

GUÍA DE LEVANTAMIENTO ARQUITECTÓNICO PATRIMONIAL CON DISPOSITIVOS MÓVILES

**GUÍA DE LEVANTAMIENTO ARQUITECTÓNICO UTILIZANDO DISPOSITIVOS MÓVILES
(TELÉFONOS INTELIGENTES Y TABLETAS) INTEGRADO CON PROCESOS DE MODELADO DE
INFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN DEL PATRIMONIO CONSTRUCTIVO (BIM)**

Stefany Caterine García Aragón

Orlando Villamizar Quevedo



UNIVERSIDAD
La Gran Colombia

Vigilada MINEDUCACIÓN

Arquitectura, Facultad de Arquitectura

Universidad La Gran Colombia

Bogotá

2023

GUÍA DE LEVANTAMIENTO ARQUITECTÓNICO PATRIMONIAL CON DISPOSITIVOS MÓVILES

Guía de levantamiento arquitectónico utilizando dispositivos móviles (teléfonos inteligentes y tabletas) integrado con procesos de modelado de información para la gestión del patrimonio construido (BIM)

Stefany Caterine García Aragón

Orlando Villamizar Quevedo

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de arquitecto/a

Arq. director Yuber Alberto Nope



UNIVERSIDAD
La Gran Colombia

Vigilada MINEDUCACIÓN

Arquitectura, Facultad de Arquitectura

Universidad La Gran Colombia

Bogotá

2023

Dedicatoria

Dedicamos esta tesis a los profesionales cuya labor cotidiana se orienta a la preservación y conservación de nuestro patrimonio arquitectónico en Colombia.

Agradecimientos

Agradecemos a la institución que nos ha facilitado las herramientas y el conocimiento esenciales para la consecución de este trabajo, así como a nuestro director de proyecto por su acompañamiento. Extendemos, nuestro agradecimiento a la empresa Arplan, cuya colaboración al proporcionarnos los insumos para el desarrollo exitoso de esta investigación.

Tabla de contenido

RESUMEN	13
ABSTRACT	14
INTRODUCCIÓN	15
CAPÍTULO I: ANTECEDENTES	16
PROBLEMA OPORTUNIDAD.....	16
HIPÓTESIS.....	18
JUSTIFICACIÓN	18
OBJETIVOS.....	19
OBJETIVO GENERAL	19
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
CAPÍTULO II: MARCOS DE REFERENCIA	20
ESTADO DEL ARTE	20
<i>Aproximación al levantamiento arquitectónico con tecnologías de escaneo para la preservación del patrimonio</i>	<i>20</i>
<i>Factores necesarios para la realización del levantamiento arquitectónico patrimonial con tecnologías de escaneo en dispositivos móviles.....</i>	<i>23</i>
<i>Uso de dispositivos móviles como herramienta para el levantamiento arquitectónico</i>	<i>25</i>
<i>Manejo y control documental de la información obtenida de un levantamiento arquitectónico patrimonial.</i>	<i>27</i>
MARCO TEÓRICO.....	29
<i>Registro digital del patrimonio como forma de conservación.</i>	<i>30</i>
<i>Documentación arquitectónica asequible</i>	<i>31</i>
<i>Competitividad de métodos de levantamiento con dispositivos móviles</i>	<i>32</i>

MARCO HISTÓRICO	34
MARCO LEGAL.....	37
METODOLOGÍA	37
<i>Recopilación de datos</i>	37
<i>Caracterización de caso de estudio</i>	38
<i>Exploración de tecnologías y aplicaciones para dispositivos móviles</i>	38
<i>Diseño de la Investigación</i>	38
<i>Análisis de Datos</i>	39
<i>Cronograma</i>	39
<i>Presupuesto</i>	39
<i>Resultados esperados</i>	39
<i>Contribución al Conocimiento</i>	40
CAPÍTULO III: CARACTERIZACIÓN ARQUITECTÓNICA DEL CASO DE ESTUDIO	40
CASO DE ESTUDIO.....	40
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL CASO DE ESTUDIO	42
INVENTARIO DE ELEMENTOS ARQUITECTÓNICOS.....	43
CAPÍTULO V: EXPLORACIÓN DE LAS APPS Y TECNOLOGÍAS EN DISPOSITIVOS MOVILES.....	49
CAPÍTULO VI: FORMULACIÓN DEL PROCESO DE LEVANTAMIENTO ARQUITECTÓNICO PATRIMONIAL CON	
DISPOSITIVOS MOVILES	51
INTRODUCCIÓN	51
FLUJO DE PROCESOS.....	51
FASE I: PREPARACIÓN Y PLANIFICACIÓN	51
<i>Requerimientos del Cliente</i>	51
<i>Plan de Ejecución (BEP)</i>	52
<i>Elementos de trabajo y requisitos técnicos</i>	52

GUÍA DE LEVANTAMIENTO ARQUITECTÓNICO PATRIMONIAL CON DISPOSITIVOS MÓVILES	7
<i>Visita de campo</i>	53
<i>Verificación de información existente</i>	54
<i>Plano de recorrido impreso</i>	55
<i>Check list de verificación</i>	56
FASE II: EJECUCIÓN DEL LEVANTAMIENTO	56
<i>Consideraciones a tener presente el día del levantamiento</i>	56
<i>Medición y Escaneo</i>	57
FASE III: PROCESAMIENTO DE DATOS	61
FASE IV: VALIDACIÓN Y DOCUMENTACIÓN.....	62
<i>Validación es sitio</i>	62
<i>Documentación de datos y resultados</i>	64
CAPÍTULO VI: APLICACIÓN DEL PROCESO DE LEVANTAMIENTO ARQUITECTÓNICO PATRIMONIAL CON	
DISPOSITIVOS MOVILES	64
RESULTADOS Y CONCLUSIONES	81
TIEMPOS Y RECURSOS UTILIZADOS:.....	84
ERRORES Y OMISIONES:	85
LISTA DE REFERENCIA O BIBLIOGRAFÍA	87

Lista de Figuras

Figura 1	17
Figura 2	35
Figura 3	36
Figura 4	41
Figura 5	41
Figura 6	47
Figura 7	47
Figura 8	48
Figura 9	48
Figura 10	49
Figura 11	50
Figura 12	54
Figura 13	56
Figura 14	58
Figura 15	59
Figura 16	60
Figura 17	66
Figura 18	67
Figura 19	¡Error! Marcador no definido.
Figura 20	68
Figura 21	69
Figura 22	69

Figura 23	70
Figura 24	70
Figura 25	71
Figura 26	72
Figura 27	72
Figura 28	73
Figura 29	73
Figura 30	74
Figura 31	74
Figura 32	75
Figura 33	75
Figura 34	76
Figura 35	76
Figura 36	77
Figura 37	78
Figura 38	78
Figura 39	79
Figura 40	80
Figura 41	80
Figura 42	82
Figura 43	83
Figura 44	84

Lista de Tablas

Tabla 1.....	42
Tabla 2.....	43
Tabla 3.....	50
Tabla 4.....	81
Tabla 5.....	85

Glosario

Levantamiento arquitectónico

Proceso mediante el cual se obtienen mediciones precisas y detalladas de un edificio o estructura existente, el cual se realiza con el propósito de crear representaciones gráficas y documentación que reflejen de manera precisa las características y dimensiones de la arquitectura existente.

Patrimonio arquitectónico

Conjunto de bienes arquitectónicos que poseen un valor cultural, histórico, artístico o social significativo para una comunidad, una sociedad o la humanidad en general.

Preservación del patrimonio

Las acciones y estrategias destinadas a proteger, conservar y mantener los bienes culturales, históricos, arquitectónicos, artísticos y naturales que tienen un valor significativo para una comunidad, sociedad o la humanidad en su conjunto.

Preservación digital del patrimonio

Documentación de la arquitectura, detalles ornamentales y características históricas de un edificio antes de cualquier intervención o cambio. Esto proporciona una referencia digital que puede ser utilizada para la restauración o conservación futura.

Escáner 3D

Dispositivo electrónico diseñado para capturar información tridimensional de objetos físicos y convertirla en modelos digitales tridimensionales (3D). Estos escáneres utilizan diversas tecnologías para registrar la geometría y la textura de un objeto con alto detalle y precisión.

Fotogrametría

Tecnología de captura de imágenes 2D desde diferentes ángulos y por medio de algoritmos calcular la geometría tridimensional a partir de la información visual.

LiDAR

Tecnología de detección y Medición por Luz, que utiliza pulsos láser para medir distancias y crear representaciones tridimensionales del entorno.

Dispositivos móviles

Dispositivos electrónicos móviles que combinan funciones de comunicación, procesamiento de datos y conectividad a través de una interfaz táctil, y que ejecutan sistemas operativos avanzados

Guía de proceso

Documento que proporciona instrucciones detalladas y sistemáticas sobre cómo llevar a cabo un proceso específico.

Resumen

El levantamiento arquitectónico del patrimonio construido requiere de metodologías precisas y eficientes que optimicen costos y tiempos a la vez que eviten reprocesos en la gestión documental. Estas metodologías son fundamentales para garantizar la correcta valoración, conservación, restauración y renovación del patrimonio, además es crucial que estas metodologías sean compatibles con sistemas de colaboración como BIM y HBIM. En Colombia, actualmente se lleva a cabo el levantamiento arquitectónico patrimonial utilizando tecnologías de escaneo 3D en combinación con herramientas manuales. No obstante, este proceso no se realiza de manera continua y resulta ineficiente en la gestión documental debido a que la información debe transcribirse a softwares específicos que no se integran fácilmente entre sí y otra parte de la documentación se almacena en formato físico. El presente trabajo investiga y analiza, en un caso de estudio, el potencial con el que cuentan los dispositivos móviles (teléfonos inteligentes y tabletas) y procesos basados en (APP) para su uso en los levantamientos arquitectónicos patrimoniales, con el objetivo de diseñar una guía para este proceso de levantamiento arquitectónico patrimonial y la integración con un proceso BIM para la gestión documental, esta funciona como herramienta para el uso efectivo de dispositivos móviles y sus aplicaciones para ser aplicado por profesionales de diversos campos a proyectos que cuenten con un presupuesto reducido y proyectos de bajo nivel de detalle.

Palabras clave: Levantamiento arquitectónico, Documentación del Patrimonio, Dispositivos Móviles, Tecnología LiDAR, Escaneo tridimensional, Digitalización del Patrimonio.

Abstract

The architectural survey of built heritage requires precise and efficient methodologies that optimize costs and time while avoiding reprocessing in document management. These methodologies are essential to ensure the proper assessment, preservation, restoration, and renovation of heritage, and it is crucial that these methodologies are compatible with collaborative systems like BIM and HBIM. In Colombia, heritage architectural survey is currently conducted using 3D scanning technologies in combination with manual tools. However, this process is not continuous and is inefficient in document management because the information must be transcribed to specific software that does not easily integrate with each other, and some of the documentation is stored in physical format. This paper investigates and analyzes, in a case study, the potential of mobile devices (smartphones and tablets) and processes based on apps for use in heritage architectural surveys, with the aim of designing a guide for this heritage architectural survey process and its integration with a BIM process for document management. This serves as a tool for the effective use of mobile devices and their applications to be applied by professionals from various fields to projects with a limited budget and projects with a low level of detail.

Keywords: Architectural Survey, Heritage Documentation, Mobile Devices, LiDAR Technology, Three-dimensional Scanning, Heritage Digitization.

Introducción

El levantamiento arquitectónico es una medida fundamental en la digitalización de edificios patrimoniales, lo cual permite su preservación y conservación. En Colombia, se emplean diversos métodos para recopilar información de edificios de valor patrimonial, como levantamientos fotogramétricos, escaneo láser 3D y levantamientos manuales. Sin embargo, estos métodos a menudo conllevan costos elevados y posibles reprocesos, especialmente en el caso de los levantamientos manuales, donde la precisión puede verse comprometida debido al juicio humano y la posterior digitalización en software CAD. Para abordar la necesidad de metodologías eficientes que reduzcan costos y tiempos, al tiempo que eviten reprocesos al transcribir información gráfica de un sistema a otro, esta investigación explora el uso de dispositivos móviles, como smartphones y tabletas, para el escaneo 3D de objetos y espacios utilizando tecnologías como la fotogrametría y sensores LiDAR como una alternativa emergente para la digitalización de edificios patrimoniales. No obstante, existe una falta de documentación sobre la aplicación de este proceso de levantamiento arquitectónico patrimonial basado en dispositivos móviles. Por lo tanto, este estudio tiene como objetivo diseñar una guía metodológica para levantamientos arquitectónicos patrimoniales utilizando dispositivos móviles, con el fin de reconocer detalles arquitectónicos de bajo nivel de detalle, respaldando la documentación digital del patrimonio construido en el marco de la Modelización de Información de Construcción (BIM). Para lograrlo, la investigación implica la caracterización de un caso de estudio patrimonial y la exploración de tecnologías y aplicaciones disponibles en dispositivos móviles para el escaneo y procesamiento de datos. El objetivo final es desarrollar un proceso de levantamiento arquitectónico que pueda integrarse en los flujos de trabajo BIM y aplicarse al caso de estudio, con perspectivas de una mayor difusión.

CAPÍTULO I: ANTECEDENTES

Problema Oportunidad

El levantamiento arquitectónico es una medida de digitalización de inmuebles que permite la preservación y conservación del patrimonio construido.

En Colombia, se emplean distintos métodos para la recopilación de la información de un inmueble de carácter patrimonial como lo es el levantamiento, fotogramétrico, con escáner laser 3D y directo o manual, estos métodos implican costos elevados y reprocesos tal ocurre con el método manual, como afirma Franco (2012) el levantamiento arquitectónico manual puede perder precisión debido al juicio y detalle del profesional al tomar las medidas de manera manual y luego digitalizar la información en software CAD.

Es necesario el uso de metodologías de acceso público que ahorren tiempo, costos y eviten reprocesos al momento de transcribir la información gráfica de un inmueble de un sistema a otro, evitando la pérdida parcial de información arquitectónica y cultural, y que sea de fácil acceso para el profesional de acuerdo con la magnitud del proyecto. Debido a esto, en la última década se ha explorado el uso de dispositivos móviles para el escaneo 3D de objetos y espacios, usando tecnologías como la fotogrametría y sensor LiDAR como alternativa emergente para la digitalización de inmuebles. Sin embargo, este proceso de levantamiento arquitectónico patrimonial basado en dispositivos móviles no se encuentra documentado para su aplicación.

Por lo tanto, esta investigación busca el diseño de una guía metodológica de levantamiento arquitectónico patrimonial basada en dispositivos móviles con el fin de reconocer aspectos físicos arquitectónicos visibles de bajo nivel de detalle, para la gestión documental del patrimonio construido bajo la metodología de trabajo BIM. Para lograr esto, se llevará a cabo la caracterización de un caso de estudio de carácter patrimonial y se explorarán las tecnologías y aplicaciones disponibles en dispositivos

móviles, (teléfonos inteligentes y tabletas), para el escaneo y procesamiento de datos. El objetivo final es desarrollar un proceso de levantamiento arquitectónico que se pueda integrar con los procesos BIM y que sea aplicable al caso de estudio, con miras a su posterior difusión.

Pregunta problema

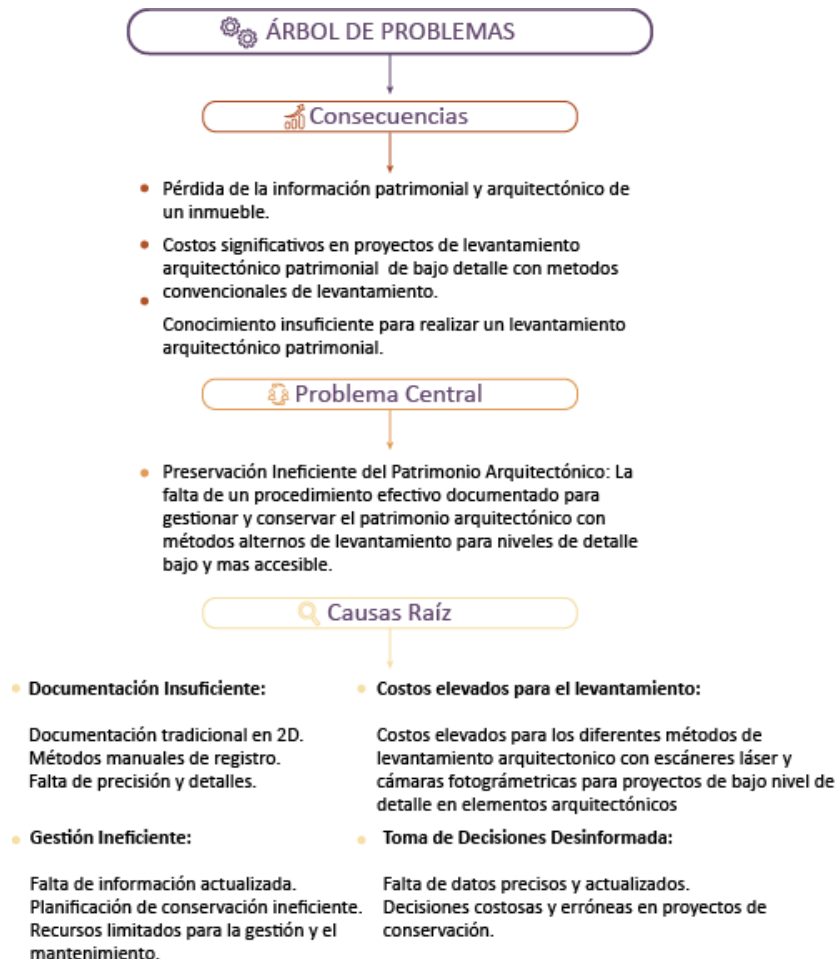
¿Una guía de levantamiento arquitectónico patrimonial basado en dispositivos móviles permite estructurar procesos para el patrimonio bajo la modalidad BIM?

Árbol de problemas

Figura 1

Árbol de problemas

Nota. Árbol de problemas de la investigación. Elaboración propia



Hipótesis

La elaboración e implementación de un procedimiento de levantamiento arquitectónico con dispositivos móviles bajo la modalidad de trabajo BIM que permite la estructuración del proceso de levantamiento arquitectónico aplicado a inmuebles patrimoniales para gestionar la información arquitectónica visible de un inmueble para proyectos de intervención, mantenimiento, preservación, conservación y divulgación del patrimonio a un bajo costo en comparación con otros métodos de levantamiento.

Justificación

En Colombia, el levantamiento arquitectónico de inmuebles patrimoniales se realiza actualmente utilizando herramientas manuales y tecnológicas de manera separada o en combinación, según las necesidades del proyecto (Martínez, 2014). Esta falta de integración de herramientas puede llevar a discontinuidades en el proceso y al tratamiento ineficiente de la información, lo que, en última instancia, puede resultar en la pérdida parcial de datos valiosos.

Es importante destacar que, hasta la fecha, existe una carencia significativa de información y alternativas para el levantamiento arquitectónico patrimonial que utilicen dispositivos móviles como una solución intermedia, evitando la dependencia de métodos convencionales costosos o tecnologías de última generación inaccesibles para muchos profesionales de la arquitectura.

El propósito de esta investigación es explorar y proponer un proceso que facilite y mejore el levantamiento arquitectónico patrimonial. Este proceso estaría basado en el uso de tecnologías para dispositivos móviles, con la posibilidad de integrar estas herramientas con la metodología BIM para una gestión eficaz de la información patrimonial.

Esta investigación no solo enriquecerá las opciones disponibles para los profesionales de la arquitectura al documentar el patrimonio arquitectónico, sino que también contribuirá a la preservación, el análisis y la divulgación del patrimonio arquitectónico del país.

La investigación abordará la necesidad de una solución más económica y accesible para el levantamiento arquitectónico patrimonial, brindando a los profesionales una herramienta de trabajo para la preservación, y adecuada gestión del patrimonio arquitectónico.

Objetivos

Objetivo General

Diseñar una guía para el levantamiento arquitectónico patrimonial con tecnologías de levantamiento basado en dispositivos móviles que permitan reconocer aspectos físicos arquitectónicos visibles de bajo nivel de detalle para la digitalización y documentación BIM.

Objetivos Específicos

1. Caracterizar el caso de estudio a nivel arquitectónico para identificar los elementos y sus niveles de detalle a tener en cuenta para el levantamiento arquitectónico con dispositivos móviles.
2. Explorar las tecnologías en dispositivos móviles para el levantamiento arquitectónico patrimonial en un caso de estudio para comparar los factores de costos, tiempo y calidad de los datos exportados.
3. Formular el proceso de levantamiento reconociendo conceptos, estándares, tecnologías, recurso humano, validaciones y flujos.
4. Aplicar el proceso de levantamiento arquitectónico patrimonial con dispositivos móviles en caso de estudio y comprobar su aplicabilidad y eficacia.

CAPÍTULO II: MARCOS DE REFERENCIA

Estado del arte

Los levantamientos arquitectónicos son de gran importancia para el patrimonio al estar relacionado con procesos posteriores a este, desde la valoración hasta su intervención, restauración, entre otros. El proceso del levantamiento arquitectónico, según Buill et al. (2007) nos ayuda a profundizar y adquirir una gama amplia de conocimiento sobre nuestro patrimonio, ya que este es indispensable para su adecuado manejo y conservación, por tal motivo al encontrarnos con una amplia gama de información disponible sobre temas concernientes al levantamiento arquitectónico del patrimonio con tecnologías de escaneo, el siguiente estado del arte pretende abordar diferentes métodos de levantamiento arquitectónico tanto a nivel nacional como internacional, adicionalmente a esto se busca indagar sobre los métodos de levantamiento arquitectónico que incorporen tecnologías en dispositivos móviles. El fin de esta búsqueda es identificar factores y variables de importancia, las cuales aporten a mejorar la ejecución del proceso de levantamiento, dar un adecuado manejo y control documental de la información obtenida e incluir nuevas herramientas tecnológicas de dispositivos móviles que puedan llegar a contribuir con proyectos de baja y mediana escala en el patrimonio.

Aproximación al levantamiento arquitectónico con tecnologías de escaneo para la preservación del patrimonio

El levantamiento arquitectónico en el ámbito patrimonial no solo representa una recolección de medidas plasmadas en gráficos planimétricos, sino que, por el contrario, determina información histórica, su valor, su tratamiento específico de acuerdo con los materiales usados en su construcción.

Es así como podemos observar en el estudio realizado en España en la Muralla Medieval de Ávila, donde se realizaron pruebas de precisión con tecnología de escaneo móvil LIDAR (tecnología emergente) y escáner láser terrestre una de las más comúnmente utilizadas en el mundo, el autor

muestra que “Los resultados presentados sugieren que el sistema LiDAR móvil es un enfoque óptimo, que permite una adquisición de datos de alta velocidad y proporciona una precisión adecuada para grandes sitios de patrimonio cultural” (Rodríguez et al, 2017, p. 12), además de evidenciar una ventaja en tiempos de procesamiento, toma de la información y una operatividad mucho más sencilla en comparación con estaciones laser que contribuyen para preservar el conocimiento histórico y arquitectónico del patrimonio en este país.

La tecnología LIDAR es utilizada para el escaneo, recopilación, actualización de datos gráficos y la posición espacial del patrimonio arquitectónico, un claro ejemplo fue la investigación realizada con las bóvedas y arcos en la fábrica renacentista del Colegio Santo Domingo de Orihuela (siglo XVI) una edificación patrimonial ubicado en España en la cual se buscaba realizar el seguimiento a las intervenciones que se realizaban a este edificio y a las reparaciones estructurales para garantizar el control y el registro de cada movimiento hecho, con ello se obtienen nubes de puntos las cuales según la investigación tienen una variación mínima frente a referencias y puntos físicos tomados de la edificación lo que justifica las bondades que ofrece esta tecnología y su fácil aplicación para el mantenimiento de esta obra patrimonial (Saura et al. 2021).

Al revisar las tecnologías de escaneo más utilizadas en Colombia y en Latinoamérica, encontramos una monografía hecha en la ciudad de Cartagena/Colombia, que tenía como objetivo analizar las tecnologías utilizadas en los procesos de preservación y difusión del patrimonio arquitectónico, mostrando como resultado que las tecnologías de mayor adaptabilidad en el país son: software de (modelación 3D, estructurales e interactivos), la fotogrametría SFM, el escáner láser y la fotogrametría con drones (Pérez et al. 2021). Además, dejan en visto que dichas tecnologías tienen costos altos y medios y que requieren de una mano de obra especializada, lo cual impide la utilización de estos en proyectos de bajo presupuesto.

Otra investigación importante relacionada con este tema tiene como título: LiDAR 3D y colaboración multi tecnológica para la preservación del patrimonio construido en China: una revisión, la cual menciona que los software de modelación 3d “muestran muchos problemas, como información registrada limitada, una gran cantidad de datos, alta dificultad en la colaboración, datos no estandarizados y fragmentados y dificultad en la extracción de datos para una utilización integral” (Li et al 2023, p. 1), demostrando que el uso de la tecnología LIDAR (Laser Imaging Detection and Ranging), logra superar limitaciones de las demás tecnologías de escaneo en una sola y muestra ventajas en la digitalización del patrimonio construido, el monitoreo, la medición de alta precisión y la preservación del patrimonio en diversas escalas.

Se observa que el uso de escáner Laser terrestre es ampliamente utilizado en el campo del patrimonio y que ha seguido evolucionando rápidamente a tecnologías como el LIDAR (Laser Imaging Detection and Ranging) sistema que usa emisión de pulsos láser para la captación de información, además al revisar sus aplicaciones se puede evidenciar que aumenta su uso para el registro, control y digitalización del patrimonio por su alta precisión y simplificación de otros sistemas mejorando sus limitaciones, lo que ha permitido y facilitado la preservación y conocimiento histórico arquitectónico del patrimonio, así como futuras restauraciones o modificaciones que se le quiera realizar, permitiendo el monitoreo en tiempo real y remoto, dejando en claro que es una herramienta potente que aunque es utilizada en el patrimonio de nuestro país hay que revisar la manera en que sea mayormente difundida para que permita evolucionar la manera en que se registra y se documenta el patrimonio en nuestro país.

Factores necesarios para la realización del levantamiento arquitectónico patrimonial con tecnologías de escaneo en dispositivos móviles.

Inicialmente, podemos observar en la tesis de doctorado realizada en España donde el autor tiene como objetivo el análisis de las nuevas tecnologías para el levantamiento arquitectónico integrado, enfatizando sus ventajas y limitaciones. Esto lo realizan a través de 4 casos de estudio donde en el primer caso Restauración virtual: El caso de una bóveda gótica en Coves de Vinromá, es el de mayor interés para nuestra investigación, ya que utilizan como metodología la toma directa, mediante el empleo de croquis con flexómetro para recoger las dimensiones y adicionalmente lo complementan con el método de Scanner Láser 3D y fotogrametría para recopilar datos de la iglesia con software como Rapidform y Photomodeler. En este caso de estudio encontramos que (Martínez, 2014 b) concluye lo siguiente “El aumento de operaciones manuales (como en el caso de la bóveda del Palacio Roncioni: tomar los puntos en Rapidform, importarlos en Photomodeler, después re-proyectar el fotograma...), genera un pipeline más largo y articulado, y no proporciona la precisión necesaria” (p. 325), ya que al realizar la recopilación de información iniciando con una metodología manual para complementar con una tecnología, hace de este un proceso mucho más extenso y causa la pérdida de precisión en la información, lo cual nos indica que se debe plantear herramientas que favorezcan acortar el proceso, para lograr mayor eficiencia y conservar la precisión obtenida manualmente o con algún método tecnológico.

Los métodos manuales siguen siendo de importancia para el registro y documentación del patrimonio, por tal motivo Franco (2012b), elabora una aproximación metodológica para el levantamiento arquitectónico que sirve como guía y estructura para quien lo consulta, teniendo de apoyo ejemplos reales de aplicación en edificios y Bienes de interés cultural en Colombia de los cuales ha participado. Podemos destacar que es una metodología detallada para la realización del levantamiento,

la cual puede ser de aporte para nuestra investigación, resaltando de esta, sus fases principales las cuales son:

La fase preliminar, la cual contempla el reconocimiento del espacio, las nivelaciones y el trabajo topográfico para una correcta posterior toma de dimensiones.

La graficación que incluye la recopilación de documentos existentes y la realización de los croquis de plantas, cortes y fachadas a registrar.

La fase de medición, la cual contempla, toma de medidas de las plantas con un recorrido y triangulación de estas, medición de muros irregulares, de alturas y documentación de grietas.

Por otra parte, la investigación afirma que hay “un relativo incremento en los costos del dibujo, debido al esfuerzo, al desgaste físico, y a los mayores tiempos que demandan estos levantamientos para producir unos resultados satisfactorios o, al menos, aceptables en su componente estético” (Franco, 2013 c, p. 80).

En la tesis de maestría Almagro (2016) explica las diferentes técnicas de levantamiento arquitectónico que hay en la actualidad, definiendo cuál es más favorable para su operación, luego de analizarlas se enfocan en la fotogrametría y realizan una comparación entre 4 software fotogramétricos existentes de libre adquisición para registrar la información de un mismo caso de estudio, el desarrollo de tecnologías como Structure From Motion les permitió obtener información métrica precisa a partir de fotografías digitales. Finalmente, después de su análisis profundo de los diferentes sistemas, concluyen que el método fotogramétrico tiene un gran potencial y es el más indicado para documentar el patrimonio, pero se debe tener una buena planificación en la toma de imágenes con cámara, para la efectividad del modelo, como es indispensable proporcionar el volumen de información a procesar y del software y hardware del que se dispone. En comparación con el escáner láser 3D muestra es un método muy aceptable y preciso, pero de elevado costo y mano de obra calificada para su ejecución, a diferencia

de la fotogrametría que puede ser utilizada por cualquier usuario, con nociones básicas de fotografía, que sepa usar software y sin conocimientos de fotogrametría en el apartado correspondiente.

Uso de dispositivos móviles como herramienta para el levantamiento arquitectónico

Uno de los factores importantes de esta investigación es determinar si para los procesos de levantamiento arquitectónico en el patrimonio es de beneficio incluir tecnologías con las que cuentan los dispositivos móviles, por ende se revisa la tesis de grado nombrada Evaluación técnica y económica de métodos de levantamiento arquitectónico análogos y digitales, que tiene por objetivo evaluar distintas metodologías de levantamiento arquitectónico análogos y digitales, con el fin de comparar atributos técnicos, económicos y establecer rendimientos, precisión, y costo. Cabe mencionar que las metodologías que más se relaciona con nuestro tema de estudio son con dispositivos móviles, que ha sido poco explorada en Colombia, pero esta tesis en especial es la que más se aproxima como referente a lo que se ha hecho actualmente en estos temas.

Según los resultados de esa investigación el levantamiento con dispositivos móviles cuenta con el 76 % de favorabilidad en comparación del método análogo tradicional con un 85 % y las estaciones LiDAR con 99%, este último con un costo mayor que el levantamiento con aparatos móviles sobre pasándolo un 600%, aunque se debe aclarar que en dicha investigación no se profundiza en los dispositivos móviles y solo se toman como objeto de comparación.

También determinan que el método de dispositivos móviles trabaja con formatos RCP que hace que tenga imprecisiones por el constante movimiento en la toma de información, pero este no deja de ser útil para el reconocimiento del lugar y modelado 3d, aunque no se menciona la exploración con tecnología LiDAR en dispositivos móviles.

Finalmente, se afirma que el método tradicional puede ser uno de los más precisos si se aplica el correcto proceso, el cual observamos es extenso y demanda una previa planeación y ejecución que

conlleva tiempos prolongados y dependiendo el caso, herramientas y equipo específico para llegar a puntos altos o fachadas, por ende la investigación concluye que para realizar un levantamiento arquitectónico a un costo accesible y con un nivel de detalle adecuado y preciso hay que combinar los métodos tradicionales con métodos tecnológicos.(Romero,2022). Aunque en esta tesis observamos puntos negativos al utilizar dispositivos móviles en los levantamientos, también observamos oportunidades en relación con los costos en comparación con medios tecnológicos, además el uso de dispositivos móviles con tecnología LIDAR está poco explorado y en esta tesis no se profundiza en el tema, pero sí nos revela ventajas y desventajas en ciertos factores del proceso.

Otro ejemplo relacionado con este tema lo encontramos en un estudio realizado en Italia, donde se busca probar tres aplicaciones iOS (Site Scape, EveryPoint y 3D Scanner App), para determinar aspectos como la precisión general del sensor, las condiciones óptimas de obtener información, las barreras de operatividad y la precisión de los productos 3d obtenidos, obteniendo como resultado lo siguiente:

- Las distancias mínimas recomendadas para el escaneo es de 1 a 4 m
- Los movimientos que realice el operador, así como factores externos (iluminación, textura, color, forma, reflectancia) pueden influir en los resultados del escaneo.
- El software juega un papel importante al momento de escanear, ya que los resultados de cada aplicación varían, aunque tengan la misma configuración.
- Al sensor LiDAR en dispositivos móviles no le afecta directamente aspectos como la iluminación o el material del objeto a escanear.
- Con el estado actual en el que está desarrollada las aplicaciones y el sensor LiDAR, se pueden documentar objetos de tamaño pequeño y mediano como estatuas, habitaciones pequeñas, partes de edificios, obteniendo precisión de pocos centímetros y con un detalle alto, por el contrario, para ejecutar levantamientos de edificios o espacios más grandes se debe seguir desarrollando las

aplicaciones, o desarrollar nuevas que incorporen algoritmos adecuados para tal escala (Teppati et al,2022)

En el artículo: 3D Survey with Apple LiDAR Sensor—Test and Assessment for Architectural and Cultural Heritage (Encuesta 3D con sensor LiDAR de Apple: prueba y evaluación para el patrimonio arquitectónico y cultural), encontramos un ejemplo muy similar al mencionado anteriormente, el cual tiene como principal objetivo el investigar el sensor LIDAR que viene incorporado en dispositivos Apple, y analizar su utilidad en aspectos como precisión y aplicabilidad para la producción de modelos 3d en el patrimonio material. En esta investigación se utilizaron las aplicaciones Polycam, Sitescape, 3D Scanner y Scaninverse, obteniendo como resultado, según la autora, que “con un costo limitado, el usuario puede obtener reconstrucciones 3D satisfactorias de las características del edificio y artefactos razonablemente pequeños”(Vaca, 2023, p. 25), además que el sensor LIDAR de Apple puede aplicarse en la documentación métrica del patrimonio arquitectónico que no sean de alta complejidad en forma y textura, siendo la aplicación Polycam la que mejores resultados obtuvo al generar modelos y nube de puntos consistentes en los casos estudio en los que fue probada (Vaca,2023).

Manejo y control documental de la información obtenida de un levantamiento arquitectónico patrimonial.

Martínez (2014) Nos dice en su tesis doctoral que en su investigación logra comprobar que surgen distintos problemas con la información obtenida al tener la necesidad de utilizar diferentes herramientas digitales y manuales, desde el levantamiento hasta la compilación de la misma, resaltando que cuando las soluciones para este proceso son más automatizadas se obtienen mejores modelos resultantes que contienen la información y según los casos de estudio realizados la integración de las herramientas es el futuro, no solo para la obtención de modelos 3D, sino para el tratamiento de datos con diferentes tecnologías. Hay que contemplar como oportunidad las ventajas que se puedan obtener

al recopilar la información con dispositivos móviles y su empalme con las herramientas de modelado y digitalización y documentación de la información.

En la documentación del patrimonio con metodologías manuales y tecnológicas, pueden encontrarse falencias al transferir la información análoga a softwares o en la continuidad de la información entre programas de modelación 3D, así como lo expresa Quintilla (2021) “Uno de los principales problemas del inventario del patrimonio arquitectónico es gestionar y almacenar grandes cantidades de información de distintos formatos” (p. 1), lo que nos lleva a pensar en mejorar la manera en cómo realizamos la documentación de nuestro patrimonio.

A lo largo del estudio realizado por Quintilla, se enumeran beneficios del uso de BIM para llevar a cabo el inventario del patrimonio arquitectónico, como el que resulta al integrar BIM con Sistemas de Información Geográfica (SIG), ya que se resuelven limitaciones en la capacidad de gestión y modelado del patrimonio, pero también se analizan sus limitaciones con BIM, tales como la dificultad para la parametrización de algunas de las formas arquitectónicas por su complejidad e irregularidad lo que genera un tiempo de modelado mayor a lo convencional, además nos habla que BIM presenta limitaciones para la fácil consulta de atributos y aspectos espaciales. Por otra parte, se expone que, aunque se utilizan el uso de estándares para el intercambio de información entre BIM y GIS aún existen pérdidas de información durante su conversión. Finalmente concluye explicando que, en la actualidad, no existe una herramienta que integre plenamente ambas tecnologías y que la integración de BIM y SIG podría ser la herramienta definitiva para obtener un modelo completo que permita la gestión de todo tipo de información relacionada con el patrimonio arquitectónico y que pueda adaptarse a las distintas demandas de usuarios y usos (Quintilla,2021).

La implementación de BIM y HBIM en el patrimonio arquitectónico también lo observamos en un artículo realizado en España, donde se realiza el 3D de diferentes fases históricas de la iglesia de La Sang de Lliria como caso de estudio, en el cual llegan a la conclusión de que “El modelado de fases

históricas de edificios conlleva un estudio y análisis previo que requiere la recopilación extensa de documentación para poder representar correctamente el estado actual de bien, así como una reproducción lo más aproximada posible de estados anteriores” (Moral et al, 2021, p. 26). Pero adicionalmente, también presentan que el modelado bajo la metodología HBIM cuenta con dificultades por la naturaleza compleja de la estructura y de los elementos arquitectónicos de este bien patrimonial, aunque por otra parte destacan que no se habría obtenido información relevante para el registro histórico simplemente con métodos y enfoques tradicionales, ya que fue una ventaja la utilización de técnicas de escaneo laser en combinación con modelado BIM.

Marco teórico

En los últimos años, los esfuerzos para preservar el patrimonio en Colombia han experimentado avances significativos. El levantamiento arquitectónico se ha convertido en un proceso fundamental para la conservación preventiva, la divulgación y la gestión documental e histórica del patrimonio construido. Gracias a la incorporación de nuevas tecnologías, este proceso ha sido facilitado y ha maximizado su potencial en proyectos de intervención que requieren un alto nivel de detalle.

La integración de metodologías como el Modelado de Información de la Construcción (BIM) ha sido especialmente relevante en este contexto pues ha permitido un registro documental más preciso y completo, así como una mejor visualización y comprensión de los elementos arquitectónicos. Al aplicar el BIM al levantamiento arquitectónico, se logra una mayor eficiencia en la gestión de la información y en la coordinación de proyectos, contribuyendo así a la estrategia nacional para la transformación digital del sector de la construcción en el período 2020-2026.

Las dimensiones de esta investigación se enmarcan en primer lugar, en el registro digital como un medio efectivo de conservación. Además, se examina la importancia de la documentación

arquitectónica accesible y la necesidad de utilizar métodos de levantamiento que sean competitivos y rentables como sustento teórico, especialmente aquellos que hacen uso de dispositivos móviles.

Registro digital del patrimonio como forma de conservación.

El escaneo de edificios patrimoniales es una técnica que permite documentar, analizar y conservar el legado cultural y arquitectónico de una forma más precisa y eficiente en comparación con los métodos tradicionales, estas metodologías empleadas con tecnologías alternas se caracterizan por no ser invasivas y tienen la capacidad de capturar la geometrías, texturas, colores de una manera más fidedigna al inmueble, y convertirlas en una nube de puntos tridimensionales que servirá para procesar modelos digitales 3D, planimetría y otras representaciones digitales que facilitan el estudio y difusión del patrimonio.

El escaneo de edificios patrimoniales tiene múltiples aplicaciones y beneficios, como, lo es:

- Registro del estado actual de conservación de las edificaciones y detectar posibles daños o riesgos que requieran intervención.
- Reconstrucción virtual de elementos deteriorados, respetando la autenticidad y el valor histórico.
- Recreación de espacios digitales interactivos que permiten difundir el patrimonio al alcance de cualquier persona mediante la realidad aumentada o virtual.
- Es insumo para estudiar y continuar investigaciones sobre el patrimonio, al proporcionar información detallada y accesible sobre las características y la evolución de los inmuebles.
- Fomenta la elaboración de proyectos patrimoniales, al mostrar el potencial y la importancia de su preservación.

El escaneo de edificios permite contar con el apoyo de otras disciplinas que puedan aportar información complementaria sobre el contexto histórico, social y cultural de las edificaciones de una manera más unificada y completa. De esta manera, se puede lograr una valoración integral y multidisciplinaria del patrimonio construido, como se evidencio en múltiples estudios e investigaciones donde se demostró la eficacia que se puede obtener al contar con la información del patrimonio en un solo espacio como lo indica (Ozeren, Korumaz, 2021, p.30) cuando HBIM se utiliza de manera eficiente en el campo del patrimonio cultural, hace una importante contribución a la producción de la solución más adecuada en el diseño y uso del patrimonio cultural.

Documentación arquitectónica asequible

Con la llegada de Heritage Building Information Modelling (HBIM) la documentación de edificaciones patrimoniales se convirtió en más asequible para las diferentes disciplinas involucradas en los procesos de preservación del patrimonio. Este método de trabajo colaborativo permite múltiples proyectos e investigaciones sobre el patrimonio debido al acceso inmediato de todo tipo de datos requeridos para la toma de decisiones sobre intervenciones al patrimonio, lo que con métodos tradicionales toma mucho tiempo no solo en el levantamiento de la información sino en la unificación de esta, lo que genera retrasos y más deterioro al patrimonio. Por ello la unificación de la documentación abre las puertas a un entendimiento global de los vestigios de las civilizaciones y patrimonio que alberga hechos históricos importantes para una nación. En Colombia la importancia de la preservación del patrimonio aun requiere de concientización, y la inclusión de procesos BIM desde el levantamiento arquitectónico como los demás requisitos de las valoraciones patrimoniales, permiten una evolución en la gestión preventiva y correctiva del patrimonio construido, sin embargo, la integración de las técnicas de la arquitectura patrimonial con la metodología BIM tiene limitantes puesto que no se crea para ese propósito, sino por el contrario, se adaptó puesto que el modelo de

trabajo colaborativo es adaptable e indispensable en el patrimonio como lo indica a pesar de que HBIM ha demostrado tener grandes ventajas para la documentación del patrimonio arquitectónico, (Hawas, Marzouk, 2017) destacan que resulta muy complicado modelar la complejidad e irregularidad de

los edificios patrimoniales, debido a que las herramientas de modelado de los softwares BIM no fueron diseñadas para generar geometrías complejas, sino para la arquitectura de nueva construcción (Salvador, 2020a, p.80).

Competitividad de métodos de levantamiento con dispositivos móviles

Actualmente en Colombia se realiza con frecuencia el levantamiento arquitectónico con técnicas tradicionales manuales, lo que significa la necesidad de profesionales en representación gráfica manual y con software CAD, así como personal capacitado en gestión documental y archivística, sin embargo, estas metodologías suelen tomar más tiempo por los reprocesos que demanda al tomar medidas manuales, graficar los elementos arquitectónicos para luego transcribirlos a software CAD y digitalizar los documentos físicos en un intento de unificación de la información, y aunque pareciera un proceso meticuloso, la realidad es que el levantamiento en sí varía del juicio del profesional que levanta la información, pues se deja a su exactitud e interpretación del más mínimo detalle de un inmueble.

En Colombia algunas empresas han incursionado con tecnologías como estaciones de escáner laser y LIDAR, estas técnicas empleadas tienen como característica su alta precisión y exactitud en condiciones de poca o mucha iluminación y son capaces de capturar espacios y objetos con alta calidad, sin embargo, el costo de estos procedimientos suele ser muy elevados lo que le dificulta a otras empresas o profesionales participar de proyectos de baja y mediana escala. Por ello la llegada de la integración de la tecnología LIDAR en dispositivos móviles del fabricante Apple Inc. ofrece la oportunidad de cubrir esta necesidad a un bajo costo en comparación con la utilización de estaciones costosas y poco asequibles. Cabe aclarar que esta tecnología en dispositivos móviles lleva en el mercado

un poco mas de 3 años, lo que indica que hay un largo camino que recorrer de investigación y exploración del alcance de los dispositivos móviles como alternativa y nueva metodología de levantamiento arquitectónico patrimonial, disciplina que requiere un alto grado de conocimiento y exige gran precisión. En las múltiples investigaciones exploradas en este trabajo, se evidencio en casos de estudio que esta tecnología tiene un gran potencial y es posible general un método asequible, sin embargo, los dispositivos móviles no tienen la capacidad de competir con estaciones LIDAR puesto que su alcance en magnitud de espacio y precisión aun no son recomendables para proyectos de gran envergadura ni de detalle minucioso, pues la captación de elementos diminutos no se le facilita a este método, como lo menciona (Diaz, 2022, p.307) los dispositivos equipados con LiDAR inicialmente han demostrado ser útiles para detectar horizontal, vertical, e inclinado elementos de suelo, aunque serían necesarios más ensayos para analizar en qué medida son útiles para detectar con precisión geometrías.

Como aporte de (Franco, 2010, p.54) Es evidente que desde estos apoyos tecnológicos se han logrado avances notables en cuanto a precisión y exactitud en el dibujo, en especial cuando se plantean o precisan propuestas específicas o temáticas para un levantamiento, pero no podemos dejar de observar la pérdida tan notable en relación con el dibujo que los define, pues considera que debe haber una relación directa entre el arquitecto y el dibujo arquitectónico, aun no si, no se puede dejar de lado la imprescindible oportunidad de innovar con metodologías de bajo costo que permiten la accesibilidad a proyectos que se integren con procesos BIM que precisamente se encuentra en auge y próximamente como una regulación en nuestro país.

Marco histórico

El levantamiento arquitectónico surge en el siglo XVII como un intento de representar vestigios de civilizaciones pasadas mediante pinturas en diversas técnicas, con el fin de inmortalizar comportamientos humanos, e imaginarios paisajísticos, estas representaciones no eran más que contemplativas y no insumo científico de conocimiento. El levantamiento arquitectónico empieza a denotar una necesidad de recoger información precisa de edificaciones para estudiar el legado arquitectónico, técnicas constructivas, orígenes, materiales, para lo cual se empiezan a parametrizar estándares de dibujos con mediciones tomadas a mano de la forma visible de las edificaciones, fachadas y demás elementos arquitectónicos. La representación gráfica del patrimonio en Colombia se convierte así en insumo de documentación del patrimonio arquitectónico y el levantamiento arquitectónico se define así como; Una mirada crítica, o mejor, una 'lectura crítica' del edificio, o del conjunto urbano, que supera, que va más allá de la mecánica labor de medición y del natural e inevitable ejercicio de graficación de esa arquitectura, por más compleja que llegue a ser la primera y potencialmente hermosa la segunda (Franco, 2012, p. 9).

En Colombia históricamente el levantamiento arquitectónico se constata como se demuestra en la línea de tiempo que empieza desde:

1843-1856, Acuarelas de Edwar Walhouse, unas de las primeras acuarelas que documentan la arquitectura, el paisaje, la indumentaria y el contexto cultural de la época.

Figura 2

Acuérdela catedral de Santa Marta.



Nota. Esta pieza de arte corresponde a una de las acuarelas del artista Mark, Edward Walhouse como evidencia de la documentación de la arquitectura de la época 1843-1856. Tomado de “Colección de arte del banco de la república de Colombia (1959)”, catedral de Santa Marta (Interior) – Obra gráfica. URL [Catedral de Santa Marta \(Interior\) - Obra gráfica \(banrepcultural.org\)](http://banrepcultural.org)

1963, decreto 264 de 1963, se lleva a cabo un inventario de los monumentos nacionales del país, 1972, creación de la división de inventario del patrimonio cultural como parte de Colcultura. 1992, participación de las universidades apoyados por la fundación para la conservación y restauración del patrimonio cultural colombiano, en el cual se crea el esquema de participación estudiantil y convenio con universidades, facultades de arquitectura y otros entes académicos, creándose asignaturas relacionadas con la práctica de levantamientos arquitectónicos. 1997, creación del ministerio de cultura. Ley 397 de 1997. Ley cultura general, quien continua el apoyo y control de los proyectos de restauración

y conservación del patrimonio. Continuando con el centro de documentación que hasta hoy conserva los levantamientos y planos de un gran número de edificaciones patrimoniales (Mayorga, 2021a, p.99).

La incorporación de tecnologías como alternativa o complemento a las metodologías de levantamiento tradicionales se adelantan al país desde hace muy poco. Un espacio desarrollado por la Universidad Pontificia Bolivariana de Montería de Colombia, es el seminario internacional de levantamientos arquitectónicos del patrimonio que desde su primera edición en 2018, ha reunido a expertos a nivel internacional para discutir la preservación del patrimonio arquitectónico desde las tendencias en levantamientos por medio de tecnologías alternas como lo son: la fotogrametría, escáneres 3D, estaciones LIDAR entre otras, así como la integración con metodologías BIM que permiten una nueva visión de la documentación del patrimonio de la humanidad.

Figura 3

Cartel de anuncio del SiLepArq 2023



Nota. Esta figura contiene la publicación oficial del IV seminario Internacional de Levantamiento del Patrimonio Arquitectónico.

Tomado de “Eventos, La Universidad Pontificia Bolivariana Seccional de Montería”. URL

<https://www.upb.edu.co/es/formacioncontinua/iii-seminario-internacional-de-levantamiento-del-patrimonio-arquitectonico-2019-monteria#collapse2>

Marco Legal

La ley 163 de 1959 (Secretaría Jurídica de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C 1959), es la primera que valora y permite la protección de importantes centros históricos del país (Mayorga, 2021b, p.98).

En relación con las guías BIM específicas para el patrimonio, la institución Historic England (2017) publicó en 2017 la guía BIM for Heritage para ayudar a los usuarios a implementar de forma exitosa BIM en proyectos patrimoniales. Esta guía define qué es Historic BIM, cómo se aplica, y cómo se gestionan los datos BIM (Salvador, 2020b, p.93)

ISO 1950 de 2018 norma internacional donde se establecen las pautas para la gestión de la información y la calidad en proyectos de construcción y pueden aplicarse al levantamiento arquitectónico.

UNE-EN 17412-1 de 2021 (comité técnico CTN 41/SC 13 organización de modelos de información relativos a la edificación y la obra civil) norma que describe el nivel de información necesaria para proyectos BIM.

Metodología

Se utilizó un enfoque de investigación de caso de estudio para examinar en profundidad el proceso de desarrollo de una guía de levantamiento arquitectónico patrimonial con dispositivos móviles en combinación con métodos cuantitativos y cualitativos de recolección de la información con el fin de comparar datos numéricos y gráficos necesarios para llevar a cabo un levantamiento arquitectónico y posteriormente documentarlo.

Recopilación de datos

Se realiza una revisión exhaustiva de la literatura que incluye los siguientes aspectos:

- Antecedentes históricos del levantamiento arquitectónico.

- Métodos tradicionales y tecnológicos utilizados en el levantamiento arquitectónico.
- Beneficios y limitaciones de la tecnología móvil y BIM en el levantamiento arquitectónico patrimonial para la gestión documental del patrimonio.

Caracterización de caso de estudio

Se selecciono un caso de estudio de carácter patrimonial ubicado en la ciudad de Bogotá, que cumpliera con los criterios de:

- Declaratoria de inmueble de carácter patrimonial
- Edificación de no más de 500m²

Exploración de tecnologías y aplicaciones para dispositivos móviles

Se elabora una investigación detallada de los diferentes métodos de levantamientos arquitectónicos y las tecnologías empleadas, así como la utilización de los dispositivos móviles como herramienta de levantamiento arquitectónico.

Se caracterizaron las distintas aplicaciones para dispositivos móviles de diferentes sistemas operativos analizando las variables de costo por uso, limitantes, tecnología empleada, tipo de datos de exportación.

Diseño de la Investigación

Tipo de Investigación: Investigación mixta que combina métodos cualitativos y cuantitativos.

Muestra: Se selecciona un inmueble patrimonial muestra de caso de estudio.

Recopilación de Datos: Revisión de literatura, levantamiento de información de caso de estudio, observación de métodos de levantamiento arquitectónico y de los aplicativos de dispositivos móviles para la obtención de datos arquitectónicos.

Instrumentos de Medición: Desarrollo de protocolos de escaneo 3D para dispositivos móviles bajo la metodología BIM.

Análisis de Datos

Se analizan los datos para comprender el proceso de desarrollo de la guía, identificar desafíos y lecciones aprendidas.

Se utilizaron softwares especializados para el procesamiento de datos 3D y análisis de datos BIM.

Se evalúan las variables de costo, tiempo y calidad de los datos exportados durante el proceso de levantamiento arquitectónico patrimonial con dispositivos móviles en comparación con métodos tradicionales.

Cronograma

Se establece un cronograma detallado que incluyen las fechas de inicio y finalización de cada etapa de la investigación.

Presupuesto

Se desarrolla un presupuesto que cubre los costos relacionados con la investigación, incluyendo el uso de tecnología móvil y software.

Resultados esperados

Esperamos obtener una comprensión detallada del proceso de desarrollo de la guía y su efectividad en el levantamiento arquitectónico patrimonial con dispositivos móviles como herramienta alterna.

Identificaremos las mejores prácticas y recomendaciones para el uso de dispositivos móviles en este contexto.

Contribución al Conocimiento

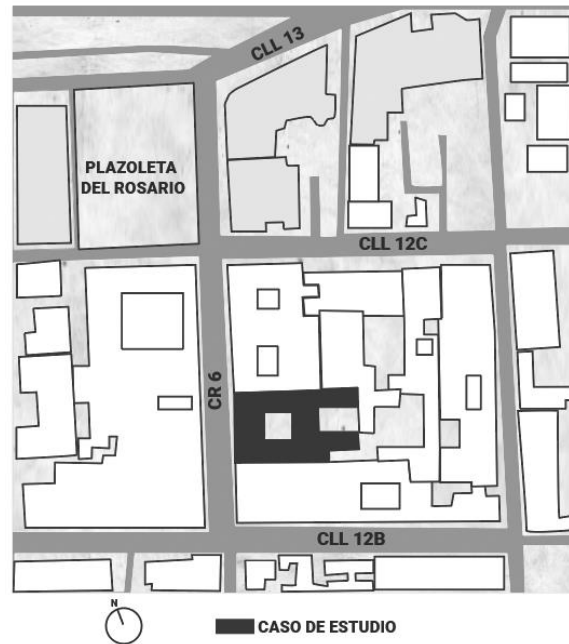
Nuestro estudio de caso contribuirá al conocimiento sobre la aplicación de dispositivos móviles en el levantamiento arquitectónico patrimonial bajo la modalidad de trabajo colaborativo BIM.

CAPÍTULO III: CARACTERIZACIÓN ARQUITECTÓNICA DEL CASO DE ESTUDIO**Caso de estudio**

La presente investigación tiene como caso de estudio el primer nivel del patio del aula máxima, ubicado en las instalaciones de la Universidad la Gran Colombia, sede Bogotá, KR 6 12 B 28 - Barrio la Candelaria. Este es seleccionado por ser un bien de interés cultural declarado e incluido en el PEMP-CHB (Plan Especial de Manejo y Protección del Centro Histórico de Bogotá) y fue construido en las primeras décadas del siglo XX, este BIC hace parte del conjunto urbano que define el Centro histórico y representa la imagen de la ciudad de este siglo. En sus inicios este fue utilizado para vivienda y aún conserva su sistema constructivo y su diseño de fachada, el cual enmarca el acceso principal con su portada y los vanos de ventanas rematadas con cornisas, (Ministerio de Cultura, 2018). Adicionalmente por ser de estilo colonial cuenta con detalles de baja complejidad en sus elementos arquitectónicos y alturas que pueden ser escaneadas correctamente por los dispositivos móviles y el alcance que estos nos ofrecen.

Figura 4

Planta de localización del caso de estudio



Nota. Se resalta en color negro la ubicación del caso de estudio. Elaboración propia

Figura 5

Fotografía patio aula máxima



Nota. Fachada interior occidental del caso de estudio. Elaboración propia.

Características físicas del caso de estudio

Se relaciona a continuación las características físicas visibles del espacio que será objeto del levantamiento, además se ha de tener en cuenta que el espacio está a la intemperie y es susceptible a las condiciones del clima en el momento de realizar el levantamiento.

Tabla 1*Lista de características*

ITEM	DESCRIPCIÓN
m2	309
Alturas	2,80 m
Materialidad visible	Metal, baldosa cerámica, granito, vidrio, teja de barro, madera tintillada
Iluminación	Natural y Luz funcional-Artificial Led
Ventilación	Natural
Función	Zonas aptas para el descanso, el disfrute de actividades culturales, punto de encuentro y de referencia para docentes y estudiantes
Tipología Arquitectónica	Patio
Sistema constructivo	Muros de carga
Usuario	Estudiantes y Docentes UGC
Orientación	Ubicada en la fachada oriente y centrado en la manzana de la UGC
Accesibilidad	Entrada por la Cra. 6 # 13-40, - SI cuenta con desniveles de ingreso para movilidad reducida
Texturas	Lisas y rugosas mate en muros y piso Ásperas, Duras y Arrugadas
Colores	Ocre, Blanco, Negro, verde, rojo

Nota. Esta tabla describe aspectos tangibles y visibles del entorno que contribuyen a la identidad y función del espacio.

Elaboración propia.







Inventario de elementos arquitectónicos







Se determinaron los elementos arquitectónicos a escanear y su respectivo nivel de desarrollo







LOD en la siguiente tabla:






Tabla 2

Inventario de elementos arquitectónicos del caso de estudio

INVENTARIO DE ELEMENTOS ARQUITECTONICOS PATIO AULA MAXIMA - UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA							
	UBICACIÓN:	KR 6 12 B 28 Bogotá	USO ORIGINAL:	Residencial	PERIODO HISTORICO:	Republicano Siglo XX	
	BARRIO:	La Catedral	USO ACTUAL:	Educación Superior	NIVEL DE INTERVENCIÓN:	N2	
ITEM	ZONA	IMAGEN	NOMBRE	TIPOLOGÍA	MATERIAL	ESTADO DE CONSERVACIÓN	LOD -LOIN
S1	Patio		Piso	Baldosa	Cerámica Tradicional	Regular	Nivel 200
M1	Fachada Occidental		Muro	Muro Divisorio	Revestimiento de pañete, pintura y zócalo en piedra	Bueno	Nivel 200
M2	Fachada Occidental		Muro	Muro de Carga	Revestimiento de pañete y pintura y zócalo en piedra	Bueno	Nivel 200
M3 y 4	Fachada Occidental		Muro	Muro Divisorio	Revestimiento de pañete y pintura y zócalo en piedra	Bueno	Nivel 200
ESC	Fachada Occidental		Escalera	En U con tramo curvo	Estructura, pasos y barandas en madera, elementos torneados para barandas, acabado en Lacas y Tintillas	Bueno	Nivel 350

P1	Fachada Occidental		Puerta	Puerta abatible de 1 hoja	Madera maciza, con acabado en pintura de aceite verde	Bueno	Nivel 350
C 1,2	Fachada Occidental		Columna	En L	Revestimiento de pañete y pintura y zócalo en piedra	Bueno	Nivel 350
M5	Fachada Norte		Muro	Muro de Carga	Revestimiento de pañete y pintura y zócalo en piedra	Bueno	Nivel 200
P2	Fachada Norte		Puerta	Puerta abatible de 2 hojas	Madera maciza, con acabado en pintura de aceite verde y cabezal con ornamentos	Bueno	Nivel 350
V1	Fachada Norte		Ventana	Abatible de 2 hojas	Madera maciza, con acabado en pintura de aceite verde y vidrio transparente liso y martillado	Bueno	Nivel 350
P3	Fachada Norte		Puerta	Puerta abatible de 2 hojas	Madera maciza, con acabado en pintura de aceite verde y vidrio transparente martillado, cabezal con ornamentos	Bueno	Nivel 350

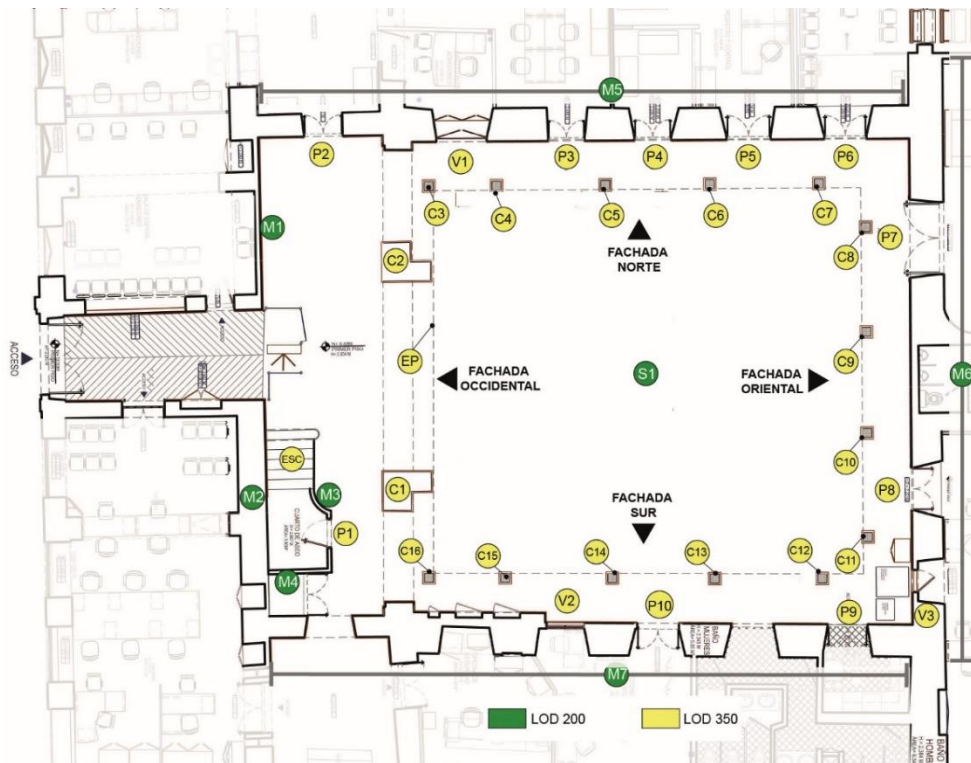
<p>P4,5</p>	<p>Fachada Norte</p>		<p>Puerta</p>	<p>Puerta abatible de 2 hojas</p>	<p>Madera maciza, con acabado en pintura de aceite verde y vidrio transparente martillado, cabezal con ornamentos</p>	<p>Bueno</p>	<p>Nivel 350</p>
<p>P6</p>	<p>Fachada Norte</p>		<p>Puerta</p>	<p>Puerta abatible de 2 hojas</p>	<p>Madera maciza, con acabado en pintura de aceite verde y vidrio transparente martillado, cabezal con ornamentos y vidrio martillado</p>	<p>Bueno</p>	<p>Nivel 350</p>
<p>C3 a15</p>	<p>Fachada Norte, Sur, Oriente, Occidente</p>		<p>Columna</p>	<p>Cuadrada con basamento</p>	<p>Madera maciza, con acabado en Lacas y Tintillas</p>	<p>Bueno</p>	<p>Nivel 350</p>
<p>M6</p>	<p>Fachada Oriente</p>		<p>Muro</p>	<p>Muro de Carga</p>	<p>Revestimiento de pañete, pintura y zócalo en piedra</p>	<p>Bueno</p>	<p>Nivel 200</p>
<p>P7</p>	<p>Fachada Oriente</p>		<p>Puerta</p>	<p>Puerta abatible de 2 hojas</p>	<p>Madera maciza, con acabado en Lacas y Tintillas</p>	<p>Bueno</p>	<p>Nivel 350</p>
<p>P8</p>	<p>Fachada Oriente</p>		<p>Puerta</p>	<p>Puerta abatible de 2 hojas</p>	<p>Madera maciza, con acabado en pintura de aceite verde</p>	<p>Bueno</p>	<p>Nivel 350</p>

V3	Fachada Oriente		Ventana	Abatible de 1 hoja	Madera maciza, con acabado en pintura de aceite verde y vidrio transparente martillado	Bueno	Nivel 350
M7	Fachada Sur		Muro	Muro de Carga	Revestimiento de pañete y pintura y zócalo en piedra	Bueno	Nivel 200
P9	Fachada Sur		Puerta	Puerta abatible de 2 hojas	Madera maciza, con acabado en pintura de aceite verde, cabezal con ornamentos	Bueno	Nivel 350
P10	Fachada Sur		Puerta	Puerta abatible de 2 hojas	Madera maciza, con acabado en pintura de aceite verde, cabezal con ornamentos	Bueno	Nivel 350
V2	Fachada Sur		Ventana	Abatible de 2 hojas	Madera maciza, con acabado en pintura de aceite verde y vidrio transparente martillado	Bueno	Nivel 350

Nota. Esta tabla contiene el inventario de cada elemento arquitectónico de nivel de desarrollo LOD. Elaboración propia.

Figura 6

Planta caso de estudio



Nota. Esta figura contiene la planta arquitectónica del caso de estudio, con los elementos que serán objeto del levantamiento de este BIC, identificados con su respectivo código de inventario e indicando los niveles de desarrollo para el posterior modelo BIM en color verde el LOD 200 y en amarillo el LOD 350. Elaboración propia.

Figura 7

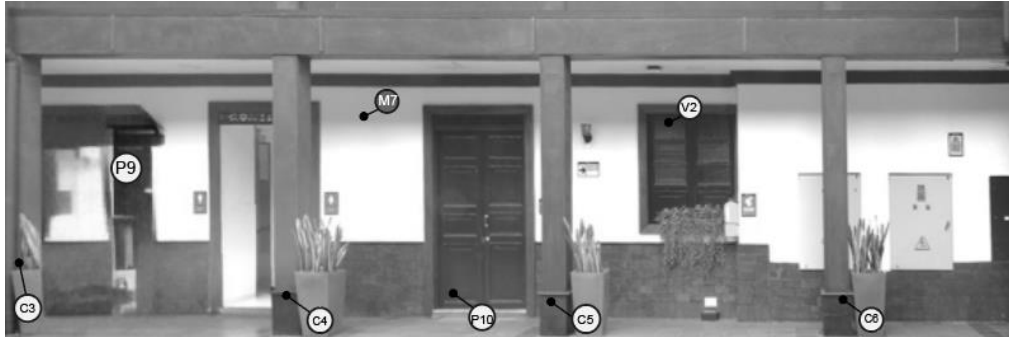
Fachada Norte



Nota. Fachada con elementos a escanear indicando su codificación. Elaboración propia.

Figura 8

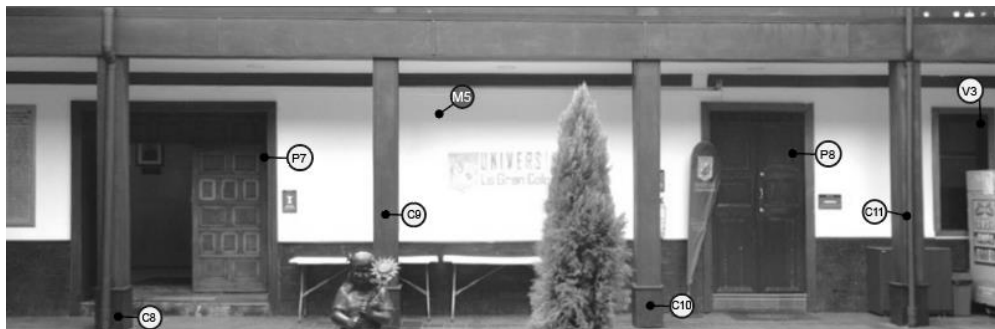
Fachada Sur



Nota. Fachada con elementos a escanear e identificados con planta de inventario indicando su codificación. Elaboración propia.

Figura 9

Fachada Oriental



Nota. Fachada con elementos a escanear indicando su codificación. Elaboración propia.

Figura 10*Fachada Occidental*

Nota. Fachada con elementos a escanear e identificados con planta de inventario. Elaboración propia.

CAPÍTULO V: EXPLORACIÓN DE LAS APPS Y TECNOLOGÍAS EN DISPOSITIVOS MOVILES

Los dispositivos móviles han emergido como herramientas para llevar a cabo levantamientos arquitectónicos debido a su practicidad, accesibilidad y portabilidad. En este trabajo de investigación, se analizarán las tecnologías de fotogrametría y escaneo láser 3D específicamente diseñadas para dispositivos móviles. Estas tecnologías, junto con las aplicaciones móviles ya disponibles en el mercado, ofrecen una amplia gama de opciones que permiten exportar en formato de nube de puntos los múltiples escaneos necesarios para llevar a cabo un levantamiento arquitectónico.

Se categorizaron 16 aplicaciones para dispositivos móviles con sistemas operativos iOS y Android de escaneo 3D con las metodologías de fotogrametría y por láser de luz pulsada LIDAR.

Se determinaron los factores iniciales de evaluación de las aplicaciones, los cuales fueron: costo, formato de salida y alcance de escaneo.

Tabla 3

Tabla de Caracterización aplicaciones de dispositivos móviles

Nº	APLICACIÓN	TECNOLOGÍA	SISTEMA OPERATIVO	COSTO	NUBE DE PUNTOS	MALLA	FORMATO DE SALIDA	ALCANCE DE ESCANEADO	VERSIÓN	DESARROLLADOR
1	Widar	Escáner 3D Fotogrametría/Lidar	Android e iOS	Gratis	Sí	Sí	OBJ, STL y FBX	Objetos	3.7.5	WOGG.INC
2	Polycam	Escáner 3D Fotogrametría/Lidar	Android e iOS	40 mil	Sí	Sí	OBJ, GLB,USDZ,DAE,STL,DXF,PLY,LAS,XYZ	espacios	3.1.3	POLYCAM.INC
3	3D Live Scanner	Escáner 3D Fotogrametría	Android	Gratis	No	Sí	BJ, MTL y PNG.	espacios	2.1.1	BELIGHT.INC
4	Kiri Engine	Escáner 3D Fotogrametría/Lidar	Android e iOS	40 mil	Sí	Sí	OBJ, FBX, STL, GLB, GLTF, USDZ, PLY y XYZ	Objetos	2.4.0	KIRI INNOVATIONS
5	PIX4Dcatch	Escáner 3D Fotogrametría/Lidar	Android e iOS	121.250 mil	No	Sí	BJ, MTL y PNG.	espacios	1.22.0	PIX4D
6	Scann3D	Escáner 3D Fotogrametría	Android	Gratis	Sí	Sí	OBJ, STL o PLY.	Objetos	3.1	SMARTMOBILEVISION
7	Canvas	Lidar	iOS	500 por cada 6m2	Sí	Sí	OBJ,USDZ,STL	espacios	3.26	OCCIPITAL.INC
8	3D Scanner App	Lidar	iOS	Gratis	Sí	Sí	OBJ, USDZ y STL	espacios	2.0.13	LAAN LABS
9	RoomScan LIDAR	Lidar	iOS	60 mil	No	Sí	PNG, PDF, DXF, IFC, FMI,ESX,OBJ, PLY, XYZ	espacios	8.12	LOCOMETRIC
10	Trnio	Lidar	iOS	50 mil	No	Sí	OBJ,USDZ,STL	espacios	3.42	TRNIO.INC
11	Heges 3D Scanner	Lidar	iOS	60 mil	Sí	Sí	OBJ, PLY	Objetos	1.7	MAREK SIMONIK
12	Scaniverse	Lidar	iOS	Gratis	Sí	Sí	FBX, OBJ, GLB, USDZ,STL,PLY,LAS	espacios	2.1.4	TOOLBOX AI
13	Metascan - Escáner 3D	Lidar	iOS	Gratis	Sí	Sí	OBJ, STL o PLY.	espacios	2.9.0	ABOUND LABS.INC
14	Escáner LIDAR 3D	Lidar	iOS	Gratis	Sí	Sí	USDZ, OBJ, STL, PLY, DXF y LAS	espacios	1.2	DOUBLL.INC
15	Modelar - 3D LIDAR scanner	Lidar	iOS	Gratis	Sí	Sí	OBJ, STL, USDZ, PLY, Sketchfab	espacios	1.9.3	MODELAR TECNOLOGIES
16	Sitescape	Lidar	iOS	Gratis	Sí	Sí	PLY, LAS o .E57	espacios	1.7.3	SITESCAPE.INC

Nota. Esta figura contiene la tabla de caracterización de los dispositivos móviles

Figura 11

Aplicaciones seleccionadas

POLYCAM



- Escaneo 15 mn
- Procesamiento de Escaneo 5 mn
- No escanea espacio completo corectamente

SITESCAPE



- Escaneo 10mn, se debe gratuitamente escanear solo x 50 seg.
- Procesamiento de Escaneo 2mn X Escaneo
- Si escanea espacio completo

3D SCANNER APP



- Escaneo 4.5 mn, se debe gratuitamente escanear solo x 50 seg.
- Procesamiento de Escaneo 25 sg
- Si escanea espacio completo

Nota. Esta figura contiene las aplicaciones seleccionadas para realizar el levantamiento arquitectónico en el caso de estudio

Para el escaneo del patio del aula máxima se seleccionó la aplicación 3D scanner app, por no tener costos para el escaneo ni las exportaciones, así como por el almacenamiento de múltiples escaneos y diferentes formatos de exportación.

CAPÍTULO VI: FORMULACIÓN DEL PROCESO DE LEVANTAMIENTO ARQUITECTÓNICO PATRIMONIAL CON DISPOSITIVOS MOVILES

Introducción

Flujo de procesos

Una vez que realizamos la debida caracterización del espacio objeto del levantamiento, hemos identificado la aplicación idónea para el escaneo y se planteó el flujo de procesos, formulamos detalladamente cada una de las fases que se llevarían a cabo para el levantamiento del caso de estudio ya mencionado, las cuales se desarrollaran en las 4 fases descritas a continuación.

FASE I: Preparación y planificación

Requerimientos del Cliente

Este documento sirve como punto de partida para definir claramente las expectativas y necesidades específicas del cliente en un proyecto de levantamiento arquitectónico, estos requisitos son fundamentales para garantizar que el uso del modelo final generado bajo la metodología BIM cumpla con los objetivos planteados, este deberá contar con mínimo la información que se relaciona a continuación:

1. Nombre del Proyecto
2. Nombre y Contacto del Cliente
3. Descripción del Proyecto
4. Objetivos del Levantamiento
5. Alcance del Levantamiento
6. Niveles de Detalle LOD, LOIN
7. Plazos y Programación

8. Seguridad y Protección del Edificio
9. Revisión, Aprobación y Firma

Plan de Ejecución (BEP)

En este documento se definen las bases, reglas y normas internas de un proyecto que se va a desarrollar bajo metodología BIM, con el fin de que todos los agentes implicados hagan un trabajo coordinado y coherente.

Elementos de trabajo y requisitos técnicos

Evaluación de Riesgos y Consideraciones de Seguridad

Identificar los posibles riesgos en el sitio, como superficies resbaladizas o estructuras inestables y establecer medidas de seguridad apropiadas para realizar los escaneos sin riesgos.

Equipo de cómputo especificaciones técnicas mínimas recomendadas

1. Sistema Operativo: Windows 10 de 64 bits
2. Procesador de 64 bits con cuatro núcleos
3. Memoria (RAM): - 8 GB de RAM o más
4. Tarjeta gráfica compatible con DirectX 11 y con al menos 2 GB de memoria de video (GPU dedicada recomendada).
5. Disco Duro: - 30 GB de espacio libre en disco
6. Resolución de Pantalla: Monitor con resolución de 1280 x 1024 o superior.

Software:

1. Autodesk Revit 2024-2023
2. Autodesk Recap Pro

3. Ofimática

Herramientas de trabajo

Estas herramientas se definen teniendo presente el método que se utilizara, pero también tomando como referencia la complejidad del levantamiento, debido a que no es igual realizar el levantamiento de una sola planta con elementos de poco detalle a realizar el levantamiento de varias plantas y con elementos formalmente detallados o con un deterioro alto (Franco,2012d), por tal motivo se dispone la siguiente lista de herramientas tecnológicas y manuales:

1. Dispositivo móvil con sensor LiDAR o cámara
2. Equipo de cómputo portátil
3. Adaptador de carga
4. Cinta métrica
5. Pita, o cuerda
6. Bisturí, tijeras
7. Lápiz, resaltador, bolígrafo
8. Plano de recorrido impreso (tamaño necesario para garantizar legibilidad del recorrido)

Visita de campo

Una visita de campo es esencial para obtener información precisa y completa sobre las condiciones del sitio, según Franco (2012) “Este reconocimiento se compromete en un todo con el objeto del trabajo, mediante una observación detenida y pormenorizada del inmueble” (p.13), lo que contribuye a una organización informada, funcional y eficiente además de contribuir con:

1. Identificación de Condiciones Específicas del Sitio
2. Entendimiento del Entorno Circundante

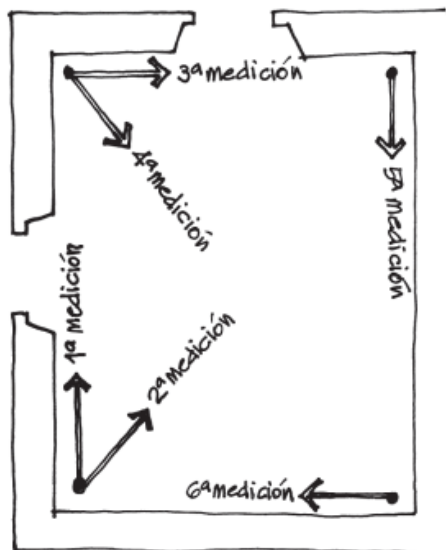
3. Análisis de Accesibilidad y Circulación
4. Identificación de Desafíos y Oportunidades

Verificación de información existente

Con el fin de aprovechar al máximo la información existente y disponible ya sea en plantas, cortes o fachadas impresas o digitales, se realizará la verificación manual de esta en sitio, teniendo como base las recomendaciones que nos da el manual para el levantamiento arquitectónico: una aproximación metodológica del Arq. German Franco, para realizar una correcta medición.

Figura 12

Recorrido y secuencia para la medición de un espacio



Nota. Esta figura contiene el orden adecuado para realizar la medición de un espacio cuadrado o rectangular generando una triangulación de este para verificar sus ángulos. Tomado de “El levantamiento arquitectónico una aproximación metodológica”

G. Franco.2012. (http://artes.bogota.unal.edu.co/assets/cdm/docs/publicaciones/full/levantamiento_arquitectonico.pdf)

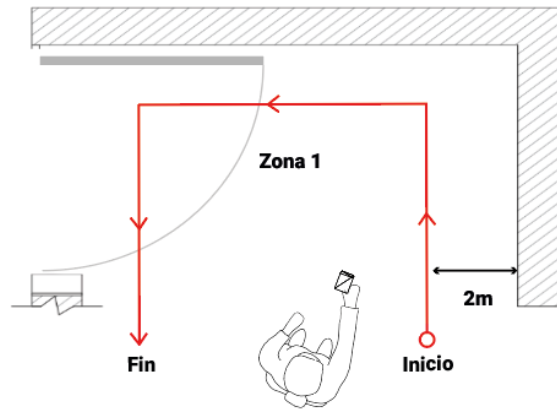
Plano de recorrido impreso

Antes de realizar el levantamiento se debe planear el recorrido y cantidad de escaneos que se realizarán en el espacio, esto con la ayuda de la planta en 2D previamente verificada. En caso de no contar con la planimetría en 2D se deberá realizar un esquema en planta, donde se organice y planifique el levantamiento y el recorrido de este, a continuación, se relacionan varias recomendaciones para la planificación.

1. Identificar Inicio y final del recorrido para el escaneo general del espacio
2. Dividir el recorrido del escaneo en varias zonas de aproximadamente 12 m², indicando un inicio y un final para cada una, ya que en las pruebas realizadas con la exploración de apps identificamos que no se puede realizar en un solo escaneo todo el espacio completo, por ende, se ha de realizar secuencialmente en varias partes.
3. Enumerar cada zona para que se puedan nombrar los archivos con su respectiva identificación.
4. Indicar en el plano la distancia entre el Objeto y el Teléfono móvil para realizar el escaneo.

Figura 13

Ejemplo de Recorrido en planta para el escaneo



Nota. La figura representa esquemáticamente un recorrido para realizar el escaneo con un dispositivo móvil. Elaboración propia.

Check list de verificación

Es una herramienta esencial para mejorar la eficiencia, la consistencia y la calidad del proceso, contribuyendo a la verificación y comprobación de los datos anteriormente mencionados para proceder con la siguiente fase del levantamiento arquitectónico.

FASE II: Ejecución del levantamiento

Consideraciones a tener presente el día del levantamiento

1. Permisos para ingresar al espacio previamente solicitados
2. Plano de recorrido impreso
3. Herramientas de mano
4. App Instalada en el dispositivo móvil (smartphone)

Almacenamiento de archivos

Se debe crear un Drive o almacenamiento en la nube para guardar y marcar los escaneos a medida que se realiza el levantamiento, además se debe contar con una conexión a internet Wi Fi o de datos para la transferencia y opcionalmente realizar la verificación desde un equipo de cómputo portátil.

Configuración de la aplicación

Instalar en el smartphone la aplicación a utilizar para el escaneo, se debe verificar en su configuración que este activada la opción de georreferenciación, con el fin de garantizar que los escaneos queden con este registro para su posterior unión

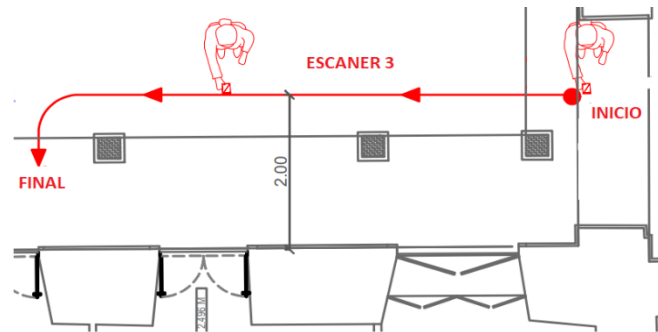
Medición y Escaneo

Trazado del recorrido para el escaneo

Para este paso se toma como referencia las experiencias obtenidas en las muestras realizadas de la exploración de apps y los resultados de estudios indagados sobre el escaneo de objetos y espacios con dispositivos móviles, como el caso del artículo publicado en Italia donde se encuentra que la distancia del objeto al dispositivo al móvil, así como los movimientos del operador al realizar el escaneo influyen en la calidad de la nube de puntos obtenida (Teppati et al,2022b). Por esta razón se debe garantizar la homogeneidad del escaneo al momento de realizarlo y seguir el plan establecido en la planta de recorrido y las zonas de escaneo. Esto se prevé realizando un trazado de referencia en el suelo del caso de estudio con cinta o cuerda, midiendo y marcando a 2 metros de distancia de los muros a escanear o de acuerdo con las recomendaciones de la aplicación que se utilice, para tomarlo como guía y procurar no realizar movimientos excesivos que distorsionen el escaneo.

Figura 14

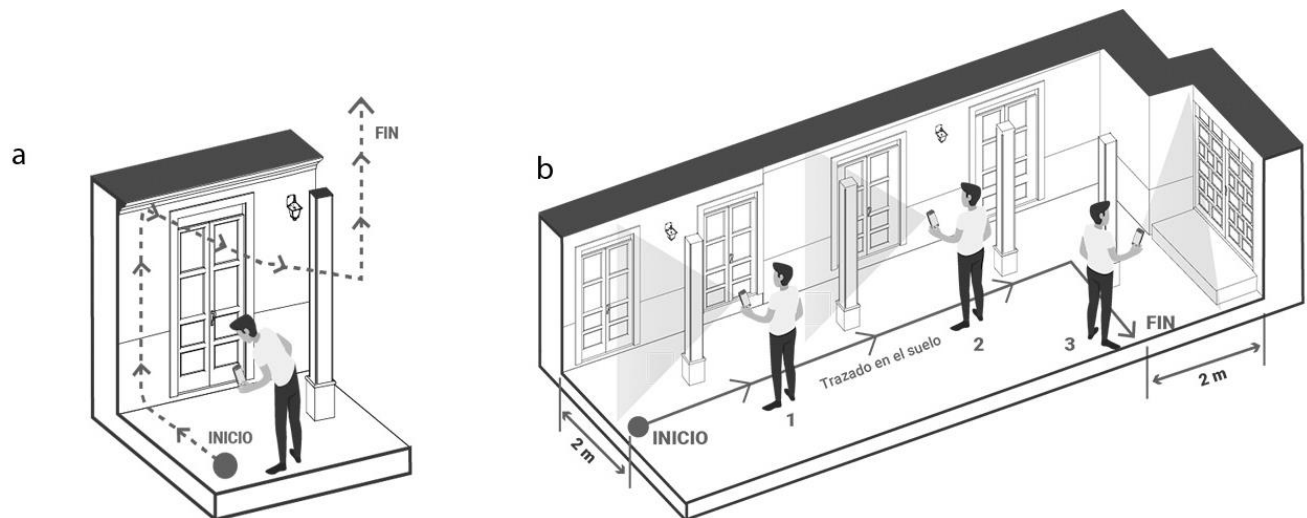
Ilustración de ejemplo para el trazado del recorrido de escaneo



Nota. Se muestra en la figura el trazado del recorrido representado con una línea roja a 2 metros de distancia del muro indicando su inicio y su fin. Elaboración propia.

Escaneo de las zonas

1. Se inicia el escaneo tomando como referencia los trazados anteriormente realizados
2. El escaneo se ejecuta de forma uniforme y lineal, sin repasar los puntos anteriores para no generar distorsiones.
3. Se inicia escaneando la parte inferior de la zona hasta llegar a la parte más alta moviéndonos siempre horizontalmente y verificando en el dispositivo móvil que se registre completamente

Figura 15*Esquema de ejecución del escaneo*

Nota. La figura representa el esquema de ejecución para el escaneo de las zonas planificadas previamente. Elaboración propia. Se indica en la figura (a) el movimiento que debe realizar el dispositivo móvil iniciando desde la parte inferior a la superior y en la figura (b) el movimiento horizontal siguiendo la guía de trazado para el recorrido marcada en el suelo previamente.

Exportado de escaneo a nube de puntos

Una vez ejecutado el escaneo en la zona, se debe exportar la nube de puntos en formatos como LAS Georreferenciado, PLY o XYZ dependiendo de las opciones que nos permita la aplicación seleccionada.

Se recomienda que la nube de puntos geo-referenciada se exporte con el eje Z en la parte superior, para que en pasos posteriores se abra de manera correcta en el software Recap.

Almacenamiento y marcación de las nubes de puntos

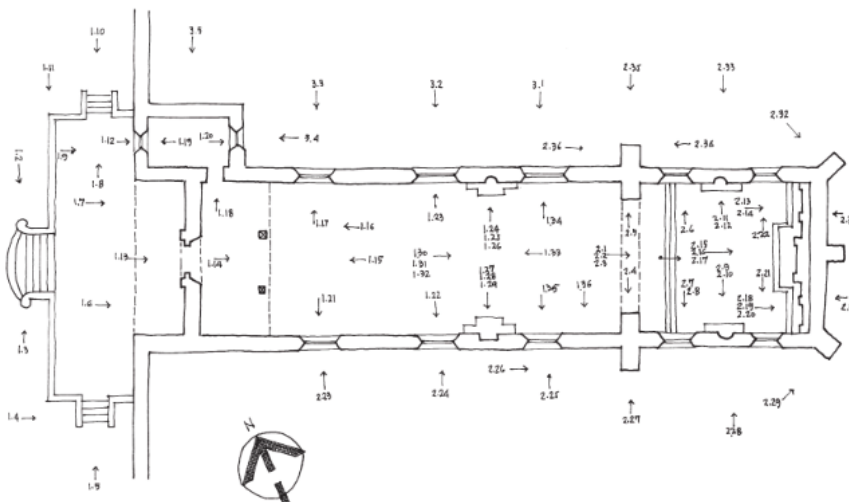
Una vez generada la nube de puntos por la app se procede a almacenarla en el OneDrive o drive previamente creado y marcándola con la numeración planteada en el plano de recorrido para su posterior identificación.

Fotografía y Documentación Adicional

Al terminar los respectivos escaneos debemos tomar fotografías detalladas de áreas clave para registrar información adicional como detalles constructivos o deterioros presentes en el inmueble, pues como afirma Franco (2012) en su aproximación metodológica al levantamiento arquitectónico, esta documentación nos ayudara en posteriores fases de dibujo, pero adicionalmente tiene un significado y valor histórico al fotografiar un bien de interés arquitectónico en un momento particular de su historia que sufrirá cambios posteriores a lo largo del tiempo. Debemos organizar en la planta arquitectónica la cantidad de fotografías a registrar, marcando en ella con una numeración o codificación los puntos donde serán tomadas para que posteriormente las fotografías también sean identificadas con la misma codificación.

Figura 16

Marcación de tomas fotográficas en la planta arquitectónica.



Nota. Esta figura muestra un ejemplo para la codificación en planta de las tomas fotográficas que se realizaron en un levantamiento. Tomado de “El levantamiento arquitectónico una aproximación metodológica” G.

Franco.2012. (http://artes.bogota.unal.edu.co/assets/cdm/docs/publicaciones/full/levantamiento_arquitectonico.pdf)

FASE III: Procesamiento de datos

Orientación y limpieza de Nubes de Puntos

Cuando ya se tienen las nubes de puntos almacenadas se descargan y almacenan en el PC donde se van a trabajar, se debe tener previamente instalado el software Autodesk Recap pro.

- a. Abrir Recap y dar clic en nuevo proyecto.
- b. Seleccionar la opción Importar Nube de Puntos y se crea un nuevo proyecto en la carpeta de preferencia.
- c. Seguido se debe seleccionar en la opción (archivos para importar) la nube de puntos a trabajar.
- d. En configuraciones avanzadas verificamos que el eje arriba sea el Z y en sistema de coordenadas sea el proveniente del archivo e importamos.
- e. Una vez insertada la nube de puntos se procede a seleccionar y borrar los puntos extra que no son necesarios y posteriormente guardar en su respectivo orden.

Alineación y unión de Nubes de Puntos

Se debe tener previamente instalado el software Autodesk Revit.

Cuando ya se pasan las nubes de puntos por Recap y se elimina lo innecesarios hay que unirlos, en este caso por haberse obtenido la nube de puntos por medio de smartphone lo haremos en el programa Revit de la siguiente manera

- a. Se abre el programa se selecciona Nuevo Proyecto y Plantilla Arquitectónica
- b. Luego nos dirigiremos a la pestaña **INSERTAR** y a la opción **NUBE DE PUNTOS** y cargamos la primera nube de puntos.
- c. Se continúa insertando las nubes de puntos en el orden que se planteó en un inicio con la planta de recorrido, esto hasta unir completamente todas las partes.

Generación del modelo.

Continuamos con el modelado utilizando la nube de puntos como referencia para:

- a. Modelado de Muros: Se ajusta la altura, grosor y ubicación de los muros según la nube de puntos.
- b. Generación de Columnas: Ajusta dimensiones y ubicación para que coincidan con la realidad.
- c. Incorporación de Ventanas y Puertas: Modela ventanas y puertas utilizando las herramientas de "Ventana" y "Puerta" en Revit. Es necesario, generar familias personalizadas para ventanas y puertas ya que las predeterminadas no se ajustan a las necesidades.
- d. Modelado de Pisos: Crea superficies o losas para representar los diferentes niveles del edificio.
- e. Generación de Familias Personalizadas: Como la nube de puntos incluye elementos específicos que no se pueden modelar con las herramientas estándar, se debe considerar la creación de familias personalizadas.
- f. Ajustes y Verificación: Realizar ajustes y verificaciones regulares, utilizando vistas 3D y secciones, para asegurar que los elementos modelados coincidan con la nube de puntos y se ajusten a las especificaciones del proyecto.

FASE IV: Validación y Documentación**Validación es sitio**

Es necesario regresar al sitio para verificar la precisión del modelo 3D con respecto al edificio real y realizar ajustes si es necesario, la validación en sitio de un modelo BIM implica verificar si el

modelo virtual se corresponde adecuadamente con la realidad física del espacio construido, para ello se realizarán los siguientes pasos:

- a. Preparación: Se debe tener acceso al modelo BIM, previamente subido al visualizador Revit viewer y con la ayuda de dispositivo móvil (smartphone), una tableta o en un computador portátil para revisar durante la visita al sitio.
- b. Comparación con la realidad: Observar y rectificar dimensiones estratégicas de la planta arquitectónica y de lo que se considere necesario con la ayuda de un flexómetro, revisar las ubicaciones y formas de los elementos en el modelo y compararlos con lo que está en sitio, acorde con el nivel de desarrollo asignado para cada una.
- c. Ubicación y orientación: revisar la ubicación y forma de los elementos en el modelo y compararlos con lo que está en sitio, acorde con el nivel de desarrollo asignado para cada una, se utilizaran puntos de referencia en el entorno para confirmar la alineación correcta.
- d. Elementos estructurales y arquitectónicos: Revisar elementos clave, como paredes, columnas, ventanas y puertas, asegurándonos de que las dimensiones y ubicaciones coincidan con la realidad.
- e. Calidad de los datos: Evaluar la calidad de los datos en el modelo verificando la precisión de los datos y la representación visual de los elementos.
- f. Anomalías y discrepancias: Registrar cualquier discrepancia o anomalía que se encuentre entre el modelo y el sitio real realizando un documento con estos problemas para su posterior corrección.

Documentación de datos y resultados

Documentar los datos recopilados, el proceso de levantamiento, los resultados obtenidos, y documentación fotográfica.

Datos del modelo BIM

De este podríamos obtener información valiosa del inmueble patrimonial, dentro de esta se encuentra:

- a. Planimetrías generales, plantas cortes y fachadas con la respectiva información
- b. Ficha de Datos del Edificio Histórico
- c. Fichas de Componente para ventanas, puertas, columnas, muros, escaleras
- d. Fichas Patológicas
- e. Informe de Análisis de Estado
- f. Plan de Mantenimiento Preventivo
- g. Registro de Acciones de Conservación

CAPÍTULO VI: APLICACIÓN DEL PROCESO DE LEVANTAMIENTO ARQUITECTÓNICO

PATRIMONIAL CON DISPOSITIVOS MOVILES

Desarrollo del proceso en el levantamiento del caso de estudio

Fecha: 26 de agosto de 2023 7 am a 3 pm

Objeto y lugar: Universidad La Gran Colombia, patio del aula máxima

Levantamiento con dispositivos móviles con tecnología de fotogrametría y LiDAR con dispositivo Apple de sistema operativo iOS 14 pro en el patio interior, El propósito fue comprobar el proceso diseñado para el levantamiento arquitectónico para entornos patrimoniales.

FASE I: Preparación y planificación

Elementos de trabajo y requisitos técnicos

Evaluación de Riesgos y Consideraciones de Seguridad

Identificar los posibles riesgos en el sitio, como superficies resbaladizas o estructuras inestables

y establecer medidas de seguridad apropiadas para realizar los escaneos sin riesgos.

Equipo de cómputo especificaciones técnicas mínimas recomendadas

1. Sistema Operativo: Windows 10 de 64 bits
2. Procesador de 64 bits con cuatro núcleos
3. Memoria (RAM): - 8 GB de RAM o más
4. Tarjeta gráfica compatible con DirectX 11 y con al menos 2 GB de memoria de video (GPU dedicada recomendada).
5. Disco Duro: - 30 GB de espacio libre en disco
6. Resolución de Pantalla: Monitor con resolución de 1280 x 1024 o superior.
7. Software:
8. Autodesk Revit 2024-2023
9. Autodesk Recap Pro
10. Ofimática

Herramientas de trabajo

1. Dispositivo móvil con sensor LiDAR o cámara
2. Equipo de cómputo portátil
3. Adaptador de carga
4. Cinta métrica
5. Pita, o cuerda
6. Bisturí, tijeras
7. Lápiz, resaltador, bolígrafo
8. Plano de recorrido impreso (tamaño necesario para garantizar legibilidad del recorrido)

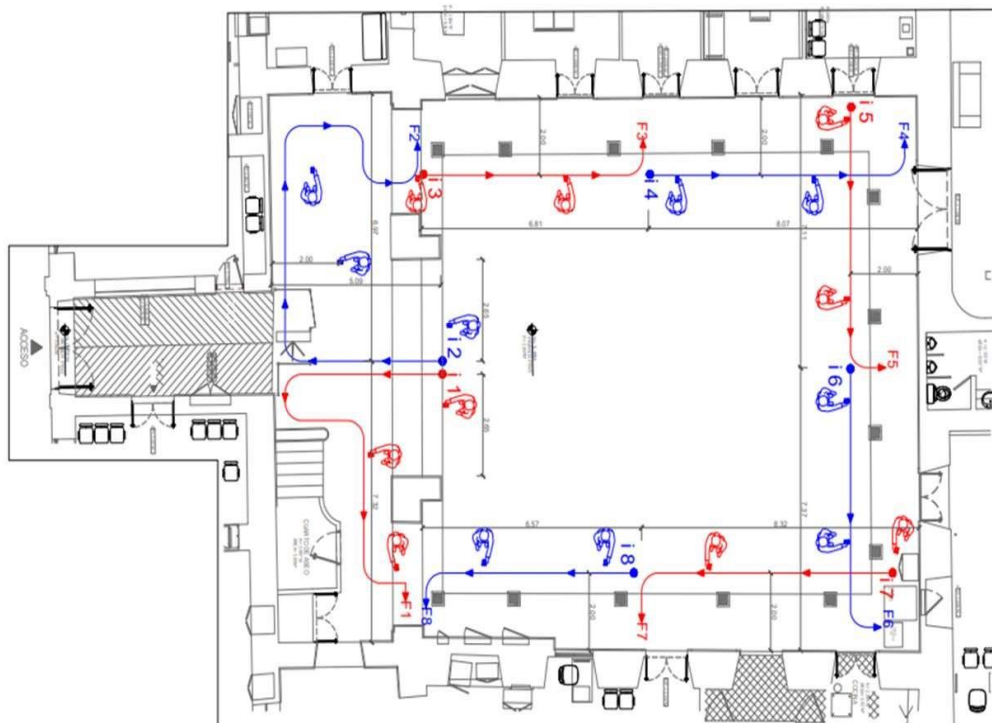
Plano de recorrido impreso

Antes de realizar el levantamiento se debe planear el recorrido y cantidad de escaneos que se realizarán en el espacio, esto con la ayuda de la planta en 2D.

En caso de no contar con la planimetría en 2D se deberá realizar un esquema en planta, donde se organice y planifique el levantamiento y el recorrido de este, a continuación, se relacionan varias recomendaciones para la planificación y el ejemplo realizado con el caso de estudio.

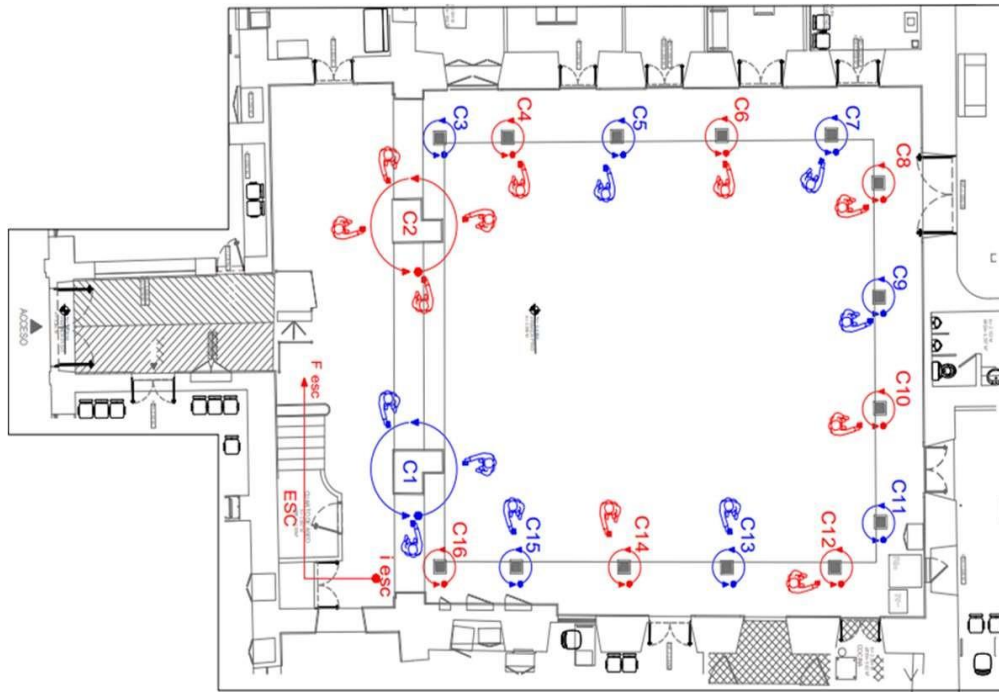
1. Identificar Inicio y final del recorrido para el escaneo general del espacio
2. Dividir el escaneo en varias zonas de aproximadamente 12 m², indicando un inicio y un final para cada una
3. Enumerar cada zona para que se puedan nombrar los archivos con su respectiva identificación.
4. Indicar en el plano la distancia entre el objeto y el teléfono móvil para realizar el escaneo

Figura 17



Nota. Esta figura contiene el plano del corredor para la realización del levantamiento arquitectónico de los muros. Elaboración propia. Se Indica en la figura con color azul y rojo los recorridos.

Figura 18



Nota. Esta figura contiene el plano del corredor para la realización del levantamiento arquitectónico de las columnas. Elaboración propia. Se Indica en la figura con color azul y rojo los recorridos.

Levantamiento con dispositivos móviles con tecnología de fotogrametría y LiDAR con dispositivo Apple de sistema operativo iOS 14 pro en el patio interior, El propósito fue comprobar el proceso diseñado para el levantamiento arquitectónico para entornos patrimoniales.

FASE II: Ejecución del levantamiento

Consideraciones a tener presente el día del levantamiento

Check list

1. Permisos pertinentes solicitados
2. Plano de recorrido impreso
3. Herramientas de mano
4. App Instalada en el dispositivo móvil (smartphone)

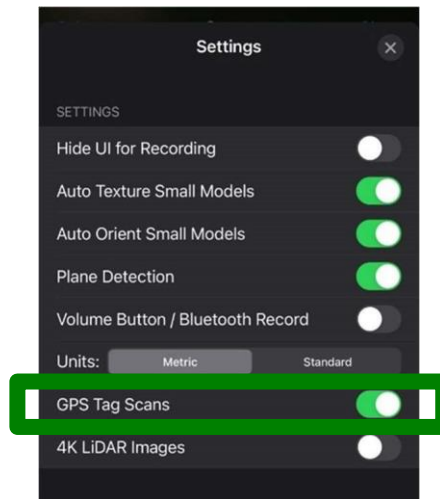
Almacenamiento de archivos

Se debe crear un Drive o almacenamiento en la nube para guardar y marcar los escaneos a medida que se realiza el levantamiento, además se debe contar con una conexión a internet Wi Fi o de datos para la transferencia.

Configuración de la aplicación

1. Instalar en el smartphone la aplicación a utilizar en el escaneo y verificar que está activada la opción de georreferenciación.
2. Para nuestro caso de estudio se activa la georreferenciación de la aplicación 3D Scanner App

Figura 19

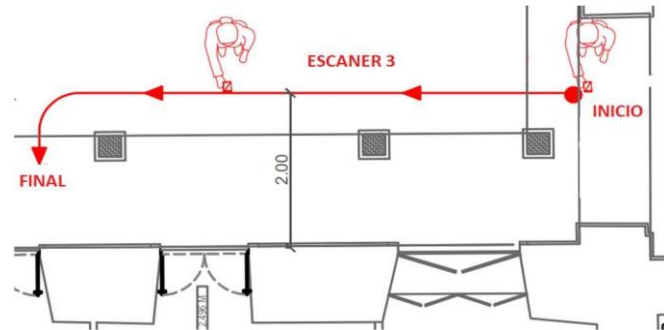


Nota. Esta figura contiene la configuración de la aplicación de escaneo 3D. Elaboración propia.

Se realiza un trazado de referencia en el suelo del caso de estudio a 2 metros de distancia de los muros a escanear de acuerdo con las recomendaciones de la aplicación 3D Scanner App para el alcance óptimo del dispositivo móvil. Esto se realiza para garantizar la homogeneidad del escaneo y seguir el plan establecido en la planta de recorrido y las zonas de escaneo

Figura 20

Ilustración de trazado



Nota. Esta figura contiene el trazado a realizar. Elaboración propia.

Figura 21

Fotografía del trazado



Nota. Esta figura contiene la evidencia del proceso de trazado. Elaboración propia.

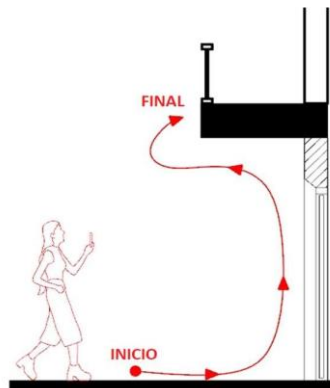
Se marcan los puntos de referencia con la cuerda y cinta para fijar el recorrido y facilitar la exactitud de los resultados de los escaneos.

Figura 22*Fijación del punto*

Nota. Esta figura contiene el trazado a realizar. Elaboración propia.

Medición y Escaneo de las zonas

1. Se inicia el escaneo tomando como referencia el trazado anteriormente realizado
2. El escaneo se ejecuta de forma uniforme y lineal, sin repasar los puntos anteriores para no generar distorsiones.
3. Se inicia escaneando la parte inferior de la zona hasta llegar a la parte más alta verificando que se registre completamente

Figura 23*Escaneo de las zonas*

Nota. Esta figura contiene la ejecución del escaneo. Elaboración propia. En color rojo se muestra el movimiento a seguir por el dispositivo móvil.

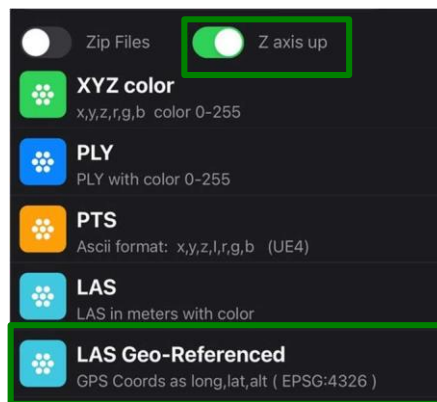
Exportado de escaneo a nube de puntos

Una vez ejecutado el escaneo, este se exporta la nube de puntos en formato EL geo referenciado

Se recomienda que la nube de puntos geo-referenciada se exporte con el eje Z en la parte superior, para que en pasos posteriores se abra de manera correcta al software Recap.

Figura 24

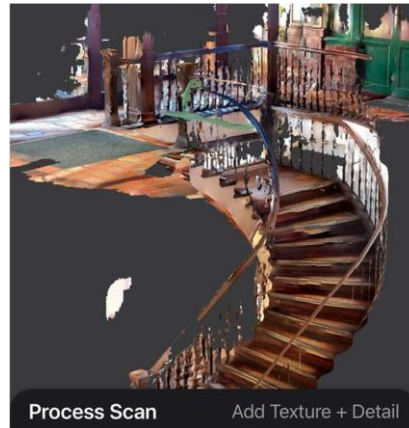
Exportación de nube de puntos



Nota. Esta figura contiene la opción para exportar la nube de puntos. Elaboración propia.

Figura 25

Escaneo texturizado



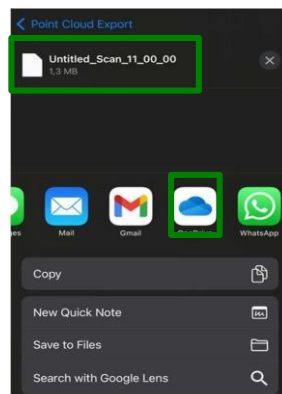
Nota. Esta figura contiene la visualización del escaneo 3D como producto de la aplicación. Elaboración propia.

Almacenamiento y marcación de las nubes de puntos

Una vez generada la nube de puntos por la app se procede almacenarla en el OneDrive o drive previamente creado y marcándola con la numeración planteada en el plano de recorrido para su posterior identificación.

Figura 26

Almacenamiento nube de puntos en One drive



Nota. Esta figura contiene la visualización de exportación de una nube de puntos directo a OneDrive. Elaboración propia.

Fotografía y Documentación Adicional

Tomar fotografías detalladas de áreas clave y registrar información adicional, como descripciones de elementos arquitectónicos y detalles constructivos.

Figura 27

Registro fotográfico



Nota. Esta figura contiene imágenes que hacen parte del registro fotográfico del caso de estudio. Elaboración propia.

FASE III: Procesamiento de datos

Orientación y limpieza de Nubes de Puntos

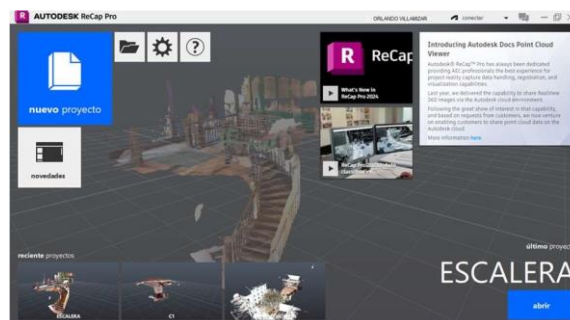
Cuando ya se tienen las nubes de puntos almacenadas se descargan y almacenan en el PC donde se van a trabajar.

Se debe tener previamente instalado el software Autodesk Recap pro.

a. Abrir Recap y dar clic en nuevo proyecto.

Figura 28

Importación de nube de puntos a Recap

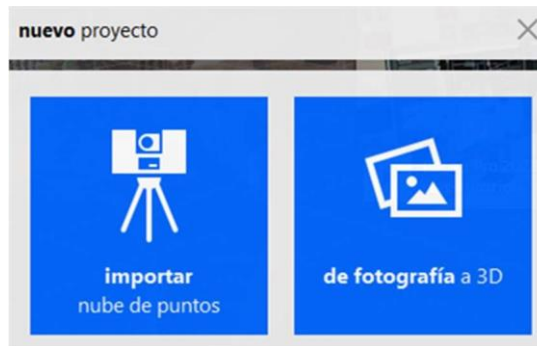


Nota. Esta figura contiene evidencia de importación de nube de puntos a Recap. Elaboración propia.

- b. Seleccionar la opción Importar Nube de Puntos y se crea un nuevo proyecto en la carpeta de preferencia.

Figura 29

Selección para la Importación de nube de punto a Recap pro



Nota. Esta figura contiene la opción para la importación de nube de puntos a Recap. Elaboración propia.

Figura 30

Marcación de archivo de nube de puntos a Recap Pro



Nota. La figura muestra el destino para guardar y nombrar la nube de puntos a Recap. Elaboración propia.

- c. Seguido se debe seleccionar en la opción archivos para importar la nube de puntos a trabajar en formato LAS georreferenciada.

Figura 31

Limpieza de nube de puntos



Nota. Esta figura contiene evidencia de importación y limpieza de nube de puntos a Recap. Elaboración propia.

Figura 32

Limpieza de nube de puntos

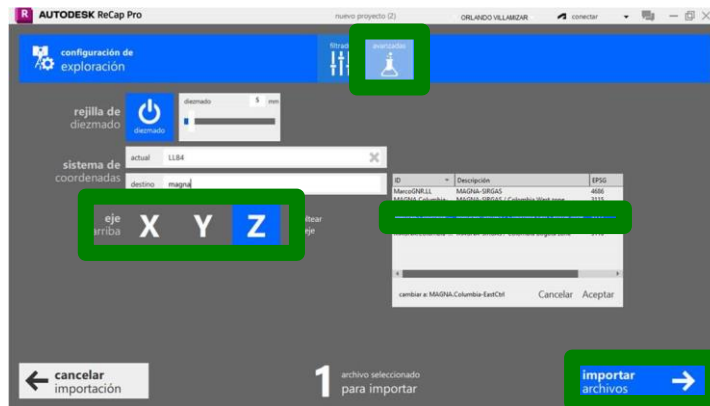


Nota. Esta figura contiene evidencia de importación y limpieza de nube de puntos a Recap. Elaboración propia.

- d. En configuraciones avanzadas verificamos que el eje arriba sea el Z y en sistema de coordenadas, en destino seleccionamos MAGNA-SIRGAS Colombia central zone - EPSG 3117 y damos clic en importar archivos

Figura 33

Limpieza de nube de puntos

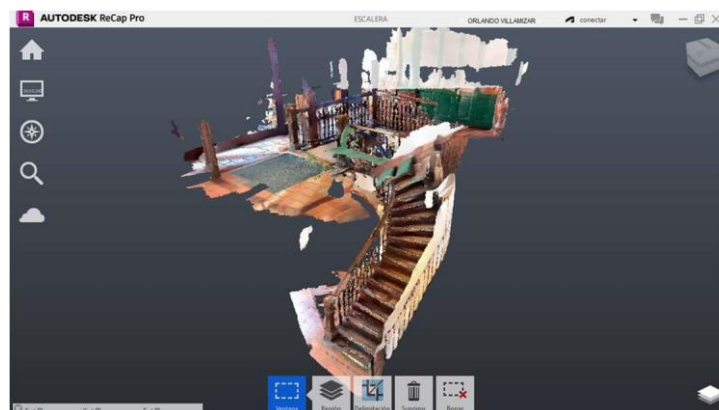


Nota. Esta figura contiene evidencia de importación y limpieza de nube de puntos a Recap. Elaboración propia.

- e. Una vez insertada la nube de puntos se procede a seleccionar y borrar los puntos que no son necesarios y posteriormente guardar en su respectivo orden.

Figura 34

Limpieza de nube de puntos



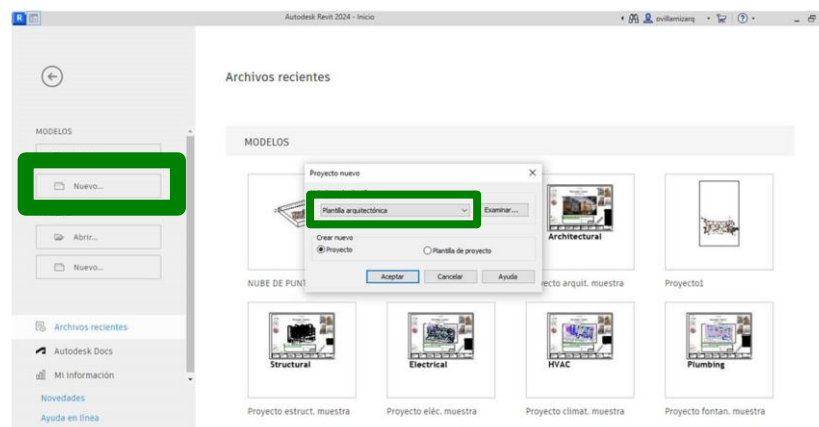
Nota. Esta figura contiene evidencia de importación y limpieza de nube de puntos a Recap. Elaboración propia.

Alineación y unión de Nubes de Puntos Se debe tener previamente instalado el software Autodesk Revit.

Cuando ya se pasan las nubes de puntos por Recap y se organizan, orientan y se elimina lo innecesarios se deben unir, en este caso por haberse obtenido la nube de puntos por medio de smartphone lo haremos en el programa Revit. Se abre el programa se selecciona Nuevo Proyecto y Plantilla Arquitectónica

Figura 35

Alineación y unión de nubes de puntos

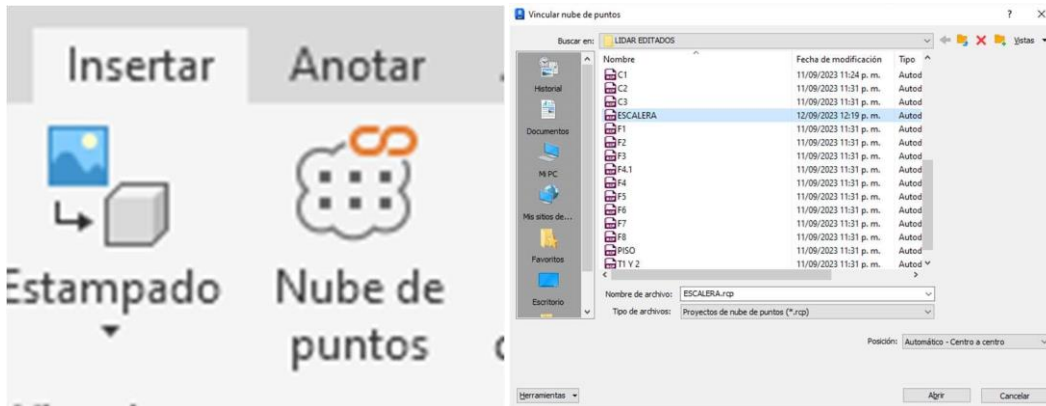


Nota. Esta figura contiene los pasos para importar la nube de puntos a Revit. Elaboración propia.

Luego nos dirigiremos a la pestaña INSERTAR y a la opción NUBE DE PUNTOS y cargamos la primera nube de puntos.

Figura 36

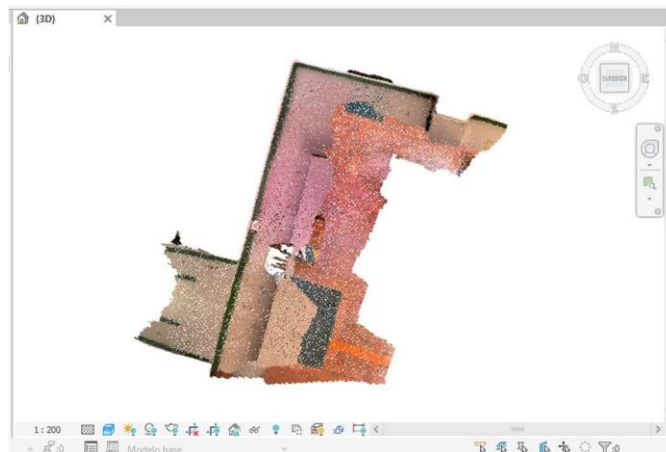
Alineación y unión de nubes de puntos



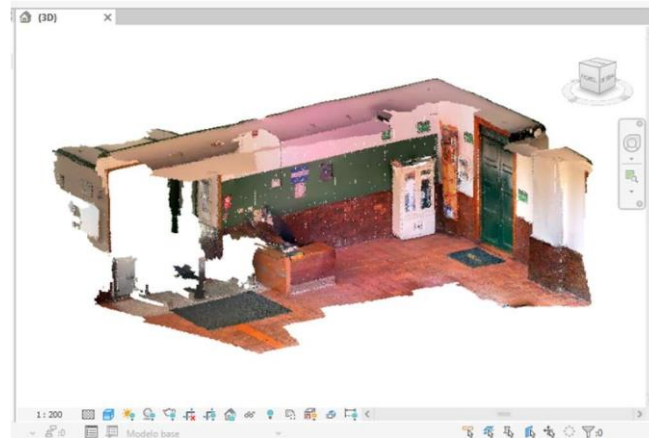
Nota. Esta figura contiene evidencia de la unión de las nubes de puntos. Elaboración propia.

Figura 37

Nube de puntos insertada en Revit



Nota. La figura contiene evidencia de la orientación de las nubes de puntos. Elaboración propia.

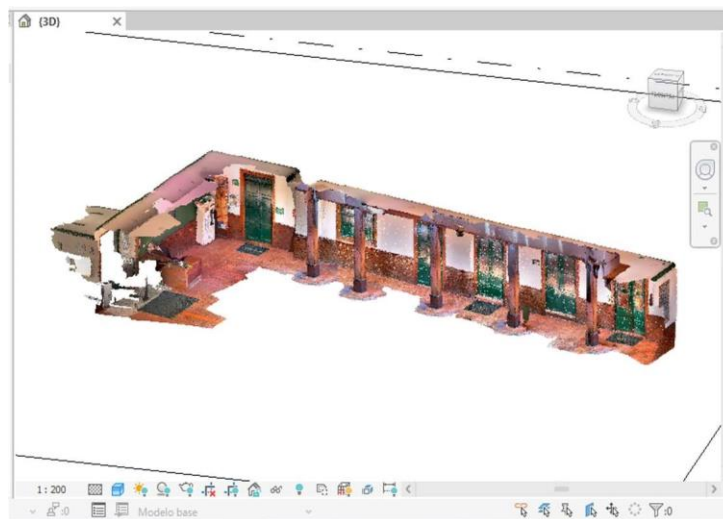


Nota. La figura contiene evidencia de la orientación de las nubes de puntos. Elaboración propia.

Se continúa insertando las nubes de puntos en el orden que se planteó en un inicio con la planta de recorrido, esto hasta unir completamente todas las partes.

Figura 38

Nube de puntos insertada en Revit

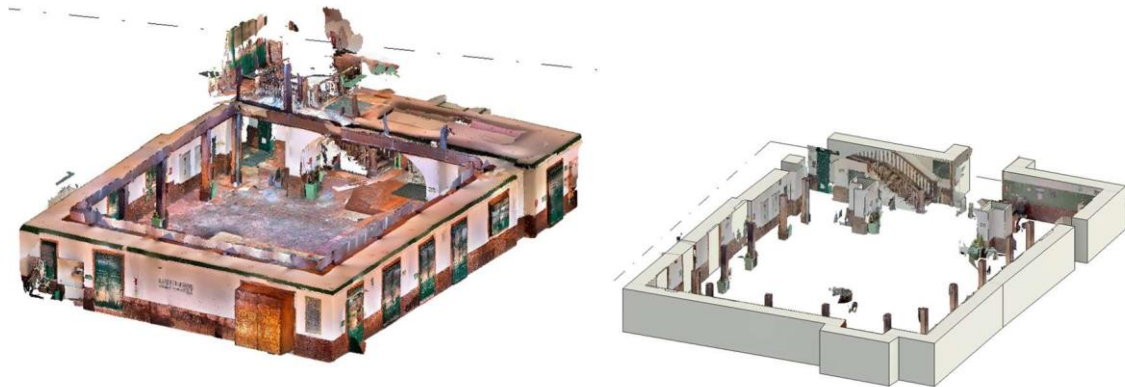


Nota. La figura contiene evidencia de la orientación de las nubes de puntos. Elaboración propia.

Inicialmente modelamos los muros tomando como referencia la nube de puntos

Figura 39

Nube de puntos insertada en Revit

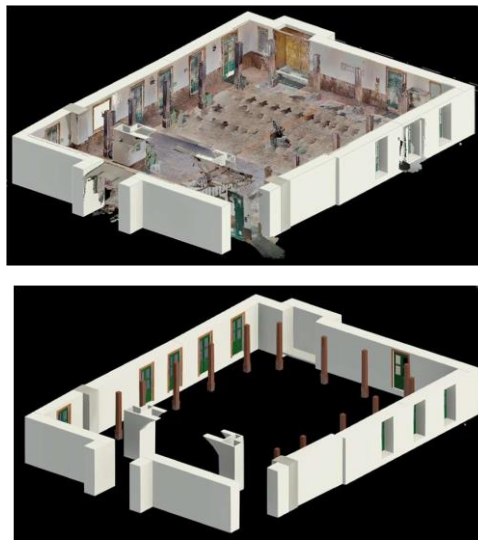


Nota. La figura contiene evidencia de la orientación de las nubes de puntos. Elaboración propia.

Continuamos con el modelado de los demás elementos arquitectónicos como columnas, puertas y ventanas.

Figura 40

Nube de puntos insertada en Revit



Nota. La figura contiene evidencia de la orientación de las nubes de puntos. Elaboración propia.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Densidad de nube de puntos

Inicialmente se realiza un análisis de la cantidad de puntos, que se obtuvieron del sensor LiDAR del iPhone y la fotogrametría, para ser comparadas con la nube resultante de la estación LiDAR, en este caso la nube realizada con el celular iPhone 14 Pro-Max y su sensor LiDAR cuenta con una mayor densidad que la nube de la fotogrametría, sobrepasándola por una cantidad mínima de puntos, cabe mencionar que la densidad es de importancia ya que contribuye a un mayor nivel de detalle del espacio escaneado y facilita el modelado 3d del mismo.

Tabla 4

Análisis de densidad nube de puntos

Tecnología (Nube de Puntos)	Número de puntos
Estación LiDAR	190.373.484
iPhone 14 Pro-Max, sensor LiDAR	27.976.346
Android - Fotogrametría	25.855.210

Nota. La tabla muestra el número de puntos obtenidos para cada nube según la tecnología utilizada. Elaboración propia.

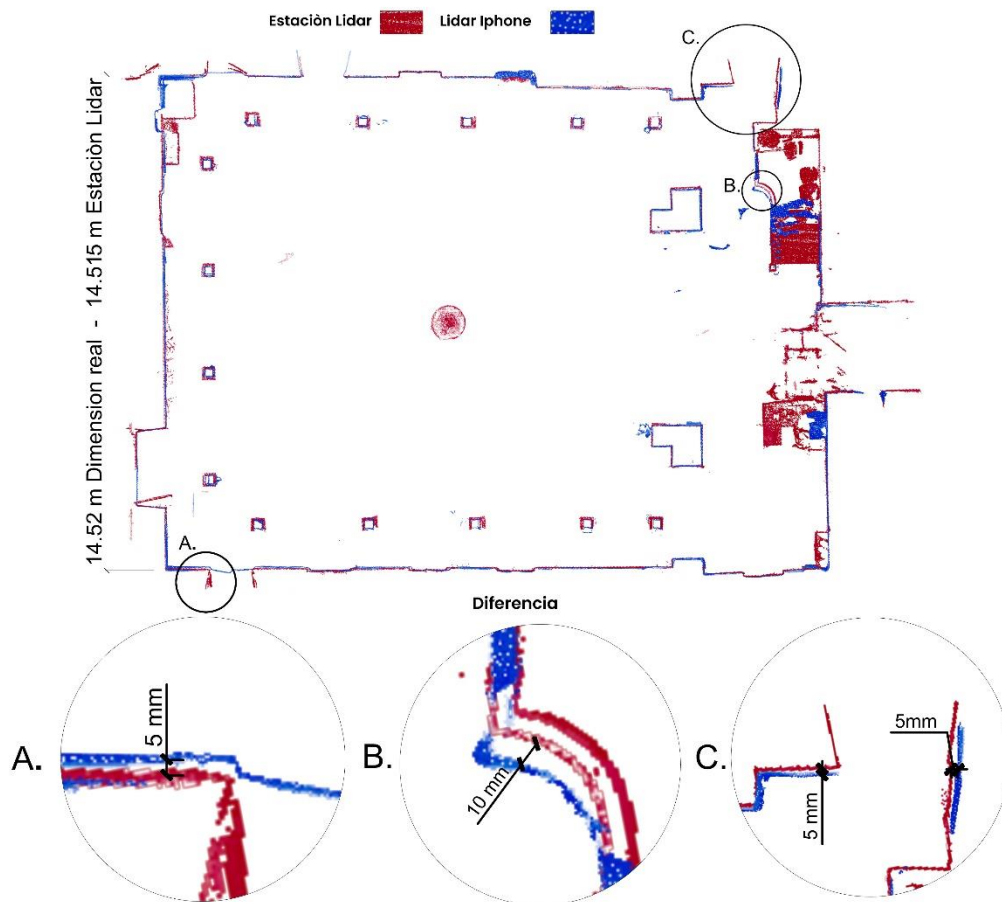
Calidad del escaneo

Las nubes de puntos obtenidas con la tecnología iPhone 14 Pro-Max y Fotogrametría, se comparan con la nube de la estación LiDAR para establecer la uniformidad y las desviaciones de los escaneos obtenidos con los dispositivos móviles por medio de los perfiles en planta que estas generan, tomadas del programa Autodesk Revit una vez se importaron las nubes al software. Al revisar estas

secciones observamos que el escaneo obtenido de la fotogrametría cuenta con mayores desviaciones a diferencia del realizado con el iPhone, aunque ambas nubes muestran en sus secciones zonas no uniformes e idénticas al escaneo de base con la estación LiDAR.

Figura 41

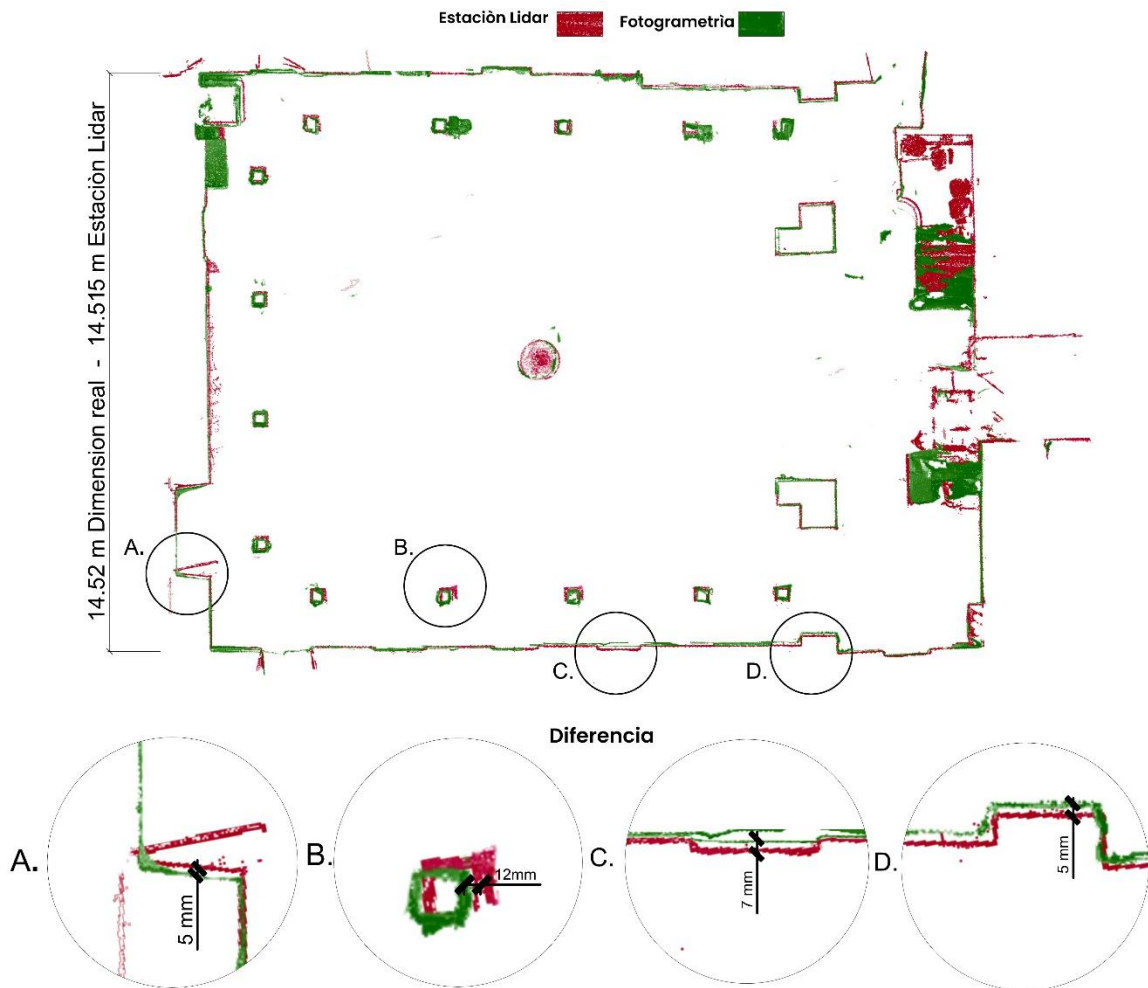
Comparación de nube de puntos obtenidas de la estación LiDAR y iPhone 14 Pro Max.



Nota. La figura muestra la superposición de las plantas obtenidas con las nubes de puntos de la estación LiDAR y el iPhone 14 Pro-Max. Elaboración propia. Se Indica en las figuras (a, b y c) los puntos de mayor desviación que hay entre una nube y otra, además de la distancia en milímetros entre ellas.

Figura 42

Comparación de nube de puntos obtenidas de la estación LiDAR y Fotogrametría.



Nota. La figura muestra la superposición de las plantas obtenidas con las nubes de puntos de la estación LiDAR y la fotogrametría con Android. Elaboración propia. Se indica en las figuras (a, b y c) los puntos de mayor desviación que hay entre una nube y otra, además de la distancia en milímetros entre ellas.

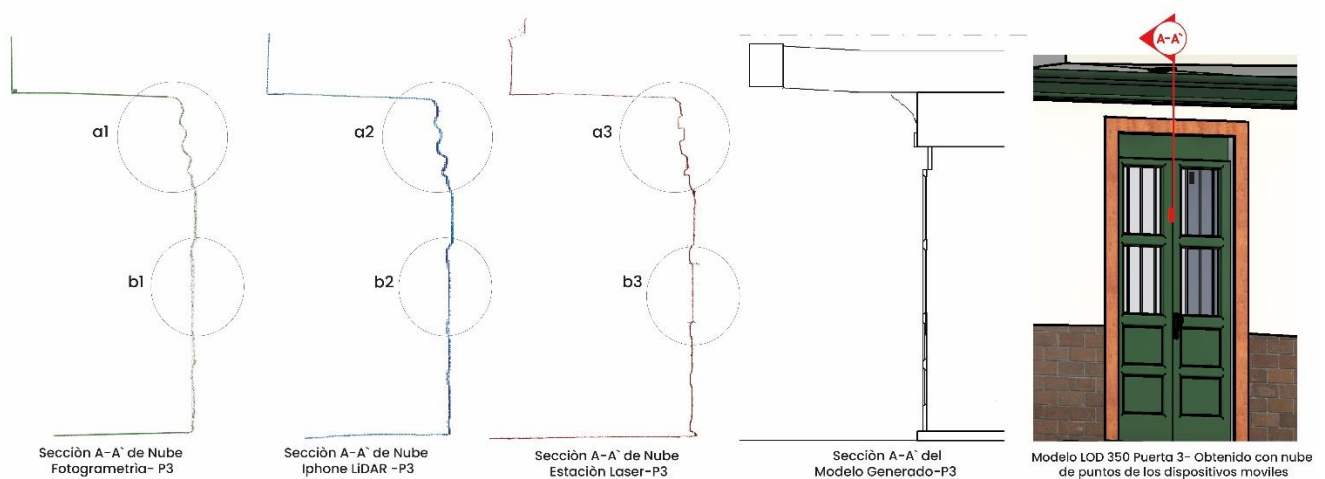
Detalles de elementos arquitectónicos

Para los detalles como molduras, cornisas y tableros de las puertas encontramos que la nube de puntos obtenida con el iPhone 14 Pro-Max captura la forma de estos objetos medianamente mejor que la nube de puntos de la fotogrametría, aunque en ambos casos al revisar ambas nubes y tomar como

elemento de referencia la puerta P3 generando una sección de la misma, se observa que estas no capturan los perfiles con la forma de los objetos reales y sufren una deformación en forma de redondeo, esto en comparación con la nube de la estación LiDAR la cual si genera el perfil de la puerta con una alta fidelidad a la realidad, aun así con las nubes de puntos de los dispositivos móviles y con ayuda del registro fotográfico y las dimensiones obtenidas en la visita de campo se genera el modelo de estos elementos con un nivel de detalle (LOD 350) aproximado al objeto real.

Figura 43

Comparación de nubes de puntos en elemento arquitectónico puerta en corte



Nota. La figura muestra las secciones para la puerta P3 obtenidas de las nubes de puntos con los tres métodos. Elaboración propia. Se Indica en los detalles (a1, a2, b1, b2) la deformación y redondeo en detalles como molduras y cornisas que se obtiene con los escaneos del Iphone LiDAR Y fotogrametría, en comparación con el detalle (a3, b3) escaneo con estación Laser, el cual si captura con una mayor precisión cada detalles.

Tiempos y recursos utilizados:

Como resultado se obtuvo que al realizar los escaneos con dispositivos móviles en comparación con el proceso de escaneo con la estación LiDAR, este resultado ser el doble, ya que con la estación fue 1.5 horas y con los dispositivos móviles 3.5 horas, como se relaciona en la tabla 5.

Tabla 5

Comparación en tiempos de los diferentes procesos de levantamiento.

Tiempo del proceso del levantamiento para los 309 m2- 1 nivel		
Método	Recurso Humano	Tiempo
Manual	2 personas	8 horas
Android Fotogrametría	1 persona	3,5 horas
IPhone LiDAR	1 persona	3 horas
Estación LiDAR	1 persona	1,5 horas

Nota. Esta tabla muestra las comparaciones de los diferentes tipos de levantamiento en la variable tiempo y recursos aplicados en el caso de estudio.

Errores y omisiones:

Durante el proceso de la importación y unión de las nubes de puntos obtenidos con los dispositivos móviles, en los softwares Recap Pro, y Autodesk Revit, los archivos individuales no registraron la georreferenciación y tuvo que realizarse la unión de las nubes manualmente utilizando como base mediciones de referencia que se obtuvieron en la visita de campo.

Al momento de realizar el proceso de escaneo con la tecnología LiDAR de Apple, se encontró que al repasar la zona más de una vez con el dispositivo, el escaneo quedaba distorsionado y se perdían las profundidades del objeto real.

Después de llevar a cabo el estudio de caso detallado, se puede concluir que los dispositivos móviles son una herramienta útil para la realización de levantamientos arquitectónicos en entornos patrimoniales, de bajo nivel de detalle debido a las limitaciones con las que cuentan estas tecnologías de escaneo para dispositivos móviles.

La guía de levantamiento contribuye a la gestión documental del patrimonio arquitectónico, lo que es fundamental para su preservación y conservación a largo plazo.

La integración del proceso de levantamiento con dispositivos móviles y la metodología BIM (Modelado de Información de la Construcción) contribuye a la estructuración de procesos para el patrimonio arquitectónico debido a su estandarización y gestión de la información pertinente para el desarrollo de proyectos de mantenimiento, restauración, preservación entre otros.

ha demostrado ser efectiva en la gestión de la información arquitectónica visible. Esto facilita la coordinación de proyectos y la preservación del patrimonio.

La investigación contribuye al conocimiento existente sobre los diferentes tipos de métodos de levantamiento arquitectónico para el patrimonio, documentando un método alternativo al proporcionar un proceso concreto de cómo se puede aplicar la tecnología de dispositivos móviles en la preservación del patrimonio arquitectónico en Colombia.

Lista de Referencia o Bibliografía

- Buill et al. (2007). Fotogrametría arquitectónica. Ediciones UPC.
- Franco, G. (2012). *EL Levantamiento Arquitectónico Una Aproximación Metodológica* [Tesis de maestría]. Universidad Nacional de Colombia.
- Martínez, I. (2014). *Precisiones Sobre El Levantamiento 3d Integrado Con Herramientas Avanzadas, Aplicado Al Conocimiento Y La Conservación Del Patrimonio Arquitectónico* [Tesis doctoral]. Universitat Politècnica de València. Escuela Técnica Superior de Arquitectura.
- Rodríguez, P., Jiménez, B., Muñoz, A., Arias, P., & González, A. (2017). Mobile LiDAR System: New Possibilities for the Documentación and Dissemination of Large Cultural Heritage Sites. *Remote Sensing*, (9), 1-17. <https://doi.org/10.3390/rs9030189>.
- Saura, P., Spairani, Y., Huesca, J., Spairani, S., & Rizo, C. (2021). Advances in the Restoration of Buildings with LIDAR Technology and 3D Reconstruction: Forged and Vaults of the Refectory of Santo Domingo de Orihuela (16th Century). *Applied Sciences*, (11),1-20. <https://doi.org/10.3390/app11188541>
- Pérez, K., & González, M. (2021). 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 [Trabajo de grado]. Universidad de Cartagena.
- Li, Y., Zhao, L., Cheng, L., Zhang, N., Fan, H., & Zhang, Z. (2023). 3D LiDAR and multi-technology collaboration for preservation of built heritage in China: A review. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, (116), 2-11. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2022.103156>
- Almagro, D. (2016). *Análisis de métodos para el levantamiento arquitectónico* [Tesis de maestría]. Universidad de Extremadura, escuela politécnica.

- Romero, L. (2022). *Evaluación técnica y económica de métodos de levantamiento arquitectónico análogos y digitales* [Trabajo de grado]. Universidad la Gran Colombia.
- Teppati, L., Spreafico, A., Chiabrando, F., & Giulio, F. (2022). Apple LiDAR Sensor for 3D Surveying: Tests and Results in the Cultural Heritage Domain. *Remote Sensing*, (14), 1-30.
<https://doi.org/10.3390/rs14174157>.
- Vaca, G. (2023). 3D Survey with Apple LiDAR Sensor—Test and Assessment for Architectural and Cultural Heritage. *Heritage*, (6), 1476–1501. <https://doi.org/10.3390/heritage6020080>.
- Mayorga, M. (2021). Evolución Histórica de La Representación del Patrimonio en Colombia y Documentación Gráfica de 25 Centros Históricos, *Mimesis.Jasd*, (1), 93-12.
<https://doi.org/10.56205/mim.1-1.5>
- Oliver, F., Fuentes, I., & Begoña, M. (2021). *EUBIM 2021. Congreso internacional BIM/ 10º encuentro de usuarios BIM*. Editorial Universitat Politècnica de València. <https://doi.org/10.4995/EUBIM2021.2021.13968>
- Quintilla, M. (2021, Septiembre, Octubre 29-2). HBIM para el inventario del patrimonio arquitectónico [Conferencia]. *BIM International Conference / 10º Encuentro de Usuarios BIM*, Valencia, España.
<https://doi.org/10.4995/EUBIM2021.2021.13968>
- Moral, S., Oliver, I., & Jordán, I. (2021). Implementación de HBIM en patrimonio arquitectónico. Estudio del caso de La iglesia de la Sang de Lliria. *EGE Revista De Expresión Gráfica En La Edificación*, (15), 4–26. <https://doi.org/10.4995/ege.2021.16075>
- Ministerio de Cultura. (2018). *Ficha de inventario y valoración de bienes culturales inmuebles*. PEMP Patrimonio Inmueble. <https://sisbic.idpc.gov.co/>
- Ozeren, O., Korumaz, M. (2021). *LiDAR to HBIM for Analysis of Historical Buildings*. Karabük University, Faculty of Architecture, Karabük, Turkey. <https://www.researchgate.net/publication/353111111-LiDAR-to-HBIM-for-Analysis-of-Historical-Buildings>

Hawas, M. (2017). *Integrating Value Map with Building Information Modelling Approach for*

Documenting Historic Buildings in Egypt. Heritage Building Information Modelling, (01), 50-60.

DOI: [10.4324/9781315628011-6](https://doi.org/10.4324/9781315628011-6)

Salvador, E. (2020). Protocolo HBIM para una gestión eficiente del uso público del patrimonio arquitectónico. [Tesis doctoral]. Universitat Politècnica de València

Diaz, L., Balado, J., khoshelham, k., Tran, H. (2022). *Extending a mobile device with low-cost 3d modeling and building-scale mapping capabilities, for application in architecture and archaeology*.

[congreso]. *XXIV Congreso ISPRS (edición 2022)*. Niza, Francia, 11 de junio 2022.