

Mejoras en la gestión de edificaciones patrimoniales mediante el empleo de modelos geométricos tridimensionales

Ing. Juan Antonio Mulet Naranjo

Centro de estudios CAD/CAM

Universidad de Holguín, Cuba

jamuletnaranjo@gmail.com

DrC. Anabel Reyes Ramírez*

Centro de estudios CAD/CAM

Universidad de Holguín, Cuba

areyesr@uho.edu.cu

Ing. Ernesto Emilio Aguilar Leyva

Centro de estudios CAD/CAM

Universidad de Holguín, Cuba

aleyva0816@gmail.com

RESUMEN

En la actualidad, la ejecución de procesos de mantenimiento, restauración y conservación del patrimonio construido constituye un pilar fundamental en la preservación del valor histórico y cultural de las ciudades a nivel mundial. Por este motivo, la aplicación de los avances tecnológicos en la automatización y optimización de estos procesos cobran cada vez mayor importancia en el sector de la construcción. Precisamente la integración de la Geomática y el BIM (Building Information Modeling), ofrece ventajas considerables para el análisis de edificaciones y obras arquitectónicas y de ingeniería. La realización de un modelado tridimensional a partir de nubes de puntos permite la obtención de modelos geométricos precisos, se logra una alta precisión al capturar detalles que de otra manera no sería posible, permite controles dimensionales, la generación y obtención de planos "As Built", entre otras ventajas, lo que aumenta la eficiencia y productividad y reducción del tiempo en la realización de los trabajos. El presente trabajo muestra los resultados de la aplicación de estas tecnologías en la obtención en el Sofware REVIT de

un modelo 3D a partir de nubes de puntos generadas con la tecnología Vuelo Aéreo No Tripulado (VANT) de la glorieta del parque Julio Grave de Peralta "Parque de las Flores" en el casco histórico de la ciudad de Holguín.

Palabras Claves: edificios patrimoniales, modelación 3D, modelos geométricos, tecnología BIM.

Improvements in the management of heritage buildings through the use of three-dimensional geometric models

ABSTRACT

Currently, the execution of maintenance, restoration, and conservation processes for built heritage constitutes a fundamental pillar in the preservation of the historical and cultural value of cities worldwide. For this reason, the application of technological advances in the automation and optimization of these processes is becoming increasingly important in the construction sector. Specifically, the integration of Geomatics and BIM (Building Information Modeling) offers considerable advantages for the analysis of buildings and architectural and engineering works. Three-dimensional modeling from point clouds allows for the creation of precise geometric models, achieving high precision by capturing details that would otherwise be impossible, enabling dimensional controls, the generation and obtaining of "as built" plans, among other advantages, which increases efficiency and productivity and reduces the time required to carry out the work. This paper shows the results of applying these technologies to obtain a 3D model in REVIT software from point clouds generated with Unmanned Aerial Flight (UAV) technology of the Julio Grave de Peralta Park roundabout "Parque de las Flores" in the historic center of the city of Holguín.

Keywords: heritage buildings, 3D modelling, geometric models, BIM technology.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la preservación del patrimonio arquitectónico se ha convertido en un desafío multidimensional, donde el constante desarrollo urbano y el aumento del cambio climático plantean riesgos significativos para la integridad de las edificaciones históricas. A su vez, este desafío constituye sin lugar a dudas un proceso interdisciplinario, que incluye una amplia gama de actividades, desde la adquisición y procesamiento de datos, hasta la visualización y la gestión de la información. Por este motivo, la protección de dichas edificaciones comienza con el monitoreo y la documentación de su estado existente, cuyo objetivo no se basa solamente en prevenir un mayor deterioro o facilitar la reconstrucción o refuerzo de su

estabilidad estructural, sino que busca desarrollar estrategias de intervención cuidadosamente planificadas. (Tsiachta et al., 2024)

Bajo esta perspectiva, la modelación geométrica de obras patrimoniales se hace cada día más imprescindible para la ejecución de los procesos de mantenimiento, restauración y conservación de estas edificaciones. De ahí que la obtención de los modelos digitales actualmente cobra un alto valor histórico y cultural para mantener vigente la herencia de nuestros antepasados y la belleza arquitectónica de las estructuras y edificaciones que constituyen parte del patrimonio de cualquier país (Hernández Peña et al, 2019).

A nivel mundial, la revolución tecnológica ha marcado una nueva etapa en la realización de trabajos de ingeniería, arquitectura y ciencias afines. Los avances alcanzados en el área de la Geomática han revolucionado la topografía, la fotogrametría y la fotointerpretación, que, junto con nuevas técnicas y equipamientos modernos, han tenido una amplia utilización en los levantamientos geométricos asociados a la preservación de edificaciones de valor patrimonial. (Valdez Anguiano, 2023)

La topografía de alta definición, abarca las actuales técnicas de registro y mapeo masivo de las propiedades geométricas de un elemento, que permiten obtener un modelo 3D de alta calidad de una forma mucho más precisa y eficiente. Esto facilita significativamente el trabajo de documentación, y constituye un punto de partida para el análisis y preservación de los valores arquitectónicos, estructurales y culturales de los edificios históricos. (Benavides López et al., 2020)

Aunque es evidente que esta temática tiene alto impacto y ha generado estudios con grandes aportes, las investigaciones, en su mayoría, se ven limitadas únicamente a la visualización de nubes de puntos y el control dimensional. De esta manera se desaprovecha las ventajas de este tipo de tecnología para la obtención de planos, su integración con entorno BIM, y demás bondades que brinda la obtención de modelos tridimensionales, que permitan una correcta gestión y preservación de las edificaciones patrimoniales.

METODOLOGÍA

Topografía de Alta Definición

La topografía de alta definición surgió como respuesta a la necesidad de métodos de medición más precisos y eficientes en diversos campos de la ingeniería y la ciencia. Con el desarrollo de la tecnología digital y el advenimiento de sistemas avanzados como los escáneres láser y los drones equipados con sensores de alta resolución, la topografía tradicional experimentó una revolución. Esta ha permitido revolucionar la modelación 3D de edificaciones, permite la obtención e interpretación de nubes de puntos, la cual permite realizar una lectura de su significado a partir de la identificación de los elementos existentes en la realidad, lo que posibilita llevar a cabo un modelado más rápido y eficiente. Permite, además, la importación de las

nubes de puntos y el modelado de los elementos arquitectónicos y estructurales, así como la creación de los documentos de construcción (Hernández Peña, 2023).

El empleo de esta tecnología se ha intensificado gracias a la amplitud de beneficios que ofrece, alguno de ellos se muestra a continuación:

Precisión y Detalle: la principal ventaja de esta, es su capacidad para producir mediciones extremadamente precisas. Esto es esencial en proyectos donde los márgenes de error son críticos, como en la construcción de infraestructuras complejas o en la restauración de edificios históricos.

Rapidez en la Recolección de Datos: se pueden capturar datos extensos en cuestión de horas o días, depende de la complejidad del terreno y los objetivos del proyecto.

Versatilidad y Flexibilidad: Los equipos utilizados son capaces de operar en una variedad de entornos y condiciones, desde grandes extensiones de terreno abierto hasta espacios urbanos densamente poblados y terrenos accidentados.

Reducción de Costos a Largo Plazo: Aunque la inversión inicial en tecnología de alta definición puede ser alta, el retorno sobre la inversión es favorable, dado que reduce los costos laborales y minimiza los errores que podrían resultar en gastos adicionales durante la ejecución de un proyecto.

Por sus características es compatible con sistemas basados en metodología de trabajo BIM, esto permite su uso en un sin número de aplicaciones en diferentes ámbitos.

Vehículos aéreos no tripulados (VANT)

Los vehículos aéreos no tripulados (VANT), han revolucionado el campo del diagnóstico y documentación del patrimonio construido. Esta tecnología permite la captura masiva de imágenes de alta resolución desde múltiples ángulos, lo cual es fundamental para generar modelos geométricos tridimensionales precisos mediante técnicas (Ruiz et al., 2021). Los VANT, comúnmente conocido como dron, hacen referencia a una aeronave que vuela sin tripulación, la cual ejerce su función remotamente. Los VANT son aviones o multirotores controlados de forma remota o autónoma que siguen una línea de vuelo pre programada (Ríos-Hernández, 2021).

Figura1.

Vehículo aéreo no tripulado (VANT).



(Fuente: Martínez Terrero, 2021)

Un dron equipado con cámaras de alta resolución puede capturar imágenes y videos detallados de toda la estructura en cuestión de horas, en lugar de días o semanas que podrían requerirse con métodos tradicionales. Además, al eliminar la necesidad de acceder físicamente a áreas peligrosas, se reducen los costos asociados con el seguro y la gestión de riesgos laborales. La seguridad es una preocupación primordial en el diagnóstico de edificaciones, especialmente cuando se trabaja en estructuras altas, dañadas o de difícil acceso.

Esta capacidad de recopilación de datos detallados permite a los ingenieros y arquitectos realizar diagnósticos más precisos y tomar decisiones informadas sobre las intervenciones de reparación y conservación necesarias. Además, los drones pueden operar en una variedad de condiciones climáticas y horarios, lo que permite realizar inspecciones cuando sea más conveniente y eficiente (Martínez Terrero, 2021). Si bien otras tecnologías pueden tener aplicaciones específicas en el campo del diagnóstico de edificaciones, ninguna ofrece la combinación única de beneficios que proporciona la tecnología VANT.

Al adoptar esta tecnología innovadora, los profesionales de la construcción y la conservación pueden realizar inspecciones más rápidas, seguras, precisas y rentables, lo que conduce a mejores decisiones de gestión de activos y a la preservación a largo plazo de nuestras estructuras construidas.

La importancia de los drones en la preservación de edificaciones patrimoniales radica en su capacidad para detectar de forma temprana daños estructurales, deterioro por agentes atmosféricos o signos de envejecimiento. Al obtener modelos tridimensionales actualizados de manera regular, los gestores del patrimonio pueden monitorear el estado de las edificaciones, identificar áreas de riesgo y planificar intervenciones de conservación y restauración de manera proactiva. Asimismo, la documentación tridimensional generada por los drones sirve como una herramienta invaluable en la gestión y difusión del

patrimonio cultural, que facilita la investigación, la educación y la promoción de la historia arquitectónica (Martínez Terrero, 2021).

En resumen, la tecnología VANT representa una mejora significativa sobre los métodos tradicionales de diagnóstico de edificaciones, ofrece ventajas sustanciales en términos de eficiencia operacional, seguridad del personal, precisión en la recopilación de datos, accesibilidad y flexibilidad.

Caso de estudio: "Glorieta del Parque de las Flores"

En 1922 en el ángulo sureste del Parque de las Flores de la ciudad de Holguín se construyó una glorieta de estilo ecléctico y base cuadrada para que tocaran las bandas de música de la ciudad. Esta fue costeada por la Asociación de Caballeros de San Isidoro, la que le nombró Glorieta Ángel Díaz, en homenaje al director de la banda del Ejército Nacional radicado en Holguín. La glorieta añadió una manifestación única en la ciudad, al convertirse en espacio donde se podía escuchar música interpretada por la banda del ejército o la de los Caballeros de San Isidoro (Mulet Naranjo et al, 2024).

En 1947 fue demolida por el Departamento de Obras Públicas, argumentándose que presentaba un pésimo estado y que en su lugar se colocaría una fuente. En el año 2001 fue reconstruida por el valor histórico y patrimonial que ofrece, fue proyectada y ejecutada por la Oficina de Historia, Dirección Municipal de Comunales y Daniel Santiesteban del proyecto UNEAC. Fue renombrada como Glorieta Albanes, es popularmente conocida como Glorieta del Parque de las Flores.

Figura 2.

Glorieta del Parque de las Flores.



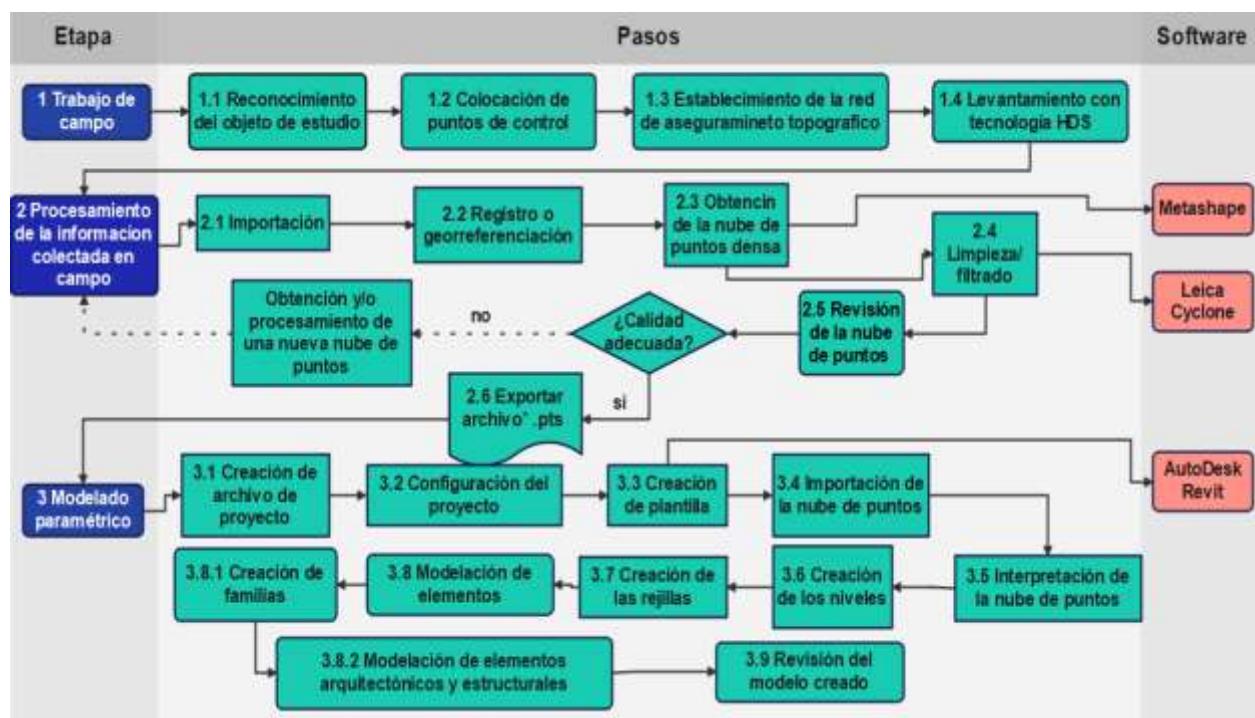
(Fuente: autores)

Metodología de trabajo empleada

El esquema de trabajo empleado cuenta con tres etapas: trabajo en campo como etapa inicial, el procesamiento de la información colectada en campo como etapa posterior y el modelado paramétrico como parte final. El esquema cuenta con veintidós pasos, agrupados de con números diferentes en cada etapa; la etapa inicial cuenta con cuatro pasos, la posterior a esta cuenta con seis, mientras la etapa final con doce. Además, muestra los softwares que se emplea para desarrollar el proceso. Fue elaborado mediante la recopilación de información y experiencias de especialistas y adaptado de la metodología para el modelado de edificaciones a partir de nubes de puntos con el software Autodesk Revit planteada por Acosta et al (2024) del Proyecto Integración Geomática-BIM para el Perfeccionamiento de Gestión de Proyectos y el Control de obras, de la Universidad de Holguín. El esquema propuesto se muestra en la Figura 3:

Figura 3.

Esquema de trabajo.



(Fuente: autores)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Etapa 1: Trabajo en campo.

Paso 1.1: Reconocimiento del objetivo de estudio: Se realiza un recorrido para evaluar previamente la edificación patrimonial. Se evalúa la zona en la que se encuentra la edificación patrimonial para conocer los posibles obstáculos que puedan afectar el uso de los instrumentos topográficos de alta definición.

Paso 1.2: Colocación de puntos de control: Se colocan dianas en diferentes ubicaciones de la edificación patrimonial, se atiende a criterios estructurales y geodésicos para asegurar la visibilidad desde otros puntos de control y de las estaciones de medición.

Paso 1.3: Establecimiento de la red de aseguramiento topográfico: Se emplea una Estación Total para llevar a cabo la determinación precisa de todos los puntos de control establecidos en la edificación patrimonial. Además, toman lecturas de los ángulos horizontales y verticales, así como distancias.

Paso 1.4: Levantamiento con tecnología HDS: En este paso se emplea el instrumento topográfico previamente definido. En este caso particular se decidió el empleo de la tecnología VANT para la recolección de los datos. Se realiza el levantamiento aéreo, con variables meteorológicas favorables para la recogida de datos, dígase posición del sol, cielo despejado y ausencia de lluvia o vientos fuertes. La toma de imágenes se configura en forma de anillos, esto permite que los ejes de imágenes sucesivas formen un ángulo convergente lo que posibilita la aparición de un punto objeto en múltiples imágenes y logra que exista un alto nivel de solape entre ellos. (Figura 4).

Figura 4.



Levantamiento con VANT en la Glorieta.

(Fuente: autores)

Etapa 2: Procesamiento de la información colectada en campo

Paso 2.1: Importación de las imágenes: Una vez concluida la recogida de datos, se comienza el trabajo en el software de procesamiento Metashape.

Paso 2.2: Registro o georreferenciación: Cuenta con tres tareas dentro del paso:

2.2.1 Creación de máscaras a las imágenes: Se aplica una máscara para ocultar los elementos que carecen de relevancia para la investigación y definir el área de la estructura del caso de estudio. En el proceso de alineación de las imágenes, las áreas enmascaradas son ignoradas y al generar la nube de puntos y la nube de puntos densa esta información es obviada. Por tanto, la precisión al poner la máscara es fundamental para obtener resultados más precisos.

2.2.2 Orientación de las imágenes: El software asigna una posición al centro de cada fotografía. Al procesar las imágenes el programa utiliza un algoritmo con matriz de orientación que identifica los puntos coincidentes en cada foto. Esta es resultado de la formación de un mosaico obtenido de la superposición de las imágenes reunidas en una única fotografía compuesta con la que se trabaja.

2.2.3 Colocación de los marcadores: Los marcadores ayudan a mejorar la correspondencia entre las fotos, lográndose una alineación más precisa del conjunto de datos. Con la colocación de estos marcadores se puede definir la escala y la orientación del modelo 3D, ya que se utilizan las coordenadas conocidas de los mismos.

Paso 2.3: Obtención de la nube de puntos densa: La nube de puntos densa (Figura 5) obtenida a través del Metashape se fundamenta en un mapa de profundidad calculado para cada imagen, basándose en las posiciones identificadas para cada una de ellas.

Figura 5.

Nube de puntos densa de la Glorieta Parque de las Flores.



(Fuente: autores)

Paso 2.4: Limpieza/filtrado en el software Leica Cyclon: El software Leica Cyclon nos brinda un ambiente especializado en el procesamiento de nubes de punto, facilita las herramientas idóneas para la limpieza de la nube de puntos.

Paso 2.5: Revisión de la nube de puntos: Se realiza una revisión de la nube de puntos para asegurar que no se perdieron datos importantes durante el proceso de limpieza/filtrado. Además, se revisan diferentes parámetros para determinar la calidad de la nube de puntos (densidad de puntos, precisión y exactitud, distribución espacial, ruidos y objetos existentes, clasificación de los puntos, rango de medición, geometría y topología, superficies ocultas o no capturadas, entre otras).

Paso 2.6: Exportación de la nube: Se procede a su exportación como archivo, y selección de formato (.pts).

Etapa 3: Modelado paramétrico en el software AutoDesk Revit

Paso 3.1: Creación de archivo de proyecto: Se ejecutó el programa Autodesk Revit y se seleccionó “nuevo” y se creó un nuevo proyecto con la plantilla base preestablecida

Paso 3.2: Creación de plantilla: Se recomienda el empleo de la plantilla predeterminada “Architectural Template”, esta incluye configuraciones base como estilos de línea, tipos de vista, familias genéricas, niveles preestablecidos y unidades en sistemas métrico.

Paso 3.3: Configuración del proyecto: Se definen elementos para establecer las condiciones base para un entorno de modelado coherente y funcional.

Paso 3.4: Importación de la nube de puntos: Al importar la nube de puntos, se procede a indexarla para que tenga un formato compatible con el software, este detecta automáticamente las propiedades métricas del elemento, se le da una dirección en la ubicación de archivo y luego se inicia el proceso.

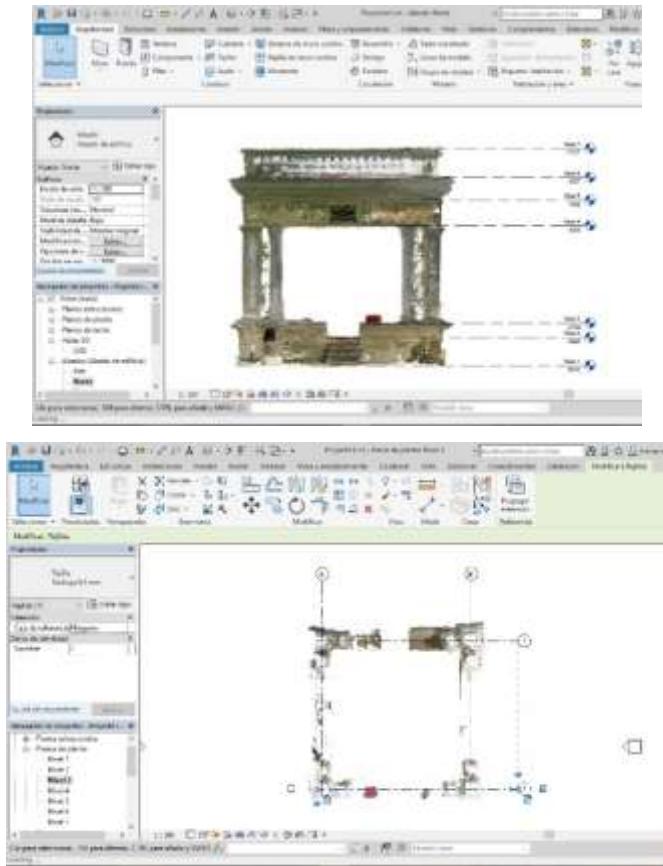
Paso 3.5: Interpretación de la nube de puntos: El proceso consiste en la visualización de la nube de puntos en diferentes vistas (plantas, alzadas, secciones y 3D) para interpretar geometrías relevantes como pisos, techos, muros, escaleras, columnas, aberturas y otras características constructivas.

Paso 3.6: Creación de los niveles: Se define cada uno de los niveles de la estructura de la edificación. Se trazan líneas horizontales asignándole una cota y un número a partir del nivel del suelo hasta la parte superior de la cubierta.

Paso 3.7: Creación de las rejillas: El proceso se realiza desde la vista en planta creada para cada uno de los niveles. Se traza mediante una polilínea los ejes principales, se identifican mediante una secuencia lógica de números y letras.

Figura 6.

Creación de niveles y rejillas.



(Fuente: autores)

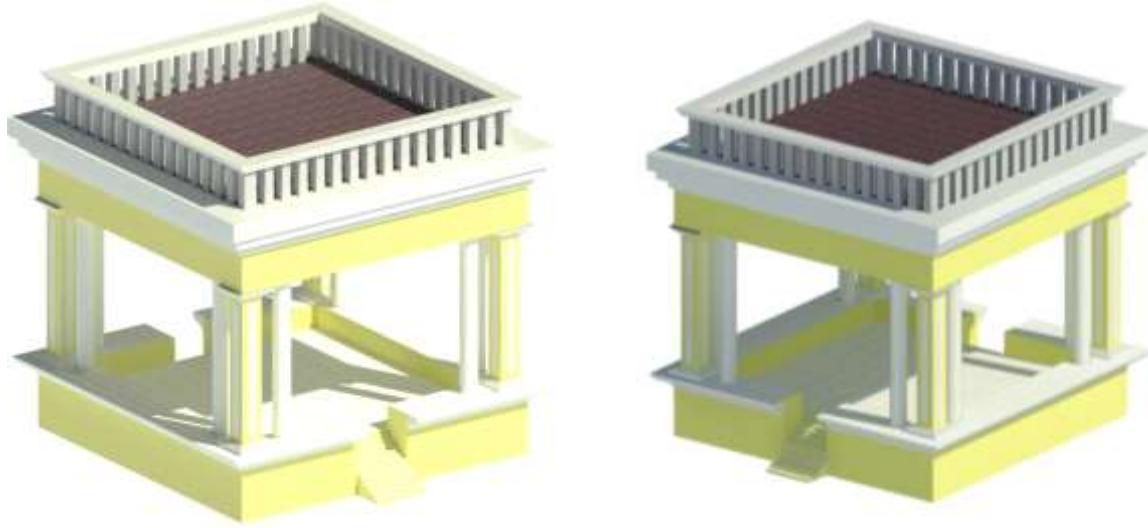
Paso 3.8: Modelación de elementos

3.8.1 Creación de familias: Dado que los elementos que se modelan tienen características específicas es necesario crear familias que los definan. El software presenta plantillas para la creación de cada uno de los elementos, se selecciona un modelo genérico métrico.

3.8.2 Modelación de elementos arquitectónicos y estructurales: Se procede con el acceso a la vista en planta del nivel inferior del elemento que se va a crear y se coloca sobre el eje que se desea, de esta forma se van modelando todos los elementos, con la referencia de su posición en la nube.

Figura 7.

Modelo 3D de la Glorieta del Parque de las Flores.



(Autor)

Paso 3.9: Revisión del modelo creado

Para la revisión del modelo obtenido se procede con la superposición del modelo con la nube de puntos densa. Se verifica que los elementos modelados coincidan con las características y dimensiones de la nube de puntos densa. Para esto, se tiene en cuenta el nivel de detalle necesario para el cumplimiento del objetivo de la modelación.

CONCLUSIONES

Se realizó un análisis de las diferentes tecnologías que brinda la topografía de alta definición y las ventajas de su aplicación en los modelos geométricos de las edificaciones patrimoniales, lo que permitió concluir su alta pertinencia para las labores que se realizan actualmente en este campo.

Se desarrolla un esquema de trabajo para la modelación geométrica de edificaciones patrimoniales con empleo de topografía de alta definición, lo que permitió integrar de manera coherente y estructurada, las tareas y software empleados para estos fines. El esquema de trabajo presentado no solo facilitó la obtención del modelo tridimensional óptimo con el empleo de los softwares Metashape, Cyclon y Revit, sino que establece además un flujo de trabajo replicable para otras edificaciones históricas con características similares.

La aplicación del esquema de trabajo en el caso de estudio “Glorieta del Parque de las Flores” arrojó resultados favorables, se comprobó su efectividad como una herramienta eficaz y pertinente, al obtener un

modelo tridimensional preciso y detallado de esta edificación, que puede ser usado en las tareas de diagnóstico patrimonial.

La Investigación resuelve una tarea concreta del Proyecto Sectorial de MICONs PS126LH03-006 Integración Geomática-BIM para la gestión de proyectos y el control de obras, como parte de la estrategia Universidad-Empresa para la implementación de la metodología BIM en el sector empresarial Holguinero.

REFERENCIAS

- Acosta González, L.E., Reyes Ramírez, A., Aguilar Leyva, E.E. (2024) Metodología para el Modelado de edificaciones a partir de nubes de puntos con el Software Autodesk Revit. Informe Resultado Etapa II Proyecto PS126LH03-006 “Integración Geomática-BIM para el Perfeccionamiento de Gestión de Proyectos y el Control de obras”.
- Benavides López, J. A., Martín Civantos, J. M., & Rouco Collazo, J. (2020). Levantamiento arquitectónico y análisis arqueológico del castillo de píñar como punto de partida para su conservación. *Virtual Archaeology Review*. <https://doi.org/https://doi.org/10.4995/var.2020.12397>
- Hernández Peña, L., & González Abreut, D. (2019). Implementación de la tecnología escáner láser terrestre para la conservación del patrimonio construido. IV Convención Internacional de Agrimensura.
- Hernández Peña, L. (2023). Modelación 3d de obras patrimoniales a partir de tecnología laser. *Revista Cubana de Geomática*. <https://doi.org/geomatica.geocuba.cu>
- Martínez Terrero, D. A. (2021). Modelo 3D de objetos constructivos mediante el empleo de la tecnología VANT caso de estudio: el Angelote. Universidad de Holguín.
- Mulet Naranjo, J.A., Reyes Ramírez, A. Aguilar Leyva, E.E., (2025) Modelación geométrica de edificaciones patrimoniales con empleo de topografía de alta definición. 12 Conferencia Científica Internacional de la Universidad de Holguín, Guardalavaca 2025.
- Ríos-Hernández, R. (2021). Uso de los drones o vehículos aéreos no tripulados en la agricultura de precisión. <https://ppl-ai-file-upload.s3.amazonaws.com/web/direct-files/attachments/71405832/a33465a7-1f0e-4325-8ae0-61f581040af6/387DF22B-477F-4349-8090-BC836F1046C3.pdf>
- Ruiz, R., Lordsleem, J. A., & Rocha, J. (2021). Inspección de fachadas con Vehículos Aéreos no Tripulados (VANT): estudio exploratorio. <https://doi.org/https://doi.org/10.21041/ra.v11i1.517>
- Tsiachta, A., Argyrou, P., Tsougas, L., Kladou, M., Ravanidis, P., Kaimaris, D., & Patias, P. (2024). Multi-Sensor Image and Range-Based Techniques for the Geometric Documentation and the

Photorealistic 3D Modeling of Complex Architectural Monuments. *Sensors.*

<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/s24092671>

Valdez Anguiano, J. (2023). Aplicación de la fotogrametría aérea para la elaboración de modelos 3d de edificios patrimoniales del estado de aguascalientes. Universidad Autónoma de Aguascalientes.