

Reutilización de fotos adquiridas con cámaras 360° de Google Street View para la reconstrucción 3D en un enfoque de promoción turística: estudio de caso Bogotá, Colombia

Juan Sebastián Hernández Santana, Yosef Harvey Cortes Millán, Carlos Mario González Giraldo y Erika Sofía Upeguí Cardona

Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Catastral y Geodesia, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia
juashernandezs@correo.udistrital.edu.co, yhcortesm@correo.udistrital.edu.co,
carmgonzalezg@correo.udistrital.edu.co, esupeguic@udistrital.edu.co

Resumen— La reconstrucción 3D a partir de técnicas fotogramétricas ha presentado un desarrollo continuo en los últimos años, siendo estudio de muchos académicos inmiscuidos en la temática, buscando nuevas formas de realizarla, siempre intentando reducir costos tanto económicos como de software; es por esta razón, que en el presente documento para espacios culturales y turísticos de Bogotá Colombia, se ejecuta la implementación de imágenes 360° obtenidas de forma gratuita de Google Street View, a fin de realizar sus reconstrucciones. Esta metodología dará como resultado la obtención de una nube de puntos densificada, así como la malla texturizada asociada, para cuatro (4) casos de estudio de sitios turísticos de Bogotá Colombia: Chorro de Quevedo, Plaza de Toros de Santamaría, Plaza de Bolívar e Iglesia la Bordadita, a su vez, realizando una comparativa entre la reconstrucción de espacios abiertos, cerrados y semicerrados.

Palabras Clave— reconstrucción 3D, cámaras 360°, fotogrametría digital, turismo, Google Street View.

Recibido: 9 de abril de 2021. Revisado: 26 de julio de 2021. Aceptado: 30 de Julio de 2021.

Reuse of photos acquired with 360-degree cameras from Google Street View for 3D reconstruction in a tourism promotion approach: Bogota Colombia case study

Abstract— 3D reconstruction from photogrammetric techniques has presented continuous development in recent years, being the study of many academics inmiscuous in the subject, looking for new ways to perform it, always trying to reduce economic and software costs; it is for this reason that in this document for cultural and tourist spaces of Bogota Colombia, the implementation of 360 images obtained for free from Google Street View is executed, in order to carry out its reconstructions. This methodology will result in obtaining a cloud of densified points, as well as the associated textured mesh, for four (4) cases of study of tourist sites in Bogota Colombia: Chorro de Quevedo, Plaza de Toros de Santamaría, Plaza de Bolívar and Iglesia la Bordadita, in turn, making a comparison between the reconstruction of open, enclosed and semi-closed spaces.

Keywords— 3D reconstruction, 360 cameras, digital photogrammetry, tourism, Google Street View.

1 Introducción

El turismo enfrenta grandes problemáticas, tales como, el deterioro de atracciones, puntos de referencia, artefactos y destinos [1], es por ello, que la protección y el desarrollo de dichos sitios han sido beneficiados por una importante herramienta: La reconstrucción 3D [2]. Dicha herramienta será objeto de evolución técnica, mejorando la inmersión y la sensación de la persona que observa la ilustración [3]. Tal como menciona Bec en [4] el modelo 3D debe complementarse mediante un enfoque multidisciplinario.

Entendiendo que una nube de puntos es fundamentalmente una tabla de datos con parámetros de coordenadas X, Y, Z e información de color RGB, reflectancia y ángulo de incidencia [5] las cuales permiten abstraer información más allá de la métrica y pasando a un plano semántico [2],[6], correspondiente al significado e interpretación de los objetos.

Algunos autores como Jalón [7], mencionan que el deterioro del patrimonio construido se está volviendo una urgencia para muchos países donde este mismo avanza en un proceso de degradación, y la aplicación de técnicas como la fotogrametría digital permite su análisis y toma de decisiones.

La fotogrametría ha promulgado avances en muchos campos, como la documentación del patrimonio cultural [8],[9],[10], donde se ha convertido en una aplicación importante, rentable, interesante e innovadora para los campos de documentación de bienes de interés cultural [11],[12].

Pérez [13] destaca que la fotogrametría, hoy por hoy, sigue siendo apropiada para estos estudios, y tal como plantea Hossman en [11] la fotogrametría de corto alcance (CRP) se ha utilizado como una innovadora herramienta para mediciones, donde se identifican construcciones de manera económica, rápida y sencilla.

Dentro de los procesos fotogramétricos se encuentra la reconstrucción de diferentes tipos de objetos y lugares, este tipo de aplicaciones ha tenido una gran acogida dentro del mundo científico y por esta razón se ha extendido a muchas ramas del conocimiento, de esta forma y al pasar del tiempo se han buscado nuevas formas de optimizar y economizar las reconstrucciones por métodos fotogramétricos [14], es así como se han llegado a utilizar las imágenes captadas por sensores 360°, que según Fangi [15] “se puede considerar como una nueva rama, denominada fotogrametría esférica”.

La metodología presentada en este documento, sirve de apoyo para la ilustración de lugares de interés turístico en Colombia con escenas 3D, el cual consiste, en la integración de la reconstrucción 3D con fotografías 360° ofrecidas por Google Street View. Por consiguiente, resultado de este proceso se obtendrá una nube de puntos densificada y una malla texturizada tridimensional, que mantiene las características físicas (dimensiones, volumen y forma) [6], adquirida con procesos de bajo costo, eficaces y aplicables en el territorio para la ejemplificación de estructuras.

2 Materiales y métodos

2.1 Zona de estudio

Este proceso fue ejecutado a partir de 4 casos turísticos de la ciudad de Bogotá (Ver tabla 1) (Ver Fig. 2), correspondientes a espacios abiertos, cerrados y semicerrados; de lo cual será posible evidenciar la incidencia de las cámaras 360° en el proceso de reconstrucción de los mismos y realizar sus respectivas comparaciones (Ver Fig. 1).



Figura 1. Ejemplo imágenes 360°. (a) Chorro de Quevedo, (b) Plaza de toros, (c) Plaza de Bolívar y (d) Iglesia La Bordadita.
Fuente: Google Street View.

Tabla 1
Casos turísticos de la ciudad de Bogotá.

Caso	Cantidad de fotos	Tipo de espacio	Ubicación en Bogotá
Chorro de Quevedo	13	Semicerrado	Cl. 12b #22 2-98
Plaza de Toros	17	Abierto	Cra. 6 #26B 50,
Plaza de Bolívar	35	Abierto	Cra. 7 #11-10, La Candelaria,
Iglesia La Bordadita	21	Cerrado	Cra. 6 #12b,

Fuente: Los autores.



Figura 2. Mapa de localización de los casos turísticos revisados en la ciudad de Bogotá.

Fuente: Los autores.

2.2 Imágenes 360° y fotogrametría SfM

Las imágenes 360° son obtenidas con acceso libre de Google Street View, correspondientes a una cámara RicohTheta S, la cual comprende un sensor CMOS, para el control de luminosidad y corrección del contraste, una apertura focal de 2.0, un número de píxeles equivalente a 14 M, y una resolución de 5376 * 2688 píxeles.

El procesamiento con las cámaras 360° RicohTheta S presenta algunos problemas sobre zonas que varían respecto a su iluminación, tal y como plantea Barazzetti [16], es difícil conseguir

condiciones uniformes respecto a tonos e iluminaciones con cámaras 360°, es por ello que estas variables deben ser tenidas en cuenta a la hora de su análisis en ambientes abiertos y cerrados.

La resolución de las imágenes 360° es mucho más baja que las capturadas de forma tradicional, hablando en forma específica su GSD son 3 veces peores [16], y la precisión métrica aún no es comparable con los resultados típicos [17]; lo cual sugiere un problema en trabajos fotogramétricos de alta precisión, es así como en la revisión literaria, los autores especializados que han mencionado el tema, resaltan la utilización de imágenes 360° o esféricas en trabajos de reconstrucción con enfoques culturales, donde no es necesario un alto detalle.

El Software utilizado en el flujo de trabajo es Pix4D, un programa que permite al usuario definir las propiedades que influyen en la calidad, la precisión y el formato final de los productos [18]. Dicho Software puede procesar imágenes capturadas con cámaras esféricas de 360 grados, siendo estas poseedoras de muchas ventajas porque es fácil lograr una alta superposición con menos imágenes, es más rápido capturar un conjunto de datos completo y es eficiente de procesar, ya que la calibración de la cámara la realiza el fabricante y calibrar el modelo lleva menos tiempo [19]. Para situar la posición tridimensional de la cámara se realizan las orientaciones internas y externas, identificando los rayos homólogos [20], las cuales, son realizadas por el Software de forma automática.

Los parámetros implementados en los 4 casos de estudio fueron: En procesamiento inicial, escala completa de la imagen para puntos claves, vuelo libre o terrestre como parámetro para el emparejamiento de pares en las imágenes, número de objetivos de puntos clave automáticos, método de calibración estándar con emparejamiento automático. Respecto a la nube de puntos, se manejó 1/2 de escala de la imagen, una alta densidad, 3 emparejamientos como mínimo y finalmente para la malla, se selecciona la generación de una malla contextura y una resolución alta.

Cabe resaltar que todos los parámetros fueron iguales para los 4 casos de estudio, lo anterior con el propósito de mantener las condiciones de procesamiento para posteriormente poder realizar comparaciones respecto a los espacios abiertos, cerrados y semicerrados.

Tal y como se hace evidente en [21] el procesamiento aplicado a las imágenes 360° corresponde a una reconstrucción de perspectivas, es decir, se lleva a cabo la transformación de dicha imagen a proyecciones oblicuas, a partir de las cuales se procederá a realizar el emparejamiento de puntos *Matching points* y la identificación de puntos de paso; lo anterior aplica de manera homóloga para cámaras panorámicas.

Esta técnica fotogramétrica con cámaras 360° ha sido principalmente empleada para la documentación del patrimonio cultural [22], por la comprensión de los espacios, lo cual se obtiene a partir de las escenas panorámicas derivadas de la proyección equirectangular de las imágenes 360°.

Ahora bien, es prudente definir las orientaciones interna y externa. Se llama orientación interna al proceso por el cual, por medio de las placas correspondientes, se reconstruye en cada proyector un haz de rayos idéntico al efectuado en la realidad, por otro lado, la orientación externa hace referencia a que los haces

formados en el anterior proceso estén (con respecto al terreno), en una posición idéntica a la que tuvieron al ser impresionadas las placas [23].

Para la realización de la orientación interna y externa el Software utilizado tiene en cuenta, en primera instancia, para la orientación interna: coordenadas del punto principal de la cámara, distancia principal, marcas fiduciales y distorsión de la lente; en adición a lo anterior, la orientación externa: posición de la cámara en el espacio; coordenadas de la posición del centro de proyección (X_0, Y_0, Z_0) y los tres giros de la cámara (ω, ϕ, κ). Teniendo en cuenta que los elementos de la orientación externa de todos los haces de un bloque se calcula simultáneamente para todas las fotografías [13], dichos procesos son realizadas por el Software de forma automática.

3 Metodología

De manera similar al trabajo presentado por [24], se sigue un flujo de trabajo técnico, el cual consiste en alinear las imágenes para la generación del proyecto, luego se procede a generar la nube densa de puntos, la malla texturizada, la modificación en escala y su depuración de datos, obteniendo finalmente la reconstrucción 3D del objeto de interés.



Figura 3. Flujo de trabajo aplicado en el desarrollo del proyecto. Fuente: Los autores.

Al igual que en el estudio adelantado por [25], primero se lleva a cabo la generación de la nube de puntos dispersa, que posteriormente será utilizada para la generación de la nube de puntos densificada. Una vez se cuente con el producto final de la nube de puntos y malla texturizada modificada, entendiendo la malla texturizada como aquella superficie obtenida tras llevar a cabo la triangulación de puntos en formato tridimensional, será posible optar por una publicación de los resultados en algún servidor web por medio de herramientas de acceso abierto, los cuales sirvan como divulgación turística de dichos lugares.

Tras obtener la nube de puntos preliminar, con o sin el sistema de coordenadas dado por las imágenes del proyecto, se procede a llevar a cabo la transformación conforme tridimensional, la cual consiste en convertir de un sistema tridimensional a otro [13], este será ejecutado a partir del control dado por las coordenadas de las imágenes y de Google Street-view.

La nube de puntos obtenida debe ser reclasificada con apoyo de foto intérprete, donde a partir de las características pictóricas morfológicas de la nube densificada se eliminan aquellos que no correspondan al objeto u objetos de interés (Ver Fig. 3).

4 Resultados

Los resultados se muestran tanto desde el punto de vista cualitativo como cuantitativo.

4.1 Resultados cualitativos

En primera medida, los procesos precedentes a la identificación de puntos homólogos y las orientaciones internas y externas, la definición del sistema de coordenadas y la geolocalización, se realizaron con base en el trayecto seguido (Ver Fig. 4) por el receptor y las coordenadas de Google Street View.

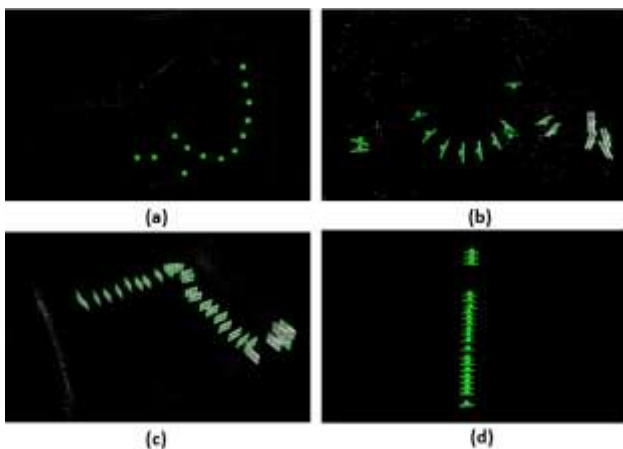


Figura 4. Posición tridimensional de las cámaras. (a) Chorro de Quevedo, (b) Plaza de toros, (c) Plaza de Bolívar y (d) Iglesia La Bordadita. Fuente: El autor

La nube de puntos de paso y la nube densa preliminar generada suministran resultados alentadores y describen de forma previa los sitios turísticos (Ver Fig. 6). Para situar la posición tridimensional de la cámara se realizan las orientaciones internas y externas, identificando los rayos homólogos [20], de esta manera se dará el proceso de *matching points* de lo cual se obtendrán posiciones de paso en la nube de puntos (Ver Fig. 5), que tras un proceso de densificación darán la nube de puntos preliminar, que se implementara en el proceso de corrección y clasificación.

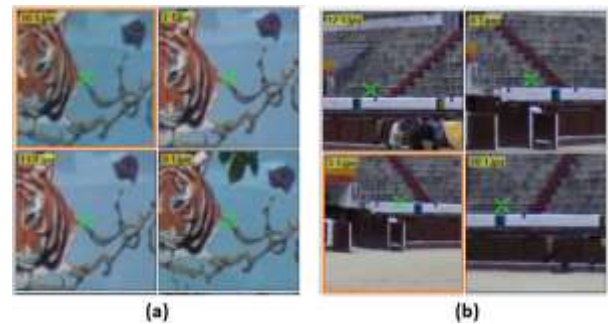


Figura 5. Matching points. (a) Chorro de Quevedo, (b) Plaza de toros. Fuente: Los autores.

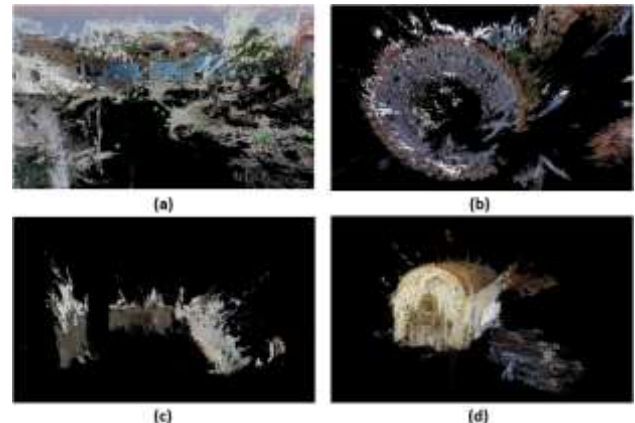


Figura 6. Nube de puntos preliminar. (a) Chorro de Quevedo, (b) Plaza de toros (c) Plaza de Bolívar (d) Iglesia la Bordadita. Fuente: Los autores.

Se hace evidente la reconstrucción de coberturas que no son del interés en cuestión, como el cielo (Específicamente la aparición de *altocumulus*) y el suelo ajeno en los sitios de estudio: Chorro de Quevedo, Plaza de toros, Plaza de Bolívar e Iglesia la Bordadita, demostrando que la metodología presenta a priori, mejores resultados en espacios cerrados que en semicerrados y abiertos.

Con base en lo preliminar, la corrección de la nube de puntos densa consistió en la correcta clasificación de marcas que no describen de forma óptima las infraestructuras (Ver Fig.7). Se realizó una reclasificación que fue supervisada por el fotointerprete la cual consistió en la correcta identificación de clases presentes en la zona de estudio, eliminando aquellos puntos correspondientes en clases de cielo o deformaciones.

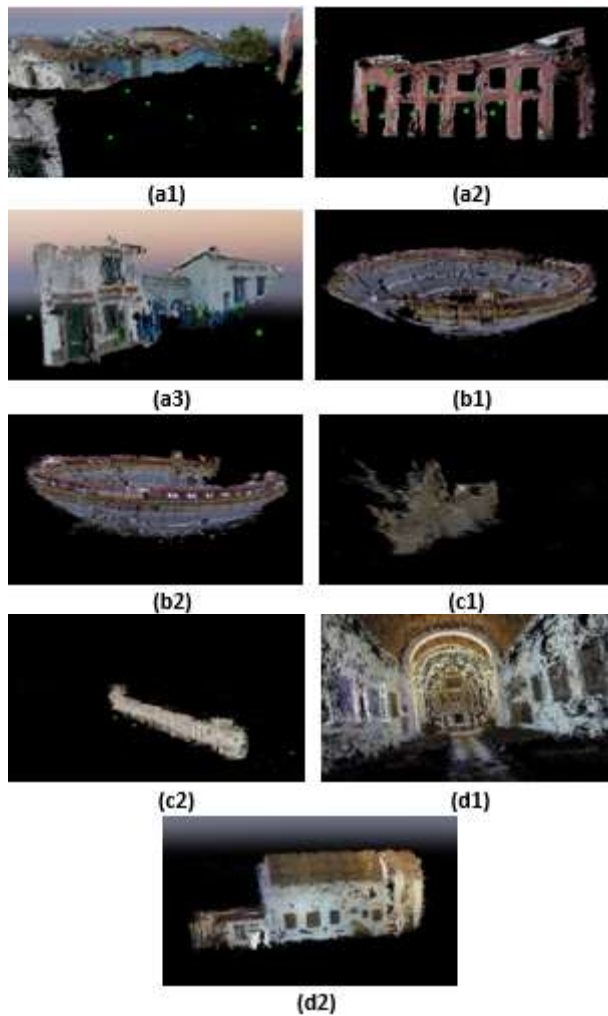


Figura 7. Nube de puntos corregida. (a1) Chorro de Quevedo-Vista 1, (a2) Chorro de Quevedo-Vista 2,(a3) Chorro de Quevedo-Vista 3, (b1) Plaza de toros-Vista 1, (b2) Plaza de toros-Vista 2, (c1) Plaza de Bolívar-Palacio lievano, (c2) Plaza de Bolívar-Catedral Primada, (d1) Iglesia la Bordadita-Vista interior y (d2) Iglesia la Bordadita-Vista Exterior.
Fuente: Los autores.

En última instancia, la creación de la malla texturizada otorga buenos resultados en la Plaza de Bolívar y la Iglesia La Bordadita (Ver Fig. 8), por otro lado, las mallas correspondientes al Chorro de Quevedo y la plaza de toros presenta deformidades, lo que se atribuye a la variación en condiciones de iluminación y sombras en las imágenes 360°.

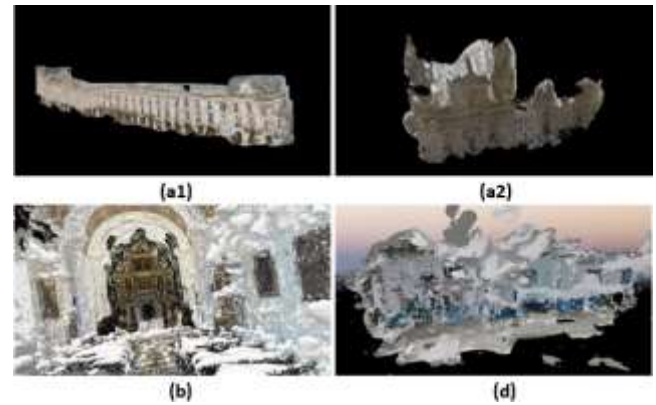


Figura 8. Malla texturizada. (a1) Plaza de Bolívar-Palacio Lievano, (a2) Plaza de Bolívar-Catedral Primada, (b) Iglesia La Bordadita y (d) Chorro de Quevedo.
Fuente: Los autores.

4.2 Resultados cuantitativos

En términos generales, los resultados cuantitativos son favorables, con la identificación de gran cantidad de puntos clave e imágenes calibradas (Ver Tabla 2).

Tabla 2
Puntos clave e imágenes calibradas: 1) Plaza de Bolívar, 2) Chorro de Quevedo, 3) Plaza de toros, 4) Iglesia La Bordadita.

Caso	Puntos clave [Por imagen]	Número imágenes calibradas	Número de puntos 3D densificados	Densidad media [Por m^3]
1	29196	33/35	703812	4.28
2	23810	14/18	7504649	4.73
3	22552	18/18	2230688	0.02
4	18351	21/21	2465722	1.34

Fuente: El autor

Identificando claramente la mejoría de los procesos en espacios semicerrados y cerrados. En lo que concierne a los tiempos empleados en el procesamiento, la densificación de las nubes de puntos presentó una duración razonable, la generación de la malla texturizada 3D costó un tiempo adecuado (Ver Tabla 3).

Tabla 3
Tiempos de procesamiento empleados en horas (h), minutos (m) y segundos (s).

Caso	Tiempo densificación			Tiempo malla texturizada		
	h	m	s	h	m	s
1	0	15	33	0	5	43
2	0	23	05	0	10	56
3	0	23	49	0	18	35
4	1	23	54	0	16	12

Fuente: Los autores.

5 Discusión

De manera inicial, la aplicación de la metodología aquí propuesta con enfoque turístico es sostenible, siendo una herramienta innovadora, la cual presenta bajos costos y puede lograr muy buenos resultados con pocos errores, lo anterior dependiendo de las condiciones de luminosidad y sombras captadas por las cámaras RicohTheta S, pero que aun así funciona como una fuente potencial para la construcción de un turismo 3D.

El modo de captura empleado por Google Street View permite una superposición óptima de las imágenes, [26], que como se mencionó anteriormente el recubrimiento de las mismas es indispensable para el proceso fotogramétrico; y dadas las condiciones de las imágenes 360° y desplazamiento corto entre toma y toma, el recubrimiento teórico correspondiente queda subsanado.

No obstante, se evidencia la importancia del fotointerprete para la correcta caracterización de las estructuras objeto de estudio por medio de la corrección y depuración de la nube densa de puntos y, en caso de implementarse la metodología en otros sitios, de los sitios turísticos a caracterizar [27].

Es importante resaltar que la administración de datos obtenidos por cámaras 360° permite capturar simultáneamente diferentes habitaciones, así como espacios interiores o exteriores, que serán visibles en una sola imagen, lo cual permite como menciona [16],[28] proporcionar una orientación más sólida de múltiples imágenes, inclusive son muy utilizadas en fotogrametría debido a su bajo costo y a su simple procesamiento, dado que se reduce la cantidad de imágenes necesarias para llevar a cabo un proceso fotogramétrico con buenos resultados.

Es notorio que la reconstrucción en espacios semicerrados y cerrados suministra una descripción física más eficiente que lugares abiertos, dado que, estos últimos, permiten la confusión de coberturas como el cielo (Específicamente la aparición de altocumulus) y el suelo ajeno a los sitios de estudio. Tal como recomienda [29] para realizar de manera eficiente estos servicios, se requiere la información interior y las relaciones entre los espacios interiores.

Para proyectos venideros, que propongan el uso de la metodología a mayor escala, se recomienda la utilización de algoritmos para la reducción del número de puntos y del ruido [30], ya que, esto disminuirá de manera considerable el trabajo del operador en términos de la eliminación de puntos que se tornan innecesarios para la clasificación y densificación.

Con un poco más de investigación y análisis de datos, se podría proponer futuras investigaciones, en donde se combinen datos de cámaras de perspectiva central y de imágenes 360°, para dar una mayor calidad a la reconstrucción, e inclusive dar otros usos como la navegación 3D.

6 Conclusiones

La reconstrucción 3D es un recurso eficiente y económico debido a su practicidad, es por ello, que los instrumentos utilizados deben ilustrar características eficientes, que complementen el sustento matemático de los Software empleados. Se resalta que el acceso libre de información a Google Street view y sus cámaras de

360 grados permiten hacer de esta una metodología replicable en cualquier parte del mundo que cuente con información.

La reconstrucción fotogramétrica a partir de imágenes 360° adquiridas de forma gratuita en Google Street View, es una propuesta novedosa que permite realizar un trabajo con resultados adecuados en el tema cultural; por otro lado, también se agiliza mucho el proceso, ya que, los insumos básicos se pueden obtener al instante.

Finalmente, la reconstrucción de espacios cerrados con cámaras 360° presenta una disminución de errores respecto a los espacios abiertos y semicerrados, esto debido al menor grado de confusión entre coberturas como el cielo, que a su vez dará como resultado menor cantidad de información innecesaria para el procesamiento.

Referencias

- [1] S. M. Correia Loureiro, J. Guerreiro, y F. Ali, «20 years of research on virtual reality and augmented reality in tourism context: A text-mining approach», *Tourism Management*, vol. 77, p. 104028, abr. 2020, doi: 10.1016/j.tourman.2019.104028.
- [2] M. Gärtner, I. Seidel, J. Froschauer, y H. Berger, «The formation of virtual organizations by means of electronic institutions in a 3D e-Tourism environment», *Information Sciences*, vol. 180, n.º 17, pp. 3157-3169, sep. 2010.
- [3] F. Bruno, S. Bruno, G. De Sensi, M.-L. Luchi, S. Mancuso, y M. Muzzupappa, «From 3D reconstruction to virtual reality: A complete methodology for digital archaeological exhibition», *Journal of Cultural Heritage*, vol. 11, n.º 1, pp. 42-49, ene. 2010.
- [4] A. Bec, B. Moyle, V. Schaffer, y K. Timms, «Virtual reality and mixed reality for second chance tourism», *Tourism Management*, vol. 83, p. 104256, abr. 2021.
- [5] J. M. Puche Fontanilles, J. M. Macías Solé, J. M. Toldrà Domingo, y P. de Solà-Morales, «Más allá de la métrica. Las nubes de puntos como expresión gráfica semántica», en EGA. *Revista de Expresión Gráfica Arquitectónica*, nov. 2017, vol. 22, n.º 31, pp. 228-237.
- [6] N. Pastén, D. Pizarro, y C. L. Tozzi, «Reconstrucción de objeto 3D a partir de imágenes calibradas», *Revista chilena de ingeniería*, pp. 158-168.
- [7] M. L. Jalón, J. Chiachío, L. M. Gil-Martín, y E. Hernández-Montes, «Probabilistic identification of surface recession patterns in heritage buildings based on digital photogrammetry», *Journal of Building Engineering*, vol. 34, p. 101922, Feb. 2021.
- [8] P. Luna y L. Andrés, «Estudio del repertorio religioso patrimonial del centro de la ciudad de Ambato para el desarrollo de una propuesta de reconstrucción virtual con nuevas tecnologías de visualización», Universidad Tecnológica Indoamericana, Ambato - Ecuador, 2018.
- [9] B.C. Vela Velasco & C. X. Ospina Torres, «Inteligencia visual para el modelamiento de entornos urbanos mediante imágenes ópticas panorámicas de 360 grados», Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia, 2013.
- [10] L. Agustín Hernandez & A. Fernández Morales, «Reconstrucción fotogramétrica de la torre gótica de la iglesia de santa maría de alcañiz». En: 8th International congress on archaeology, computer graphics, cultural heritage and innovation (pp. 396-399). Editorial Universitat Politècnica de València, 2016.
- [11] H. El-Din Fawzy, «3D laser scanning and close-range photogrammetry for buildings documentation: A hybrid technique towards a better accuracy», *Alexandria Engineering Journal*, vol. 58, n.º 4, pp. 1191-1204, dic. 2019.
- [12] J. L. Caro, «Fotogrametría y modelado 3D: un caso práctico para la difusión del patrimonio y su promoción turística», 2012.
- [13] J. A. Pérez, «Apuntes de fotogrametría II», Universidad de Extremadura y Centro Universitario de Mérida. 2001.

- [14] A. S. de Jesús-Luis et al., «Fotogrametría: cómo crear modelos tridimensionales de bajo costo, con características realistas y fácil manipulación, para su uso en la enseñanza y el diagnóstico médico», *Investigación en educación médica*, vol. 8, nº 32, pp. 100-111, dic. 2019.
- [15] E. Cingolani y G. Fangi, «Spherical panoramas, and non-metric images for long range survey, the San Barnaba Spire, Sagrada Familia, Barcelona, Spain», *Geoinformatics FCE CTU*, vol. 6, dic. 2011, doi: 10.14311/gi.6.15.
- [16] L. Barazzetti, M. Previtali, y F. Roncoroni, «3D modelling with the samsung gear 360», *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. XLII-2/W3, pp. 85-90, feb. 2017.
- [17] G. Fangi, R. Pierdicca, M. Sturari, y E. S. Malinverni, «Improving spherical photogrammetry using 360; Omni-cameras: Use cases and new applications», *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, vol. XLII-2, pp. 331-337, may 2018.
- [18] P. N. Calleja, «Comparativa de software para la realización de ortofotos a partir de imágenes obtenidas por drones», Máster en Teledetección y Sistemas de información Geográfica, 2016.
- [19] Pix4D, «How to process images of a spherical camera. Support», 2019. Recuperado 10 de febrero de 2021, de <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/210663886-How-to-process-images-of-a-spherical-camera>
- [20] S. M. Vergara-Chapa, «Fotogrametría aérea para topografía en terreno irregular», p. 42, 2019.
- [21] X. Zhang, P. Zhao, Q. Hu, M. Ai, D. Hu, y J. Li, «A UAV-based panoramic oblique photogrammetry (POP) approach using spherical projection», *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 159, pp. 198-219, ene. 2020.
- [22] M. B. Oña Vilatuña, «Desarrollo de un prototipo de escáner óptico 3D montado en un UAV con cámara 360 utilizando fotogrametría», 2019, p. 123.
- [23] J. Santamaría y T. Sanzs, «Fundamentos de Fotogrametría», Universidad de La Rioja. 2011.
- [24] I. Barbero-García, J. L. Lerma, P. Miranda, y Á. Marqués-Mateu, «Smartphone-based photogrammetric 3D modelling assessment by comparison with radiological medical imaging for cranial deformation analysis», *Measurement*, vol. 131, pp. 372-379, ene. 2019.
- [25] V. Edmondson, J. Woodward, M. Lim, M. Kane, J. Martin, y I. Shyha, «Improved non-contact 3D field and processing techniques to achieve macrotecture characterisation of pavements», *Construction and Building Materials*, vol. 227, p. 116693, dic. 2019.
- [26] I. Goda, G. L'Hostis, y P. Guerlain, «In-situ non-contact 3D optical deformation measurement of large capacity composite tank based on close-range photogrammetry», *Optics and Lasers in Engineering*, vol. 119, pp. 37-55, ago. 2019, doi: 10.1016/j.optlaseng.2019.02.006.
- [27] E. Leal, N. Leal, y G. Sánchez, «Estimación de normales y reducción de datos atípicos en nubes de puntos tridimensionales», *Información tecnológica*, vol. 25, nº 2, pp. 39-46, 2014.
- [28] L. Barazzetti, M. Previtali, F. Roncoroni, y R. Valente, «Connecting inside and outside through 360° imagery for close-range photogrammetry», *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. XLII-2/W9, pp. 87-92, ene. 2019, doi: 10.5194/isprs-archives-XLII-2-W9-87-2019.
- [29] J. Yang, Z. Kang, L. Zeng, P. Hope Akwensi, y M. Sester, «Semantics-guided reconstruction of indoor navigation elements from 3D colored points», *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 173, pp. 238-261, mar. 2021.
- [30] A. F. Calvo, A. Bejarano Martínez, y E. A. Quintero Salazar, «Procesamiento de nubes de puntos por medio de la librería PCL», *Scientia et Technica*, vol. 2, nº 52, pp. 136-142, 2012.
- J. S. Hernández Santana** es Técnico en sistemas del SENA, cursa Ingeniería Catastral y Geodesia en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas (Bogotá). Miembro del semillero pensamiento espacial y análisis territorial vinculado al grupo NIDE.
<https://orcid.org/0000-0003-0188-6504>
- Y. H. Cortes Millán** es estudiante de últimos semestres de Ingeniería Catastral y Geodesia en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas (Bogotá). Adscrito cómo líder del semillero de investigación Pensamiento Espacial y análisis territorial vinculado al grupo NIDE, representante por facultad ante la Sociedad latinoamericana en percepción remota y sistemas de información espacial capítulo Colombia.
<https://orcid.org/0000-0002-8782-6803>
- C. M. González Giraldo**. Estudiante de últimos semestres de ingeniería Catastral y Geodesia de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, perteneciente al semillero Infraestructura de datos espaciales vinculado al grupo NIDE, con líneas de investigación en sensores remotos, geomática, geofísica y geodesia.
<https://orcid.org/0000-0001-6716-2029>
- E. S. Upegui Cardona**. Ingeniería Catastral y Geodesia, Especialista en SIG y Avalúos, Maestría en teledetección y geomática aplicada a medio ambiente. Doctorado en Geografía y ordenamiento territorial de la Universidad Franche-Compté (Francia). Docente de planta de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
<https://orcid.org/0000-0003-0973-7140>