

Modelado 3D de la Capilla de la Universidad La Salle Pachuca: Aplicación de Fotogrametría Aérea

Martínez Ramírez Williams de Jesús

Escuela de Ingeniería

Universidad La Salle Pachuca Pachuca, Hidalgo, México

williams.martinez@lasallep.mx

Ordaz Oliver Mario Oscar

Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica

Tecnológico Nacional de México Campus Pachuca

Pachuca, México

mario.oo@pachuca.tecnm.mx

Resumen— En el presente proyecto se lleva a cabo la reconstrucción tridimensional de la capilla situada en la Universidad La Salle Pachuca, Campus La Concepción. Esta reconstrucción se logra mediante la combinación de diversas herramientas, incluyendo un vehículo aéreo no tripulado, diseñado y construido específicamente para capturar fotografías de alta calidad. Además, se emplean técnicas de fotogrametría utilizando el software 3DF Zephyr, lo que resulta en una fotogrametría aérea precisa y detallada. Este análisis proporciona una visualización detallada de la estructura arquitectónica de la capilla mencionada, permitiendo así una mejor comprensión de su diseño y características.

Palabras clave— Barrido, bidimensional, cámara, fotografía, reconstrucción, vehículo aéreo no tripulado.

I. INTRODUCCIÓN

La fotogrametría es una técnica de procesamiento de imágenes que, en la actualidad, se realiza mediante algoritmos avanzados de trigonometría, geometría y álgebra lineal, con el fin de obtener información precisa sobre la forma y las dimensiones de objetos físicos y su entorno a partir de fotografías bidimensionales [1]. Para comprender mejor el término fotogrametría, este se refiere a la obtención de imágenes bidimensionales capturadas desde diferentes ángulos y perspectivas. La fotogrametría utiliza algoritmos y técnicas matemáticas avanzadas para analizar estas imágenes y calcular la posición tridimensional de cada punto visible en las fotografías. Estos algoritmos son capaces de superponer o traslapar las imágenes capturadas, identificando puntos comunes entre ellas, lo que permite la reconstrucción de modelos tridimensionales. Por lo tanto, el objetivo del presente proyecto es desarrollar y construir un vehículo aéreo no tripulado para realizar levantamientos topográficos y análisis de terrenos y edificaciones, utilizando técnicas modernas de fotogrametría que permitan la elaboración de modelos 3D a partir de los cuales se puedan obtener mediciones, como áreas y volúmenes.

En las últimas décadas la fotogrametría se utiliza como herramienta indispensable en áreas como:

Ingeniería civil y arquitectura: La fotogrametría se utiliza para documentar y analizar estructuras arquitectónicas, proporcionando modelos precisos y eficientes para la documentación, el diseño y la planificación de proyectos [2, 3].

Arqueología: La fotogrametría está surgiendo como una técnica sólida para la generación de modelos 3D y representa una solución conveniente y de bajo costo para la adquisición rápida de datos en antropología virtual [4]. Las imágenes aéreas o terrestres se procesan para crear modelos

tridimensionales de artefactos, estructuras y sitios arqueológicos que ayudan en la investigación, preservación, registro y documentación de excavaciones [5].

Industria del Entretenimiento: En la producción cinematográfica y de videojuegos, la fotogrametría se usa para crear escenarios y personajes realistas. Se capturan imágenes de alta resolución para convertirlas en modelos tridimensionales que se integran en entornos virtuales [6].

Ingeniería y Monitoreo de Infraestructuras: La fotogrametría se utiliza para el monitoreo de infraestructuras como puentes y carreteras. Las imágenes capturadas permiten detectar deformaciones o cambios en la estructura.

La fotogrametría, en todas sus aplicaciones, implica una serie de pasos fundamentales que incluyen la correspondencia de puntos, la triangulación, el ajuste de bundle, la creación de mallas y la texturización, así como el filtrado y la optimización. Estos procesos se basan en el uso de algoritmos avanzados de geometría, trigonometría, álgebra lineal y optimización, los cuales permiten obtener reconstrucciones tridimensionales precisas y detalladas.

Por ejemplo, en la triangulación que se calcula la posición tridimensional de puntos en el espacio a partir de múltiples imágenes, se puede realizar utilizando las siguientes expresiones:

$$s_1 \mathbf{P}_1 = \mathbf{M}_1 \mathbf{X}$$

$$s_2 \mathbf{P}_2 = \mathbf{M}_2 \mathbf{X}$$

Donde: \mathbf{P} es la coordenada tridimensional del punto en el espacio, \mathbf{M}_1 y \mathbf{M}_2 son las matrices de proyección de la cámara para la primera y la segunda imagen, respectivamente y tanto s_1 , como s_2 son las coordenadas homogéneas de \mathbf{P} en los sistemas de coordenadas de las cámaras.

Estas ecuaciones pueden combinarse y ser resueltas para \mathbf{X} , que es la posición tridimensional del punto, en la forma:

$$(\mathbf{M}_1 - s_1 \mathbf{P}_1) \mathbf{X} = 0$$

$$(\mathbf{M}_2 - s_2 \mathbf{P}_2) \mathbf{X} = 0$$

Dicha solución se puede encontrar utilizando métodos de algebra lineal como SVD (Singular Value Decomposition) o el teorema de Cayley-Hamilton [7].

En el ajuste de bundle se utilizan técnicas de optimización utilizada para mejorar simultáneamente las estimaciones de la posición de la cámara y la posición tridimensional de los puntos clave. La función objetivo a minimizar en el ajuste de

bundle es la suma de los cuadrados de las diferencias entre las proyecciones observadas y las proyecciones reproducidas de los puntos en todas las imágenes. Matemáticamente la función objetivo se define como:

$$\min_{\mathbf{X}, \mathbf{P}} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \|\mathbf{x}_{ij} - \mathbf{P}_i \mathbf{X}_j\|_2^2$$

Donde:

- N es el número de imágenes.
- M es el número de puntos clave.
- \mathbf{X}_j es la posición tridimensional del punto j .
- \mathbf{P}_i es la matriz de proyección de la cámara i .
- x_{ij} es la proyección observada del punto j en la imagen i .

Algunos otros algoritmos como el filtro de Kalman pueden ser utilizados en el filtrado y optimización para la estimación de variables ocultas, las cuales están basadas en mediciones inexactas e inciertas, asociadas con el ruido en las imágenes.

Los algoritmos mencionados anteriormente junto con otros, en complemento con técnicas de inteligencia artificial son programados por desarrolladores de software de fotogrametría, dicho software permite el procesamiento y reconstrucción tridimensional de escenarios, objetos y cuerpos capturados en fotografías bidimensionales, obteniendo características precisas asociadas con distancias, dimensiones y formas.

Sin duda, las demandas actuales y los avances en investigación y tecnología han impulsado el desarrollo de diversas técnicas y herramientas para la reconstrucción tridimensional, tales como el escaneo láser 3D (LiDAR), la tomografía computarizada (CT) y la resonancia magnética (MRI), el escaneo con luz estructurada, los escáneres de mano, las cámaras de profundidad, la reconstrucción volumétrica mediante ultrasonido y la reconstrucción asistida por inteligencia artificial (IA). Estas técnicas no solo se aplican en estudios especializados, sino que también presentan limitaciones que restringen su alcance en función de las características de cada método.

II. METODOLOGÍA

En esta sección se describe, en términos generales, el proceso de diseño y construcción del vehículo aéreo no tripulado tipo cuadricóptero utilizado para la captura y recolección de fotografías de alta resolución, específicamente diseñado para transportar una cámara de acción compacta y portátil (capaz de grabar y fotografiar en condiciones extremas al aire libre). Este cuadricóptero debe ser ligero, con capacidad para transportar una cámara fotográfica de 153 gramos, y tener una autonomía de vuelo de entre 15 y 20 minutos. A partir de estas características, se realizaron los cálculos y la selección de los componentes, tales como el marco, los motores sin escobillas, las hélices y la batería. La selección de estos componentes se basó en la relación peso-potencia, lo que afecta directamente la elección del marco, los motores, las hélices y la cámara. Como resultado, los componentes seleccionados se detallan a continuación [8, 9]:

1. Chasis F450 genérico, común en el mercado de fácil acceso y precio accesible.

2. Hélices T-Motor de polímero 1045, es decir, 10 pulgadas de extremo a extremo y 45° de ángulo de paso, lo que permite una mayor propulsión y empuje a una menor aceleración.
3. Motores sin escobillas T-Motor AirGear350, con diámetros 22-12 de 880 Kv.
4. Controladores electrónicos de velocidad ESC (Electronic Speed Controller) de 20A tipo opto-aislado, es decir, sin circuito eliminador de batería, cuya función principal es evitar el sobre calentamiento en casos de carga máxima.
5. Central emisora RadioMaster Zorro de 2.4 GHz con 16 canales, con interfaz OpenTx, con un alcance aproximado de 1000 metros, con receptor de telemetría ELRS modelo EP1 y EP2 a 2.4 GHz.
6. Batería LiPo (Litio polimérico) de 14.8 V, 4 celdas, 1550 mAh.
7. Radiolink-Control de vuelo Mini PIX amortiguación de vibración mecánico y por Software.
8. TS100 GPS, para obtener las coordenadas de posición en tareas de seguimiento de trayectorias y en modos de vuelo, incluyendo modos a prueba de fallo.
9. Cámara digital modelo GoPro Hero 10 Black, video en 5.3K, fotografías de hasta 23MP, Cámara lenta 8X a 2.7K.
10. Módulo de telemetría, 3DR Radio de 915 MHz, compatible con Pixhawk, el cual permite la transmisión de datos de aire a tierra.
11. Soportes para dron Impresos en 3D en material PLA.

El proceso de ensamblaje del cuadricóptero comienza con la instalación de los componentes electrónicos, como la placa de alimentación, la cual se coloca en la parte inferior de la estructura del dron, permitiendo la alimentación de elementos como el controlador de vuelo y los controladores electrónicos de velocidad (conocidos como ESC, por sus siglas en inglés). Después de soldar y ensamblar estos elementos, se procede a finalizar el ensamble del marco del dron, uniendo los brazos a la placa superior del dispositivo, lo que proporciona estabilidad y soporte estructural a la aeronave. La combinación de estos componentes da forma y robustez al marco del dron, creando la plataforma básica sobre la cual se montan y conectan los demás elementos.

Es importante señalar que se utiliza un controlador de vuelo MiniPix con FMU V2 de la marca Radiolink, el cual se monta sobre la placa base del marco con un soporte amortiguado. Posteriormente, se instalan los motores sin escobillas de 880kv, seleccionados específicamente por su compatibilidad con el modelo genérico del marco F450. Estos motores juegan un papel fundamental en la propulsión y el manejo del cuadricóptero, conectándose de manera precisa a los ESC Hobbywing Xrotor de 20A, lo que permite un control preciso del vuelo. La conexión se realiza cuidadosamente a través de la placa inferior del marco, asegurando una alimentación efectiva y confiable para los motores.

Además, se monta y suelda un módulo regulador de voltaje UBEC de 5A de la marca Hobbywing. El UBEC, junto con los ESC, se conecta al controlador de vuelo MiniPix para establecer una comunicación adecuada entre este y los motores, garantizando un suministro de voltaje constante de

5 volts, con la modulación por ancho de pulso necesaria. Esto asegura un vuelo estable y seguro, manteniendo la tensión constante para el funcionamiento óptimo de todos los componentes del sistema.

Tras la integración de todos los elementos, que incluye componentes físicos, electrónicos, sensores y actuadores, se instala el sistema de posicionamiento global (GPS). A continuación, se monta y conecta el receptor, el cual se configura y vincula con la emisora central. Para la configuración y calibración, se utiliza el software Mission Planner, que permite modificar los parámetros y propiedades necesarias para el vuelo y operación del dron, así como programar el firmware en el controlador de vuelo. Finalmente, se lleva a cabo la calibración precisa del GPS, la programación y calibración de los ESC, y el ajuste detallado de los canales de la emisora, garantizando la programación exacta de sus valores máximos y mínimos.

La construcción del prototipo de vehículo aéreo no tripulado tipo cuadricóptero se completó con éxito, logrando un vuelo con el MiniPix programado con firmware original y habilitando modos de vuelo como altura constante, seguimiento de trayectorias mediante waypoints y modo estabilizado, entre otros.

En la Figura (1) se muestra el resultado final de la construcción de la aeronave utilizada en el presente proyecto de investigación.



Fig. 1. Vehículo aéreo no tripulado tipo cuadricóptero.

A continuación, se presentan algunas fotografías capturadas con la aeronave, probando los modos de vuelo configurados mediante el software Mission Planner y el firmware original actualizado.

En la Figura (2) se muestra una fotografía panorámica de la Universidad La Salle Pachuca, Campus La Concepción, capturada a una altura de 60 metros en el modo de vuelo de altura constante. La altura mencionada se obtuvo mediante el módulo de telemetría incorporado en la aeronave.



Fig. 2. Fotografía del Campus La Concepción, Universidad La Salle Pachuca

Cabe resaltar que una mayor resolución y mejor iluminación en las fotografías permiten obtener mejores resultados al procesar las imágenes mediante el software de fotogrametría.

Como se mencionó anteriormente, para el presente proyecto se implementa la fotogrametría aérea mediante un vehículo aéreo no tripulado (VANT) de tipo cuadricóptero, construido en las instalaciones de la Universidad La Salle Pachuca. Esta técnica ha ganado gran popularidad debido a los beneficios que ofrecen estos dispositivos en términos de accesibilidad, tiempo en campo, eficiencia y costo. En el contexto de este proyecto, el vehículo aéreo no tripulado permite la captura de imágenes aéreas de alta resolución de la capilla ubicada en la Universidad La Salle Pachuca desde diversos ángulos y altitudes. Una de las ventajas más significativas de estos dispositivos es su capacidad para cubrir grandes áreas en poco tiempo, lo cual es particularmente útil para este tipo de investigaciones.

El vehículo aéreo no tripulado tipo cuadricóptero está equipado con una cámara GoPro Hero 10 Black, que incorpora un procesador GP2, permitiendo una interfaz y tiempos de respuesta más rápidos. Además, cuenta con una resolución de video de 5.3K a 60 fps y 4K a 120 fps, lo que facilita la obtención de videos en cámara lenta con un alto nivel de detalle. También ofrece fotografías de hasta 23 MP, garantizando una excelente calidad y detalle en las imágenes capturadas.

El cuadricóptero dispone de la tecnología de estabilización HyperSmooth 4.0, que integra avanzados sistemas de estabilización de imagen de GoPro. Esta característica permite realizar capturas más fluidas y sin vibraciones, incluso en situaciones de movimiento rápido o sobre superficies irregulares, lo que minimiza perturbaciones en las imágenes durante el vuelo, especialmente en condiciones de ráfagas de viento fuertes. Estas características hacen de la GoPro Hero 10 Black una cámara versátil y potente, adecuada tanto para aventuras extremas como para aplicaciones cotidianas, proporcionando una gran flexibilidad en la captura de imágenes y videos de alta calidad.

La primera etapa de la metodología consiste en la selección y delimitación del área de estudio, que en este caso es la capilla de la Universidad La Salle Pachuca. Se realiza un reconocimiento previo del sitio para identificar

características arquitectónicas, elementos de interés y posibles obstáculos en el entorno que podrían afectar la operación del vehículo aéreo no tripulado. Posteriormente se elabora un plan de vuelo que incluye la definición de los puntos de lanzamiento, las altitudes de vuelo, los ángulos de captura y el patrón de vuelo. Este plan es fundamental para asegurar una cobertura completa del área y para obtener imágenes que se solapen adecuadamente, lo cual es crucial para el posterior procesamiento fotogramétrico. Antes de la captura de imágenes, se configura el vehículo aéreo no tripulado tipo cuadricóptero y se calibran todos los sistemas. Esto incluye la calibración de la cámara, la configuración de los parámetros de vuelo (como la velocidad y la altitud) y la comprobación de las condiciones meteorológicas. La calibración es esencial para garantizar que las imágenes obtenidas sean de la más alta calidad.

A continuación, se lleva a cabo la captura de imágenes de acuerdo con el plan de vuelo establecido. Durante esta fase, se monitorea constantemente el rendimiento del vehículo aéreo no tripulado y la cámara. La recolección de datos se realiza en diferentes condiciones de luz y en varias horas del día para evaluar cómo estas condiciones afectan la calidad de las imágenes.

Ejemplo de estas fotografías asociadas con la capilla de la universidad La Salle Pachuca, se presenta la Figura (3), en la cual se aprecia la parte posterior de la capilla, desde una altura aproximada de 10m.

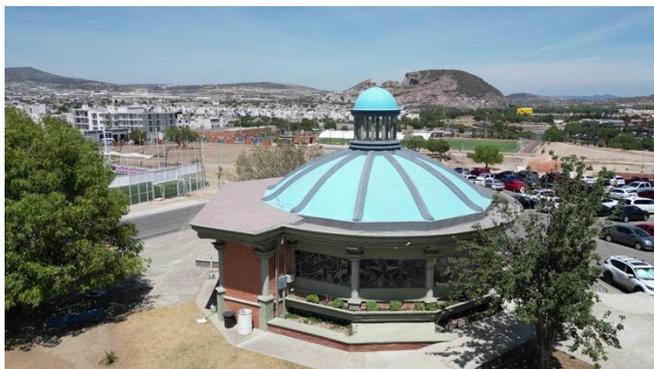


Fig. 3. Capilla de la Universidad La Salle Pachuca Campus la Concepción.

Una vez completada la fase de captura, se procede al procesamiento de las imágenes utilizando el software 3DF Zephyr. Este proceso implica la alineación de las fotografías, la generación de un modelo tridimensional y la creación de ortofotos. Se utilizan técnicas de fotogrametría que permiten la extracción de datos precisos sobre la geometría de la capilla. Después de obtener el modelo tridimensional, se realiza un análisis profundo para evaluar su precisión y calidad. Se comparan los datos obtenidos con referencias conocidas y se utilizan métricas de validación, como la comparación de distancias y áreas. Este análisis permite verificar la fiabilidad del modelo y su utilidad para futuros estudios.

Finalmente, se documentan todos los resultados obtenidos, incluyendo las imágenes, el modelo tridimensional, y cualquier observación relevante. Esta documentación se

presenta en forma de informes y se comparte con la comunidad académica y el público en general a través de conferencias, publicaciones y exposiciones. La difusión de los resultados es esencial para contribuir al conocimiento sobre la capilla y sobre las técnicas de fotogrametría.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección se presentan los resultados obtenidos a partir de la fotogrametría de la capilla de la Universidad La Salle Pachuca, Campus La Concepción. Se incluye una serie de visualizaciones tridimensionales que ilustran la estructura arquitectónica en detalle, capturadas desde múltiples ángulos. Cada imagen muestra diferentes aspectos del edificio, destacando elementos clave como la fachada, el tejado, y los detalles ornamentales. Además, se proporciona información sobre las técnicas empleadas para la captura de datos y el procesamiento de las imágenes, incluyendo el uso del vehículo aéreo no tripulado y el software 3DF Zephyr. Se analizan también las implicaciones de estos resultados para la documentación y estudio de la capilla, así como su relevancia en la preservación del patrimonio arquitectónico. A través de esta sección, se busca ofrecer una visión integral de la efectividad de la fotogrametría en la representación precisa de estructuras históricas.

Para la fotogrametría evidenciada en el presente documento, se realizó una serie de vuelos con diferentes barridos hacia la arquitectura de la capilla por ejemplo un barrido circular a altura constante y zigzag vertical. En donde este último mencionado es descartado por el bajo desempeño en la reconstrucción tridimensional. En el barrido circular se capturaron 906 fotografías con dimensiones de 3840 x 2160 pixeles cada fotografía, con resolución horizontal y vertical de 96 ppp con 24 bits de profundidad, en un vuelo manual con duración de 3.10 minutos.

Para el procesamiento y reconstrucción tridimensional de la capilla se utiliza el software de fotogrametría 3DF Zephyr, que es un software que permite la creación automática de modelos 3D a partir de fotografías, compatible con múltiples formatos de entrada y salida como OBJ, FBX, PLY y STL. Utiliza algoritmos avanzados para reconstrucciones precisas y detalladas, y puede manejar desde pequeñas hasta grandes colecciones de fotos. Ofrece una interfaz intuitiva con herramientas de edición y limpieza de mallas, así como texturización y coloreado. Incluye funciones de marcado y medición, es compatible con imágenes de drones y permite exportar ortomosaicos y modelos digitales de elevación. Soporta nubes de puntos y la integración de datos GPS para georreferenciación, además de ofrecer herramientas de visualización avanzada. Para el estudio presentado aquí, 3DF Zephyr es instalado y ejecutado en una computadora portátil con las siguientes prestaciones: Procesador Intel i5 de 11va generación a 2.7GHz, 32GB de memoria RAM instalada, Windows 11 de 64bits y tarjeta gráfica GeForce RTX™ 3050 GAMING X 8G NVIDIA a 1845 MHz, con capacidad de memoria de adaptador gráfico a 8 GB GDDR6, bus de memoria: 128 Bit, máxima resolución: 7680 x 4320 Pixeles. Versión DirectX: 12.0, Versión OpenGL: 4.6. Tipo de interfaz: PCI Express x8 4.0, Tipo de enfriamiento activo de 2 Ventiladores.

Como se puede observar la fotogrametría arquitectónica mediante vehículos aéreos no tripulados, proporciona herramientas de suma importancia en la documentación, estudio y conservación de la cultura e historia que representa Universidad La Salle Pachuca. El modelo tridimensional obtenido en el presente proyecto puede ser utilizado con fines de estudio educativos, así como para la ejecución de proyectos de restauración proporcionando datos como dimensiones y estado actual de la capilla. Dicho proyecto brinda una herramienta valiosa para la investigación de la arquitectura de la capilla puesto que proporciona registros de este tipo de datos que puede ser utilizado para distintos propósitos.

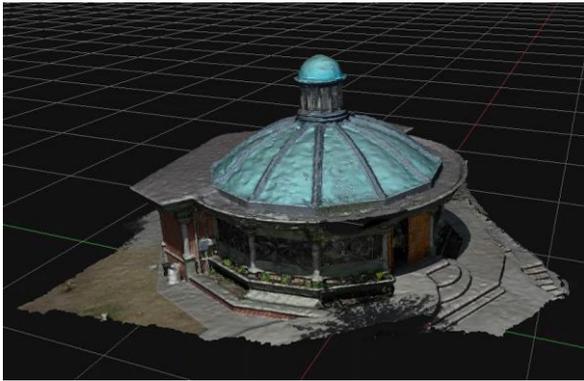


Fig. 4. Fotogrametría de la Capilla de las Universidad La Salle Pachuca Campus la Concepción.

La Figura (4) muestra una representación tridimensional de la capilla ubicada en la Universidad La Salle Pachuca, Campus La Concepción, generada a través de técnicas de fotogrametría. En la visualización, se puede observar la fachada principal de la capilla, que incluye detalles arquitectónicos como las ventanas, puertas y elementos decorativos. La imagen destaca la geometría y proporciones del edificio, así como su entorno inmediato, permitiendo una evaluación precisa de su estado actual. Los colores y texturas se han replicado fielmente, ofreciendo una vista clara y detallada que resalta las características estructurales del inmueble.

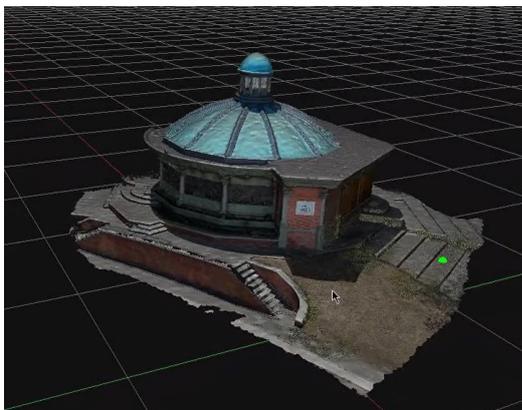


Fig. 5. Modelo de Capilla Universitaria reconstruido por fotogrametría, desde otro ángulo.

La Figura (5) presenta una representación tridimensional de la capilla de la Universidad La Salle Pachuca, Campus La Concepción, capturada desde un ángulo lateral. En esta

visualización, se aprecian las características arquitectónicas del edificio, incluyendo el perfil del tejado, las ornamentos de la fachada y los detalles de las ventanas laterales. La imagen también muestra la interacción de la capilla con su entorno, evidenciando elementos como el paisaje circundante y la proximidad a otras estructuras. Los efectos de luz y sombra han sido cuidadosamente representados, lo que realza la profundidad y tridimensionalidad del modelo. Esta vista lateral proporciona una comprensión más completa de la forma y el diseño del edificio.

La Figura (6) presenta el modelo tridimensional de la capilla de la Universidad La Salle Pachuca, exportado en formato OBJ para su impresión 3D. Este modelo captura de manera precisa los detalles arquitectónicos y las dimensiones de la capilla, permitiendo un análisis profundo de su estructura. La exportación en formato OBJ asegura que se conserven tanto la geometría como las texturas, facilitando su uso en software de modelado y en impresoras 3D. Este modelo no solo sirve como una representación visual, sino que también es una herramienta valiosa para estudios de conservación y rehabilitación arquitectónica. La calidad y la precisión del modelo 3D permiten realizar simulaciones y evaluaciones que pueden contribuir a la comprensión del patrimonio cultural y su preservación en el tiempo.

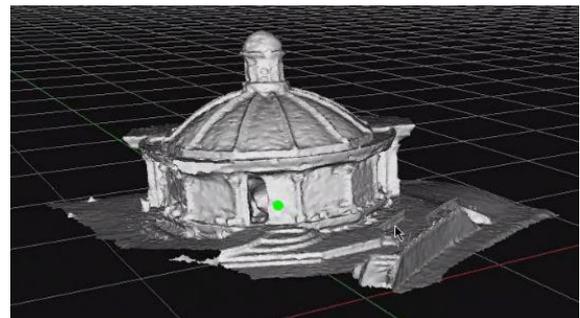


Fig. 6. Fotogrametría exportada a extensión OBJ para impresión 3D.

Los resultados de la fotogrametría de la capilla de la Universidad La Salle Pachuca tienen múltiples implicaciones significativas en el ámbito de la arquitectura, la conservación del patrimonio y la educación. En primer lugar, la creación de un modelo tridimensional detallado permite una mejor comprensión de la estructura y diseño del edificio, lo que puede servir como base para estudios arquitectónicos más profundos y para la enseñanza de principios de diseño y construcción. Además, la documentación precisa del estado actual de la capilla facilita la identificación de áreas que pueden requerir mantenimiento o restauración, contribuyendo a la preservación del patrimonio cultural. Esta capacidad para monitorear cambios en la estructura a lo largo del tiempo es crucial para garantizar su conservación.

La posibilidad de realizar simulaciones y visualizaciones bajo diferentes condiciones también tiene aplicaciones en el análisis del comportamiento estructural ante factores como el clima o el desgaste. Asimismo, los modelos tridimensionales generados pueden ser utilizados en plataformas de divulgación científica, permitiendo compartir información

con estudiantes, investigadores y el público en general, lo que promueve el interés en la historia y la arquitectura local.

Finalmente, la fotogrametría ofrece un enfoque innovador para la creación de proyectos de restauración, al permitir a los arquitectos y conservacionistas trabajar con una representación visual precisa y detallada de la capilla, asegurando que cualquier intervención respete la integridad histórica y arquitectónica del edificio.

IV. CONCLUSIÓN

La aplicación de la fotogrametría a la Capilla de la Universidad La Salle Pachuca abre un abanico de oportunidades valiosas para la preservación y estudio de esta estructura arquitectónica. En primer lugar, la creación de un modelo tridimensional detallado no solo documenta el estado actual del edificio, sino que también proporciona una herramienta visual eficaz para el análisis de sus características arquitectónicas. Esta tecnología facilita la reconstrucción virtual de la capilla en su estado original, permitiendo una apreciación más profunda de su diseño histórico y artístico.

Además, la generación de planos y secciones precisas a partir de los datos fotogramétricos proporciona una base sólida para estudios más profundos en áreas como la restauración y conservación del patrimonio. La capacidad de realizar simulaciones y visualizaciones bajo diversas condiciones ambientales y temporales enriquece la comprensión del comportamiento del edificio frente a factores externos, lo que es crucial para su preservación.

La fotogrametría también se erige como un puente para compartir información y modelos tridimensionales con estudiantes, investigadores y el público en general, fomentando la colaboración interdisciplinaria y el intercambio de conocimientos en el campo de la arquitectura y la historia. Finalmente, la posibilidad de crear modelos a

escala como recuerdos no solo contribuye a la difusión del conocimiento sobre la capilla, sino que también juega un papel importante en la preservación de su memoria histórica y cultural. En conjunto, estas aplicaciones subrayan el valor de la fotogrametría como una herramienta integral en la documentación y conservación del patrimonio arquitectónico.

REFERENCIAS

- [1] Lucet, G. (2017). Fotogrametría y patrimonio. Publicaciones Digitales. Consultado el 28 de septiembre de 2024, de <http://www.ebooks.esteticas.unam.mx/items/show/52>
- [2] Alonso Rodríguez, M. Á., & Calvo López, J. (2010). Sobre el levantamiento arquitectónico mediante fotogrametría multiimagen. En XIII Congreso Internacional de Expresión Gráfica Arquitectónica (pp. 35-40). Universidad Politécnica de Valencia.
- [3] Tsoraeva, E. N., Gadzhiev, R. K., Kuchiev, S. E., Pekh, A. A., & Mezhyan, S. A. (2021, febrero). Application of photogrammetric methods in architecture, construction and land management. En IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 1083, No. 1, p. 012052). IOP Publishing.
- [4] Magnani, M., Douglass, M., Schroder, W., Reeves, J., & Braun, D. R. (2020). The digital revolution to come: Photogrammetry in archaeological practice. *American Antiquity*, 85(4), 737-760.
- [5] Mouget, A., & Lucet, G. (2014). Photogrammetric archaeological survey with UAV. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2, 251-258.
- [6] Global - Mediterránea&Geomática. (2023, 10 julio). *Fotogrametría y realismo en videojuegos*. Global - Mediterránea&Geomática. <https://www.globalmediterranea.es/fotogrametria-y-realismo-en-videojuegos/>
- [7] Ren, L., Cheung, C. F., Wang, L., Yang, J., Cao, Y., Li, D., & Cao, Y. (2023). Factorial-design-based Uncertainty Analysis for Stereo-vision Photogrammetry. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*.
- [8] de Jesús, M. R. W., Fabian, M. H. J., Oscar, O. O. M., Vladimir, C. L. J., Patricio, O. O. J., & Federico, G. R. Cuadróptero para Fotogrametría Topográfica de Superficies: Construcción y Validación de la Plataforma.
- [9] Ordaz Oliver, M. O. (2022). Control Óptimo de un vehículo aéreo autónomo con aplicaciones en agricultura.