

Fotogrametría digital terrestre para la documentación patrimonial: el caso del museo de ciencias naturales

Terrestrial digital photogrammetry for heritage documentation: the case of the museum of natural sciences

Gabriel Antonio Gea¹

Artículos científicos

Citar: Gea, G. A. (2026)
Fotogrametría digital terrestre para la documentación patrimonial: el caso del museo de ciencias naturales. Teks del Sud, 7, pp. 57-72

Resumen

La documentación técnica de precisión en edificios de valor patrimonial es crítica ante procesos de deterioro avanzados. El presente artículo evalúa la eficacia de la fotogrametría digital terrestre como herramienta no invasiva de relevamiento en el Pabellón Centenario del Museo de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Salta. Mediante el uso de una cámara Nikon D5500 y el software Agisoft Metashape Professional, se analizaron dos escenarios operativos con idéntico equipamiento base (sensor APS-C de 24,2 MP): el Escenario A, con condiciones óptimas de retroceso en la fachada oeste (24 mm, 84 imágenes, GSD de captura 1,12 mm/pix), y el Escenario B, con restricciones físicas por vegetación y oclusiones en la fachada sur (35 mm, 290 imágenes, GSD de captura 1,11 mm/pix). Ambos escenarios lograron un GSD de captura prácticamente idéntico, mientras que el ortomosaico del Escenario B resultó 1,7 veces más resuelto (2,23 vs. 3,77 mm/pix) y su nube de puntos fue 1,7 veces más densa. Se validó la precisión métrica mediante distanciómetro láser y testigos impresos, obteniéndose errores en medidas de distancia inferiores al 0,65 % en ambos casos. Los resultados demuestran que la fotogrametría terrestre genera nubes de puntos densas y ortofotografías de alta resolución aptas para el diagnóstico de patologías constructivas, aunque la presencia de obstáculos subraya la necesidad de integrar metodologías híbridas con sistemas aéreos para una documentación patrimonial integral.

Palabras clave: patrimonio arquitectónico, fotogrametría terrestre, relevamiento 3d, documentación no invasiva

¹ Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Salta.
Email: gabrielgea@gmail.com

Abstract

Precision technical documentation of heritage buildings is critical in the face of advanced deterioration processes. This article evaluates the effectiveness of terrestrial digital photogrammetry as a non-invasive survey tool applied to the Pabellón Centenario of the Museo de Ciencias Naturales at the Universidad Nacional de Salta (Argentina). Using a Nikon D5500 camera and Agisoft Metashape Professional software, two operational scenarios were analysed with the same sensor base (24.2 MP APS-C): Scenario A, with optimal stand-off conditions on the west façade (24 mm lens, 84 images, capture GSD 1.12 mm/pix), and Scenario B, with physical restrictions due to vegetation and occlusions on the south façade (35 mm lens, 290 images, capture GSD 1.11 mm/pix). Both scenarios achieved a virtually identical capture GSD, while Scenario B produced an orthomosaic 1.7 times more resolved (2.23 vs. 3.77 mm/pix) and a 1.7 times denser point cloud, at a computational cost 5.3 times higher in processing time. Metric precision was validated using a laser rangefinder and printed markers, yielding relative errors below 0.65% in all measured distance pairs. Results demonstrate that terrestrial photogrammetry produces dense point clouds and high-resolution orthophotographs suitable for the diagnosis of constructive pathologies. The presence of obstacles nonetheless underscores the need to integrate hybrid methodologies incorporating aerial UAV systems for comprehensive heritage building documentation.

Keywords: Heritage building, terrestrial photogrammetry

Introducción

La preservación del patrimonio arquitectónico enfrenta desafíos crecientes debido a la acción de agentes climáticos, la ausencia de estrategias de prevención y la falta de intervenciones oportunas de mantenimiento. Estos factores aceleran los procesos de deterioro en edificios históricos, evidenciando deficiencias en la planificación y gestión de su conservación a largo plazo (Asociación Española de Normalización, 2018; ICOMOS, 2003). El patrimonio cultural necesita ser preservado para asegurar que su significado sea accesible a futuras generaciones (Karachaliou et al., 2019). En este contexto surge la necesidad de implementar metodologías de diagnóstico precisas y no invasivas como la fotogrametría para garantizar la integridad del edificio y su valor cultural.

La fotogrametría se define como una técnica de medición indirecta que permite reconstruir la geometría tridimensional de objetos o espacios a partir de imágenes bidimensionales, mediante el análisis de correspondencias entre múltiples fotografías tomadas desde diferentes puntos de vista (Westoby et al., 2012). En el ámbito del patrimonio

arquitectónico, su aplicación ha experimentado un crecimiento significativo en las últimas décadas debido al desarrollo de algoritmos de visión computacional y técnicas como *Structure from Motion* (SfM), que permiten generar modelos digitales de alta precisión con costos relativamente bajos (Remondino et al., 2011). A partir de estas herramientas es posible obtener modelos tridimensionales, ortoimágenes y nubes de puntos de elevada precisión métrica, útiles para el análisis geométrico y la documentación integral del estado de conservación de los edificios (Remondino y Campana, 2014). En edificios históricos esta metodología facilita el relevamiento de patologías tales como fisuras, deformaciones y pérdida de material, contribuyendo a tareas de diagnóstico, monitoreo y conservación preventiva (Historic England, 2017). Su carácter no invasivo la convierte en una alternativa particularmente adecuada para el patrimonio construido.

En América Latina diversos estudios han demostrado su aplicabilidad en contextos patrimoniales, destacándose trabajos en México, Perú y Chile que integran fotogrametría con análisis estructurales y conservación digital (Lerma et al., 2010; Santana Quintero et al., 2018). En Argentina investigaciones recientes han aplicado esta técnica en edificios históricos y conjuntos urbanos, evidenciando su potencial para la generación de modelos HBIM (Heritage Building Information Modelling) y para el análisis de patologías constructivas en contextos locales (Fassi et al., 2015; Barazzetti et al., 2016). En el sitio Ingenio Lastenia, ubicado en Cruz Alta (Tucumán), se evaluó la aplicación de la fotogrametría digital como método complementario para el análisis y lectura de paramentos de edificios históricos, destacándose su utilidad para comprender las dinámicas constructivas del conjunto patrimonial (Villar, 2018). Asimismo, en el partido de Magdalena (provincia de Buenos Aires) se desarrolló un relevamiento fotogramétrico mediante la técnica *Structure from Motion–Multi View Stereo* (SfM-MVS), que permitió generar modelos virtuales tridimensionales de estructuras rurales históricas con alto nivel de detalle y precisión, contribuyendo al registro y conservación del patrimonio local (García Lerena y López, 2021). Investigaciones realizadas en la provincia de Buenos Aires aplicaron técnicas SfM-MVS para el relevamiento topográfico de alta resolución y la generación de modelos digitales del terreno, evidenciando la precisión y versatilidad de estas metodologías en estudios territoriales y patrimoniales (Guardo et al., 2021). Bilmes et al. (2019) utilizaron modelos digitales obtenidos mediante fotogrametría SfM para el análisis de afloramientos sedimentarios, demostrando el alcance de estas herramientas para la documentación tridimensional y el estudio detallado de superficies complejas.

La ciudad de Salta cuenta con un gran número de edificios históricos. Por su ubicación es considerada una zona de elevada peligrosidad sísmica. Esta amenaza pone en riesgo los elementos ornamentales de los edificios, por lo que resulta de gran interés el uso de la fotogrametría para resguardar información que permita una fiel reconstrucción en caso de daños (Gea y Gea, 2009).

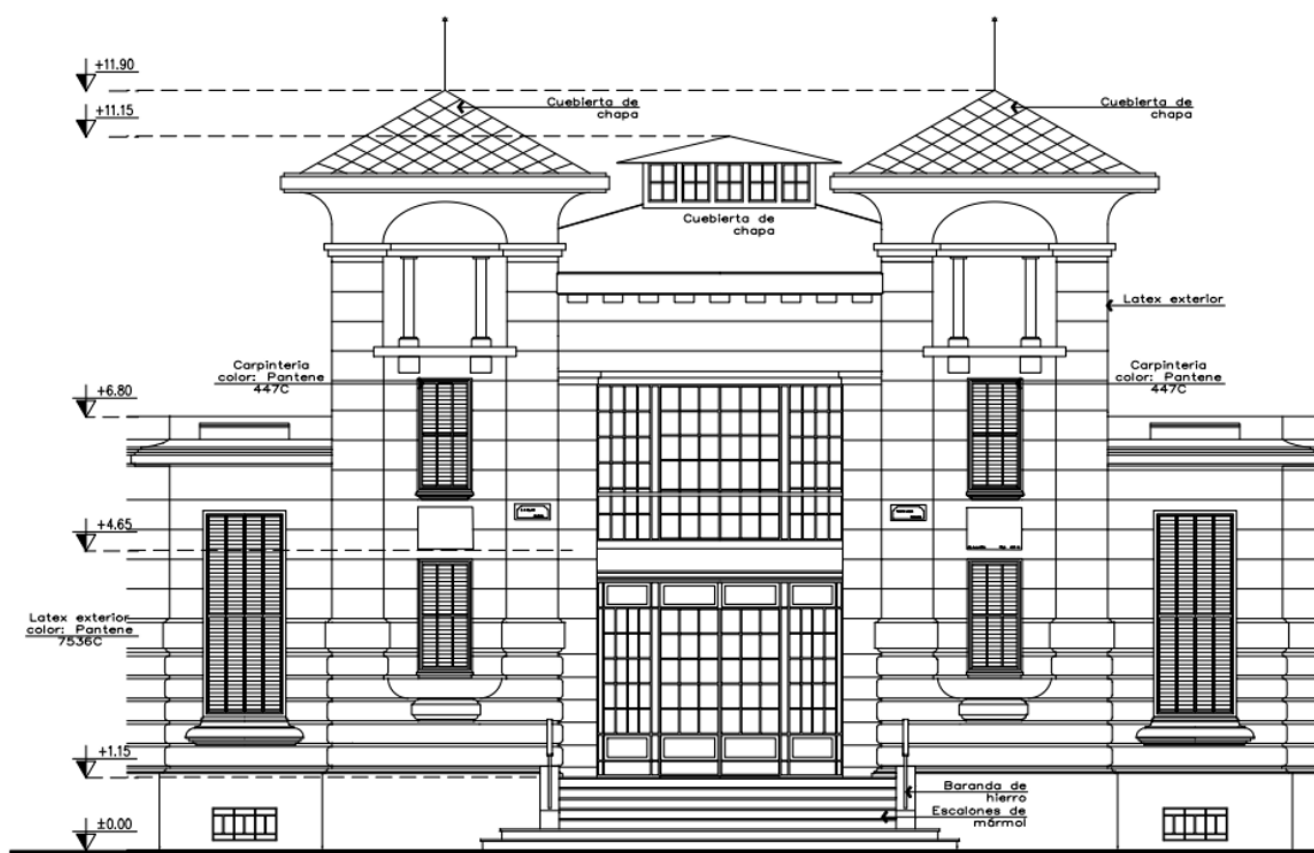
El presente relevamiento se inscribe en el marco de colaboración técnica entre la Cátedra de Sistemas de Representación de la Facultad de Ingeniería y la Dirección General de Obras y Servicios (DGOYS) de la Universidad Nacional de Salta. Esta iniciativa surge con el objetivo de aplicar tecnologías actuales en la documentación y conservación del patrimonio edilicio universitario, proporcionando a la Secretaría de Obras y Servicios una base de datos tridimensional, nubes de puntos de alta precisión y fotografías orto-rectificadas de alta calidad para la planificación de tareas de mantenimiento y puesta en valor del edificio. El proyecto permite, asimismo, articular la actividad docente con las necesidades de gestión de la infraestructura universitaria.

Caso de estudio: Pabellón Centenario

El edificio objeto de estudio es el Pabellón Centenario, actual sede del Museo de Ciencias Naturales “Lic. Miguel Ángel Arra” desde el 1950, obra del arquitecto Francesco Gianotti, proyectado y construido entre 1914 y noviembre de 1915.

En su composición arquitectónica la planta del edificio responde a una organización neoclásica estructurada a partir de ejes de simetría y jerarquización espacial. En

Figura 1.
Fachada sur del
Pabellón Centenario.

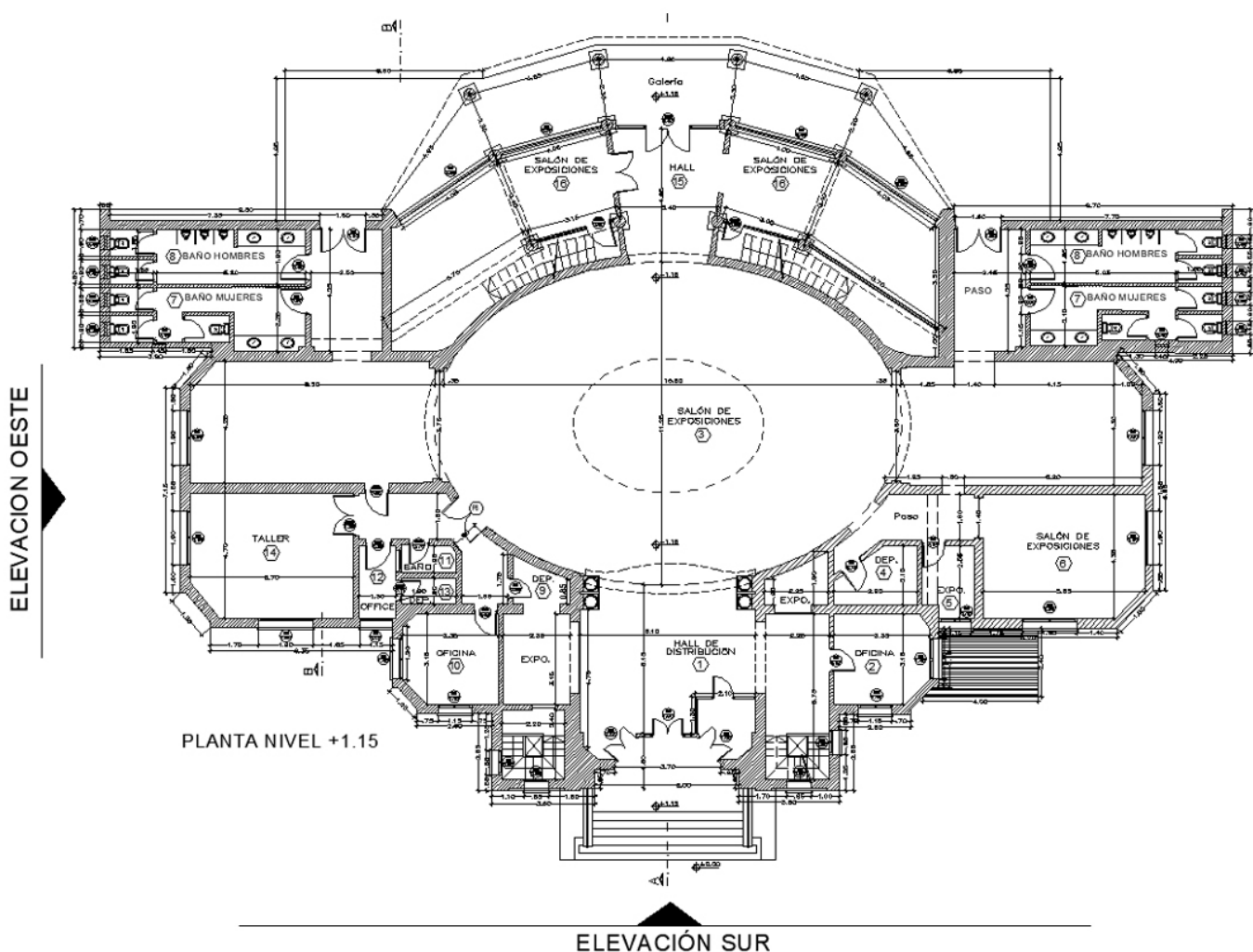


cuanto a la expresión formal exterior, incorpora elementos vinculados al movimiento Liberty (corriente italiana del Art Nouveau) en una versión más simplificada respecto de los modelos europeos.

El edificio fue encargado por las autoridades municipales salteñas en el marco de las celebraciones por el centenario de la Revolución de Mayo. Está emplazado en el Parque San Martín, un espacio urbano de relevancia paisajística y patrimonial, declarado sitio de interés arquitectónico y urbanístico de la Provincia de Salta en 2009. Asimismo, el Pabellón Centenario fue reconocido como Monumento Histórico Nacional en 2022.

Desde el punto de vista funcional y constructivo se desarrolla en tres niveles —subsuelo, planta baja y entrepiso—, alcanzando una superficie aproximada de 3.700 m². A lo largo del tiempo ha experimentado transformaciones vinculadas a su uso

Figura 1.
Planta nivel +1,15 del
Pabellón Centenario,
Museo de Ciencias
Naturales, UNSa.



como museo, lo que, sumado al envejecimiento natural de los materiales y a la exposición a condiciones ambientales variables, ha derivado en la aparición de diversas patologías constructivas.

El Pabellón Centenario presenta procesos de deterioro que requieren una documentación técnica rigurosa y sistemática, capaz de registrar con precisión tanto su geometría como sus patologías. En consecuencia, el objetivo del presente trabajo es evaluar la aplicación de la fotogrametría terrestre como herramienta de relevamiento, analizando su precisión métrica como etapa previa a su integración con técnicas de fotogrametría aérea mediante el uso de vehículos aéreos no tripulados (UAV, por sus siglas en inglés). Esta aproximación metodológica busca optimizar la captura de información, especialmente en sectores de difícil acceso, y contribuir al desarrollo de estrategias más eficientes para la conservación y gestión del patrimonio construido.

Metodología

Parámetros de adquisición de imágenes y control dimensional

Para la captura de datos se utilizó una cámara réflex Nikon D5500 (sensor CMOS APS-C de 24,2 MP) en ambos escenarios, garantizando la comparabilidad del equipamiento base. La captura se realizó en formato JPG de alta resolución, en lugar de RAW, para evaluar la agilidad del flujo de trabajo. Esto resulta especialmente útil en relevamientos que deban realizarse en breves períodos. La configuración de exposición fue: ISO 200, velocidad 1/125 s y apertura variable (f/8–f/11), buscando equilibrio entre profundidad de campo, nitidez y reducción de ruido cromático.

Se utilizaron distancias focales fijas diferenciadas según las condiciones de cada escenario: 24 mm en el Escenario A y 35 mm en el Escenario B. La elección de focales fijas responde a criterios técnicos y operativos:

- **Equivalencia y percepción:** La focal de 35 mm en el sensor APS-C (factor de recorte 1,5×) equivale aproximadamente a 52,5 mm en formato completo (sensores Full Frame), minimizando las distorsiones esferoidales típicas de los *grandes angulares* y asegurando mayor fidelidad geométrica en el registro de patologías constructivas y elementos ornamentales. La distancia focal de 24 mm ($\approx$ 36 mm FF) empleada en el Escenario A se justifica por la mayor distancia de retroceso disponible en esa fachada.
- **Profundidad de campo efectiva:** El factor de recorte del sensor DX permite mayor profundidad de campo efectiva a aperturas equivalentes respecto a un sensor Full Frame. En el Escenario B, con variaciones de profundidad importantes por oclusiones y retranqueos, esto facilitó la detección de puntos homólogos nítidos en toda la escena.

- **Estabilidad en el procesamiento:** Las distancias focales fijas simplifican la autocalibración de la cámara en Agisoft Metashape, reduciendo aberraciones geométricas en los bordes de imagen e incrementando la precisión de la nube de puntos.

Como medida de control de calidad y para asegurar el escalado preciso de los modelos, se utilizó un distanciómetro láser para obtener magnitudes reales de referencia de forma independiente al proceso fotogramétrico. En el Escenario B se emplearon, además, marcadores o dianas (puntos de control impresos) para simplificar la identificación de puntos en áreas con oclusiones severas y mantener la coherencia escalar del modelo.

Se desestimó el uso de dispositivos móviles de alta gama en favor de la Nikon D5500 debido a la necesidad de mantener la integridad geométrica original de las capturas. Los smartphones aplican algoritmos de post-procesamiento invasivos y correcciones automáticas de lente que pueden inducir errores métricos aleatorios, mientras que la combinación de un sensor APS-C con distancia focal fija garantiza una proyección central estable, priorizando la precisión milimétrica en el registro de grietas sobre la inmediatez o portabilidad del dispositivo.

Clasificación de escenarios

Escenario A (Fachada oeste – sin testigos impresos): Sector con frente despejado y mayor distancia de retroceso. Se relevaron 45,5 m² de fachada mediante 84 fotografías capturadas con focal de 24 mm desde una distancia media de 4,87 m. La amplitud del espacio permitió una convergencia angular adecuada de las tomas, obteniendo un GSD (distancia en el terreno representada por cada píxel) de captura de 1,12 mm/pix.

Escenario B (Fachada sur – con testigos impresos): Sector afectado por mayor altura a relevar, vegetación, oclusiones y variaciones de profundidad en el acceso al edificio. Se capturaron 290 fotografías con una distancia focal de 35 mm desde una altitud media (distancia de la cámara al muro) de 6,31 m, cubriendo 76,3 m². La mayor densidad de capturas y la variedad de ángulos buscaron compensar las oclusiones, logrando un GSD de captura de 1,11 mm/pix.

Resultados

El procesamiento en Agisoft Metashape Professional permitió obtener nubes de puntos densas y ortofotografías rectificadas en ambos escenarios. La Tabla 1 resume los parámetros comparativos obtenidos.

Tabla 1.
Comparativa de
parámetros técnicos de
los dos escenarios de
relevamiento.

Categoría	Parámetro técnico	Esc. A – Fachada oeste (sin testigos)	Esc. B – Fachada sur (con testigos)
Captura	Nº de imágenes	84	290
	Distancia focal	24 mm	35 mm
	Área cubierta (m ²)	45,5 m ²	76,3 m ²
Alineación	Error de reproyección (pix)	0,673	1,04
Resolución	GSD de captura (mm/pix)	1,12	1,11
	GSD ortomosaico (mm/pix)	3,77	2,23
	Densidad nube de puntos	48.665.856 pts	80.968.115 pts
Control terrestre	ECM pts. de apoyo	0,629 cm	2,82 cm
	ECM pts. de control calidad	14,08 cm	(sin dato)
	Error dist. apoyo máx.	2,85 cm	0,53 cm

Análisis comparativo por escenario

Un primer resultado de relevancia es que ambos escenarios lograron un GSD de captura prácticamente idéntico (1,12 mm/pix en el Escenario A y 1,11 mm/pix en el Escenario B), pese a las diferencias marcadas en condiciones físicas, distancia focal y número de imágenes. Esto indica que la combinación de mayor distancia focal (35 mm) y mayor altitud de toma (6,31 m) en el Escenario B compensó exactamente las restricciones del entorno para producir una resolución de captura equivalente.

La diferencia se manifiesta, en cambio, en el GSD del ortomosaico final (3,77 vs. 2,23 mm/pix) y en la densidad de la nube de puntos densa (48,6 M vs. 80,9 M puntos): el Escenario B produjo resultados 1,7 veces más ricos en ambos indicadores al beneficiarse de mayor redundancia de ángulos de visión gracias a sus 290 imágenes frente a las 84 del Escenario A.

Escenario A (sin testigos impresos): A pesar de la ausencia de referencias físicas impresas, la amplitud del retroceso en la fachada oeste permitió una reconstrucción geométrica continua. La autocalibración de la óptica de 24 mm fue estable: 83 de 84 imágenes alineadas con un error de reproyección de 0,673 pix y ECM de puntos de apoyo de 0,629 cm. Sin embargo, el ECM de los 10 puntos de control de calidad independientes arrojó un error total de 14,08 cm, con valores en Z de hasta -10 cm por punto. Este resultado señala una deformación sistemática del modelo en profundidad, característica de levantamientos con escasa variación angular, que deberá corregirse en futuras campañas mediante la incorporación de tomas oblicuas convergentes adicionales.

Escenario B (con testigos e impedimentos): La presencia del árbol y la vegetación generó ruido y oclusiones en la nube de punto. Los testigos impresos facilitaron la identificación de planos de referencia en zonas donde la continuidad visual se veía fragmentada. La mayor densidad de captura se tradujo en un error de reproyección de 1,04 pix, superior al Escenario A pero dentro de rangos aceptables, reflejando la mayor complejidad geométrica de la escena.

Validación métrica (distanciómetro vs. modelo digital)

La precisión del relevamiento fue validada comparando magnitudes lineales extraídas del modelo 3D con medidas tomadas in situ con el distanciómetro láser. La Tabla 2 resume los resultados para ambos escenarios.

Par de puntos	Dist. modelo (m)	Error (m)	Error relativo (%)	Escenario
point 3 – point 4	8,686	-0,0136	0,16 %	A
point 5 – point 6	6,361	+0,0208	0,33 %	A
point 7 – point 8	5,697	+0,0075	0,13 %	A
point 10 – point 11	4,442	-0,0285	0,64 %	A
target 1 – target 9	5,285	+0,0047	0,09 %	B
target 5 – target 11	5,175	-0,0053	0,10 %	B

Tabla 2.
Validación métrica:
errores en medidas de
distancia de apoyo.

Los errores relativos resultaron inferiores al 0,65 % en todos los pares medidos, confirmando la viabilidad de la técnica para documentación patrimonial con precisión milimétrica compatible con estándares internacionales de restauración.

Generación de ortofotografías rectificadas

Además de la nube de puntos densa, la obtención de ortofotografías rectificadas constituye uno de los resultados de mayor valor para la preservación patrimonial. A diferencia de una fotografía convencional, la ortofoto elimina las distorsiones ópticas y los efectos de perspectiva, generando una proyección paralela. Las ventajas identificadas son:

- **Dimensiones generales:** Permite realizar mediciones lineales y de superficie sobre el plano de fachada con precisión milimétrica, facilitando la exportación a sistemas CAD para la confección de planos conforme a la realidad.
- **Mapeo de patologías:** La alta resolución de la imagen rectificada (producida a partir del sensor de 24,2 MP) permite visualizar con nitidez fisuras, eflorescencias y desprendimientos, sirviendo como base para un pliego de intervención técnica.

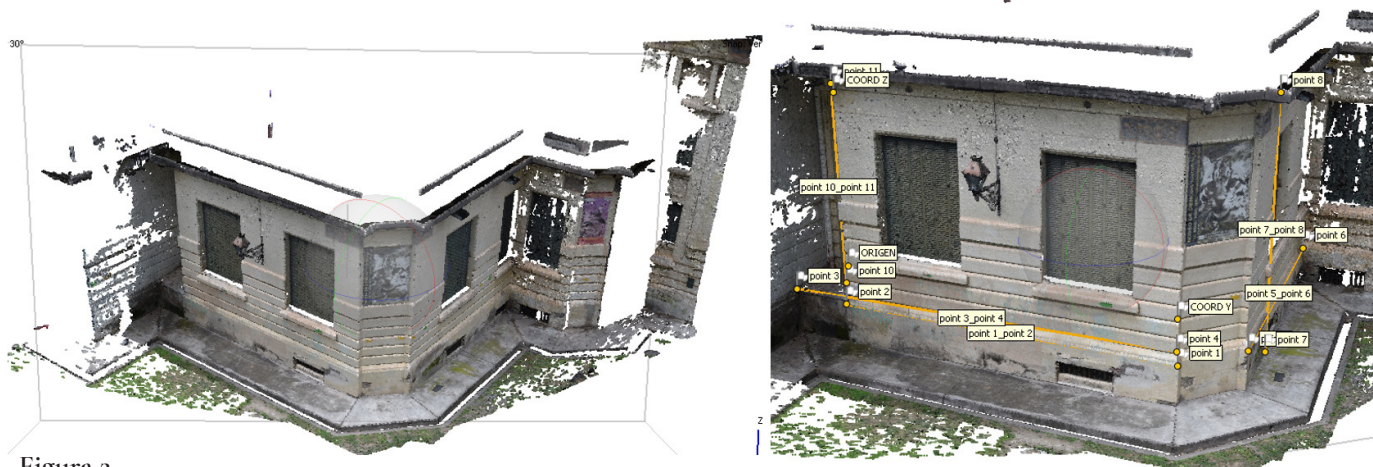


Figura 2.

(a) Izquierda y (b) derecha:
Nube de puntos del sector de
elevación oeste.

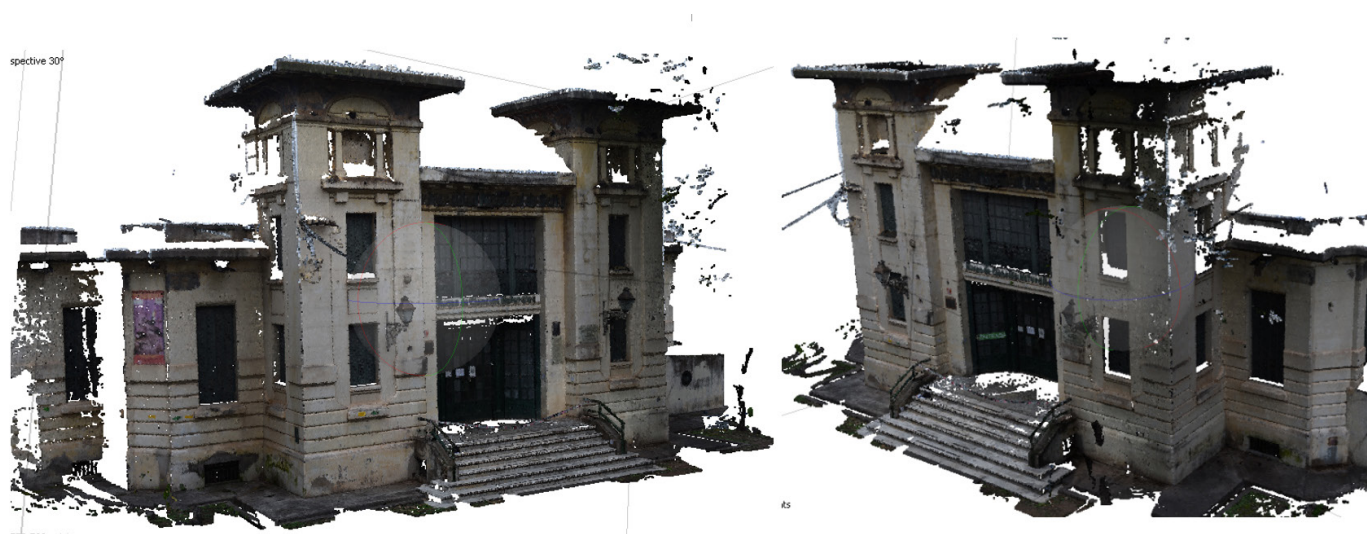


Figura 3.

(a) Izquierda y (b)
derecha: Nube de puntos
del sector de ingreso
principal, elevación sur.



Figura 4.
(a) Izquierda y (b)
derecha: Ortofoto
elevación oeste.



Figura 5.
Ortofoto elevación sur.
Ingreso principal.



Figura 6.
Ortofoto elevación sur.
Detalle de patologías.

Discusión

Los resultados permiten establecer una comparación estructurada entre ambos escenarios e identificar las condiciones que determinan la calidad del relevamiento fotogramétrico en contextos patrimoniales con restricciones físicas.

El hallazgo más significativo es que ambos escenarios lograron un GSD de captura prácticamente equivalente ($\sim 1,12$ mm/pix), lo que demuestra que la metodología fotogramétrica terrestre es robusta ante variaciones importantes en las condiciones operativas, siempre que se ajusten adecuadamente los parámetros de captura. La diferencia en la riqueza final del modelo —GSD de ortomosaico y densidad de nube— es atribuible principalmente a la mayor redundancia de ángulos del Escenario B (290 imágenes vs. 84), que le otorga una ventaja de $1,7\times$ en ambos indicadores.

Escenario A (sin testigos impresos): La fachada oeste ofreció condiciones favorables de retroceso y visibilidad, lo que permitió una alineación casi perfecta (83/84 imágenes) y el mejor error de reproyección (0,673 pix). No obstante, el ECM elevado en los puntos de control de calidad independientes (14,08 cm total, con errores en Z de hasta ~ 10 cm por punto) es una señal de alerta sobre la deformación sistemática del modelo en profundidad. Este fenómeno, típico de configuraciones de captura estrictamente frontal sin variación angular suficiente, podría comprometer la precisión de mediciones en profundidad y deberá abordarse en campañas futuras mediante tomas oblicuas convergentes o el uso de mayor número de GCP distribuidos tridimensionalmente.

Escenario B (con testigos e impedimentos): La vegetación y las oclusiones introdujeron ruido en la nube de puntos densa e incrementaron el error de reproyección (1,04 pix). Sin embargo, los testigos métricos permitieron mantener la coherencia escalar en las zonas fragmentadas. El error en medidas de distancia de apoyo fue notablemente menor que en el Escenario A (0,53 vs. 2,85 cm), sugiriendo que la mayor diversidad de ángulos y la presencia de dianas mejoró la redundancia geométrica del ajuste. La ausencia de ECM absoluto en puntos de control independientes es una limitación metodológica que deberá corregirse en trabajos posteriores.

Identificación de patologías y diagnóstico visual

En los modelos texturizados y en las fotografías ortorrectificadas de ambos escenarios, la calidad y precisión obtenidas resultan aptas para realizar un mapeo de daños preliminar, identificando fisuras y grietas claramente visibles, humedades y desprendimientos superficiales. La ortofoto del ingreso principal (Escenario B) permite además medir directamente elementos ornamentales a escala hasta aproximadamente 4 metros de altura (menos de la mitad de la altura total de la fachada sur), aspecto de particular valor para la planificación de intervenciones de restauración.

El flujo de trabajo implementado subraya una premisa fundamental para la práctica profesional contemporánea: la eficacia de una metodología científica no reside exclusivamente en la sofisticación del hardware o del software, sino en la gestión estratégica de los recursos disponibles. El uso de una cámara réflex de gama media con procesamiento de imágenes estándar demuestra que es posible alcanzar niveles de precisión compatibles con estándares internacionales de restauración sin los costos operativos de un escáner 3D de alta gama.

Esta economía de recursos no debe entenderse como una limitación, sino como una democratización de las herramientas de preservación. En contextos regionales, donde el patrimonio arquitectónico carece frecuentemente de presupuestos para documentación de alta complejidad, la fotogrametría digital surge como una solución técnica accesible. Permite a profesionales e instituciones locales generar testimonios métricos de alta fidelidad, garantizando que el diagnóstico y la protección de monumentos no dependan de tecnologías de nicho, sino de un criterio técnico riguroso aplicado a herramientas de consumo masivo.

Conclusiones

El estudio confirma que la fotogrametría terrestre es una herramienta eficaz para la documentación técnica de edificios de valor histórico, en particular para el Museo de Ciencias Naturales de la UNSa, por su carácter no invasivo. Los dos escenarios analizados demuestran que la técnica es viable en diferentes condiciones operativas, con resultados de alta calidad en ambos casos. Se concluye que:

1. Ambos escenarios lograron un GSD de captura prácticamente idéntico ($\sim 1,12$ mm/pix), demostrando que la metodología fotogramétrica terrestre es robusta ante variaciones importantes en las condiciones del entorno, siempre que los parámetros de captura se ajusten adecuadamente.
2. El Escenario B produjo un ortomosaico 1,7 veces más resuelto (GSD 2,23 vs. 3,77 mm/pix) y una nube de puntos 1,7 veces más densa, gracias a la mayor redundancia de ángulos derivada de sus 290 imágenes.
3. La validación mediante distanciómetro láser confirmó errores relativos inferiores al 0,65 % en todos los pares medidos de ambos escenarios, compatibles con estándares de documentación patrimonial internacional.
4. El error cuadrático medio elevado en los puntos de control de calidad del Escenario A (14,08 cm) advierte sobre deformaciones sistemáticas del modelo en profundidad propias de capturas estrictamente frontales. Futuras campañas deberán incorporar tomas oblicuas convergentes o mayor número de GCP distribuidos tridimensionalmente para mitigar este efecto.

5. Para una documentación patrimonial completa del museo, incluyendo coronamientos, cubiertas y la ornamentación en zonas físicamente inaccesibles, por arriba de los 4 metros aproximadamente, resulta indispensable adoptar una metodología híbrida que integre el empleo de drones (UAV). Esta incorporación tecnológica permitiría capturar perspectivas aéreas que completen las zonas obstruidas por la vegetación y registrar con precisión la volumetría general del edificio sin recurrir a andamiajes.
6. Como trabajo futuro se pretende integrar las potencialidades de dos técnicas de inspección no invasivas aplicadas al estudio de edificios históricos: la fotogrametría digital y la termografía infrarroja. La combinación de ambas metodologías permitiría complementar el relevamiento geométrico y morfológico de alta precisión con la detección de patologías y materiales constructivos desconocidos en edificios históricos, permitiendo el desarrollo de modelos HBIM (*Historic Building Information Modelling*) y simulaciones BEM (*Building Energy Modelling*) (Parracho, et al., 2021)

Referencias

- Asociación Española de Normalización. (2018). UNE-EN 16883. *Conservation of cultural heritage – Guidelines for improving the energy performance of historic buildings*.
- Barazzetti, L., Banfi, F., Brumana, R., Gusmeroli, G., Previtali, M. y Schiantarelli, G. (2016). Cloud-to-BIM-to-FEM: Structural simulation with accurate historic BIM from laser scans. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 57, 71–87. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2015.06.004>
- Bilmes, A., D'Elia, L., López, L., Richiano, S. M., Varela, A. N., Álvarez, M., Bucher, J., Eymard, I., Muravchik, M., Franzese, J. R. y Ariztegui, D. (2019). *Digital outcrop modelling using Structure-from-Motion photogrammetry: Acquisition strategies, validation and interpretations to different sedimentary environments*. Sedici. <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/124602>
- Fassi, F., Fregonese, L., Ackermann, S. y De Troia, V. (2015). Comparison between laser scanning and automated 3D modelling techniques to reconstruct complex and extensive cultural heritage areas. *ISPRS Annals*. <https://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net>
- García Lerena, M. S. y López, L. (2021). Relevamiento del patrimonio histórico rural mediante fotogrametría (SfM-MVS) en la región pampeana argentina. “Primera Estancia” de Magdalena (Buenos Aires, Argentina). *Arqueología*, 27(2), 169–181. <https://doi.org/10.34096/arqueologia.t27.n2.7696>
- Gea, G. y Gea, S. (2009). Fotogrametría de bajo costo para relevamiento de edificios de valor patrimonial. En *1er Congreso Iberoamericano y VIII Jornada “Técnicas de Restaura-*

- ción y Conservación del Patrimonio” (La Plata, Argentina, 10–11 de septiembre de 2009). Universidad Nacional de Salta, Instituto de Ingeniería Civil y Medio Ambiente de Salta (ICMASa). https://repositoriosdigitales.mincyt.gob.ar/vufind/Record/CICBA_de1353ecoda3373c149d2a26c2f1226e
- Guardo, N., López, L. y Bilmes, A. (2021). Relevamiento topográfico de alta resolución: comparación de modelos del terreno mediante estación total y fotogrametría SfM-MVS. Aplicación en una cantera de suelos seleccionados, La Plata, Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 78(4). <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/164714>
- Historic England. (2017). *Photogrammetric Applications for Cultural Heritage*. <https://historicengland.org.uk/images-books/publications/photogrammetric-applications-for-cultural-heritage/>
- ICOMOS. (2003). *Principles for the Analysis, Conservation and Structural Restoration of Architectural Heritage*. <https://www.icomos.org>
- Karachaliou, E., Georgiou, E., Psaltis, D. y Stylianidis, E. (2019). UAV for Mapping Historic Buildings: from 3D Modelling to BIM. *ISPRS*.
- Lerma, J. L., Navarro, S., Cabrelles, M. y Villaverde, V. (2010). Terrestrial laser scanning and close-range photogrammetry for 3D archaeological documentation: The Upper Palaeolithic cave of Parpalló. *Journal of Archaeological Science*, 37(3), 499–507. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2009.10.011>
- Parracho, D. F. R., Martins, J. P. y Barreira, E. (2021). Metodologia digital para a realização de levantamentos fotogramétricos e termográficos de edifícios existentes com drones – Caso de estudo. 4º Congresso Português de Building Information Modelling.
- Remondino, F. y Campana, S. (Eds.). (2014). *3D Recording and Modelling in Archaeology and Cultural Heritage*. BAR International Series.
- Remondino, F., Del Pizzo, S., Kersten, T. P. y Troisi, S. (2011). Low-cost and open-source solutions for automated image orientation: A critical overview. *Lecture Notes in Computer Science*, 7616. https://doi.org/10.1007/978-3-642-34234-9_1
- Santana Quintero, M., Lerma, J. L. y Adán, A. (2018). Advances in digital documentation of cultural heritage in Latin America. *Journal of Cultural Heritage*. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2018.04.001>
- Villar, F. A. (2018). Fotogrametría: un aporte sustancial a la lectura de paramentos del sitio Ingenio Lastenia (Dpto. Cruz Alta, Tucumán). *La Zaranda de Ideas*, 16(1), 45–57. <https://plarci.org/index.php/lazarandadeideas/article/view/397>
- Westoby, M. J., Brasington, J., Glasser, N. F., Hambrey, M. J. y Reynolds, J. M. (2012). Structure-from-Motion photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. *Geomorphology*, 179, 300–314. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.08.021>

