

Jornadas de Automática

Dispositivo abierto de bajo coste para reconstrucción 3D de entornos

Martín Bayón-Gutiérrez^{a,*}, Alicia Gómez-Pascual^a, Sergio Fernández-Blanco^a, José Alberto Benítez-Andrades^b, Carmen Benavides^a, Natalia Prieto-Fernández^a

^aGrupo SECOMUCI, Departamento de Ingeniería Eléctrica y de Sistemas y Automática, Universidad de León, Campus de Vegazana s/n, 24071, León, España

^bGrupo ALBA, Departamento de Ingeniería Eléctrica y de Sistemas y Automática, Universidad de León, Campus de Vegazana s/n, 24071, León, España

To cite this article: Bayón-Gutiérrez, M., Gómez-Pascual, A., Fernández-Blanco, S., Benítez Andrades, J.A. Benavides, C., Prieto-Fernández, N. 2026. Low-cost open-source system for 3D environment reconstruction. *Jornadas de Automática*, 47. <https://doi.org/10.17979/ja-cea.2026.47.13822>

Resumen

Este trabajo presenta un dispositivo portátil de bajo coste basado en LiDAR 3D y cámara RGB para la adquisición de datos y la reconstrucción tridimensional de entornos. El sistema ha sido diseñado como una plataforma abierta y modular orientada a investigación, prototipado y experimentación, utilizando sensores compactos, fabricación mediante impresión 3D y una arquitectura software desarrollada sobre ROS 2. La propuesta combina información geométrica y visual para generar nubes de puntos colorizadas mediante procesos de calibración y proyección LiDAR-cámara. Además, se describen tanto el diseño hardware del dispositivo como la integración software utilizada para adquisición, sincronización y visualización de datos. Finalmente, se presenta una validación experimental preliminar del sistema en entornos reales, mostrando la viabilidad de la propuesta como alternativa flexible frente a soluciones comerciales cerradas y de elevado coste.

Palabras clave: Fusión de información y sensores, Percepción y detección, Robots Móviles, Sistemas de posicionamiento, Localización, Mapeado, Integración de sensores y percepción.

Low-cost open-source system for 3D environment reconstruction

Abstract

This paper presents a low-cost handheld device based on a 3D LiDAR and an RGB camera for data acquisition and three-dimensional environment reconstruction. The system has been designed as an open and modular platform aimed at research, prototyping, and experimentation, using compact sensors, 3D-printed components, and a software architecture developed on top of ROS 2. The proposed solution combines geometric and visual information to generate colorized point clouds through LiDAR-camera calibration and projection processes. Both the hardware design of the device and the software integration implemented for data acquisition, synchronization, and visualization are described. Finally, a preliminary experimental validation in real-world environments is presented, demonstrating the feasibility of the proposed system as a flexible alternative to high-cost proprietary commercial solutions.

Keywords: Information and sensor fusion, Perception and sensing, Mobile robots, Positioning Systems, Localization, Map building, Sensor integration and perception.

*Autor para correspondencia: martin.bayon@unileon.es
Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0)

1. Introducción

La reconstrucción tridimensional de entornos es una tarea de gran interés en diversos ámbitos como la robótica móvil, la inspección de infraestructuras o la generación de gemelos digitales, entre otros. Tradicionalmente, este tipo de reconstrucciones se han llevado a cabo mediante sensores instalados sobre plataformas móviles, vehículos autónomos, drones de inspección o sistemas de escaneo estáticos.

Sin embargo, en numerosos escenarios reales, el empleo de este tipo de plataformas puede resultar poco práctico debido a limitaciones relacionadas con el tamaño del sistema, la accesibilidad del entorno, la dependencia de GNSS, el tiempo de despliegue o el elevado coste asociado (Otero et al., 2020; Maset et al., 2021). En particular, los sistemas montados sobre vehículos o estaciones fijas presentan dificultades para operar en espacios interiores, entornos estrechos, terrenos complejos o zonas de difícil acceso (Maset et al., 2021). En este contexto, los dispositivos portátiles permiten realizar tareas de adquisición tridimensional de forma más flexible y adaptable, ya que pueden ser transportados y operados manualmente por un usuario durante la captura de datos (Maset et al., 2021). Sin embargo, también introducen desafíos, como la presencia de movimientos bruscos, posibles oclusiones producidas por el propio operador y una mayor sensibilidad a errores de sincronización o calibración.

El desarrollo reciente de sensores LiDAR compactos, cámaras RGB-D y plataformas de computación embebida ha favorecido la aparición de los sistemas portátiles orientados a reconstrucción tridimensional y adquisición integrada de información geométrica y visual (Otero et al., 2020; Liu et al., 2024). Además, la integración de arquitecturas software abiertas basadas en ROS ha permitido simplificar el desarrollo de sistemas modulares y fácilmente escalables para investigación y experimentación.

Existen soluciones comerciales orientadas al mapeo portátil de entornos, generalmente basadas en sensores LiDAR, cámaras y sistemas de estimación de movimiento integrados. Aunque estos dispositivos suelen ofrecer buenos resultados, su coste es habitualmente elevado y su arquitectura hardware y software es cerrada, lo que resulta en la dependencia de otras soluciones ofrecidas por el propio fabricante para el tratamiento o uso de los datos recopilados. Algunos ejemplos de este tipo de dispositivos comerciales son el Leica BLK2GO (Leica, 2026), el 3D MakerPro Eagle (3D MakerPro, 2026), el Artec Jet (Artec 3D, 2026) o el NavVis VLX-3 (NavVis, 2026).

Por el contrario, en este trabajo se presenta un dispositivo portátil de adquisición de datos totalmente abierto, que puede ser ensamblado utilizando impresión 3D y sensores de bajo coste. El sistema está concebido como una solución modular, orientada al prototipado y a la experimentación, con especial atención al uso de una arquitectura software accesible desarrollada sobre ROS 2. El dispositivo planteado permite adquirir datos de sensores LiDAR 3D y cámaras RGB, proyectar información visual sobre la nube de puntos, y generar una reconstrucción 3D del entorno analizado.

La principal contribución de este trabajo es la integración de un prototipo funcional de bajo coste y fácilmente reproducible para la captura de información 3D en entornos reales.



(a)



(b)

Figura 1: Arriba: Dispositivo de adquisición de datos desarrollado, que integra una cámara RGB y un sensor LiDAR tridimensional. Abajo: Entorno reconstruido utilizando el dispositivo y ecosistema software presentado.

Este dispositivo servirá como base para futuras mejoras orientadas a miniaturizar el prototipo presentado y aumentar su integración como una herramienta portable y versátil de adquisición de datos de entorno para diversos trabajos.

Con el objetivo de facilitar la reproducibilidad del trabajo y promover la reutilización del sistema propuesto, se ha publicado un repositorio de acceso público que incluye el código fuente de la herramienta desarrollada, los archivos *.stl* correspondientes a los diseños mecánicos empleados para la fabricación del prototipo mediante impresión 3D y la documentación necesaria para la instalación, configuración y uso del sistema. Este repositorio está disponible de forma pública en: <https://github.com/martin-bayon/Open3DScanner>

2. Trabajos relacionados

La reconstrucción tridimensional de entornos ha sido ampliamente estudiada en el contexto de la robótica móvil y la visión por computador. Una de las aproximaciones más habituales consiste en utilizar sensores LiDAR para estimar la geometría del entorno y, simultáneamente, calcular la trayectoria seguida por el sensor utilizando un proceso de Localización y Mapeado Simultáneo (SLAM), que permite construir un mapa del entorno mientras se estima la posición del sistema dentro de dicho mapa. Los métodos SLAM basados en LiDAR resultan especialmente adecuados para entornos con geometría estructurada, ya que proporcionan medidas de distancia precisas y son menos dependientes de la iluminación que los métodos puramente visuales.

Trabajos clásicos como LOAM (Zhang et al., 2014) y propuestas posteriores como LeGO-LOAM (Shan and Englot,

2018) o KISS-ICP (Vizzo et al., 2023) han demostrado la viabilidad de utilizar únicamente información LiDAR para la estimación de trayectorias y la generación de mapas tridimensionales.

De forma paralela, diversos trabajos han analizado la combinación de sensores LiDAR y cámaras para enriquecer la información capturada. La fusión de ambos sensores permite asociar información RGB a la geometría capturada por el LiDAR, facilitando la interpretación visual y semántica del entorno. En este contexto, diferentes trabajos han abordado tanto la reconstrucción tridimensional como la colorización de nubes de puntos y la integración de información visual dentro de sistemas SLAM (Lin et al., 2024; Liu et al., 2024; Ranasinghe et al., 2025).

La correcta integración de la información geométrica y visual requiere un proceso de calibración entre ambos sensores que permita establecer correspondencias consistentes entre la nube de puntos LiDAR y las imágenes RGB adquiridas. Para ello, se necesita tanto la calibración intrínseca de la cámara como la calibración extrínseca entre la cámara RGB y el sensor LiDAR.

Por un lado, los parámetros intrínsecos de la cámara RGB describen la forma en la que el entorno tridimensional es proyectado sobre el plano imagen. En el modelo de cámara *pinhole*, estos parámetros corresponden principalmente a la distancia focal y al punto principal del sensor, y permiten relacionar un punto tridimensional expresado en el sistema de referencia de la cámara con su correspondiente píxel en la imagen generada.

Por otro lado, es necesario determinar con exactitud la posición relativa de los sistemas de referencia de la cámara RGB y el sensor LiDAR 3D. Este proceso se conoce como calibración extrínseca y da como resultado una transformación que puede involucrar una traslación y una rotación. Esta transformación permite expresar los puntos tridimensionales capturados por el LiDAR en el sistema de referencia de la cámara, de forma que puedan proyectarse posteriormente sobre la imagen mediante los parámetros intrínsecos de la cámara. Existen diferentes estrategias para realizar este proceso de calibración, desde métodos manuales o semi-automáticos basados en correspondencias geométricas (Scaramuzza et al., 2007) hasta técnicas automáticas basadas en características estructurales compartidas entre sensores (Zhou et al., 2018) y enfoques recientes basados en aprendizaje profundo (Tan et al., 2024).

Gracias a los procesos de calibración intrínseca y extrínseca, es posible establecer una correspondencia geométrica entre cada punto de la nube LiDAR y el píxel de la imagen en el que se proyecta. Esto permite asociar información de color a los puntos tridimensionales y generar nubes de puntos colorizadas, que resultan más fáciles de interpretar visualmente y pueden ser útiles en tareas posteriores como inspección, segmentación o documentación de entornos.

Estas técnicas de fusión multisensor han sido empleadas recientemente en el desarrollo de plataformas portátiles orientadas a la adquisición y reconstrucción tridimensional de entornos. Wei et al. proponen un sistema compacto basado en LiDAR, IMU, cámara RGB y cámara térmica para la reconstrucción 3D del entorno (Wei et al., 2024). Maset et al. analizan sistemas portátiles de mapeado tridimensional basados en LiDAR e IMU (Maset et al., 2022), mientras que Ramezani

et al. presentan un dataset obtenido mediante una plataforma portátil equipada con LiDAR 3D, visión estéreo e información inercial, orientado a la evaluación de algoritmos de SLAM y reconstrucción tridimensional (Ramezani et al., 2020).

En este trabajo, se utiliza un sensor LiDAR 3D y una cámara RGB Intel RealSense, que ha sido calibrada internamente por parte del fabricante, y que incluye los parámetros de calibración intrínseca como parte de su firmware. Por su parte, la calibración extrínseca se realiza utilizando el proyecto de código abierto de Koide et al. (Koide et al., 2023), lo que garantiza la replicabilidad y se alinea con el objetivo del trabajo de disponer de un dispositivo abierto, versátil y adaptable.

3. Sistema propuesto

El sistema propuesto consiste en un dispositivo portátil diseñado para capturar información tridimensional del entorno mediante la combinación de un sensor LiDAR 3D, una cámara RGB, y un ecosistema software para el procesamiento de datos. Ambos sensores se encuentran montados de forma rígida sobre una estructura común impresa en 3D, de manera que la transformación geométrica entre ellos puede considerarse constante durante la adquisición de datos. Por su parte, la batería de alimentación del sistema y la unidad de computación encargada de analizar los datos se transportan externamente en una mochila, de forma que el dispositivo de adquisición de datos resulte ligero y pueda ser manejado por el operador de forma sencilla.

El funcionamiento general del sistema se basa en tres etapas principales. En primer lugar, se realiza la adquisición sincronizada de los datos procedentes del LiDAR y la cámara. En segundo lugar, se transforman los datos de ambos sensores a un sistema de referencia común utilizando las transformaciones extrínsecas correspondientes, y se aporta color a la nube de puntos utilizando las imágenes capturadas por la cámara. Por último, la nube de puntos con información RGB es utilizada para la reconstrucción 3D del entorno, utilizando técnicas SLAM que estiman la posición del dispositivo en cada momento.

Desde el punto de vista conceptual, el LiDAR proporciona la estructura geométrica principal del entorno, mientras que la cámara se utiliza para aportar información visual adicional. Para ello, cada punto 3D capturado por el LiDAR puede transformarse al sistema de referencia de la cámara y proyectarse sobre el plano de imagen. Si la proyección del punto cae dentro de los límites de la imagen y se encuentra delante de la cámara, se le asigna el color del píxel correspondiente. De esta forma, se obtiene una nube de puntos colorizada que combina información geométrica y visual.

La implementación se ha realizado siguiendo una filosofía modular utilizando el framework ROS 2. Cada componente del sistema, como la adquisición de nubes de puntos, la adquisición de imágenes, la publicación de transformaciones, la proyección de color y la visualización, se gestiona mediante nodos independientes. Esta separación facilita la depuración del sistema, permite sustituir sensores o algoritmos concretos y proporciona una base flexible para futuras ampliaciones y modificaciones.

3.1. Hardware

El prototipo desarrollado se presenta en la Figura 1(a) y está compuesto por los siguientes elementos:

- Un sensor LiDAR 3D Robosense Airy de 192 canales. Este sensor ofrece un ángulo de captura de datos de $360^\circ \times 90^\circ$ en forma de semiesfera. El sensor proporciona medidas del entorno cercano hasta un rango máximo de 30m, con una resolución angular de $0,4^\circ \times 0,47^\circ$. El sensor ha sido instalado con una cierta inclinación frontal, con el objetivo de maximizar la región del entorno capturada de forma simultánea por ambos sensores.
- Una cámara RGB-D Intel RealSense D435i. En este trabajo, las capacidades de visión de profundidad de la cámara no han sido utilizadas, por lo que esta se comporta como una cámara RGB tradicional.
- Una estructura de instalación de sensores diseñada e impresa en 3D. La estructura ha sido diseñada para resultar ergonómica y ligera, facilitando su uso durante la toma de datos.
- Un equipo de computación Nvidia Jetson AGX Orin. Este equipo está especialmente orientado al diseño y prueba de prototipos y garantiza el uso de una plataforma unificada y altamente personalizable de cara a futuras integraciones de la unidad en la propia estructura de sensores.
- Una batería de alimentación externa, que proporciona autonomía en la toma de datos. La batería utilizada permite el uso del dispositivo de forma ininterrumpida durante largos periodos de tiempo.

El prototipo ha sido diseñado atendiendo a la importancia en la rigidez del montaje de ambos sensores, elemento imprescindible para garantizar una calibración extrínseca exitosa y prevenir errores al combinar la información visual y la nube de puntos. Además, la posición de los sensores ha sido seleccionada buscando un compromiso entre campo de visión, comodidad de uso y reducción de oclusiones. Se ha considerado adecuado integrar la batería de alimentación del conjunto, así como el equipo de computación en una unidad externa, que puede ser transportada por el operador del sistema en una mochila.

De este modo, aunque el prototipo actual tiene un carácter experimental, su diseño permite evaluar la viabilidad de una plataforma *hand-held* para capturar información 3D en entornos reales sin necesidad de instalar los sensores sobre un robot móvil o un vehículo. La Figura 2 proporciona una visión esquemática de los componentes del equipo propuesto.

3.2. Software

La arquitectura software del sistema se ha desarrollado sobre el ecosistema ROS 2, lo que permite organizar el procesamiento de datos en nodos independientes y facilita la comunicación entre los distintos componentes. Esta elección proporciona una infraestructura flexible para la adquisición de datos, la gestión de la información de calibración, la visualización en

tiempo real y el almacenamiento de la información capturada. Además, ROS 2 facilita la sustitución concreta de sensores por

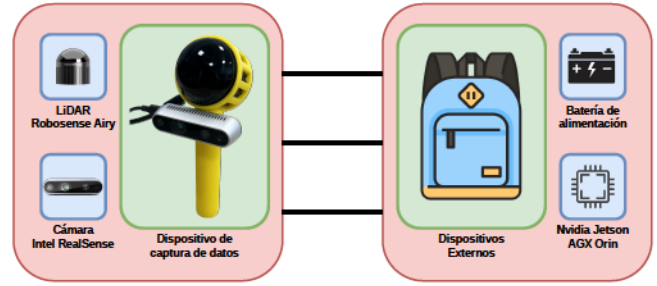


Figura 2: Esquema de instalación y conexión de los elementos del sistema propuesto

otros equivalentes mediante el uso de mensajes estandarizados. El flujo de procesamiento está dividida en dos secciones independientes atendiendo a la fase de utilización del dispositivo. El diagrama general de funcionamiento del sistema de presenta en la Figura 3.

Por un lado, el dispositivo incorpora un proceso de sincronización y calibración. En el proceso de sincronización, los flujos de información procedentes de ambos sensores deben ser analizados para garantizar la consistencia temporal, dado que una incorrecta sincronización de los sensores puede dar lugar a la asignación de información visual incorrecta sobre la nube de puntos. Otra posibilidad consistiría en la utilización de métodos de sincronización hardware (Gurumadaiah et al., 2025). En el proceso de calibración, se utiliza un proyecto de código abierto para obtener la matriz de calibración extrínseca en condiciones de operación real, sin necesidad de utilizar tableros de calibración o herramientas similares (Koide et al., 2023). Como se ha indicado, la cámara utilizada ya dispone de un fichero de calibración intrínseca, por lo que este proceso no es necesario.

La calibración del sistema dará como resultado una matriz de calibración extrínseca $T_{4 \times 4}$ que representa la rotación y traslación relativa de ambos sensores en un entorno tridimensional.

$$T_{4 \times 4} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_x \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_y \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & t_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \in SE(3)$$

Por otro lado, durante el funcionamiento habitual del sistema, el proceso comienza con la toma de datos de ambos sensores. Ambos flujos de datos se publican en su propio sistema de referencia utilizando topics de ROS 2 y pueden ser utilizados por distintos procesos.

La fusión sensorial requiere interpretar la información de ambos sensores en un sistema de referencia común. Para ello, se utiliza la matriz de calibración previamente calculada, y se representa cada punto $\tilde{\mathbf{p}}_L$ de la nube de puntos capturada por el sensor LiDAR en coordenadas homogéneas en el sistema de referencia de la cámara RGB, lo que da lugar a $\tilde{\mathbf{p}}_C$

$$\tilde{\mathbf{p}}_C = \mathbf{T} \tilde{\mathbf{p}}_L$$

Una vez que ambos flujos de sensores son representados en el mismo sistema de referencia, es posible utilizar la información de calibración intrínseca de la cámara para proyectar cada uno de los puntos en coordenadas homogéneas

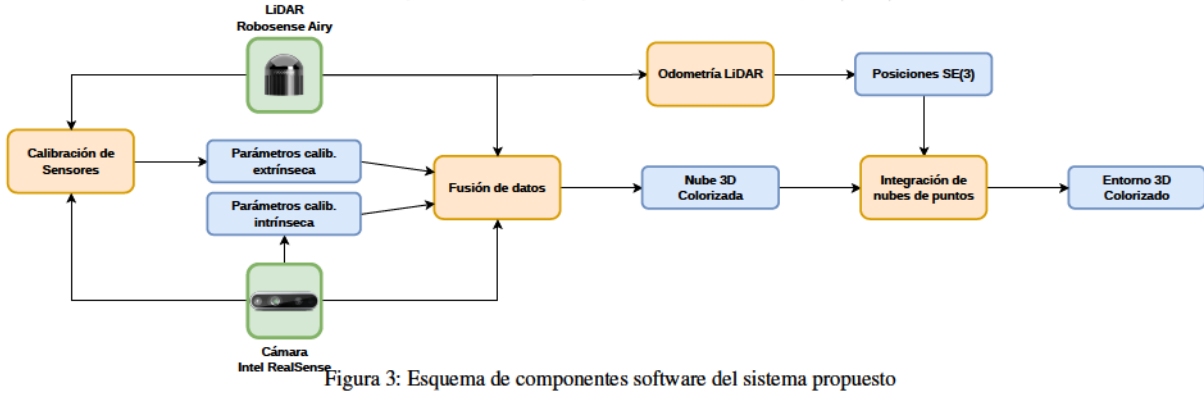


Figura 3: Esquema de componentes software del sistema propuesto

$\tilde{\mathbf{p}}_C = [x_C, y_C, z_C, 1]^T$ de la nube sobre el plano de la imagen RGB, de forma que sea posible extraer el color del píxel correspondiente:

$$u = f_x \frac{x_C}{z_C} + c_x, \quad v = f_y \frac{y_C}{z_C} + c_y$$

donde (u, v) son las coordenadas del píxel proyectado, (f_x, f_y) son las distancias focales y (c_x, c_y) es el punto principal de la cámara.

Si el punto proyectado se encuentra dentro de la imagen y cumple las condiciones geométricas necesarias, se obtiene el valor RGB del píxel correspondiente y se añade esta información al punto 3D. Los puntos que no pueden proyectarse correctamente pueden descartarse o mantenerse sin color, dependiendo de la configuración seleccionada.

De forma paralela, la información tridimensional capturada por el sensor LiDAR en bruto es directamente utilizada para calcular la odometría del conjunto en todo momento utilizando el proyecto de código abierto KISS-SLAM (Guadagnino et al., 2025), dando lugar a una matriz homogénea de transformación $T_k \in SE(3)$ que representa la posición y orientación del dispositivo en el entorno. Esta información es utilizada a continuación para realizar una reconstrucción 3D del entorno empleando las nubes de puntos actualizadas con información visual RGB.

La arquitectura software se ha diseñado de forma modular para facilitar futuras ampliaciones. Entre las posibles mejoras se incluye la integración de información inercial, el uso de sistemas de posicionamiento GNSS, o la exportación de modelos tridimensionales en formatos estándar. De esta forma, el sistema actual constituye una primera base funcional sobre la que desarrollar una plataforma de reconstrucción 3D más completa.

4. Resultados experimentales

Con el objetivo de validar el funcionamiento preliminar del sistema, se han realizado pruebas experimentales en entornos interiores y de exterior. Durante estas pruebas, el dispositivo fue desplazado manualmente por un operador mientras se capturaban simultáneamente nubes de puntos LiDAR e imágenes RGB. El propósito de estos experimentos no fue realizar una evaluación métrica exhaustiva, sino comprobar la correcta integración de los sensores, la coherencia de las transformaciones entre sistemas de referencia y la viabilidad de generar nubes de puntos 3D colorizadas que puedan ser posteriormente utilizadas para la generación de modelos completos.

Las nubes de puntos generadas por el LiDAR permiten observar la estructura geométrica principal del entorno, incluyendo paredes, suelo, mobiliario y otros elementos presentes en la escena. Por su parte, la cámara proporciona imágenes RGB sincronizadas con las medidas del LiDAR. Los sistemas de calibración, fusión de datos y odometría implementados en este trabajo permiten generar una nube de puntos agregada con información semántica RGB. El proceso de proyección de color sobre la nube de puntos muestra que es posible asignar información de color a una parte significativa de la nube de puntos dentro del campo de visión de la cámara. Esta colorización facilita la interpretación visual de la escena y permite identificar con mayor claridad algunos objetos y superficies.

Durante los experimentos se identificaron algunas limitaciones relevantes. En primer lugar, la calidad de la colorización depende directamente de la precisión de la calibración extrínseca entre el LiDAR y la cámara. Pequeños errores en esta transformación pueden producir desplazamientos visibles entre la geometría y la información visual proyectada. En segundo lugar, la falta de sincronización hardware entre sensores puede introducir errores cuando el dispositivo se mueve rápidamente. Por último, la diferencia entre el campo de visión del LiDAR y el de la cámara provoca que no todos los puntos puedan recibir información de color, siendo este aspecto especialmente relevante en dispositivos con un reducido campo de visión (FOV).

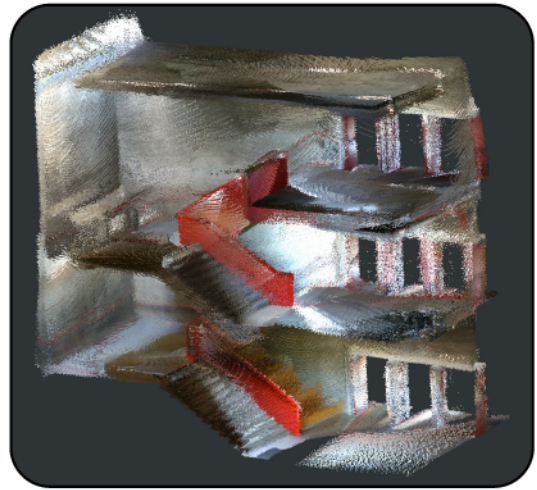


Figura 4: Reconstrucción tridimensional de un entorno interior obtenida mediante el sistema propuesto. En el entorno se puede identificar una escalera interior que da acceso a tres niveles de un edificio.

Las Figuras 1(b) y 4 muestra un ejemplo de los resultados obtenidos en entornos interiores y de exterior. En ellas se puede observar la nube de puntos completa capturada por el LiDAR una vez esta ha sido colorizada mediante la información proporcionada por la cámara. Los resultados permiten comprobar que la integración entre la cámara y el sensor LiDAR resulta adecuada y que el sistema es capaz de generar una representación visualmente enriquecida del entorno.

5. Conclusiones

En este trabajo se ha presentado el diseño e implementación preliminar de un dispositivo portátil abierto y de bajo coste, basado en LiDAR 3D y cámara RGB-D para la adquisición y reconstrucción de entornos tridimensionales. El sistema propuesto combina la capacidad del LiDAR para capturar información geométrica con la información visual proporcionada por la cámara, permitiendo generar nubes de puntos colorizadas a partir de datos capturados por un operador.

La arquitectura desarrollada se basa en ROS 2 y sigue un diseño modular, lo que facilita la integración de sensores, la gestión de los distintos sistemas de referencia, la visualización de datos y la incorporación de nuevos módulos de procesamiento. Además, el empleo de componentes accesibles, herramientas software abiertas y elementos fabricados mediante impresión 3D favorece la reproducibilidad y la adaptabilidad del sistema en entornos de investigación y prototipado. Los resultados experimentales muestran que el sistema es capaz de adquirir datos de ambos sensores de forma simultánea y proyectar información RGB sobre la nube de puntos LiDAR, obteniendo una representación tridimensional visualmente más rica del entorno.

Aunque el prototipo actual presenta ciertas limitaciones, especialmente relacionadas con la calibración extrínseca y la sincronización temporal, los resultados obtenidos permiten validar la viabilidad de la propuesta. El sistema constituye una alternativa flexible frente a soluciones comerciales cerradas y de elevado coste, proporcionando una plataforma abierta sobre la que desarrollar futuras mejoras orientadas a la estimación de trayectoria, la acumulación consistente de nubes de puntos, la integración de información inercial y de sistemas GNSS y la generación de modelos tridimensionales más completos.

Como trabajo futuro, se plantea mejorar el diseño mecánico del dispositivo, incorporar mecanismos de sincronización más precisos entre sensores y evaluar algoritmos de odometría y SLAM LiDAR que permitan construir mapas globales de mayor calidad. Asimismo, se considera de interés realizar una evaluación cuantitativa frente a modelos de referencia y estudiar la posible aplicación del sistema en escenarios reales de inspección, documentación de interiores o robótica móvil.

Referencias

- 3D MakerPro, 2026. 3D MakerPro Eagle LiDAR Scanner. <https://eu.store.3dmakerpro.com/products/eagle>.
- Artec 3D, 2026. Artec Jet Scanner. <https://www.artec3d.com/es/portable-3d-scanners/artec-jet>.
- Guadagnino, T., Mersch, B., Gupta, S., Vizzo, I., Grisetti, G., Stachniss, C., 2025. KISS-SLAM: A Simple, Robust, and Accurate 3D LiDAR SLAM System With Enhanced Generalization Capabilities. In: 2025 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). pp. 5363–5370.
DOI: 10.1109/IROS60139.2025.11246613
- Gurumadaiah, A. K., Park, J., Lee, J.-H., Kim, J., Kwon, S., 2025. Precise synchronization between lidar and multiple cameras for autonomous driving: An adaptive approach. *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles* 10 (3). DOI: 10.1109/TIV.2024.3444780
- Koide, K., Oishi, S., Yokozuka, M., Banno, A., 2023. General, single-shot, target-less, and automatic lidar-camera extrinsic calibration toolbox. In: 2023 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). DOI: 10.1109/ICRA48891.2023.10160691
- Leica, 2026. Leica BLK2GO Scanner. <https://shop.leica-geosystems.com/es/es-ES/reality-capture/blk2go/overview>.
- Lin, Z., Gao, Z., Chen, B. M., Chen, J., Li, C., 2024. Accurate lidar-camera fused odometry and rgb-colored mapping. *IEEE Robotics and Automation Letters* 9 (3), 2495–2502.
DOI: 10.1109/LRA.2024.3356982
- Liu, B., Zhao, G., Jiao, J., Cai, G., Li, C., Yin, H., Wang, Y., Liu, M., Hui, P., 2024. Omnicolor: A global camera pose optimization approach of lidar-360camera fusion for colorizing point clouds. In: 2024 IEEE international conference on robotics and automation (ICRA). IEEE, pp. 6396–6402.
DOI: 10.1109/ICRA57147.2024.10610292
- Maset, E., Cucchiari, S., Cazorzi, F., Crosilla, F., Fusiello, A., Beinat, A., 2021. Investigating the performance of a handheld mobile mapping system in different outdoor scenarios. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 43, 103–109.
DOI: 10.5194/isprs-archives-XLIII-B1-2021-103-2021
- Maset, E., Scalera, L., Beinat, A., Visintini, D., Gasparetto, A., 2022. Performance investigation and repeatability assessment of a mobile robotic system for 3d mapping. *Robotics* 11 (3), 54.
DOI: 10.3390/robotics11030054
- NavVis, 2026. NavVis VLX 3 wearable LiDAR Scanner. <https://www.navvis.com/vlx-3>.
- Otero, R., Lagüela, S., Garrido, I., Arias, P., 2020. Mobile indoor mapping technologies: A review. *Automation in Construction* 120, 103399.
DOI: 10.1016/j.autcon.2020.103399
- Ramezani, M., Wang, Y., Camurri, M., Wisth, D., Mattamala, M., Fallon, M., 2020. The newer college dataset: Handheld lidar, inertial and vision with ground truth. In: 2020 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). IEEE, pp. 4353–4360.
DOI: 10.1109/IROS45743.2020.9340849
- Ranasinghe, P., Patra, D., Banerjee, B., Raval, S., 2025. Lidar point cloud colourisation using multi-camera fusion and low-light image enhancement. *Sensors* 25 (21), 6582.
DOI: 10.3390/s25216582
- Scaramuzza, D., Harati, A., Siegwart, R., 2007. Extrinsic self calibration of a camera and a 3d laser range finder from natural scenes. In: 2007 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. IEEE, pp. 4164–4169.
DOI: 10.1109/IROS.2007.4399276
- Shan, T., Englot, B., 2018. Lego-loam: Lightweight and ground-optimized lidar odometry and mapping on variable terrain. In: 2018 IEEE/RSJ international conference on intelligent robots and systems (IROS). IEEE, pp. 4758–4765.
DOI: 10.1109/IROS.2018.8594299
- Tan, Z., Zhang, X., Teng, S., Wang, L., Gao, F., 2024. A review of deep learning-based lidar and camera extrinsic calibration. *Sensors* 24 (12), 3878.
DOI: 10.3390/s24123878
- Vizzo, I., Guadagnino, T., Mersch, B., Wiesmann, L., Behley, J., Stachniss, C., 2023. Kiss-icp: In defense of point-to-point icp—simple, accurate, and robust registration if done the right way. *IEEE Robotics and Automation Letters* 8 (2), 1029–1036.
DOI: 10.1109/LRA.2023.3236571
- Wei, P., Fu, K., Villacres, J., Ke, T., Krachenfels, K., Stofer, C. R., Bayati, N., Gao, Q., Zhang, B., Vanacker, E., et al., 2024. A compact handheld sensor package with sensor fusion for comprehensive and robust 3d mapping. *Sensors* 24 (8), 2494.
- Zhang, J., Singh, S., et al., 2014. Loam: Lidar odometry and mapping in real-time. In: *Robotics: Science and systems*. Vol. 2. Berkeley, CA, pp. 1–9.
- Zhou, L., Li, Z., Kaess, M., 2018. Automatic extrinsic calibration of a camera and a 3d lidar using line and plane correspondences. In: 2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). IEEE, pp. 5562–5569.
DOI: 10.1109/IROS.2018.8593660