

Diseño y construcción de sistema modular XY–panorámico para fotografía automatizada de objetos

Design and construction of a modular XY-panoramic system for automated object photography

Raziel A. Escamilla Tafolla ^a, Horacio Rostro González ^b, Juan P. Razón González ^c, José M. García Guzmán ^c, Felipe de J. Torres del Carmen ^d, Miroslava Cano Lara ^{a,*}

^a Ing. Mecatrónica, Tecnológico Nacional de México / ITS de Irapuato. Irapuato Gto. México.

^b Ing. Electrónica, Universidad de Guanajuato/DICIS. Salamanca Gto. México.

^c Ing. Electromecánica, Tecnológico Nacional de México / ITS de Irapuato. Irapuato Gto. México.

^d Ing. Mecánica, Universidad de Guanajuato/DICIS. Salamanca Gto. México.

Resumen

El escaneo tridimensional permite digitalizar objetos físicos con un alto nivel de precisión, sin embargo, la mayoría de los equipos comerciales disponibles en el mercado presentan costos elevados y un acceso limitado. En este trabajo se presenta el diseño y construcción de un sistema modular XY–panorámico de bajo costo, capaz de capturar imágenes estructuradas para aplicaciones de fotogrametría. El sistema funciona mediante la programación de un microcontrolador Arduino Uno R3 (Rev3), el cual controla dos motores paso a paso a través de drivers A4988, permitiendo el desplazamiento automatizado y repetible de cámaras de 2 celulares con programación en Python. El entorno de trabajo se controla en un laboratorio oscuro, representando una ventaja significativa, ya que permite regular la iluminación y evitar sombras, reflejos y variaciones de luz que pueden afectar la calidad del escaneo. El sistema desarrollado permite realizar un barrido desde diferentes posiciones, obteniendo un total de 15 imágenes frontales y 15 imágenes adicionales en la parte superior del objeto, realizando una rotación angular de 27° entre cada captura, lo que garantiza una cobertura visual adecuada para la reconstrucción tridimensional empleando el sistema XY–panorámico. Los resultados demuestran que el sistema propuesto constituye una alternativa funcional y accesible frente a equipos comerciales para la digitalización de objetos mediante fotogrametría.

Palabras Clave: Diseño mecánico, Sistema modular XY–panorámico, Fotogrametría, Escaneo 3D.

Abstract

Three-dimensional scanning allows for the digitization of physical objects with a high level of precision; however, most commercially available equipment is expensive and has limited accessibility. This paper presents the design and construction of a low-cost, modular XY-panoramic system capable of capturing structured images for photogrammetry applications. The system operates by programming an Arduino Uno R3 (Rev3) microcontroller, which controls two stepper motors via A4988 drivers, enabling the automated and repeatable movement of cameras on two cell phones programmed in Python. The work environment is controlled in a darkened laboratory, a significant advantage as it allows for lighting control and the avoidance of shadows, reflections, and light variations that can affect scan quality. The developed system allows for scanning from different positions, obtaining a total of 15 frontal images and 15 additional images from the top of the object, with a 27° angular rotation between each capture. This ensures adequate visual coverage for three-dimensional reconstruction using the XY-panoramic system. The results demonstrate that the proposed system constitutes a functional and accessible alternative to commercial equipment for the digitization of objects using photogrammetry.

Keywords: Mechanical design, Modular XY-panoramic system, Photogrammetry, 3D scanning.

1. Introducción

El escaneo tridimensional se ha consolidado como una herramienta clave para la digitalización de objetos físicos en diversos ámbitos, como la ingeniería, la manufactura digital, la inspección industrial y la ingeniería inversa. Esta tecnología permite obtener modelos virtuales detallados que facilitan el análisis geométrico, la reconstrucción de piezas y la

documentación digital (González et al., 2021), quienes describen el diseño y construcción de un sistema mecánico programable para la captura automática de imágenes y la digitalización 3D, integrando movimiento controlado y captura fotográfica repetible. No obstante, la calidad de los modelos generados depende directamente de la adquisición adecuada de imágenes, lo que requiere sistemas de captura precisos y repetibles.

*Autor para la correspondencia: miroslava.cl@irapuato.tecnm.mx

Correo electrónico: LIS22110156@irapuato.tecnm.mx (Raziel A. Escamilla Tafolla), hrostrog@ugto.mx (Horacio Rostro González), juan.rg@irapuato.tecnm.mx (Juan Pablo Razón González), jose.gg@irapuato.tecnm.mx (José Miguel García Guzmán), miroslava.cl@irapuato.tecnm.mx (Miroslava Cano Lara)

Historial del manuscrito: recibido el 25/02/2026, última versión-revisada recibida el 26/05/2026, aceptado el 29/05/2026, en línea (postprint) desde el 03/06/2026, publicado el 05/01/2027. DOI: <https://doi.org/10.29057/icbi.v14i28.17080>



A pesar de su creciente relevancia, gran parte de los sistemas comerciales disponibles en el mercado presentan costos elevados y están diseñados para aplicaciones industriales específicas, lo que limita su acceso en entornos educativos y proyectos de investigación de bajo presupuesto. Un claro ejemplo de ello son los escáneres 3D, los cuales resultan altamente costosos; sin embargo, de acuerdo con (Haleeman et al. 2022) destaca que los escáneres 3D son altamente precisos, por lo que se prevé un aumento significativo en la industria de la ingeniería inversa. Aunque uno de los principales problemas que surgen al realizar barridos de imágenes está relacionado con la iluminación del objeto, (Cui et al. 2021) indican que la información de profundidad en el eje Z presenta un fenómeno de acumulación de errores, difícil de eliminar mediante la calibración del sistema debido a la limitación del principio de la tecnología de reconstrucción 3D de la sección de luz. Por ende, estos errores surgen cuando no tienen un buen control de iluminación del área de trabajo. Por su parte (Nazim et al. 2025) presenta un escaneo con luz estructurada funciona proyectando líneas de luz con patrones desde una fuente fija (como un proyector), capturando coordenadas detalladas del modelo escaneado, incluyendo colores y texturas como se observa en la Figura 1.

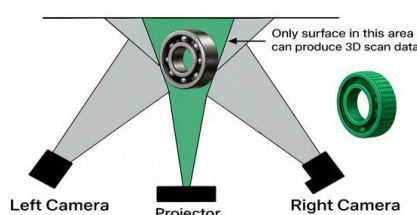


Figura 1. Proceso de reconstrucción de objetos 3D mediante escaneo de luz estructurada (Nazim et al. 2025).

En este contexto, la fotogrametría es de gran importancia, como (Nazim et al. 2025) posiciona tridimensionalmente de los puntos del objeto, basándose en el análisis de un conjunto de imágenes. Resalta (AGSA TECH DE MEXICO, 2025) la fotogrametría utiliza múltiples imágenes tomadas desde distintos ángulos para reconstruir un modelo 3D industrial. De esta manera la fotogrametría es una herramienta accesible y útil para diversas aplicaciones como la ingeniería, la investigación y la educación.

En el ámbito comercial, se han desarrollado sistemas comerciales más elaborados que integran de manera automática los procesos de captura, rotación y control del objeto. Un ejemplo representativo es el sistema PhotoRobot (PhotoRobot, 2025), especializado en fotografía de productos en 360°, con capacidad para soportar cargas de hasta 1500 kg, cuyas características técnicas y costos lo hacen poco accesible para instituciones académicas y desarrollos experimentales. Según (ApogeePhoto, 2016, 1 julio) el PhotoRobot tiene planes bien diseñados para poder montarlo y funcionar. Otro ejemplo es la empresa (Ortery Spanish 2025, 10 abril), fabricante pionero de soluciones profesionales de fotografía de 2D, 360° y 3D, donde (Ortery, 2026) en el sistema PhotoBench 180 con una plataforma automatizada integra iluminación LED controlable y una base giratoria motorizada para la captura automatizada de imágenes con fondos blancos.

Por otra parte, la investigación ha abordado alternativas de digitalización tridimensional de bajo costo. (Hernández, A. 2018) propone un sistema de escaneo 3D basado en triangulación láser, empleando un emisor láser y una cámara para determinar la posición espacial de los puntos del objeto durante su rotación, permitiendo reconstrucciones tridimensionales con alta precisión. De manera similar, (Crespo, C. y Fernández, E. 2014) implementó un escaneo tridimensional automatizado mediante una plataforma rotatoria y procesamiento digital de imágenes, utilizando triangulación láser y técnica de superficies de Bézier para su reconstrucción gráfica en OpenGL.

En este contexto, el presente trabajo aborda el diseño y construcción de un sistema modular XY-panorámico de bajo costo, orientado a la captura de imágenes estructuradas para su posterior procesamiento mediante técnicas de fotogrametría. El sistema integra una estructura mecánica modular, cámaras móviles y una base giratoria, lo que permite la adquisición automática y ordenada de fotografías desde diferentes posiciones y alturas alrededor del objeto de estudio. Esta propuesta busca ofrecer una alternativa de diseño y construcción accesible y adaptable para la digitalización tridimensional, promoviendo su aplicación en entornos educativos, de investigación y de ingeniería.

2. Metodología

La metodología empleada para el diseño y la construcción del sistema modular XY-panorámico destinado a la fotografía automatizada de objetos se organizó en ocho etapas secuenciales, lo que permitió desarrollar el sistema de manera ordenada e integral, abarcando desde la investigación inicial hasta la implementación final del sistema.

En la Figura 2, la primera etapa se realizó una revisión general de proyectos y trabajos relacionados con el desarrollo de sistemas similares al propuesto. Esto con el fin de identificar estrategias, herramientas empleadas, y así tener un mejor enfoque para la realización de este trabajo. Este análisis permitió reconocer tendencias actuales, ventajas y limitaciones de las soluciones existentes, así como oportunidades de mejora que fundamentan la propuesta desarrollada en este trabajo. Durante la segunda fase se planteó una estructura mecánica con geometría cúbica con dimensiones de 50x50x50 cm. El material consta de perfiles de aluminio de color negro de 400 mm para ayudar al control de iluminación, tornillos sin fin trapezoidal de 8mm que permite el desplazamiento controlado de cámaras de celular en (X,Y y posición rotacional) así como la orientación hacia el objeto a capturar. El diseño mecánico consideró aspectos como modularidad, facilidad de ensamblaje y rigidez estructural; con el objetivo de reducir vibraciones durante el funcionamiento del sistema. La tercera etapa estuvo enfocada en el diseño eléctrico, los componentes electrónicos ajustan la fineza de los movimiento cada 1000 ms. Los motores PaP Nema 17 y A4988 (Voltaje de referencia 0.5V) realizan el movimiento controlado desde origen para los ejes XY de 850-1700 y 900-1500 pasos respectivamente con un microcontrolador Arduino UNO Rev3.

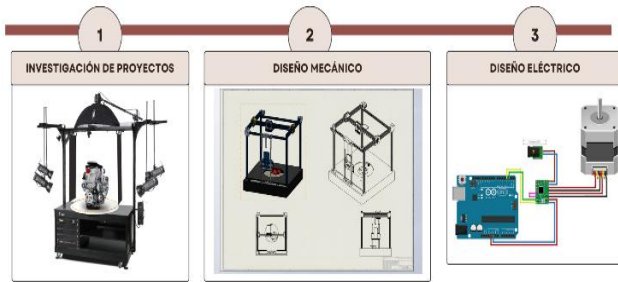


Figura 2. Diagrama de flujo del diseño del sistema modular XY-Panorámico (Etapa 1-3).

Posteriormente, en la cuarta etapa se llevó a cabo la construcción de la estructura principal del sistema. Para ello, los perfiles de aluminio se montaron sobre una base de madera, lo que proporcionó estabilidad y rigidez al conjunto. Esta estructura sirvió como soporte para la instalación de los elementos mecánicos y electrónicos del sistema, dónde se llevarán a cabo los desplazamientos de las cámaras. La quinta etapa correspondió a la construcción mecánica, se fabricaron soportes específicos mediante impresión 3D para el montaje de las cámaras y de los mecanismos de desplazamiento lo que aportó flexibilidad y adaptabilidad al diseño. En la sexta etapa se realizó el ensamblaje del circuito electrónico, integrando los elementos antes mencionados, verificando en todo momento que las conexiones estuvieran bien para evitar cualquier incidente como se muestra en la Figura 3.



Figura 3. Diagrama de flujo de la construcción y circuito del sistema modular XY-Panorámico (Etapa 4-6).

Finalmente, en la octava etapa se implementó la programación de las cámaras con Python, sincronizando la captura de imágenes con los movimientos controlados del sistema (ver Figura 4). Esta coordinación permitió automatizar el proceso de adquisición fotográfica, asegurando que las imágenes se obtuvieran en posiciones previamente establecidas XY-rotación y bajo condiciones de iluminación controladas como se muestra en la Figura 5.

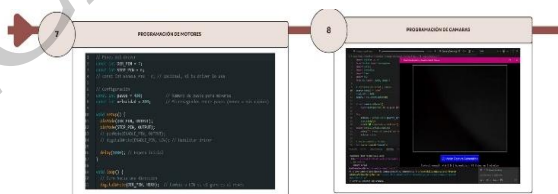


Figura 4. Programación del sistema modular XY-Panorámico (Etapa 7-8).

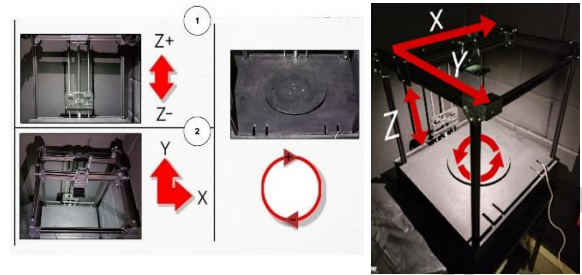


Figura 5. Sistema modular XY-Panorámico.

3. Discusión de resultados

El diseño y construcción del sistema modular XY-panorámico permite evaluar el proceso de captura de imágenes de objetos de estudio para fotogrametría. La técnica empleada de desplazamiento traslacional y rotacional depende directamente de las propiedades mecánicas del tornillo de avance y de las características del motor utilizado, ya que estos elementos determinan la precisión angular, la estabilidad del desplazamiento y la cantidad de capturas posibles durante el recorrido automatizado.

En función de la relación entre pasos del motor, desplazamiento lineal y ángulo de rotación de la base, es posible variar el número de fotografías adquiridas según los requerimientos del objeto de estudio. El eje Z genera el desplazamiento vertical mediante un tornillo T8 de 8mm de diámetro, un avance de 2 mm y una longitud total de 250mm, acoplado a un motor NEMA 17 (ver Figura 6). Debido a que el motor realiza 200 pasos por vuelta, se efectuó el cálculo $2mm/200pasos = 0.01mm/paso$, obteniendo que cada paso produce un desplazamiento aproximado de 0.01mm/paso. En la programación se utilizan 12000 pasos por comando, por lo que al realizar el cálculo $(12000pasos)(0.01mm/paso) = 120mm$, se obtuvo un avance lineal aproximado de 120 mm (12 cm). Por otra lado, la base giratoria es la encargada del movimiento rotacional controlado del objeto durante la captura de imágenes. En este sistema se utilizó un motor NEMA 17 de 200 pasos por revolución, equivalente a 360°. A partir de esta relación se realizó el cálculo angular con $Grados por paso = (15pasos)(360°)/200pasos = 27°$ como se visualiza en la Figura 6. La adquisición de 15 fotografías (considerando la primera como referencia en 0°), se obtiene un barrido angular total $\approx 378°$ para una cobertura completa del objeto.

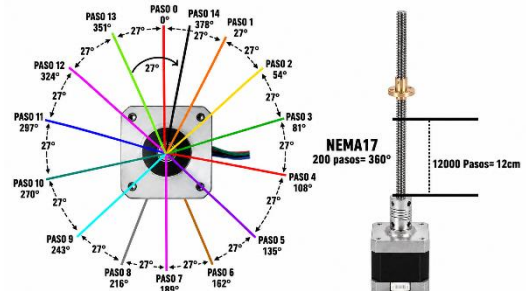


Figura 6. Desplazamiento angular de la base y movimiento vertical del eje Z por medio del motor NEMA 17.

En este contexto, se realizaron pruebas de capturas de fotografías con movimiento traslacional y rotacional para dos objetos prueba: cabeza de unice y cargador de teléfono, ambos de color blanco validando el contraste blanco/negro o bien objeto/fondo del escenario controlado, la estabilidad, repetibilidad y sincronización del sistema modular XY-panorámico. En el primer caso se adquirieron 45 imágenes frontales distribuidas en tres niveles de altura; adicionalmente, en la vista superior, mediante la rotación de la base en incrementos de $\approx 27^\circ$ por cada toma, se obtuvieron 15 fotografías. En el segundo caso se adquirieron 35 fotografías en un solo barrido, en esta configuración se emplearon 6 pasos del motor, con incrementos $\approx 10.8^\circ$ por toma fotográfica. Las imágenes obtenidas se visualizan en la Figura 7, permitiendo verificar el correcto funcionamiento del desplazamiento automatizado y la ausencia de vibraciones durante el recorrido.

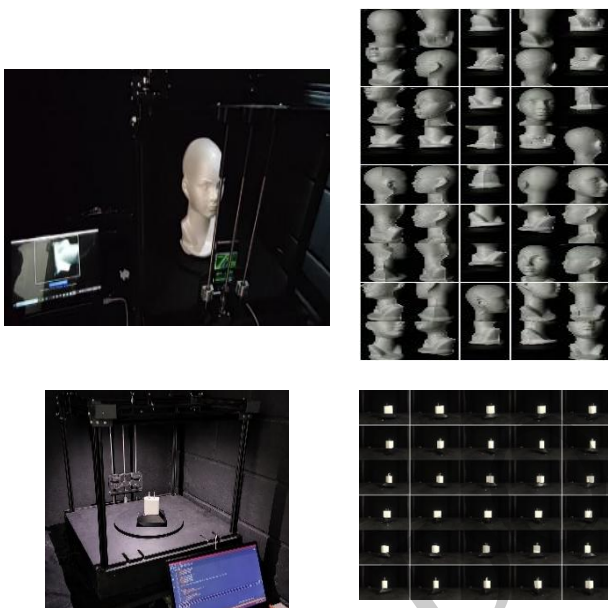


Figura 7. Pruebas experimentales del sistema modular XY-panorámico y capturas de fotografía automatizada con cabeza de unice y cargador de teléfono.

En el estudio principal, la Figura 8 muestra el objeto de estudio, que es un modelo genérico inspirado en diseños de animatrónicos ficticios, con una estatura de 21cm, presenta una tonalidad compuesta por variantes de azul en ojos, grisáceo en el micrófono, marrón oscuro en gran parte del cuerpo y detalles en color negro.

La distribución de las imágenes frontal y superior resulta fundamental para asegurar la superposición entre imágenes del cuerpo del objeto, requisito indispensable para una reconstrucción tridimensional precisa. El uso de un entorno con iluminación controlada (laboratorio oscuro, ver Figura 8) mantiene la calidad de las imágenes, se mejora la estabilidad visual en las capturas fotográficas, independientemente del material o geometría del objeto. La iluminación en los celulares permitió reducir la presencia de sombras y reflejos no deseados, factores que suelen afectar negativamente los algoritmos de fotogrametría al generar inconsistencias en la detección de puntos característicos.



Figura 8. Estatura y vista del proceso de captura de imágenes en plataforma modular XY en laboratorio oscuro de un modelo genérico tridimensional animatrónico utilizado para pruebas de fotogrametría.

Desde el punto de vista mecánico, en las pruebas experimentales la estructura del sistema y la integración de la plataforma XY permitieron un movimiento estable y repetible tanto de las cámaras de los celulares como de la base giratoria.

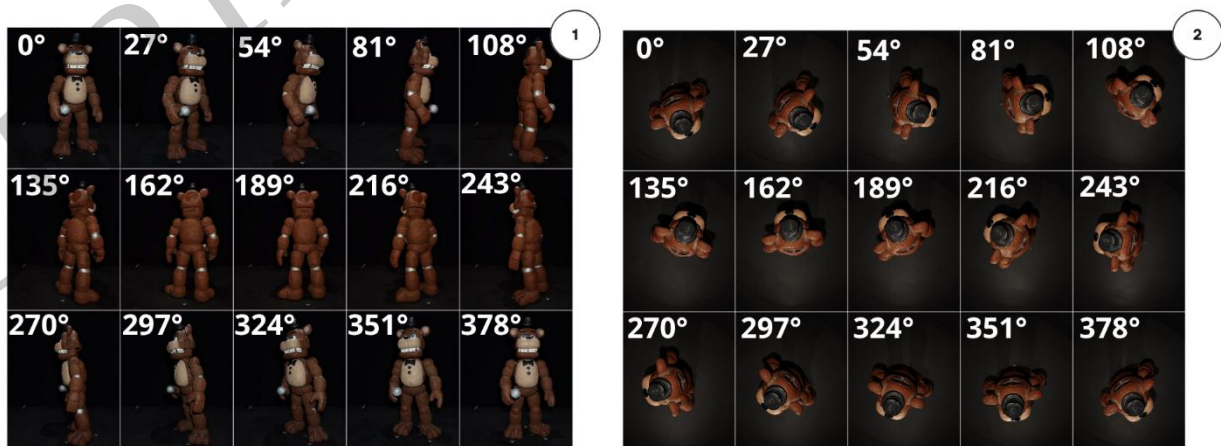


Figura 9. Funcionamiento de plataforma XY-panorámica, con la automatización de captura de fotografías del objeto desplazamiento traslacional y rotacional. Figura genérica tridimensional de animatrónicos.

En la estructura mecánica la ausencia de vibraciones durante el desplazamiento y la rotación fue significativa, contribuyó a obtener imágenes nítidas, evitando desenfoques y errores de alineación. En la Figura 9, en cuanto al sistema de control, la sincronización entre el desplazamiento de dos cámaras y la rotación de la base permitió ejecutar 1 barrido automatizado de manera precisa (frontal y superior). Esto garantizó que las imágenes se capturarán en posiciones previamente definidas como es el centro de la figura, favoreciendo la repetibilidad del proceso y reduciendo la intervención del operador. Es particularmente relevante en aplicaciones de fotogrametría, donde la consistencia en la toma de imágenes influye directamente en la calidad del modelo tridimensional final.

Los resultados obtenidos confirman que el sistema modular es una alternativa de bajo costo frente a equipos comerciales de escaneo y captura panorámica. El sistema trabaja con una capacidad máxima de 2 kilogramos, y requiere su mantenimiento preventivo mecánico y de lubricación para evitar irregularidades en el movimiento traslacional y afectar la estabilidad de las capturas. A pesar de utilizar componentes accesibles de bajo costo, el sistema demostró ser capaz de generar imágenes estables, con control de iluminación y con la cobertura necesaria para procesos de reconstrucción 3D como se observa en la Figura 10. De manera complementaria, la interfaz del software AutoPano Giga permite una alternativa para la fusión y alineación de las 15 imágenes frontales y la reconstrucción del modelo panorámico en Render, útil para fotogrametría.

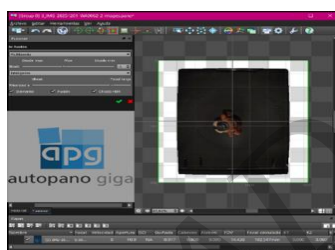


Figura 10. Interfaz del software AutoPano Giga con los parámetros de fusión y alineación. Modelado Paramétrico Render. Composición panorámica empleando la reconstrucción 3D de imágenes.

Finalmente se compara la fotografía del modelo referencia y la de reconstrucción Render, ambas manteniendo el escenario del cuarto oscuro (ver Figura 11). Se observa la precisión métrica en dimensión de 21cm, su geometría con variaciones mínimas en su textura y tonalidad. Se emplea un método de comparación basado en segmentación, reescalado (500x500px) con un análisis de similitud estructural y cromática entre imágenes.

Inicialmente, se extrae el objeto principal eliminando el fondo, con un reescalado y centrado para normalizar ambas imágenes antes de la comparación. A partir de ello, se calculan métricas de similitud mediante histogramas en el espacio de color HSV y el índice de similitud estructural (SSIM). En la gráfica el eje X y Y representan las métricas evaluadas y el valor de similitud obtenido en un rango de 0 a 1 respectivamente, los valores más cercanos a 1 indican una mayor coincidencia. La paleta de código de colores que comprenden tanto la imagen original como la del modelo Render se muestran en una cadena de formato Hexadecimal (HEX) logrando identificar similitud entre los formatos HEX.

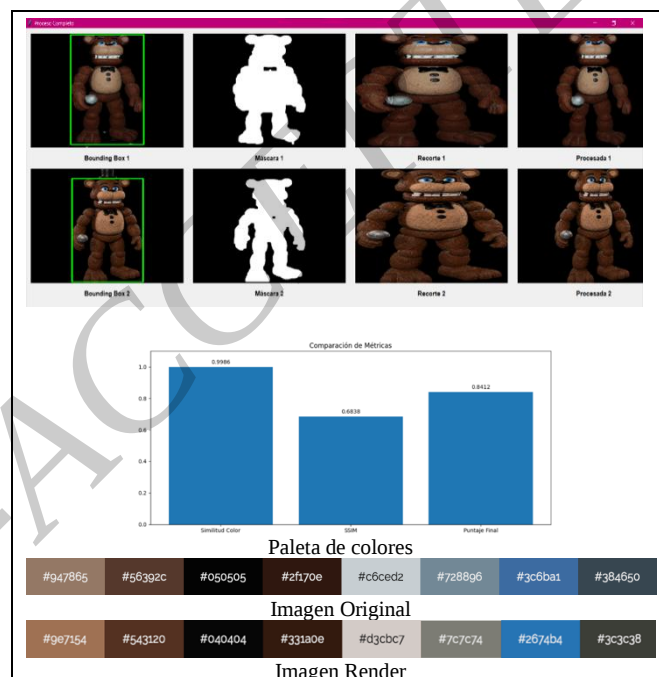


Figura 11. Comparación de imagen original y Render basada en segmentación, reescalado y análisis de similitud. Gráfica de comparación de métricas y paleta de código de colores HEX.

4. Conclusiones

El desarrollo del sistema modular XY-panorámico demostró que es posible implementar una alternativa de fotogrametría funcional y de bajo costo frente a equipos comerciales de alto costo. El diseño y construcción del sistema expande las aplicaciones en laboratorio de crear sus propias plataformas con materiales accesibles. El sistema permitió la captura de imágenes adecuadas en escalas milimétricas desde ángulos posteriores e inferiores con celulares, ampliando la cobertura visual de un objeto para su procesamiento gracias al control de iluminación del laboratorio oscuro.

Las imágenes pueden ser procesadas en programas de libre acceso como Meshroom, COLMAP o AutoPano Giga manteniendo su calidad y permitiendo la digitalización, lo que valida al sistema como una solución viable para aplicaciones educativas e industriales.

Agradecimientos

Este trabajo fue apoyado por el proyecto 2026-PD del Instituto Tecnológico Superior de México.

Referencias

- AGSA TECH DE MEXICO. (2025, 23 abril). Escaneo 3D Capturando la Realidad con Precisión. AGSA Technologies. <https://agsatech.com/blog/introduccion-al-escaneo-3d-capturando-la-realidad-con-precision/>
- ApogeePhoto. (2016, 1 julio). Product Review: 360°/3D FotoRobot. Apogee Photo Magazine. <https://www.apogeephoto.com/product-review-3603d-fotorobot/>
- Haleem, A.; Javaid, M.; Singh, R.P.; Rab, S.; Suman, R.; Kumar, L.; Khan, I.H. Exploring the potential of 3D scanning in Industry 4.0: An overview. *Int. J. Cogn. Comput. Eng.* 2022, 3, 162–163. <https://doi.org/10.1016/j.ijcce.2022.08.003>
- Cui, B.; Tao, W.; Zhao, H. High-Precision 3D Reconstruction for Small-to-Medium-Sized Objects Utilizing Line-Structured Light Scanning: A Review. *Remote Sens* 2021, 7(33), 4457. Shanghai Jiao Tong University. <https://doi.org/10.3390/rs13214457>
- Nazim, A., Kondrát, M., Zidek, K., & Pitel, J. (2025). Methodology of Object Reconstruction by Photogrammetry and Structured-Light Scanning for Industrial 3D Visualisation. *Sensors*, 5-6(23), 7177, Technical University of Košice, Bayerova 1. <https://doi.org/10.3390/s25237177>
- Ortery Spanish (2025, 10 abril). Soluciones Automatizadas para la Fotografía de Productos. <https://ortery.lat/>
- PhotoRobot (2025). Plataforma giratoria - Plataforma giratoria 360 para objetos grandes / pesados. Recuperado 16 de febrero de 2026, de <https://es.photorobot.com/robots/turning-platform>
- González-Merino, R., Rodríguez-Cortes, F. J., & Sánchez-Barrera, A. (2021) Low-Cost Prototype to Automate the 3D Digitization of Pieces. *Sensors*, 21 (8),2580, University of Córdoba. <https://doi.org/10.3390/s21082580>
- Ortery (2026). 3D PhotoBench 180. Recuperado el 24 de mayo de 2026, de [Ortery PhotoBench 180](#)
- Hernández Chalco, L. A. (2018). Diseño y construcción de un escáner 3D e integración en una impresora 3D. Tesis de Licenciatura, 241 hojas. Quito: EPN.
- Crespo Julio, C. M. y Fernández Zúñiga, E. J. (2014). Sistema de escaneo tridimensional basado en procesamiento digital de imágenes y triangulación láser. Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma del calibre, pp. 28–54