiento de los datos.

Figura 29 - Georreferenciación con GNSS



Fuente: (Autor, 2025).

5.1.2. Cálculo de Azimut

Por otro lado, para la ejecución del escaneo láser fue necesario calcular el azimut correspondiente a cada uno de los puntos levantados, para lo cual se utilizaron los datos presentados en la Tabla 3. Es importante señalar que las coordenadas obtenidas y los azimutes calculados corresponden al azimut de cuadrícula. Asimismo, en el caso de las coordenadas geométricas, es necesario considerar la convergencia meridiana, es decir realizar la transformación del mismo, para aplicar las correcciones pertinentes que garanticen la precisión del levantamiento.

En la tabla 4, se detallan los valores correspondientes a cada estación, totalizando 29 puntos utilizados en el levantamiento, estos puntos fueron esenciales para guiar adecuadamente la adquisición de datos durante todo el proceso.

A continuación, se expresa la ecuación utilizada para el cálculo mencionado:

$$\tan^{-1} = \left(\frac{E_2 - E_1}{N_2 - N_1} \right) = \left(\frac{\Delta E}{\Delta N} \right) \quad (1)$$

Donde:

E_1, E_2 = Corresponde a la coordenada Este

N_1, N_2 = Corresponde a la coordenada Norte

Tabla 4 - Resultados del cálculo de azimut para el levantamiento.

AZIMUTES	
ID	Ángulo (°)
000 a 101	334°20' 49,87"
101 a 000	154°20' 49,87"
000 a 100	301°33' 09,36"
100 a 000	121°33' 09,36"
101 a 102	107°04' 38,28"
110 a 108	205°12' 07,81"
109 a 110	2°24' 09,39"
108 a 110	25°12' 07,81"
111 a 112	351°27' 51,96"
112 a 113	10°06' 26,20"
113 a 114	347°27' 55,02"
114 a 115	358°29' 10,52"
115 a 116	304°15' 14,84"
116 A 117	294°09' 20,98"
117 a 118	272°59' 14,28"
118 a 119	252°36' 57,73"
119 a 120	222°37' 02,94"
121 a 122	173°48' 29,67"
122 a 100	153°13' 27,54"
123 a 124	357°42' 36,36"
124 a 123	177°42' 36,36"
125 a 123	267°01' 05,03"
120 a 119	42°37' 02,94"
A a B	293°53' 52,52"
B a C	359°53' 10,97"
C a D	9°35' 25,68"
D a E	179°59' 59,89"
E a D	359°59' 59,89"
M a N	226°53' 02,93"

Tal como se mencionó anteriormente, la realización de estos cálculos resulta fundamental, ya que, a partir de los azimuts, es decir, las direcciones angulares entre puntos es posible alinear y ensamblar adecuadamente las nubes de puntos, asegurando su correspondencia espacial y la continuidad geométrica del modelo.

5.2. Procesamiento de imágenes para la obtención de modelado 3D

Durante el procesamiento de las imágenes, se optó por no utilizar el formato TIFF, ya que el modelo a generar sería de una calidad alta sin que esto implicara una sobrecarga innecesaria en el sistema.

Este tipo de archivo, al ser más pesado, podría ralentizado las etapas del proceso. En la figura 30 se muestra el flujo seguido por el software desde el momento en que se incorporaron las imágenes.

Figura 30 - Flujo de procesamiento de imágenes para modelos 3D en *Agisoft Metashape*.



Fuente: (Autor, 2025).

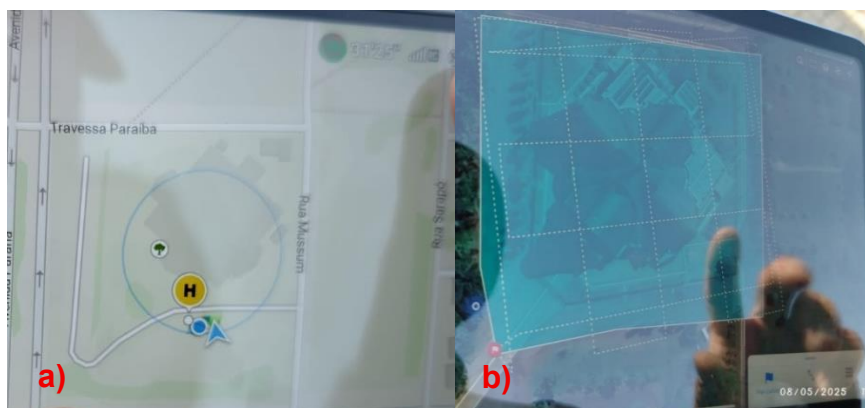
5.2.1. Planeamiento del levantamiento del vuelo

La primera etapa para la elaboración de modelos 3D es la toma de fotografías, la cual representa una fase crucial dentro del proceso. Por ello, es fundamental realizar una planificación adecuada, que incluya el diseño de una ruta de vuelo con parámetros bien definidos como la altura y los ángulos de captura.

En este estudio se empleó el dron DJI Mavic Air 3, operado mediante la aplicación nativa del control DJI. En la sección a), se puede observar que el modelo de levantamiento resultante presenta una configuración circular (Figura 30).

Por otro lado, a la sección b) para el dron Mavic Pro se utilizó la aplicación Drone Deploy, que permite planificar vuelos automáticos de manera precisa en configuraciones poligonales, facilitando así la captura sistemática de las imágenes necesarias para el análisis.

Figura 31 - Áreas de cobertura planificadas: a) Mavic Air 3, b) Mavic Pro



Fuente: (Autor,2025).

De esta manera, en la tabla 5 se presentan las especificaciones correspondientes al plan de vuelo realizado sobre la Catedral de Nuestra Señora de Guadalupe.

Tabla 5 - Especificaciones del levantamiento del vuelo

Descripción	Tipo de levantamiento	Posición del ángulo	Altura de vuelo (m)
Mavic DJI Air 3	1 ° Misión circular	45°	120
	2 ° Misión circular	30°	80
	3 ° Misión circular	30°	60
	4 ° Misión circular	30°	30
	5 ° Misión circular	30°	20
Mavic Pro	6° Polígono	45°	15
	7° Polígono	45	10

Fuente: (Autor,2025).

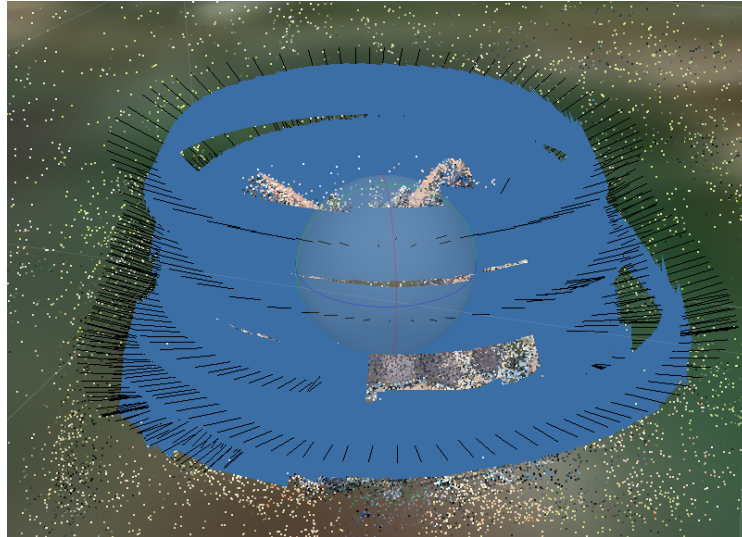
Es importante destacar que, al momento de realizar el levantamiento mediante vuelo, existen ciertos parámetros que deben considerarse. Entre ellos, se encuentra el off-nadir: cuando mayor la altura menor es el valor de este ángulo, por ende, mayor será la zona observada. Por ello, en este trabajo se implementaron diferentes ángulos, con el fin de capturar imágenes manteniendo la fidelidad y calidad de la información obtenida.

5.2.2. Orientación de fotografías

Para llevar a cabo esta fase del procesamiento, fue necesario ubicarse en la interfaz del software correspondiente. Una vez allí, se procedió a la selección de las imágenes, que en total sumaron 960 fotografías. Estas fueron exportadas en su totalidad dentro del mismo entorno de trabajo, configurando previamente la opción de calidad alta.

Cabe recordar que las imágenes fueron capturadas con el dron DJI Mavic 2 Pro, como se indicó en capítulos anteriores. Gracias a esto, las fotografías ya contaban con información de georreferenciación incorporada, lo cual facilitó notablemente el proceso de orientación dentro del programa. Este procedimiento se ilustra en la figura 32.

Figura 32 - Orientación de las fotografías.



Fuente: (Autor, 2025).

5.2.3. Generación de nubes de puntos densas

Luego de realizar las orientaciones debidas procedemos a realizar las nubes de puntos densas, en este énfasis se puede observar de manera más nítida y fiel al objeto en cuestión a ser trabajado, en este caso también se utilizó la calidad alta para obtener una modelación más precisa sin perder la calidad del mismo, cabe resaltar que estas nubes de puntos generan punto tridimensionales o vértices, derivado de cada pixel tomado, obteniendo en su totalidad de 11.415.771 puntos, de esa forma se puede observar en la figura 33.

Figura 33 - Nubes de Puntos densas

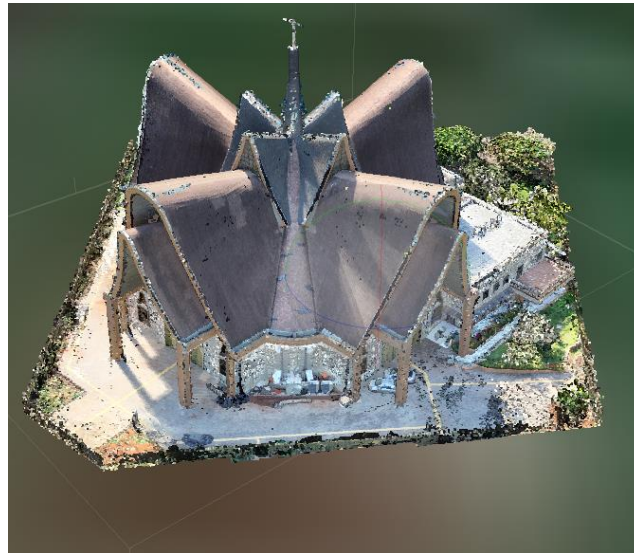


Fuente: (Autor, 2025).

5.2.4. Generación y mejora de nubes de puntos

En esta etapa (figura 34), únicamente se llevó a cabo la mejora de las nubes de puntos con el objetivo de obtener una mayor claridad y definición en los datos, por tanto, en su totalidad se obtuvo 18.616.521 puntos.

Figura 34 - Nubes de puntos mejorado

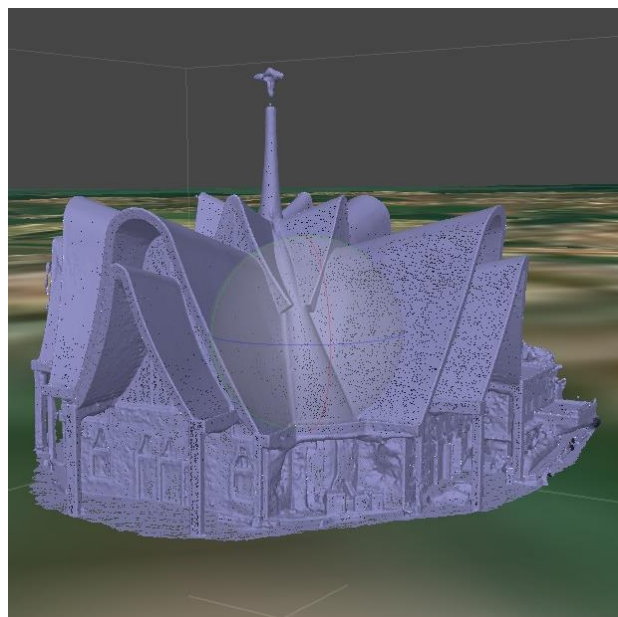


Fuente: (Autor, 2025).

5.2.5. Desarrollo de la malla para el modelo 3D

Por consiguiente, se procedió a la generación de la malla, un paso fundamental para la construcción del modelo 3D de la estructura (Figura 35). Este proceso es necesario, ya que permite definir con mayor precisión la geometría del objeto estudiado.

Figura 35 - Modelo de malla en alambre (wireframe)



Fuente: (Autor, 2025).

5.2.6. Generación de textura

Con la malla ya generada, el *software* permite crear la textura del modelo. Este proceso puede observarse en la figura 36.

Figura 36 - Representación texturizada del modelo digital



Fuente: (Autor, 2025).

5.2.7. Modelo teselado

Este modelado corresponde a la fase final del proceso, en la cual se obtiene el producto definitivo. En la figura 37 es posible apreciar los detalles de la catedral, destacándose especialmente el vitral, donde se pueden distinguir con claridad las figuras representadas.

Figura 37 - Modelo teselado detallado



Fuente: (Autor, 2025).

Otra parte importante que se aprecia en la (figura 38) es la cobertura de la estructura, donde resulta esencial destacar los detalles y la textura que se hacen visibles con notable claridad, aportando riqueza visual al modelo generado.

Figura 38 - Detalles de la cobertura de la catedral



Fuente: (Autor, 2025).

5.2.8. Modelo de digital de elevación (MDE)

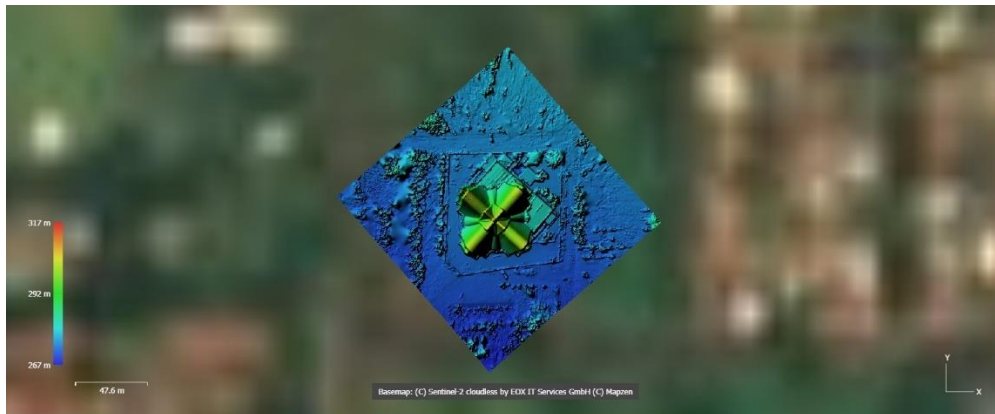
Luego de completar todo el procedimiento previamente mencionado, se logró finalmente generar el modelo de elevación (MDE) y (MDS). Este se crea a partir de la nube de puntos densa y tiene como propósito principal representar las alturas tanto del terreno como de los elementos externos que se evidencian en el entorno modelado, siendo así, cabe resaltar que estas alturas son dadas respecto al nivel del mar.

Gracias al uso de una escala de colores, definida automáticamente por el propio software, es posible visualizar de forma clara e intuitiva las variaciones de altura. De este modo, se destacan los puntos más elevados del área de estudio, así como los más bajos. Esta representación puede apreciarse con mayor detalle en la figura 39 y 40.

De este modo, la Figura 39 muestra el modelo de elevación de la superficie, el cual incluye no solo la topografía del terreno, sino también los objetos presentes sobre él, como edificios, árboles y otros elementos. Por su parte, la Figura 40 representa el modelo del terreno, centrado exclusivamente en la

topografía subyacente, eliminando cualquier elemento artificial o natural que se encuentre sobre la superficie.

Figura 39 - Visualización del modelo digital de elevación de superficie (MDS)



Fuente: (Autor, 2025).

Figura 40 - Modelo digital de elevación del terreno (MDE)

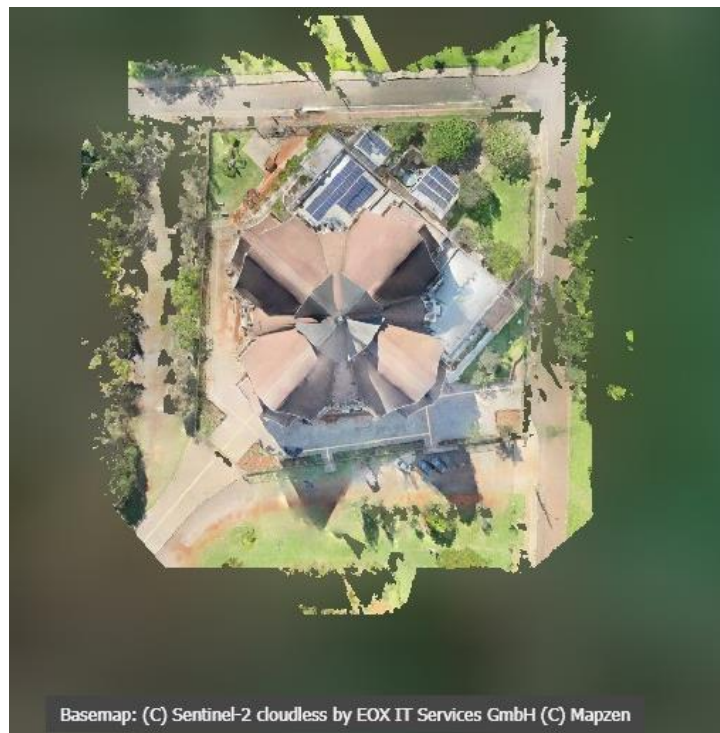


Fuente: (Autor, 2025).

Para finalizar con el proceso de modelación, se realizó el último paso dentro del *software Agisoft*, que consistió en la generación del ortomosaico. Este se creó a partir del modelo digital de elevación (MDE) y tiene como finalidad ofrecer una visualización mucho más detallada, especialmente desde la vista superior, similar a una imagen satelital del área de interés.

Para lograr un resultado más completo y fiel a la realidad de la Catedral de Nuestra Señora de Guadalupe, fue necesario rellenar algunos espacios vacíos que quedaron en el modelado. De esta forma, se consiguió una representación más clara, continua y óptima. Todo este resultado puede observarse en la figura 41.

Figura 41 - Representación orto mosaica del sitio de estudio



Fuente: (Autor, 2025).

Figura 42 - Modelo ortomosaico sobre mapa de referencia



Fuente: (Autor, 2025).

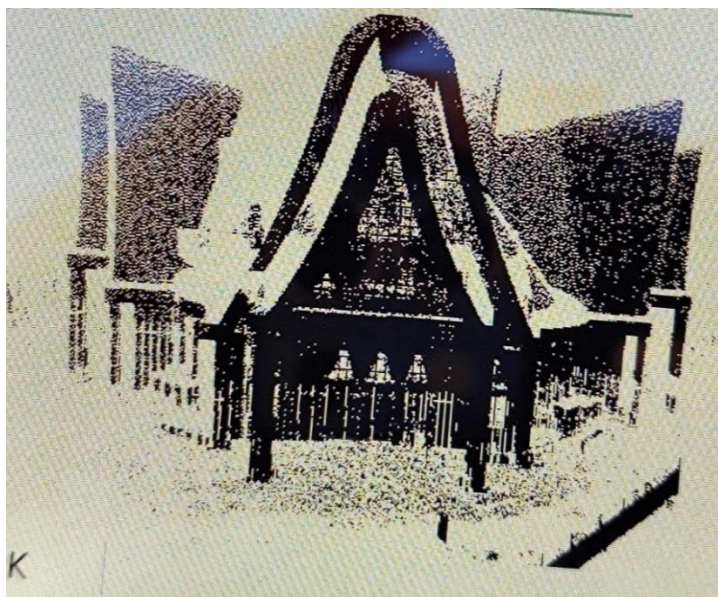
En la figura 42, se muestra una representación visual generada por el propio software, la cual permite realizar un ajuste georreferencial del área de estudio. Este tipo de visualización facilita una mejor comprensión de la ubicación espacial y del alcance del levantamiento realizado.

Por otra parte, como observación, cada uno de los procesos de modelado se llevó a cabo sin realizar modificaciones en los parámetros establecidos, manteniéndolos tal como vienen por defecto en el software. Esto permitió que el flujo de trabajo se desarrollara de forma continua y uniforme, asegurando que los resultados obtenidos reflejen fielmente el funcionamiento estándar de la herramienta sin la influencia de ajustes adicionales.

5.3. Levantamiento de nube de puntos mediante estación robótica (MS60)

En la figura 43 se presentan las nubes de puntos recolectadas de manera parcial de la Catedral, utilizando el equipo MS60. A partir de los azimuts calculados (*ver tabla 4*) son ingresadas previamente en la colectora de la MS60, y de esa forma es posible observar cómo se genera una superposición de puntos en determinadas zonas, resultado del ángulo de captura y la cercanía entre los puntos de referencias.

Figura 43 - Nube de puntos generada con la estación total MS60, visualizada en la colectora.

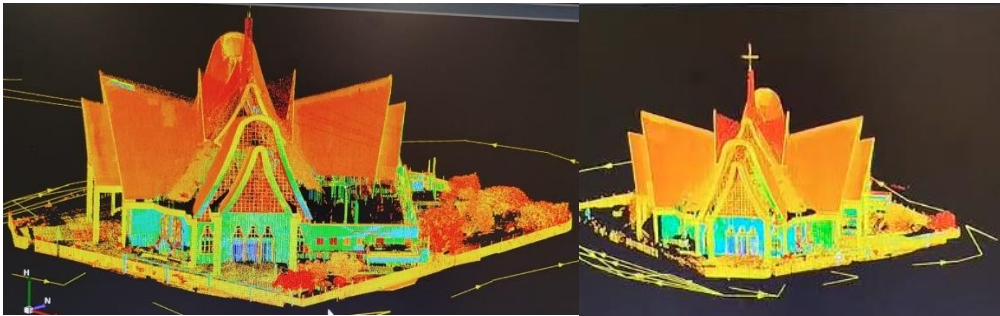


Fuente: (Autor, 2025).

5.3.1. Vista del levantamiento escáner

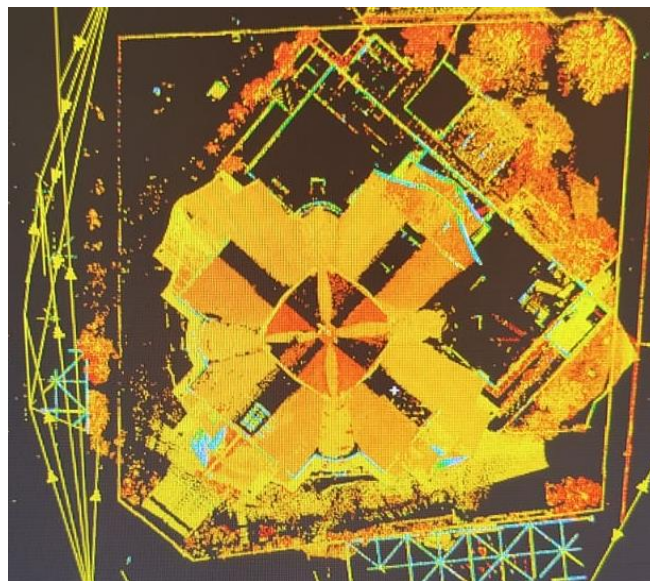
De esa forma, luego de completar el escaneo de la catedral, se procedió a la descarga de los datos obtenidos en campo para su posterior análisis. Para la visualización de las nubes de puntos se empleó el *Software Leica Infinity*, que permitió filtrar los datos y eliminar los ruidos que no contribuían a la generación del modelo 3D. En las figuras 44 y 45 se puede observar el proceso de trabajo realizado.

Figura 44 – Visualización de las nubes de puntos en Software *Leica Infinity*



Fuente: (Autor, 2025).

Figura 45 - Vista superior de la catedral

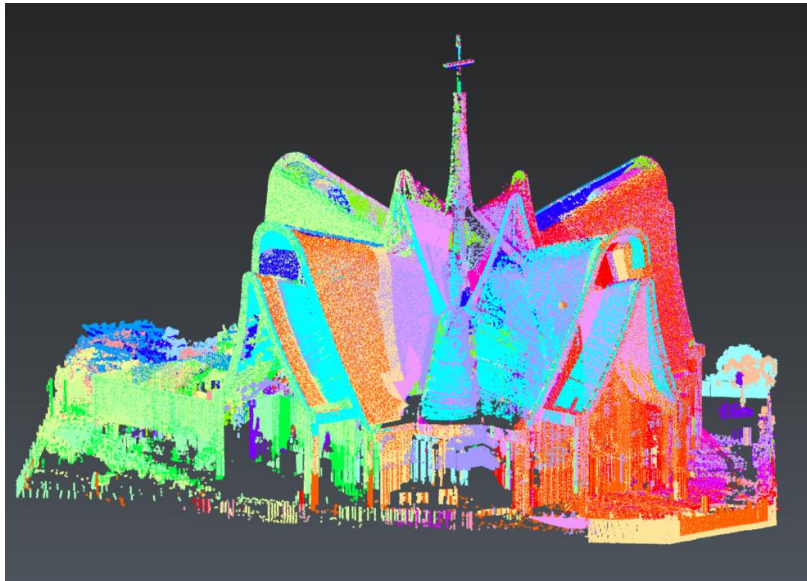
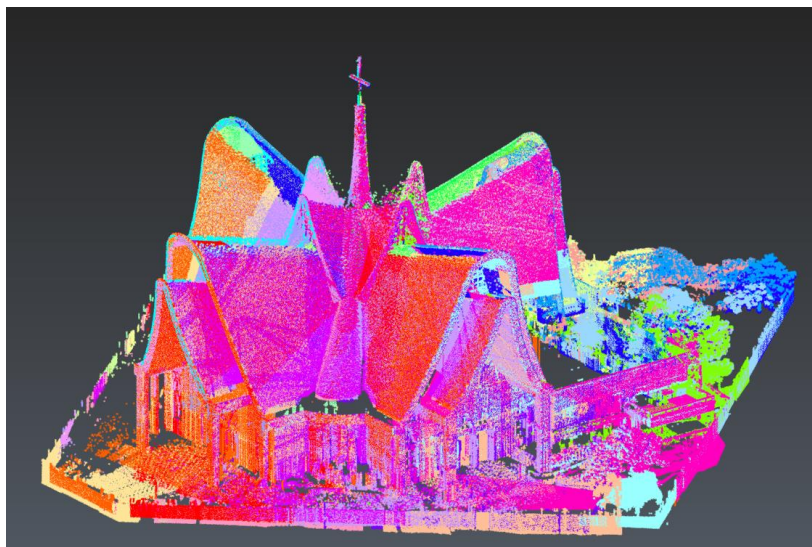


Fuente: (Autor, 2025).

5.3.2. Procesamiento en el Software Cyclone

5.3.2.1. Visualización de nubes de puntos en el Software

De esta forma, en la figura 46 y 47 se pueden observar las nubes de puntos ya procesadas y limpias, lo que evita posibles interferencias al momento de generar el modelado 3D.

Figura 46 - Nubes de puntos sin interferencias**Figura 47** - Representación gráfica de las nubes de puntos depuradas

Fuente: (Autor, 2025).

5.3.2.2. Procesamiento y generación del modelo 3D

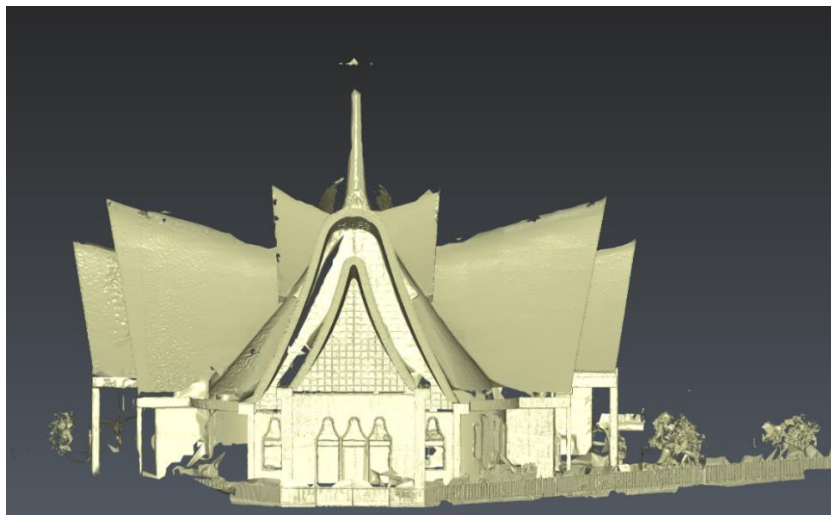
En las figuras 48, 49, 50, 51 y 52 se puede observar el modelado 3D obtenido. A partir de estas imágenes, es posible identificar algunos aspectos importantes, como ciertas zonas del modelo que no se encuentran completamente llenas.

Esto se debe a que, en esos puntos, sería necesario realizar más lecturas, ya que existen áreas ciegas donde el equipo no logró captar datos. Esto ocurre principalmente porque en esas zonas la altura es considerable y el alcance del láser no fue suficiente para llegar hasta ellas.

Además, es importante señalar que este levantamiento no se realizó mediante el método panorámico. Si se hubiera empleado esta técnica, las nubes de puntos habrían captado los colores naturales del entorno durante la escaneada.

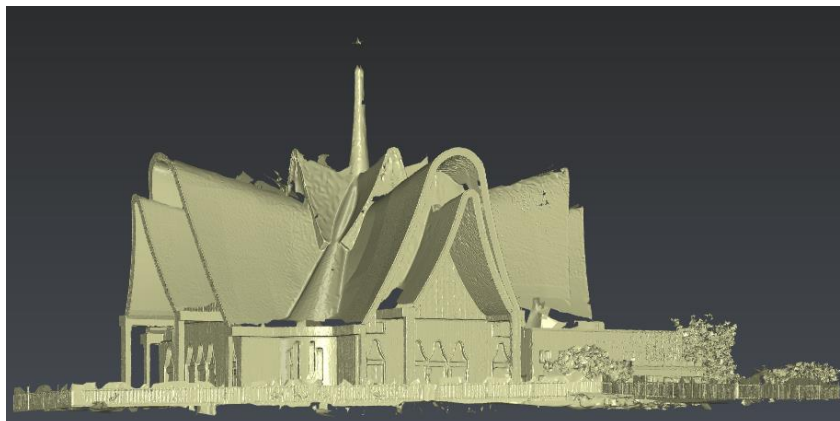
En este caso, como no se utilizó dicho método, el software asignó automáticamente colores al modelo durante el procesamiento. Por eso, es posible notar en las figuras que los colores no corresponden necesariamente a los reales del objeto escaneado.

Figura 48 - Representación tridimensional generada fachada principal



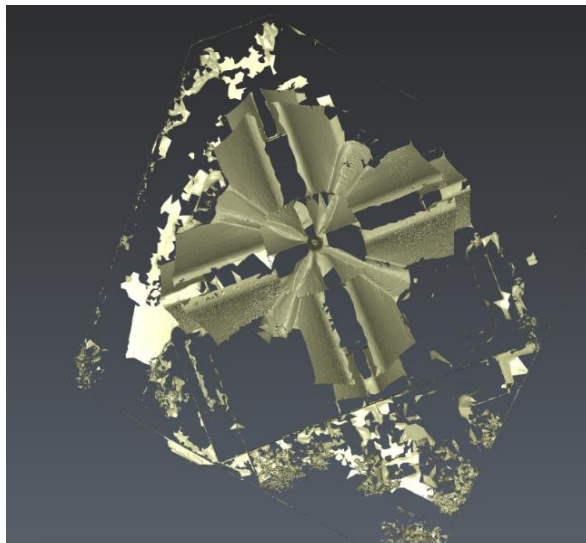
Fuente: (Autor, 2025).

Figura 49 - Representación tridimensional en Software Cyclone



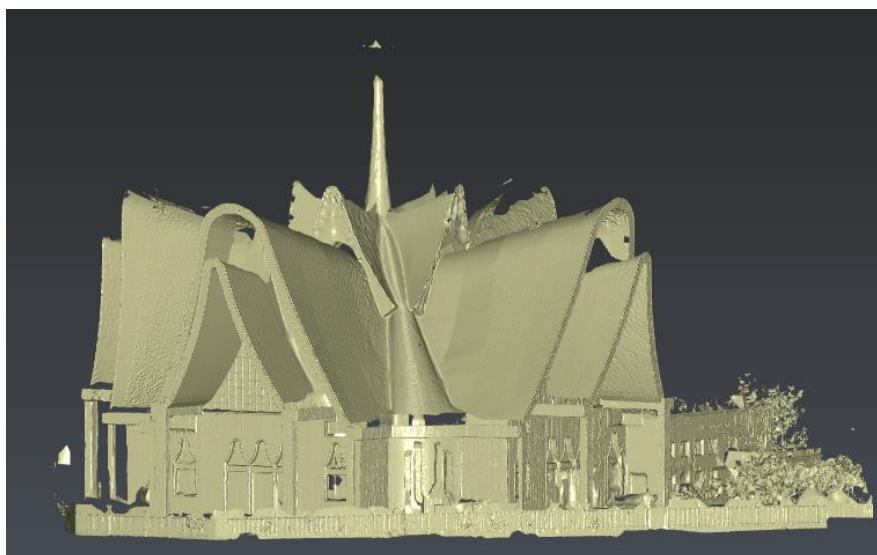
Fuente: (Autor, 2025).

Figura 50 - Modelado 3D de la fachada superior



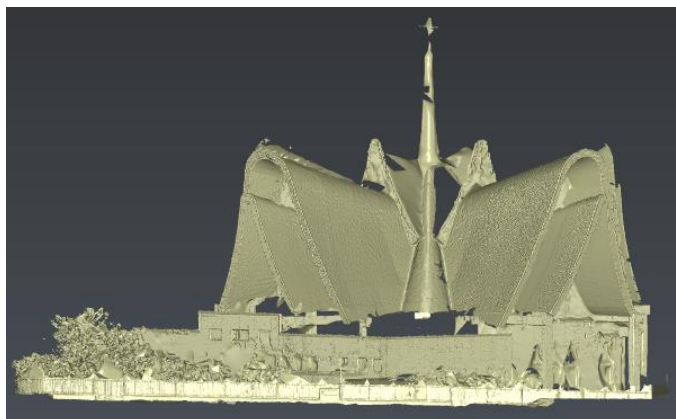
Fuente: (Autor, 2025).

Figura 51 - Visualización del objeto escaneado en entorno 3D en cyclone



Fuente: (Autor, 2025).

Figura 52 - Vista tridimensional de la fachada posterior



Fuente: (Autor, 2025).

6. CONSIDERACIONES FINALES

A lo largo de este trabajo se abordó en detalle cómo realizar la digitalización de edificaciones religiosas, resaltando cómo la incorporación de nuevas tecnologías se ha vuelto una práctica cada vez más habitual y necesaria no solo a nivel global, sino también en áreas específicas como la construcción civil, la arquitectura y diversas industrias.

La tecnología ha demostrado ser una aliada fundamental en los procesos de inspección, documentación y conservación de estas construcciones, permitiendo métodos más precisos, ágiles y eficientes.

Dentro de este contexto, el uso de vehículos aéreos no tripulados (VANTs) se ha consolidado como una herramienta versátil y de gran valor. Cada vez más estas tecnologías se utilizan en inspecciones de obras, seguimiento de avances constructivos, reconstrucción de edificios religiosos, restauración de templos y documentación de construcciones de relevancia histórica.

Su principal ventaja radica en la posibilidad de obtener visualizaciones completas y detalladas de edificios, monumentos, áreas turísticas y bienes culturales, incluso en zonas que serían inaccesibles con métodos convencionales.

El objetivo principal de esta investigación fue desarrollar una modelación tridimensional (3D) de un inmueble de carácter religioso, y los resultados alcanzados fueron altamente satisfactorios. Los métodos y tecnologías aplicados demostraron ser no solo viables, sino también efectivos para ampliar las posibilidades de conservación, reconstrucción y difusión de este tipo de arquitectura, tanto mueble como inmueble.

Durante el proceso de levantamiento, se identificaron aspectos técnicos importantes relacionados con las herramientas empleadas. El uso de la estación total robótica permitió obtener un modelo 3D con un grado considerable de precisión y eficiencia, especialmente para edificaciones de gran y pequeño porte. Sin embargo, es importante destacar que este tipo de escaneo presenta ciertas

limitaciones. En particular, no fue posible capturar todos los puntos del edificio debido a la presencia de áreas no visibles o de difícil acceso, conocidas como zonas ciegas.

Estas limitaciones se deben a que la estación total trabaja con líneas de visión directas; cuando la estructura presenta obstáculos, grandes alturas o ángulos complejos, la herramienta no consigue alcanzar o registrar esos sectores. Como consecuencia, se generan vacíos en el modelo tridimensional, lo que implica pérdidas de información sobre la construcción.

Esto se puede observar claramente en la figura 49, donde es evidente que la cobertura del techo no fue completamente registrada. No fue posible obtener los puntos necesarios ni rellenar el vacío existente, ya que el equipamiento utilizado no alcanzó la altura total de la catedral.

Asimismo, en la figura 51, se puede notar que, especialmente en la planta superior, algunas áreas no fueron completamente capturadas, lo que evidencia las limitaciones técnicas del equipo para acceder a ciertos puntos de la estructura.

Aunque la estación total robótica es sumamente útil, por sí sola no garantiza la obtención de un modelo completo y sin imperfecciones. Este punto es crucial cuando se trabaja con edificaciones religiosas, donde cada detalle arquitectónico tiene un valor histórico, estético y cultural.

En contrapartida, el levantamiento con los VANTs demostró ser una solución eficiente para superar las limitaciones de la estación robótica. Gracias a la capacidad de vuelo a diferentes alturas, ángulos y trayectorias, el dron logró capturar imágenes y datos en todas las áreas del inmueble, incluyendo aquellas que no podían ser alcanzadas por el escáner terrestre.

Este método permitió la obtención de un modelo 3D completo, sin pérdidas de información y con alta fidelidad respecto a la estructura original. La flexibilidad que ofrecen los vehículos no tripulados asegura que no existan puntos ciegos ni sectores omitidos, lo que garantiza un levantamiento integral y detallado. Este tipo de tecnología contribuye a una mayor reducción de costos, agilidad en el proceso de recolección de datos y entrega de resultados con alta calidad y resolución.

Un claro ejemplo de estos beneficios se puede observar en la figura 35, donde el modelo generado a partir del levantamiento con el VANT refleja con gran precisión cada detalle arquitectónico de la Catedral de Nuestra Señora de Guadalupe. El nivel de detalle alcanzado, sin pérdidas de información ni deformaciones significativas, evidencia que esta tecnología es ideal para trabajos de documentación arquitectónica religiosa.

Siendo así, cabe destacar que la Catedral de Nuestra Señora de Guadalupe es un lugar que reúne a un gran número de fieles y turistas durante todo el año, constituyéndose no solo como un espacio de importancia religiosa, sino

también como un punto de referencia social, cultural y económico para la ciudad. Su conservación y documentación son fundamentales para preservar la identidad local y fomentar el turismo cultural de manera sostenible.

La protección y digitalización de este tipo de construcciones no solo buscan conservar la arquitectura religiosa, sino también facilitar el acceso a través de modelos tridimensionales que pueden ser utilizados en restauraciones, estudios históricos, exposiciones virtuales y educación sobre arquitectura religiosa. Esto abre nuevas oportunidades para la valorización y difusión de estas edificaciones.

En conclusión, el uso combinado de la estación total robótica y los VANTs constituye una solución integral y sumamente recomendable para la documentación de edificaciones religiosas. Mientras la estación robótica proporciona precisión en áreas accesibles, el VANT complementa el trabajo asegurando la captura total de la estructura, eliminando las pérdidas de información y garantizando un modelo completo y detallado.

Recomendaciones para investigaciones futuras.

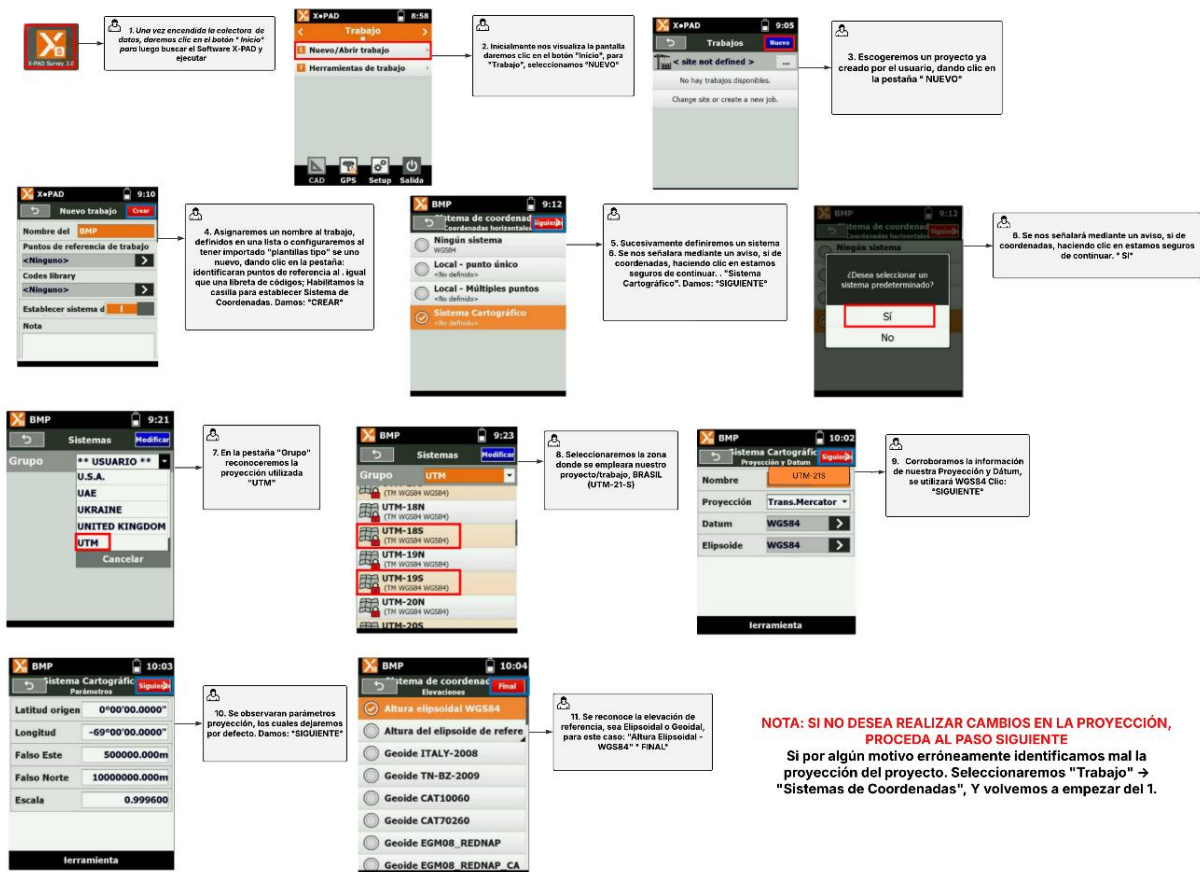
Para futuros trabajos y aplicaciones similares, es importante considerar los siguientes aspectos:

- Realizar una adecuada georreferenciación durante la planificación y ejecución de los vuelos con VANT, asegurando que los puntos de control estén correctamente distribuidos y referenciados con precisión.
- Realizar una calibración adecuada entre los datos capturados por la estación total robótica y el VANT, de forma que la unión de las nubes de puntos sea perfecta, evitando vacíos.
- Implementar un mayor número de puntos de control (dianas) para garantizar la precisión global del modelo.
- Calcular el factor de corrección de la altitud geométrica a la altitud ortométrica. Debido al tiempo limitado, este procedimiento no se llevó a cabo; sin embargo, es importante realizarlo para garantizar que las mediciones de altura sean coherentes con el sistema de referencia vertical adoptado.
- Calcular la convergencia meridiana para la transformación a azimut verdadero, mejorando la exactitud en la orientación de los levantamientos.
- Continuar explorando nuevas herramientas y metodologías que puedan optimizar aún más los procesos de captura y modelado.

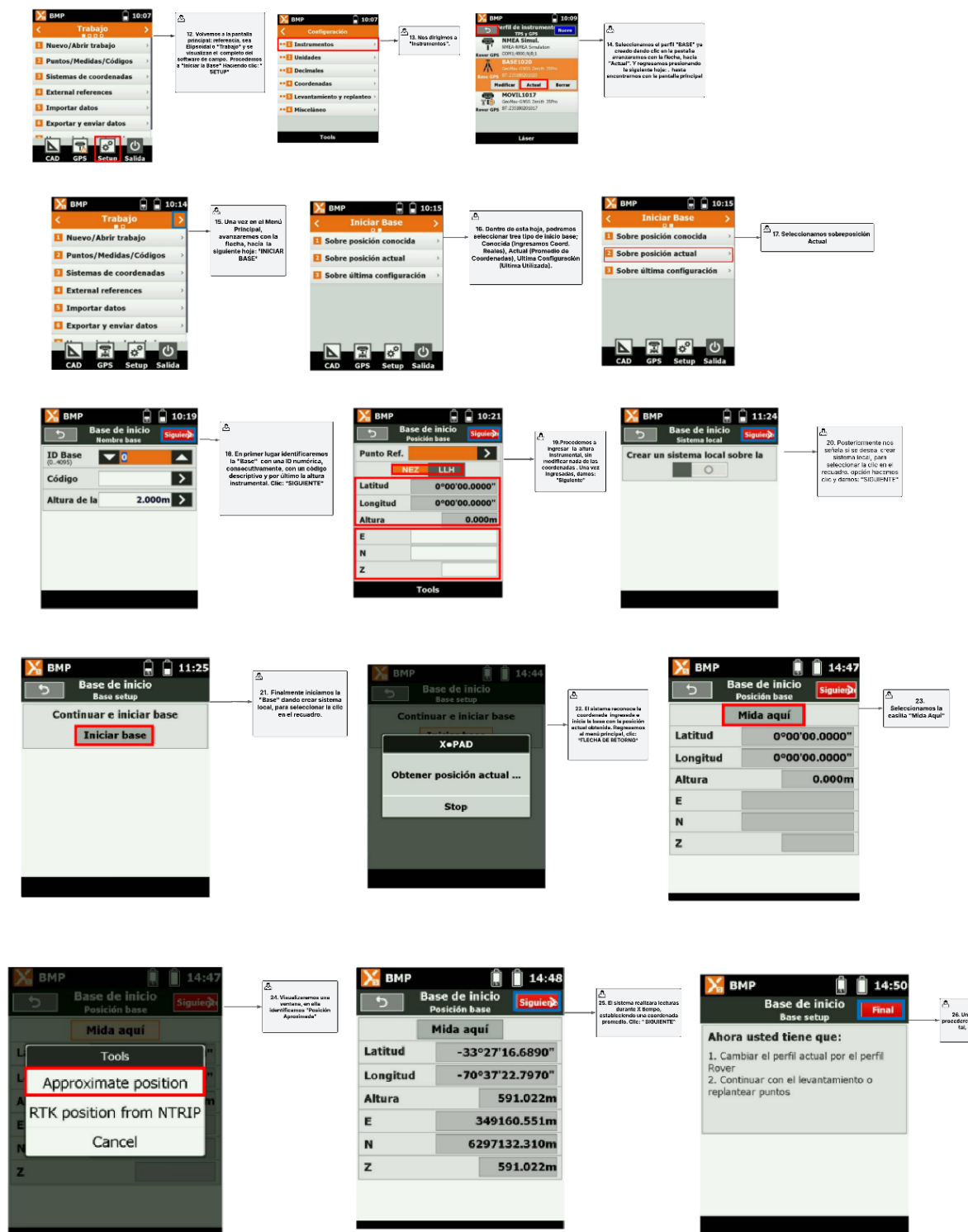
ANEXO

FLUJOGRAMA DE LA MEDICION TOPOGRAFICA – RTK- GEOMAX

Flujo de medición RTK - X-PAD



Fuente: (Autor,2025)



Fuente: (Autor,2025)

Nota: Este mismo proceso deberá ser realizada para el ROVER iniciando desde el paso 12.



Fuente: (Autor,2025)

REFERENCIAS

AGÊNCIA DE NOTÍCIAS IBGE. IBGE lança serviço gratuito para usuários de GPS. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/13632-asi-ibge-lanca-servico-gratuito-para-usuarios-de-gps>. Acesso em: 15 abr. 2025.

ANDRADE, J. L. F. et al. Varredura a laser aplicada na reconstrução 3D de bens materiais do patrimônio histórico de Igarassu e Olinda. Universidade Federal de Pernambuco.

ANGÁS PAJAS, J.; SERRETA OLIVÁN, A. 2010. Virtual Archaeology. Review Valorización y difusión del patrimonio arqueológico mediante un entorno web 3D. Documentación de Santa María de Iguacel (XI d.C.).

Ahnin, Abderrahim. 2023. GEOTECNOLOGÍAS CARTOGRÁFICAS EN INGENIERÍA Y ARQUITECTURA. GEOTECNOLOGÍAS CARTOGRÁFICAS EN INGENIERÍA Y ARQUITECTURA.

Airton, Albert. 2018. LEVANTAMENTO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS INTERNAS DE EDIFICAÇÃO DO PATRIMÔNIO CULTURAL DO MUNICÍPIO DE ALEGRETE-RS. Alegrete – RS-2018.

Alex Giné et, .al. 2018. Fotogrametría para la conservación-restauración de bienes culturales. Madrir 2018.

Almeida, Abner. 2022. HBIM – MODELAGEM DE INFORMAÇÃO PARA PRESERVAÇÃO DE PATRIMÔNIO.

Almeida, Francisco. 2023. Modelo digital y fotogrametría a través del uso de vehículos aéreos no tripulados (UAV). Caso de estudio, entorno del río Tahuando en la ciudad de Ibarra, provincia de Imbabura 2023.

Andrade, Henrique. 2014. VARREDURA A LASER APLICADA NA RECONSTRUÇÃO 3D DE BENS MATERIAIS DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO DE IGARASSU E OLINDA 2014.

Araujo, Ana. 2018. PANORAMA DA UTILIZAÇÃO DAS TECNOLOGIAS DIGITAIS DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO – TICS PARA A DOCUMENTAÇÃO DO PATRIMÔNIO MATERIAL IMÓVEL NO BRASIL. . Belo Horizonte 2018.

Arrevol, Tomado de. 2021. Nuvecito - Mantenimiento Seguro de Humedad. Nuvecito - Mantenimiento Seguro de Humedad. Acceso en: 06 de Abril de 2025. Disponível en: <https://nuevecito.com.ec/como-identificar-y-solucionar-los-tipos-de-humedad/>.

Bolina, Fabricio longhi. 2019. Patologia de Estructuras. 2019.

BALLETTI, C.; BALLARIN, M.; GUERRA, F. 3D printing: State of the art and future perspectives. Journal of Cultural Heritage, v. 26, p. 172–182, 2017.

BLACHUT, T. J.; KRAUS, K.; WALDHAUSL, P. Fundamentos de fotogrametría. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 1979.

BOSCATTO, S. L. Topografia aplicada ao georreferenciamento de imóveis rurais e urbanos. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

BARBOSA, Miriam Raquel; REIS, Diego de Oliveira. Patrimônio cultural: conceitos e definições. Revista Eletrônica Científica Inovação e Tecnologia, [S. l.], v. 4, n. 1, p. 36–46, 2017.

BRASIL. Decreto-Lei nº 25, de 30 de novembro de 1937. Organiza a proteção do patrimônio histórico e artístico nacional. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/declei/1930-1949/decreto-lei-25-30-novembro-1937-412196-publicacaooriginal-1-pe.html>. Acesso em: 9 jun. 2025.

BRASIL. Decreto nº 3.551, de 4 de agosto de 2000. Institui o registro de bens culturais de natureza imaterial. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/d3551.htm . Acesso em: 9 jun. 2025.

BRASIL. Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional. Carta de Veneza. 1964. Disponível em: https://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/carta_de_veneza.pdf.

Acesso em: 9 jun. 2025.

CENTRO DE PATRIMONIO MUNDIAL UNESCO. Convención sobre la protección del Patrimonio Mundial, Cultural y Natural. 1972. Disponível em: <http://whc.unesco.org/en/conventiontext/#Article11.4> . Acesso em: 7 abr. 2025.

CAMPOS, Luciana Heymann. Conservação Preventiva: conceitos e definições. In: BARBOSA, Miriam Raquel; REIS, Diego de Oliveira. Patrimônio cultural: conceitos e definições. Revista Eletrônica Científica Inovação e Tecnologia, [S. l.], v. 4, n. 1, p. 36–46, 2017.

Cáceres, Luis. 2020. Obtención de modelos 3D de estructuras de patrimonio cultural-urbano con el uso de tecnología escáner láser y SIG, como instrumentos

para el desarrollo local. *Obtención de modelos 3D de estructuras de patrimonio cultural-urbano con el uso de tecnología escáner láser y SIG, como instrumentos para el desarrollo local.* 4, 2020, Vol. 3.

Calvalcanti, Mariana. 2019. PATRIMÔNIO VIRTUAL: A RECONSTRUÇÃO EM 3D E A PRESERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO CULTURAL . 2019.

Canuto, Cristiane. 2018. Tecnologias digitais y preservacion de patrimonio arquitectonico: Explorando alternativas. Londrina : Pesquisas em Arq, 2018.

Caraballo, Ciro. 2014. Patrimonio Cultural en enfoque diverso y compromiso. México : s.n., 2014.

Conti, Alessandro. 2024. UNA COMPARACIÓN ENTRE EL ESCANEEO LÁSER TERRESTRE Y EL PORTÁTIL CARTOGRAFÍA MÓVIL PARA LA DOCUMENTACIÓN DEL PATRIMONIO CONSTRUIDO. s.l. : XLVII, 2024.

Cristiana Aquiles et., al. 2025. La aplicación de tecnologías digitales 3D en jardines históricos y patrimonio cultural relacionado: una Revisión del alcance. 2025.

CETEC. Centro de Tecnologia da Imagem. Digitalização e preservação de documentos históricos: tecnologias e boas práticas. Belo Horizonte: CETEC, 2016.

Cultura, Rádio. 2023. Foz Cultura . Foz Cultura . Acceso en: 07 de 05 de 2025. Disponible en: <https://www.radioculturafoz.com.br/2023/12/01/rito-de-dedicacao-vai-marcara-inauguracao-da-catedral-nossa-senhora-de-guadalupe-em-foz/>

CULTURAL, DE PROTECCIÓN DEL PATRIMONIO. 2016. PODER LEGISLATIVO, LEY N° 5621. 2016.

Decreto. 1937. Organização a proteção do patriminio historico e artistico nacional. 1937.

Dell'Amico, Anna. 2024. La documentación digital del centro histórico de Santa Cruz de Mompox, declarado Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO. Mexico 2024.

Ignácio, Pedro. 2025. Diminuição do modulo de elasticidade longitudinal de estruturas de madeira em patrimônios históricos: revisão sistemática da literatura. 4, Rondônia : Studies, 2025, Vol. 22.

Dussarrat, Leandro. 2015. PATOLOGIA EM ESTRUTURAS DE MADEIRA: METODOLOGIA DE INSPEÇÃO E TÉCNICAS DE REABILITAÇÃO 2015.

Echeverria. 2018. Documental studio and 3D recreation of the San Idefonso's School façade. Universidad de Alcalá, Alcala de Henares. Documental studio and 3D recreation of the San Idefonso's School façade. Universidad de Alcalá, Alcala de Henares 2018.

Edén, Isaías. 2024. Deterioro del patrimonio edificado a causa de patologias acumulativas: Desarrollo de eflorescencias en elementos constructivos de mampostería. Aguascalientes : s.n., 2024.

Elosegi, Mireia. 2010. LEVANTAMIENTO LÁSER Y MODELIZACIÓN DE LA IGLESIA DE SAN MARTÍN (SEGOVIA). Segovia, 2010.

- ESENCIAL, ADN INFORMACIÓN. 2019.** El municipio de Isla Umbú, un verdadero “Patrimonio Nacional”. 2019, Vol. 1, 1.
- FERNANDES, Pedro 2016.** Documentação 3D aplicada ao patrimônio cultural: levantamento e modelação. Revista PHI, Rio de Janeiro, n. 20, p. 22–36.
- FONSECA, Maria Cecília Londres 2017.** O Patrimônio em Processo: trajetórias da política federal de preservação no Brasil. Rio de Janeiro: Editora UFRJ, 1997.
- FRANCO, Fábio.** Topografia aplicada à documentação de bens culturais. Revista PHI, Rio de Janeiro, n. 22, p. 14–28.
- FRANCISCO, D. 2024.** El Láser-Escáner 3D aplicado al patrimonio arquitectónico de Priego de Córdoba: la Torre del Homenaje.
- Freitas, Felipe. (2025).** Análise de utilização de escâner 3D no processo de metrologia. Análise de utilização de escâner 3D no processo de metrologia. 16, 2025, Vol. 1.
- GARCÍA-MOLINA, D. F. et al. DOCUMENTACIÓN 3D PARA LA CONSERVACIÓN DEL PATRIMONIO HISTÓRICO: EL CASTILLO DE PRIEGO DE CÓRDOBA 3D DOCUMENTATION FOR THE CONSERVATION OF HISTORICAL HERITAGE: THE CASTLE OF PRIEGO DE CÓRDOBA (SPAIN).** Virtual Archaeology Review, Disponível em: <https://www.cetemet.es/>. Acesso em: 09 jun. 2025.
- GHILANI, C. D.; WOLF, P. R.** Topografia moderna. 12. ed. São Paulo: Blucher, 2012.
- Golwes, Edson. (2024).** Evaluación comparativa de un modelo de construcción 3D mediante un UAV. 2024.
- Gooda, William. (2008).** A nova catedral católica de Foz do Iguaçu e o simbolismo do poder. Historia en la Frontera. 1, 2008, Vol. 1.
- Guadalupe, Catedral N. Sra. (2021).** Catedral N. Sra. Guadalupe Disponível em <https://www.radioculturafoz.com.br/2023/12/01/rito-de-dedicacao-vai-marcar-a-inauguracao-da-catedral-nossa-senhora-de-guadalupe-em-foz/>. Acesso em: 7 may.2025.
- Guastavino, Emma. (2020).** Estudio de eficiencia del escaneo láser en la documentación patrimonial. Sevilla: Universidad de Sevilla, 2020.
- Hernández, Juan Carlos. (2018).** La aplicación de HBIM a la conservación y gestión del patrimonio arquitectónico. Madrid.
- HOFMANN-WELLENHOF, B.; LICHTENEGGER, H.; COLLINS, J.** Global Positioning System: Theory and Practice. Springer-Verlag, 2001.
- Hardt, Jeferson. 2023.** PATRIMÔNIO ARQUITETÔNICO, MEMÓRIA, IDENTIDADE E PERTENCIMENTO: A ARQUITETURA ENXAIMEL DE PANAMBI/RS. Panambi : CEEINTER, 2023. 5.
- Hazan, Susan. 2021.** Los manuscritos del Mar Muerto. El Proyecto Digital. Los manuscritos del Mar Muerto. El Proyecto Digital. Acesso en: 25 de Abril de 2021. Disponível en: <http://dss.collections.imj.org.il/es/project>.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.** Manual técnico de geodésia. Rio de Janeiro: IBGE, 2020.

IGNÁCIO, Pedro. (2025). Diminuição do módulo de elasticidade longitudinal de estruturas de madeira em patrimônios históricos: revisão sistemática da literatura. *Studies*. 4, Rondônia, Vol. 22.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Serviço online para pós-processamento de dados GNSS. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-sobre-posicionamento-geodesico/servicos-para-posicionamento-geodesico/16334-servico-online-para-pos-processamento-de-dados-gnss-ibge-ppp.html>. Acesso em: 15 abr. 2025.

ICOMOS. International Council on Monuments and Sites. Carta de Cracóvia 2000. Disponível em: <https://www.icomos.org.br/carta-de-cracovia/>. Acesso em: 9 jun. 2025.

Iguasu, Visit. 2020. Visit Iguasu. Visit Iguasu. Acesso em: 07 de abr de 2025. Disponível em: <https://www.iguassu.com.br/blog/construcoes/a-catedral-nossa-senhora-de-guadalupe-e-o-simbolismo-de-seus-detalhes/>.

Itaipu, Assessoria de Imprensa de. 2021. Tour y Shop. Tour y Shop. Acesso em: 15 de Dic de 2024. Disponible en: <https://toureshop.blogspot.com/2021/01/natal-de-luzes-de-itapu-reforca-turismo.html>.

IPT. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Manual de conservação preventiva de bens culturais. São Paulo: IPT, 2015.

JORGE, E. et al. Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza: Escola Técnica Estadual - ETEC Itaquera II: Ensino médio técnico em edificações.

KARSCH, J. Topografia Aplicada à Engenharia. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2017.

Kopke, Natália et al. (2021). Análise técnica das metodologias de escaneamento 3D aplicadas ao patrimônio cultural edificado. *Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada*, v. 6, n. 2, p. 1-11.

LEITÃO NETO, E. A. Análise e diagnóstico de fissuras em residência unifamiliar no município de Porto - PI. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 6, p. e15011628971, 2022. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i6.28971>.

Leija, David. 2023. Fotogrametria como recurso de virtualización en la difusión y preservación digital de patrimonios tangible. *Fotogrametria como recurso de virtualización en la difusión y preservación digital de patrimonios tangible*. 2023.

Liamnisbel et., al. 2024. PROPOSAL OF A MODEL (HBIM-GIS) FOR THE PATHOLOGICAL DIAGNOSIS OF ARCHITECTURAL HERITAGE. 2024. 37.

Lima, Moemí Barbosa. 2020. INSPEÇÃO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DE FACHADAS EM EDIFÍCIO DE GRANDE ALTURA COM VANT. 2, 2020, Vol. 6, 2.

López, José. 2020. Evaluación de los Sistemas de Mapeo Móvil (MMS) en la documentación gráfica del tholo de El Romeral (Conjunto Arqueológico Dólmenes de Antequera). 2020.

Lourenci e Lima. 2019. Diagnóstico das manifestações patológicas em empreendimento hoteleiro de pequeno porte no município de Imbituba: levantamento, avaliação e reparação das principais ocorrências. . Santa Catarina. 2019.

LÓPEZ-MENCHERO BENDICHO, V. M.; LERMA, J. L.; QUEROL, M. La documentación digital del patrimonio cultural: teoría y práctica. Valencia: Generalitat Valenciana, 2016.

LOPES, Thais et al. (2022). Mapeamento das patologias e processos de degradação de bens tombados: estudo de caso no centro histórico de João Pessoa-PB. *Revista Geonorte*, v. 13, n. 2, p. 145-164.

LEMOS, Carlos A. C. O que é Patrimônio Histórico. São Paulo: Brasiliense, 1996.

Luis, . et al. 2020. Obtención de modelos 3D de estructuras de patrimonio cultural-urbano con el uso de tecnología escáner láser y SIG, como instrumentos para el desarrollo local. 2020.

MATEUS, José; COSTA, Célia; CORREIA, Mariana. Digital documentation in the conservation of architectural heritage: a critical analysis. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, v. XLII-2/W15, p. 781–787, 2019.

Marín, Pau. **histórico, Escaner láser y el rescate del patrimnio. 2019.** 2019.

Martinez, Rubio. 2020. Implementación de escáner 3d y fotogrametría digital para la documentación de la iglesia de La Merced de Panamá. : Gráfica Arquitectónica, 2020.

MALHEIROS, F. V. A.; KOTHER, M. B. M.; HINNING, J. O. P. Os Remanescente da Habitação na Colônia Neu-Württemberg: Residência Faulhaber. In: 4º Congresso Internacional da Habitação no Espaço Lusófono, Porto, 2017. 18 p.

MARÍA, M. A.; BLANES, L.; DOMINGUEZ, G. *Scientiamericana: Revista Multidisciplinaria*, v. 2, n. 1, 2015.

MORAES, Rosana de Freitas. Tecnologia de digitalização: fundamentos e aplicações para o patrimônio cultural. Belo Horizonte: UFMG, 2017.

Mello, Bernardo. 2024. Modelagem 3D para Fins de Resgate, Divulgação e Preservação do Patrimônio Histórico: caso Forte do Raio, Itaguaí-RJ. *Modelagem 3D para Fins de Resgate, Divulgação e Preservação do Patrimônio Histórico: caso Forte do Raio, Itaguaí-RJ.* 8, 2024, Vol. 28, 10.

MURTA, S. M.; ALBANO, C. (org.). Interpretar o patrimônio: um exercício do olhar. Belo Horizonte: Editora UFMG; Território Brasilis, 2004.

Melo, Suellen Ferreira de. (2024). Geotecnologias aplicadas à documentação do patrimônio cultural: estudo de caso do centro histórico de São Luís-MA. 2024.

MS60, Leica Nova. 2020. Especificaciones Técnicas. Suiza : s.n., 2020.

Nóbrega, Rafaela de et al. (2023). Levantamento cadastral e documental do patrimônio histórico: aplicação das geotecnologias no centro histórico de Recife-PE. *Revista Geonorte*, v. 12, n. 3, p. 69-91.

Neto, José. 2024. O uso do HBIM na gestão, documentação e preservação do patrimônio arquitetônico. *O uso do HBIM na gestão, documentação e preservação do patrimônio arquitetônico.* 1, 2024, Vol. 22, 7.

Nieto, Mónica Fernanda. 2024. Comparativa de técnicas de escaneado 3D de objetos patrimoniales: fotogrametría vs escáner láser 3D. 2024.

OLIVEIRA, T. D. et al. Preservação do patrimônio arquitetônico: a educação patrimonial como possibilidade de manter viva e latente a história das cidades.

Revista Concilium, v. 22, ed. 2, p. 15-23, 2022.: Disponível em <https://doi.org/10.56579/rei.v5i5.600>. Acesso em: 25 abr. 2025

OLIVEIRA, T. D.; CALLAI, H. C. Compreender a cidade e a arquitetura através da educação patrimonial. Revista Di@logus, v. 6, n. 3, p. 141-149, set. 2017.

PATRÍCIO DA SILVA, E.; RODRIGUES RIBEIRO, C. Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro, 2025.

PFARR-HARFST, M. Typical Workflows, Documentation Approaches: An Approach Through the Framework of International Recommendations. In: IOANNIDES, et al. (org.). Mixed Reality and Gamification of Cultural Heritage. Springer, 2017. p. 3-26. DOI: 10.1007/978-3-319-49607-8_1.

PROPUESTA DE UN MODELO HBIM-SIG PARA EL DIAGNÓSTICO DE PATOLOGÍAS EN EL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO.

PEREIRA, Fernanda et al. (2021). Realidade aumentada e virtual como estratégias para a valorização e educação patrimonial. Revista Brasileira de Cartografia, v. 73, n. 1, p. 97-111.

Perez, Gabriel. 2021. Caracterización 3D de la fachada de un edificio verde de doble piel Boston Ivy mediante un sistema LiDAR. Madrid : Elsevier Ltd, 2021.

Pérez, Kenner. 2022. ESTUDIO DE LAS TECNOLOGÍAS UTILIZADAS EN EL LEVANTAMIENTO, DIAGNÓSTICO, DIFUSIÓN Y CONSERVACIÓN DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO Y SU VIABILIDAD DE APLICACIÓN EN EL PATRIMONIO DE CARTAGENA DE INDIAS. 2022.

Pintos, Enrique. 2025. Quality of control points in aerial images obtained through the use of unmanned vehicles. 2025.

Marín, Pau. 2019. Qué hay detrás del escaneo láser y el rescate del patrimonio histórico.

POTENZA, R. et al. (2019). Experiência de utilização de escaneamento a laser 3D em patrimônio edificado no Brasil. Revista Brasileira de Cartografia, v. 71, n. 4, p. 784-803.

Rodrigues, Iuri Nunes et al. (2022). O uso de tecnologias digitais para documentação e análise de danos em patrimônios históricos. Revista Geonorte, v. 13, n. 1, p. 1-21.

RAIMUNDO-VALDECANTOS, J. Uso de técnicas de voxelización en el tratamiento de nubes de puntos de distinto origen en entornos de edificación = Use of voxelisation techniques in the treatment of point clouds of different origin in building environments. Anales de Edificación, v. 8, n. 2, p. 14–18, 2023.: Disponível em <https://doi.org/10.20868/ade.2022.5037>. Acesso em: 17 abr. 2025

ROCHA, E. de A. et al. Adaptação de mapa de danos para edifícios históricos com problemas patológicos: Estudo de caso da Igreja do Carmo em Olinda PE.

Rodriguez, Jaime. 2022. RECONSTRUCCIÓN 3D E INSPECCIÓN VISUAL ESTRUCTURAL MEDIANTE EL USO DE TECNOLOGÍA DRON DEL SANTUARIO LA VALVANERA, PATRIMONIO CULTURAL Y TURÍSTICO DEL MUNICIPIO DE CHÍA. Bogotá.

Rodriguez, Manuel Camilo. 2019. CONSERVACIÓN Y DIFUSIÓN DE PATRIMONIO CULTURAL MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DEL ESCANEADO 3D, DIGITALIZACIÓN Y PROTOTIPADO RÁPIDO. BOGOTÁ : s.n., 2019.

Rojas, Mónica. 2024. Comparativa de técnicas de escaneado 3D de objetos patrimoniales: fotogrametría vs escáner láser 3D. Santiago 2024.

Rubio, José. 2025. IMPLEMENTACIÓN DE ESCANER 3D Y FOTOGRAMETRÍA DIGITAL PARA LA DOCUMENTACIÓN DE LA IGLESIA DE LA MERCED DE PANAMÁ. 2025.

Revista ALCONPAT, v. 8, n. 1, p. 51–63, 2018: Disponível em <https://doi.org/10.21041/ra.v8i1.198>. Acesso em: 2 jun. 2025.

Santos, Thiago Henrique et al. (2022). Levantamento e documentação digital do patrimônio histórico: um estudo de caso com fotogrametria. Revista Brasileira de Cartografia, v. 74, n. 1, p. 54-73.

Santana, Augusto. 2023. LA FOTOGRAMETRÍA DIGITAL PARA LA DOCUMENTACIÓN DEL PATRIMONIO: EL CASO DE LA ESTATUA DEL JABALÍ EN GUAYAQUIL, ECUADOR.

Santana, Isabela. 2023. Tecnologia 3D capaz de salvar patrimônios históricos é aplicada de forma inédita em Fortaleza. *urb.News*. Acesso em: 22 de Marzo de 2025. Disponível em: <https://urbnews.com.br/2023/07/22/tecnologia-3d-capaz-de-salvar-patrimonios-historicos-e-aplicada-de-forma-inedita-em-fortaleza/>.

Silva, Bruna et al. (2023). Realidade aumentada como ferramenta para educação patrimonial: uma experiência em museus. Cadernos de Geografia, v. 33, n. 1, p. 1-20.

SILVA, Gustavo Henrique Ferreira. O uso da topografia no levantamento arquitetônico de edifícios históricos. Revista PHI, Rio de Janeiro, n. 24, p. 10–25, 2018.

SILVA, R. A.; LIMA, V. M.; OLIVEIRA, C. G. Geotecnologias aplicadas ao patrimônio cultural: práticas e métodos. Revista Brasileira de Geomática, v. 10, n. 1, p. 55–71, 2022.

SILVA, R. C.; DELL'AMICO, F. M. Geotecnologias aplicadas ao levantamento topográfico. Curitiba: InterSaberes, 2021.

SOUZA, Victor Hugo de et al. (2023). Levantamento tridimensional aplicado à preservação do patrimônio histórico: estudo de caso no Convento de São Francisco, São Luís-MA. Revista Brasileira de Cartografia, v. 75, n. 1, p. 1-21.

SANTOS, Fabiana Rodrigues. O uso de tecnologias digitais para a preservação do patrimônio cultural: estudo de caso em Ouro Preto. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2018.

Sousa, Sergio de. 2023. Teatro José de Alencar é o primeiro do Brasil a ganhar modelo em 3D de alta precisão; projeto auxilia na manutenção e nos restauros do patrimônio. Agência UFC. Acesso em: 17 de 2025. Disponível em: <https://agencia.ufc.br/theatro-jose-de-alencar-e-o-primeiro-do-brasil-a-ganhar->

[modelo-em-3d-de-alta-precisao-projeto-auxilia-na-manutencao-e-nos-restauros-do-patrimonio/](#).

TORI, R.; KIRNER, C. Fundamentos da Realidade Virtual. In: TORI, R.; KIRNER, C.; SISCOOTTO, R. (org.). Fundamentos e Tecnologia de Realidade Virtual e Aumentada. Porto Alegre: Editora SBC, 2006. p. 2-22.

Talaverano, Rafael. 2015. *Graphic documentation of historical buildings: principles, applications and prospects*. Madrid : s.n., 2015.

Tarobá. 2023. Tarobá Hotel.. Acesso em: 08 de Mayo de 2025. Disponible en: <https://www.hoteltarobafoz.com.br/es/templos-religiosos/>.

UNESCO. Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura. Convenção para a salvaguarda do patrimônio cultural imaterial. Paris, 2003. Disponível em: <https://ich.unesco.org/doc/src/15164-PT.pdf>. Acesso em: 9 jun. 2025.

Uzal, José. 2020. Modelado 3D en patrimonio cultural por técnicas de structure from motion . s.l. : 1, 2020.

Valdecantos, Antonio. 2024. Fusión de datos geométricos para el estudio de patologías en edificios de Patrimonio Histórico.

Vergara, Dáfani. 2020. NEUMANN . NEUMANN. Acesso en: 15 de 05 de 2025. Disponible en: <https://neumanntour.com.br/catedral-guadalupe/>.

Vilela, Joao. 2021. Modelagem 3D de edifícios históricos: a influência do nível de detalhe (LOD) no processo de reconstrução virtual e interpretação da Villa Ferreira Lage, Juiz de Fora – MG.

VILLALÓN TORRES, D.; SÁNCHEZ DÍAZ, K (2011). Recomendaciones técnicas para la documentación geométrica de entidades patrimoniales. Recomendaciones Técnicas Del Instituto Andaluz Del Patrimonio Histórico, p. 1–23.

VISTA do Tecnologias digitais e preservação do patrimônio arquitetônico: explorando alternativas. PARC: Pesquisa em Arquitetura e Construção, 2024.

Vitrais, Dfalco. 2022. Dfalco Vitrais. *Vitrais da Catedral de Foz do Iguaçu*. Acesso en: 08 de Mayo de 2025. Disponible en: <https://dfalcovitrais.com.br/2022/10/04/vitrais-da-catedral-de-foz-do-iguacu/>.

Volpato, Laise. 2020. TECNOLOGIAS DIGITAIS NA PRESERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO CULTURAL EDIFICADO DO IMIGRANTE ITALIANO. Criiciúma: 2020.

VSMéxico. 2023. VISI Series México. *VISI Series México*. Acesso en: 20 de Mayo de 2025. Disponible en: <https://www.visiseries-mexico.com/de-donde-surgio-el-escaneo-en-3d/>.

WIJESURIYA, G.; THOMPSON, J.; YOUNG, C. Gestão do Patrimônio Mundial cultural. UNESCO World Heritage Centre, 2016.

VILLALÓN TORRES, D., & SÁNCHEZ DÍAZ, K. (2011). Recomendaciones técnicas para la documentación geométrica de entidades patrimoniales. Recomendaciones Técnicas Del Instituto Andaluz Del Patrimonio Histórico.

ZANETTI, Carla et al. (2024). Uso de escaneamento a laser 3D na conservação e restauração de patrimônio edificado. Revista Brasileira de Cartografia, v. 75, n. 2, p. 33-52.

ZANIRATO, Silvia Helena; RIBEIRO, Rubens (2011). Patrimônio cultural e cidadania. São Paulo.

Zapata, Linda. 2024. Reconstrucción virtual de la iglesia y convento La Merced de Zaña.