ISBN: 978-628-96613-1-6. ISSN: 2414-6390. Digital Object Identifier: https://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2025.1.1.509

Integration of SLAM System in Mobile Robot for 2D Map Generation with RPLiDAR A1 Sensor

Saul Aqquepucho Sapacayo, Br.[1]; Diego Alonso Chávez Rodríguez, Br.[2]; Andre Nahir Sánchez Cuno, Br.[3]; Daniel Rodrigo Tanco Begazo, Br.[4]; Marcelo Quispe Ccachuco, Dr.[5]; César Pio Castillo Cáceres, Dr.[6];
[1, 2, 3, 4, 5, 6] Universidad Católica de Santa María, Perú, *saul.aqquepucho@ucsm.edu.pe, diego.chavez@ucsm.edu.pe, andre.sanchez@ucsm.edu.pe, daniel.tanco@ucsm.edu.pe, mquispec@ucsm.edu.pe, ccastillo555@yahoo.es*

***Abstract*– New emerging technologies such as LIDAR sensors are being explored for application fields. Their ability to continuously and accurately record distance measurements makes them ideal for SLAM systems, since this system is based on simultaneous mapping and localization in unknown environments. This work implemented the use of this technology through a rotating LIDAR sensor in conjunction with SLAM methodology to create an autonomous robot capable of mapping interiors by navigating through it, avoiding obstacles and the limits of the environment. A robot powered by 2 motors was designed and implemented, which allow the robot to move around the environment. Infrared proximity sensors incorporated in the front section allow obstacle detection and control over the wheels, avoiding this by turning depending on the sensor where the obstacle was detected.**

As a result of the design process, a robot was assembled with the required elements. It was able to move around the designated environment, detecting and avoiding obstacles through the joint work of motors and sensors. Additionally, a manual control function was incorporated, allowing the operator to exercise control over the robot's movement.

A map of the work area was obtained using the LIDAR sensor built into the top. However, for operation and obtaining results in real time, it is necessary to use a cable connected to a computer, allowing the transfer of data from the sensor and its direct display by software.

***Keywords*— 2D map generation, LIDAR sensor, SLAM system.**

Integración de Sistema SLAM en Robot Móvil para Generación de Mapas 2D con sensor RPLiDAR A1

Saúl Aqqepucho Sacapayo[1]; Diego Alonso Chávez Rodríguez[2]; Andre Nahir Sánchez Cuno[3]; Daniel Rodrigo Tanco Begazo[4]; Marcelo Quispe Ccachuco[5]; César Pio Castillo Cáceres[6];
[1, 2, 3, 4, 5, 6] Universidad Católica de Santa María, Perú, *saul.aqquepucho@ucsm.edu.pe, diego.chavez@ucsm.edu.pe, andre.sanchez@ucsm.edu.pe, daniel.tanco@ucsm.edu.pe, mquispec@ucsm.edu.pe, ccastill@ucsm.edu.pe*

Resumen– ***Las nuevas tecnologías emergentes como son los sensores LiDAR están siendo exploradas en búsqueda de campos de aplicación. Su capacidad de registrar medidas de distancia de manera continua y precisa los convierte en herramientas aplicables y adecuadas para su utilización en el sistema SLAM, dado que este sistema se basa en el mapeo y localización simultánea en entornos desconocidos. En este trabajo se implementó el uso de esta tecnología mediante un sensor LIDAR rotativo en conjunto con metodología SLAM para la creación de un robot autónomo capaz de realizar el mapeo de interiores al navegar a través de él, evitando obstáculos y los límites del entorno. Se diseñó e implementó un robot impulsado por 2 motores con encoders de cuadratura, los cuales permiten al robot movilizarse por el entorno mediante ruedas. Los sensores de proximidad infrarrojos incorporados en la sección frontal permiten la detección de obstáculos ubicados frente a él para poder ejercer un control sobre las ruedas, evitando este mediante un giro que depende del sensor donde se haya producido la detección del obstáculo.***

Como resultado del proceso de diseño, se consiguió ensamblar un robot con todos los elementos mecánicos, eléctricos y electrónicos requeridos. Este fue capaz de movilizarse por el entorno designado de manera autónoma, detectando y esquivando obstáculos mediante el trabajo conjunto de motores y sensores de proximidad. Adicionalmente, se incorporó una función para el control manual del robot, esta permite al operador ejercer un control del movimiento del robot en caso sea necesario.

Por otro lado, como resultado de las pruebas realizadas mediante el software Robo Estudio se logró obtener un mapa del área de trabajo por medio del sensor LIDAR incorporado en la parte superior. Sin embargo, para su correcto funcionamiento y obtención de los resultados en tiempo real, es necesario el uso de un cable conectado a una computadora, el cual permite la transferencia de los datos obtenidos del sensor y su visualización directa en el software.

Palabras clave— Generación de mapas 2D, Sensor LIDAR, Sistema SLAM.

I. Introducción

En la actualidad, existe un creciente interés por agilizar las tareas repetitivas que exponen al personal a ambientes de riesgo, las cuales son totalmente dependientes de los operadores encargados para ser concretadas [1]. La adopción de avances tecnológicos no es destacable en esta industria y, por ende, se busca que nuevas iniciativas y herramientas aborden estos desafíos optimizando parámetros como reducción de los tiempos de construcción, el impacto ambiental y los costos [2].

Los mismos autores señalaron que exponer a operadores capacitados en el tema a ambientes riesgosos no es lo óptimo, sino designarlos a la supervisión de un sistema autónomo que se involucre en el ambiente para reemplazar las labores manuales que abarcan demasiado tiempo, recursos o afecten a la seguridad, a diferencia de tecnologías actuales que ofrecen precisión, mayor eficiencia y exactitud [3].

Es entonces que se consideró la automatización del proceso de toma de medidas en interiores mediante robots, los cuales deben contar con sensores necesarios que permitan la recopilación de información requerida para la generación del mapa [4]. Estos sistemas robóticos automatizan tareas repetitivas o riesgosas, mejorando la precisión y acelerando la construcción, lo que permite a los trabajadores concentrarse en tareas más complejas [5].

La concatenación de la metodología con la tecnología que se desea emplear debe ser destacable. Siendo así, se estudió la capacidad de sensores LiDAR de trabajar en conjunto con sistemas SLAM, proporcionando los datos del entorno requeridos para posicionamiento, navegación o mapeo. Los proyectos realizados muestran resultados favorables, pudiendo obtener la estimación de posición de manera precisa y permitiendo realimentación en sistemas que presentan error de posicionamiento [6]. Adicionalmente, se comprobó que el uso de otros sensores además del LiDAR para localización es beneficioso para ampliar las capacidades del robot [7] y que pueden ser aplicados en zonas donde el posicionamiento o localización por otros métodos como GPS se vuelve complicado [8].

El presente trabajo propone una alternativa de solución basada en un robot de mapeo que realice las tareas de reconocimiento de entornos y generación de mapas 2D, empleando tecnología LIDAR para localizarse, detectar obstáculos, evitarlos y movilizarse por la zona de trabajo. Se sigue la metodología para desarrollar sistemas mecatrónicos propuesta por la norma VDI 2206 para alcanzar el desempeño esperado. Finalmente, los robots deben ofrecer seguridad y comodidad mediante normas sociales [9], para ello, se evaluó

su comportamiento y efectividad mediante técnicas de cuantificación del desempeño del movimiento de robots de servicio proporcionadas por la norma ISO 18646 para determinar si se puede aprobar o si se requiere de un rediseño.

A. Sistema SLAM (Simultaneous Localization and Mapping)

Se trata de un método empleado por robots o vehículos que operan de manera autónoma para la generación de un mapa del entorno y localizarse sobre él a la vez. Para realizar el reconocimiento, el sistema SLAM emplea un sensor capaz de sondear el entorno, ya sea de manera visual, laser, sónica o combinada [10].

El sistema SLAM implementado en este proyecto se basa en la integración de herramientas y bibliotecas de ROS, que permiten la localización precisa y la construcción simultánea de mapas del entorno del robot de los datos generador por el sensor LIDAR y visualizando con el Softtware RViz en ROS, aunque su correcta operación requiere una conexión directa con una computadora para el procesamiento intensivo.

A pesar de su efectividad, el sistema enfrenta desafíos como superficies reflectantes que pueden distorsionar los datos del sensor LiDAR y entornos dinámicos como áreas de construcción pueden afectar la consistencia del mapeo [11]. Sin embargo, los resultados obtenidos muestran mapas bidimensionales precisos y tiempos de procesamiento adecuados para aplicaciones interiores.

B. *Sensor LiDAR (Light Detection and Ranging)*

El sensor LiDAR es un elemento esencial en este proyecto, ya que permite al robot obtener información en tiempo real del entorno de trabajo, permitiendo al robot la navegación y mapeo de diversos entornos.

El sensor usado específicamente es el RPLiDAR A1, desarrollado por SLAMTEC. Este sensor se ubica en la parte superior del robot como se muestra en la Fig. 3, emplea un láser para realizar un escaneo de 360 grados en tiempo real, generando una nube de puntos que permite la generación de mapas 2D del entorno de trabajo, el sensor tiene un rango de medición de 12 metros trabajando a una frecuencia de escaneo de 5.5 Hz muestreando 1450 puntos en cada ronda.

Basado en el principio de tiempo de vuelo (Time of Flight), el RPLiDAR A1 mide la distancia a los objetos mediante la emisión de pulsos láser y el registro del tiempo de retorno, proporcionando datos detallados para algoritmos de mapeo y navegación como SLAM [12].

Fig. 1 Escaner rotatorio LiDAR de 360 grados RPLIDAR A1

Fuente: Ubuy Peru. (2025). *Slamtec RPLIDAR A1M8 LiDAR Sensor 2D 360 grado Radio Peru | UbuY*. https://www.ubuy.pe/sp/product/IQZ3FJLVG-slamtec-rplidar-a1m8-lidar-sensor-2d-360-degree-scanning-radius-for-robot-navigation-and-avoiding-obstacle-rplidar-a1

Este tipo de sensores es fundamental para que los robots puedan ubicarse en su entorno y planificar rutas óptimas, lo cual es crucial para tareas de trazado y replanteo de planos. Aunque el RPLiDAR A1 ofrece una visión completa del entorno, la precisión de la navegación también depende del diseño de los actuadores del robot, que influyen en el desplazamiento a lo largo de las trayectorias generadas. Su capacidad para funcionar en tiempo real permite la navegación en entornos cambiantes, haciendo del RPLiDAR A1 una solución eficiente y económica.

C. Características del robot

El entorno de trabajo del robot son áreas en construcción, donde los elementos presentes dentro del entorno son dinámicos y pueden cambiar regularmente. Siendo así, la capacidad del robot de detectar obstáculos y evadirlos es de gran relevancia para su diseño. De este modo la implementación de sensores capaces de detectar estos elementos es vital para un desplazamiento seguro.

De igual manera, el entorno de trabajo juega un papel en la selección de los actuadores del robot. Dado que las áreas enfocadas son interiores, se considera que las superficies de desplazamiento serán lisas, planas y niveladas. Siendo así, los actuadores seleccionados deben otorgar una buena adherencia a la superficie y propiciar un buen desplazamiento. Otra consideración es el tipo de mapa que se desea obtener, según ello, se debe mantener el sensor LiDAR estable y fijo para mapas 2D o brindarle un eje de rotación adicional que permita obtener modelos 3D [13]. Debido a su principio de funcionamiento, el sensor no debe ser obstruido en su ángulo de efecto completo, es decir, ningún componente debe obstaculizar la toma de medidas del sensor en un rango de 360°.

El robot debe estar correctamente nivelado para no comprometer la toma de medidas del sensor LIDAR y su estructura debe ser capaz de soportar los componentes requeridos. Estos deben ir completamente fijos a la estructura

del robot para evitar complicaciones por vibraciones, balanceo, etc. Para prevenir estas complicaciones, se propone un arreglo por bloques circulares.

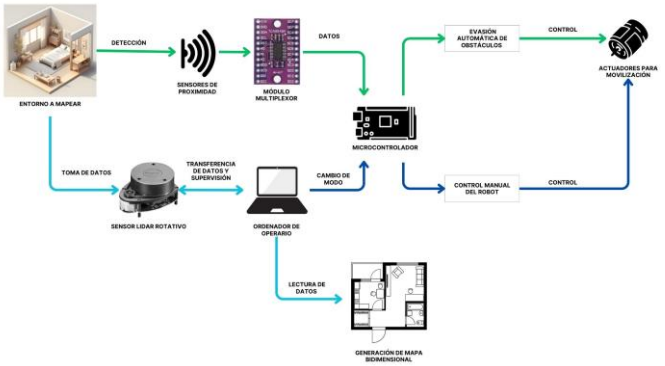


Fig. 2 Layout del proyecto

D. ROS (Robot Operating System

El software ROS fue fundamental en la implementación del sistema de mapeo y navegación del robot, permitiendo una integración eficiente del sensof RPLidar A1 y los algoritmos necesarios para generar mapas bidimensionales en tiempo real [14].

Con herramientas como rplidar_ros y Hector SLAM, instaladas desde repositorios públicos en GitHub, se logra procesar los datos crudos del sensor y construir mapas mientras se localizaba al robot en su entorno. Estas bibliotecas se adaptan al entorno Ubuntu, aprovechando las capacidades de ROS para manejar la comunicación entre nodos y garantizar un flujo de datos estable [15].

El paquete rplidar_ros transforma los datos del LiDAR en mensajes LaserScan, los cuales son procesados por Hector SLAM para estimar la posición del robot y generar el mapa. Hector SLAM emplea un enfoque basado en gradientes para alinear la nube de puntos escaneada con el mapa existente, logrando una representación precisa del entorno. Para la visualización, se utilizó RViz, donde los mapas generados se actualizaron en tiempo real, mostrando celdas libres, ocupadas y no exploradas, lo que permitió evaluar y ajustar los parámetros del sistema según las necesidades.

II. Materiales y Métodos

A. Diseño y estructura del robot

Considerando los puntos descritos en las características del robot, se estableció la necesidad de distribuir los componentes manteniendo un centro de gravedad balanceado y centrado. Debido a esto, se empleó una estructura con tres bases circulares. Esto ofrece un robot sencillo de balancear, con buena distribución para los sensores y que podemos considerar desde un punto central, de modo que todos sus límites están a la misma distancia. Esto facilitó su control y desplazamiento por el entorno.

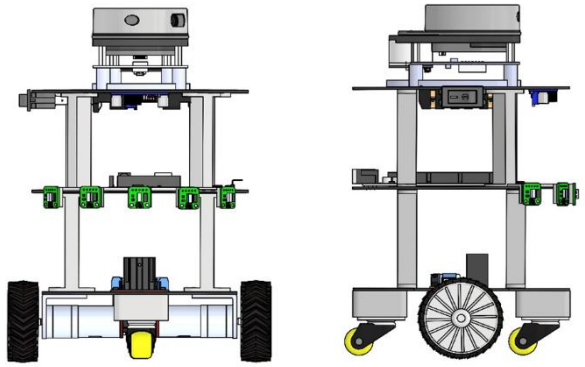


Fig. 3 Diseño general de la estructura

Las bases debían ser capaces de soportar todos los componentes, para asegurar su correcto desempeño se realizó un análisis de esfuerzos aplicando fuerzas en los puntos de apoyo de los soportes de separación. Una vez comprobado que los componentes no afectaban a las bases, se imprimieron en 3D con PLA.

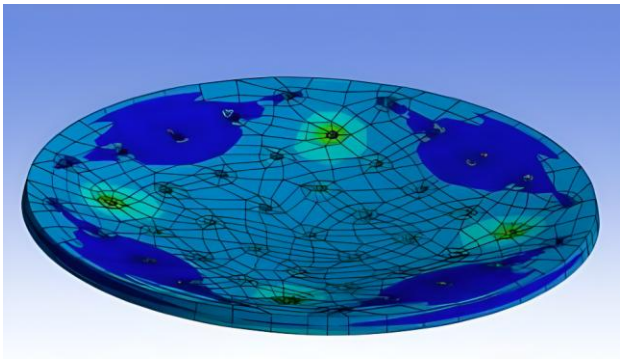


Fig. 4 Análisis de esfuerzos de las bases mediante ANSYS

Para facilitar el armado, distribución de componentes y la comprensión en general, se dividió al robot en 3 bloques: Bloque A (Superior), Bloque B (Medio) y Bloque C (Inferior).

El bloque A contenía al sensor RPLiDAR A1 en la parte superior para evitar que otros elementos obstruyan la toma de datos. Adicionalmente, se incorporaron tres baterías Lipo de 3.7V (2200 mAh) conectadas a un reductor de voltaje LM2596 para reducir los 11.1V del conjunto de baterías a 5V destinados a la alimentación del microcontrolador y motores, controlados por un switch para energizar o apagar el robot.

El bloque B incorporó la parte electrónica del robot. Se seleccionó el microcontrolador Arduino MEGA debido a la cantidad de pines digitales que ofrece, el giroscopio MPU6050

para determinar la orientación y nivelación del robot, cinco sensores de proximidad VCNL4010 ubicados en la parte frontal para la detección de obstáculos o límites, el multiplexor I2C para la comunicación entre los sensores y la placa microcontroladora, el módulo Bluetooth HC-05 para la comunicación remota y el control manual.

En el bloque C se acoplo los actuadores que permiten el desplazamiento del robot. Se utilizaron dos motores DC JGA25-370 de 6V a los cuales se les acopló ruedas de goma con relieve para asegurar una buena adherencia. Estas ruedas son controladas mediante un módulo de puente H L298N. Como se explicó, el robot debe estar correctamente equilibrado y nivelado, esto puede dificultarse con las configuraciones diferenciales de robots móviles, por lo que se optó por la adición de dos ruedas giratorias niveladas mediante soportes, otorgando 4 puntos de apoyo.

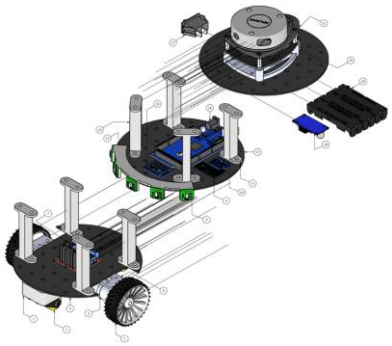


Fig. 5 División del robot en bloques

B. Detección y evasión de obstáculos

Para que el robot logre navegar de manera autónoma, se emplearon sensores infrarrojos de proximidad VCNL4010 para asegurar un desplazamiento seguro en diversos entornos.

Fig. 6 Sensor de proximidad infrarrojo VCNL4010

Fuente: 466 - VCNL4010 Proximity/Light Sensor Evaluation Board. (2025). Evelta Electronics. https://evelta.com/466-vcnl4010-proximity-light-sensor-evaluation-board/

En la Fig. 6 se muestra el sensor, que trabaja a 5 V se caracteriza por utilizar el protocolo I2C lo cual represento una reducción respecto a la cantidad de pines a utilizar del Arduino.

Fig. 7 Multiplexor I2C TCA9548A

Fuente: *Multiplexor I2C TCA9548A 8CH*. (2025). Naylamp Mechatronics - Perú. https://naylampmechatronics.com/multiplexores/637-multiplexor-i2c-tca9548a-8ch.html

Se empleó junto a él un multiplexor I2C TCA9548A como en la Fig.7 el cual es útil para el manejo de varios sensores que utilizan el mismo protocolo y una misma dirección.

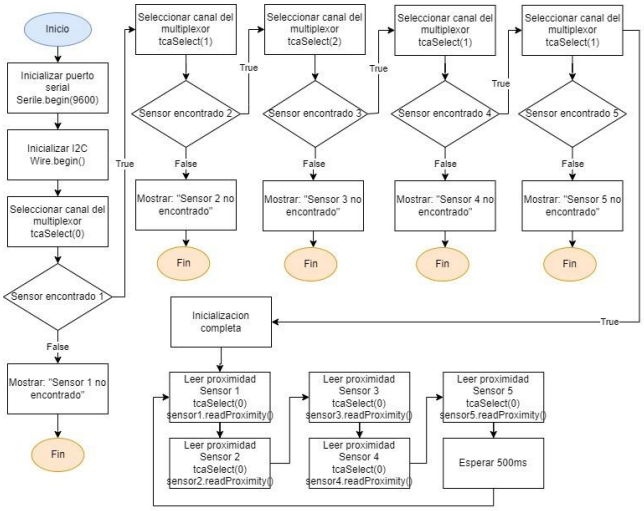


Fig. 8 Diagrama de flujo del código general del robot

Los 5 sensores empleados se distribuyeron para detectar los obstáculos al frente y los costados del robot. Lo que permitió a este reaccionar a ellos y tomar una decisión previamente programada según los sensores que detecten el obstáculo como se muestra en la Fig. 8: Se gira a la izquierda si los sensores 1,2 y 3 están activos, a la derecha si 3,4 y 5 están activos, se moviliza hacia atrás si 2,3 y 4 están activos o hacia adelante si ninguno de los sensores detecta algún obstáculo.

Durante las pruebas, el sistema logró desplazarse, detectar y esquivar obstáculos en entornos controlados y dinámicos. Incluso en espacios reducidos o con objetos en movimiento, los sensores infrarrojos permitieron al robot adaptarse rápidamente y mantener una trayectoria libre de colisiones.

C. Implementación del control manual

Para la navegación, detección y mapeo dentro del entorno de trabajo, el robot contó con un modo autónomo, empleando los sensores RPLiDAR A1 y VCNL4010. El modo autónomo de navegación del robot es eficiente en la mayoría de los entornos, pero, cuando el entorno de trabajo se vuelve de difícil acceso o complejo, es necesario emplear un modo de navegación donde el operario tenga mayor control sobre el robot, por lo que se implementó un modo de control manual.

El control manual del robot permitió controlarlo por medio de una aplicación móvil desarrollada en App Inventor. Mediante la aplicación se realiza el cambio entre le modo autónomo y el modo manual, así como el control del desplazamiento deseado por el operario.

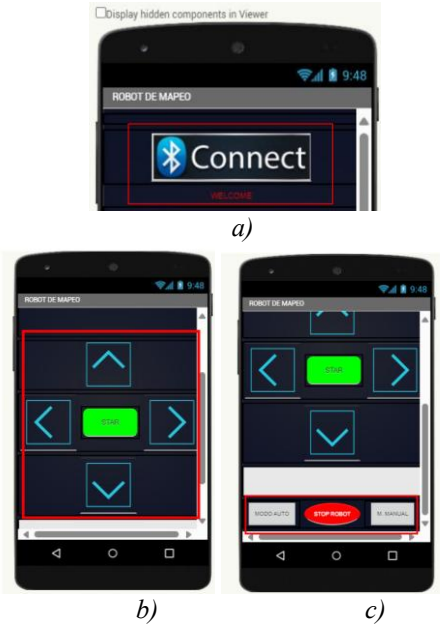


Fig. 9 Interfaz de la aplicación para el control manual del robot

En la figura 8 a) se muestra el botón que permite la conectividad Bluetooth entre la aplicación y el robot, la figura 8 b) se muestra el botón de STAR y los botones que permiten el desplazamiento del robot, en la figura 8 c) se muestra los botones que permiten cambiar entre los dos modos con los que cuenta el robot (modo automático y manual) y el botón de paro de emergencia. Como se observa, esta es una aplicación muy intuitiva permitiendo a los operarios y usuarios, poder controlar el robot de una forma sencilla.

La comunicación entre la aplicación y el robot se realiza mediante el módulo Bluetooth HC-05, los comandos enviados desde la aplicación móvil son procesados por el Arduino MEGA, el cual controla a los motores según las acciones recibidas.

Fig. 10 Modulo bluetooth HC-05

Fuente: Módulo Bluetooth HC-05. (2025). Cuotas Sin Interés. https://articulo.mercadolibre.com.pe/MPE-677043180-modulo-bluetooth-hc-05-_JM

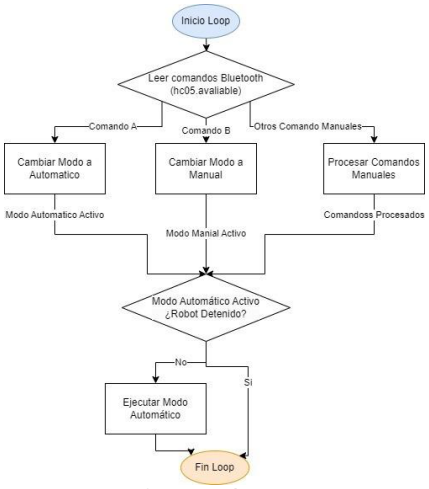


Fig. 11 Diagrama de flujo del código general del robot

En la Fig. 11 Se muestra el diagrama del código general para el control del movimiento del robot tanto la parte de Modo automático y de Modo manual donde a través de la aplicación móvil se seleccionan estas opciones donde lo recibe el módulo y cambien modo de operación.

D. Obtención del mapa bidimensional

La obtención del mapa bidimensional se realizó utilizando el sensor rotatorio RPLiDAR, que opero bajo un principio de escaneo láser en 360° para recolectar información de distancia y ángulo respecto a su entorno. Este sensor genera datos de nube de puntos que representan objetos o superficies detectadas dentro de su rango operativo.

El proceso de generación del mapa bidimensional inicia con la integración de los datos obtenidos por el RPLiDAR A1 en el marco de coordenadas estándar, como en la figura 10.

Aquí, el sensor emite pulsos láser desde un punto de origen definido por el eje Z (que apunta hacia afuera) y

registra el tiempo que tardan los pulsos en reflejarse de vuelta, permitiendo calcular distancias (d) en relación con los ángulos (θ) que cubren 360°. Esto se traduce en puntos (x, y) en el plano bidimensional según el sistema de coordenadas definido por ROS.

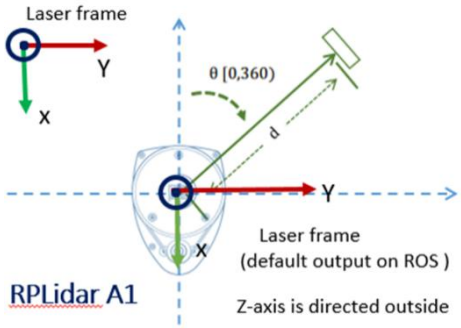


Fig. 12 Marco de coordenadas estándar para el sensor RPLidar A1

Fuente: Slamtec. (2025). *rplidar_ros/rplidar_A1.png at master · Slamtec/rplidar_ros · GitHub*. https://github.com/Slamtec/rplidar_ros/blob/master/rplidar_A1.png

El paquete **rplidar_ros** se utilizó para interpretar los datos del sensor, transformándolos en información compatible con ROS mediante mensajes estándar de tipo LaserScan. Estos mensajes incluyen información sobre el ángulo mínimo y máximo, las resoluciones angulares, y las mediciones de distancia en cada ángulo.

El paquete **Hector SLAM** fue esencial para procesar estos datos y construir el mapa bidimensional en tiempo real. Este algoritmo no requiere información previa de posición del robot ni de sensores de edometría, lo que lo hace ideal para escenarios con robots que no cuentan con ruedas codificadas. Hector SLAM utiliza un enfoque basado en gradientes para alinear la nube de puntos del Lidar con el mapa actual, actualizando de manera iterativa la posición estimada del sensor y refinando el mapa generado.

Finalmente, el mapa resultante se visualizó en **RViz**, una herramienta de ROS para la representación gráfica de datos de sensores y modelos robóticos. En RViz, el mapa bidimensional se mostró como una combinación de celdas ocupadas (representando objetos o paredes) y celdas libres (representando espacio navegable). La actualización en tiempo real del mapa permitió observar el progreso del escaneo y ajustar parámetros como la resolución del mapa y los filtros de ruido según las necesidades específicas del análisis. Representada como en la figura 11.

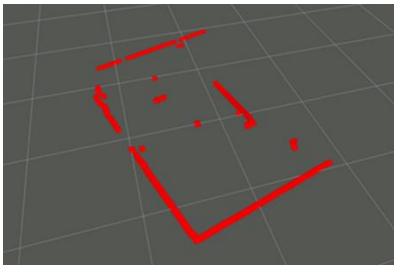


Fig. 13 Representación del mapa bidimensional en RViz

III. Resultados

A. Evaluación de capacidades del robot bajo norma ISO 18646

La primera prueba realizada para demostrar el desempeño del robot se basó en medir la capacidad del robot de seguir una trayectoria en línea recta. Se siguieron las recomendaciones de la norma ISO 18646 para la realización de la prueba el cual consistió en establecer dos puntos a una distancia estándar y medir si el robot es capaz de mantener una trayectoria recta o si se presenta desviación al momento de desplazarse.

Entonces, para la prueba se estableció una distancia de 1 metro, con el punto inicial establecido se puso en funcionamiento el robot, para luego medir la desviación que se presenta el robot al llegar al punto final.

Se realizaron 20 pruebas y se registraron los datos en la tabla 1 con el fin de observar la desviación que sufre el robot. Los resultados obtenidos otorgan una desviación promedio hacia la derecha de aproximadamente 5.9 cm.

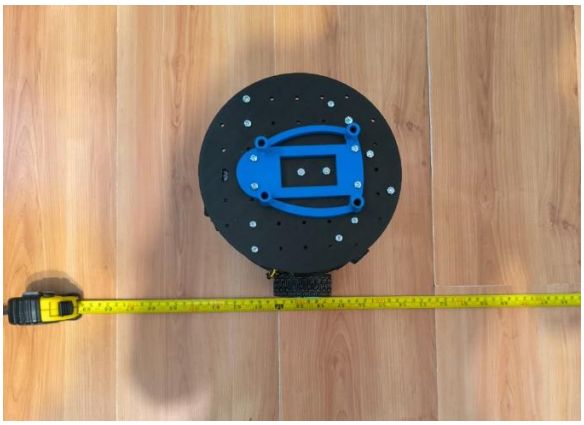


Fig. 14 Posicionamiento del robot en punto inicial

TABLA I
Resultados de Prueba de Desviación

Prueba	Distancia (cm)
1	6.1
2	5.5
3	7.8
4	6.8
5	6.1
6	5.5
7	5.2
8	4.8
9	6.2
10	5.5
11	5.8
12	5.3
13	4.5
14	4.7
15	6.0
16	6.5
17	6.3
18	6.5
19	6.7
20	6.5
Promedio	**5.9**

Se tomó como consideración el eje perpendicular a la línea de trayectoria para la toma de medidas de desviación. En otras palabras, se considera los valores a la izquierda del robot como negativos, mientras que los valores a la derecha son positivos. Siendo así, comprendemos que el robot presenta una desviación hacia la derecha de aproximadamente 5.9 cm por cada 100 cm de trayectoria.

La segunda prueba realizada comprende las situaciones recomendadas por la norma para la evaluación de la capacidad del robot de detectar obstáculos. En esta se tomó en cuenta el uso de los 5 sensores de proximidad para la medición del promedio de la distancia de detección de obstáculos. Se posicionó el robot a 1 metro de distancia de un muro y se procedió a activarlo y se tomaron medidas de las distancias a las que el robot detectaba la superficie con el sensor frontal.

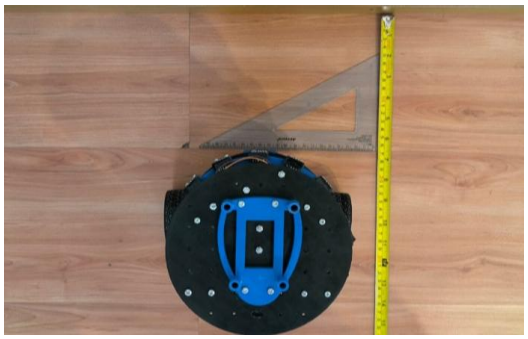


Fig. 15 Toma de medida de distancia de detección

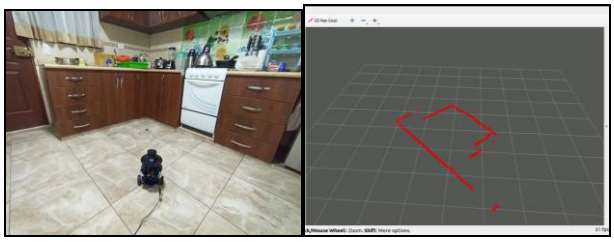
TABLA II
RESULTADOS DE PRUEBA DE DETECCIÓN

Prueba	Distancia (cm)
1	19.0
2	20.6
3	19.8
4	17.0
5	17.7
6	20.7
7	17.0
8	18.0
9	18.0
10	17.9
11	21.6
12	20.0
13	19.9
14	18.1
15	19.1
16	21.0
17	21.1
18	21.0
19	21.5
20	20.4
Promedio	**19.5**

Se logró determinar una distancia promedio de detección de los sensores infrarrojos de aproximadamente 19.5 cm mediante el promedio de las 20 pruebas realizadas.

B. Obtención de mapas 2D de diferentes habitaciones

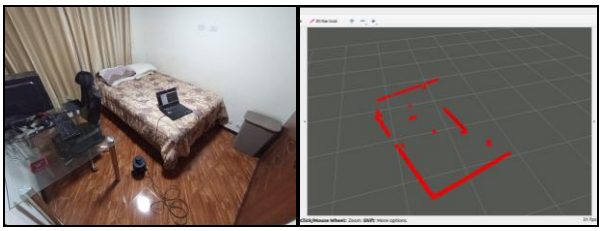
Se emplearon 4 áreas diferentes para corroborar el funcionamiento y las capacidades de reconocimiento del robot. En ellas, se posicionó al robot en un punto central donde el sensor LIDAR tuviese mayor rango de escaneo de la habitación completa. De ellos se obtuvieron los siguientes resultados:



a) b)

Fig. 16 Área A

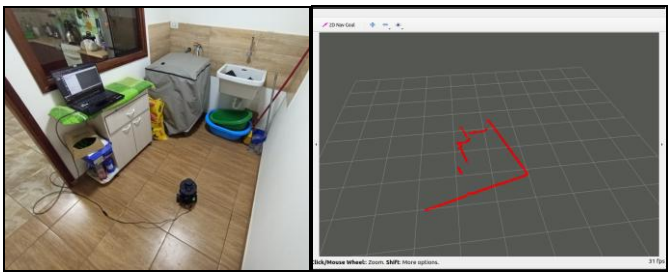
En la Figura 14 se muestra a) área a mapear b) área mapeada. Consiste en un entorno de forma cuadrada, sin obstáculos ni elementos que puedan interferir con el escaneo del robot de los límites del ambiente, es decir, el rango del sensor alcanzaba los límites del entorno sin obstrucciones.



a) b)

Fig. 17 Área B

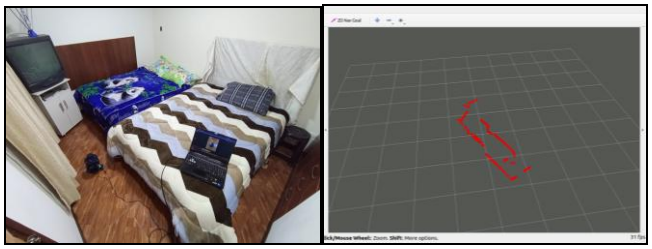
En la Figura 15 se muestra a) área a mapear b) área mapeada. Consiste en un entorno Re se situó al robot en un entorno rectangular "B" con presencia de elementos que bloqueaban el rango del sensor.



a) b)

Fig. 18 Área C

En la Figura 16 se muestra a) área a mapear b) área mapeada para comprobar cómo el robot se desempeñaba al identificar esquinas y profundidad.



a) b)

Fig. 19 área D

En la Figura 17 se muestra a) área a mapear b) área mapeada para verificar si el sensor podía trabajar correctamente en ambientes que impliquen mantener un rango reducido de medición.

IV. Conclusiones

Se vio necesario que la estructura cuente con elementos modificables para ajuste (Columnas de separación y soportes de rueda giratoria), dependiendo de los requerimientos del robot, estos elementos podían cambiar y adaptarse a los demás componentes. Gracias a esto, Si se requiere mayor espacio para ubicar los componentes, las columnas de separación se deben diseñar con mayor longitud, mientras que, si el radio de las ruedas del robot varía, también cambiarán los soportes para rueda giratoria para mantener 4 puntos de apoyo en el robot.

El robot fue equipado con cinco sensores de proximidad infrarrojos VCNL4010, que cuentan con el protocolo de comunicación I2C. Permitiendo reducir la cantidad de pines requeridos en el microcontrolador. Para gestionar la conexión de todos los sensores, se incorporó un multiplexor I2C TCA9548A.

Los sensores se distribuyeron para garantizar la detección en la parte frontal del robot y de los costados. Cada sensor se programó para realizar acciones específicas dependiendo de su activación: por ejemplo, si los sensores frontales detectaban un obstáculo, el robot retrocedía o giraba, mientras que la ausencia de señales indicaba que podía avanzar. Gracias a esto el robot demostró ser capaz de navegar de manera autónoma y evitar los obstáculos. Esto previno colisiones que podrían comprometer su funcionamiento o dañarlo.

Por otro lado, la integración del control manual para la navegación del robot por espacios de trabajos complejos mediante la aplicación móvil y el uso del módulo HC-05 demostró ser eficiente en las pruebas realizadas, además se demostró que el manejo del robot mediante la aplicación es intuitivo lo que permitió la fácil operación del robot, el cambio de modos de trabajo (modo autónomo y modo manual) y del paro del robot en caso de emergencia, esto permitió la accesibilidad a los distintos contextos que se presentan en los distintos entornos de trabajo.

Se logró obtener el mapeo bidimensional de diversas áreas por medio del uso del principio del scaneo láser en 360°, logrando recolectar información de distancia y ángulos respecto a su entorno, siendo representado en tiempo real por una nube de puntos que representan objetos o superficies detectadas dentro de su rango operativo.

El uso de las terminales de Ubuntu facilitó la ejecución de los nodos de ROS, la supervisión de los tópicos de comunicación y la personalización del sistema. Esta interacción permitió un control total sobre el flujo de trabajo, desde la configuración inicial hasta el ajuste de los algoritmos. En conjunto, ROS proporcionó la flexibilidad necesaria para integrar hardware, bibliotecas y herramientas de visualización, optimizando el rendimiento del sistema de mapeo y navegación del robot.

Se indica que, por medio del proceso de mapeo de diversas áreas específicas, el robot de mapeo como tal, tiene un rango de efectividad bastante considerable en comparación

a los diversos robots que existen, esto debido a que utiliza bibliotecas actualizadas.

REFERENCIAS

[1] Bulgakov, A., & Sayfeddine, D. (2016). Air Conditioning Ducts Inspection and Cleaning Using Telerobotics. *Procedia Engineering*, *164*, 121–126. https://doi.org/10.1016/J.PROENG.2016.11.600

[2] Turner, C. J., Oyekan, J., Stergioulas, L., & Griffin, D. (2021). Utilizing Industry 4.0 on the Construction Site: Challenges and Opportunities. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, *17*(2), 746–756. https://doi.org/10.1109/TII.2020.3002197

[3] Degani, A., Li, W. B., Sacks, R., & Ma, L. (2019). An Automated System for Projection of Interior Construction Layouts. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, *16*(4), 1825–1835. https://doi.org/10.1109/TASE.2019.2897135

[4] Álvarez - Gutiérrez, E. L., & Jiménez - López, F. R. (2019). Generación de Mapa Global 2D y SLAM usando LiDAR y una Estéreo Cámara para el seguimiento de movimiento de un robot móvi. *Iteckne*, *16*(2), 58–70.

[5] Tsuruta, T., Miura, K., & Miyaguchi, M. (2019). Mobile robot for marking free access floors at construction sites. *Automation in Construction*, *107*(January), 102912. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102912

[6] Urvina Córdova, R., Aguilar Torres, E., & Prado Romo, A. (2023). Localización simultánea y mapeo para control de un robot móvil autónomo usando escaneo de nube de puntos LiDAR y métodos de aprendizaje de máquina. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, *31*. https://doi.org/10.4067/s0718-33052023000100213

[7] Wei, Y., Zhang, H., Zhong, H., Liu, L., Jiang, Y., & Wang, Y. (2022). Indoor Environment Mapping of Mobile Robot Based on Efficient DSM-PF Method. *IEEE Sensors Journal*, *22*(4), 3672–3685. https://doi.org/10.1109/JSEN.2021.3138500

[8] Jiang, S., Qi, P., Han, L., Liu, L., Li, Y., Huang, Z., Liu, Y., & He, X. (2024). Navigation system for orchard spraying robot based on 3D LiDAR SLAM with NDT_ICP point cloud registration. *Computers and Electronics in Agriculture*, *220*(August 2023), 108870. https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.108870

[9] Singh, K. J., Kapoor, D. S., Thakur, K., Sharma, A., Nayyar, A., Mahajan, S., & Shah, M. A. (2022). Map Making in Social Indoor Environment Through Robot Navigation Using Active SLAM. *IEEE Access*, *10*(November), 134455–134465. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3230989

[10] MATLAB. (2024). Introducción a SLAM. MathWorks. https://la.mathworks.com/discovery/slam.html

[11] Yarovoi, A., & Cho, Y. K. (2024). Review of simultaneous localization and mapping (SLAM) for construction robotics applications. *Automation in Construction*, *162*(February), 105344. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2024.105344

[12] Wasser, L. (2024). The basic of LIDAR – Light Detection and Ranging – Remote Sensing. Neon. https://www.neonscience.org/resources/learning-hub/tutorials/lidar-basics

[13] Muñoz, J. (2019). *Desarrollo de un sistema de exploración y mapeo en tres dimensiones para un robot móvil* [Universidad de Ingeniería y Tecnología]. https://doi.org/https://hdl.handle.net/20.500.12815/109

[14] ROS. (2024). ROS – Robot Operating System. ROS. https://www.ros.org/

[15] Alam, M. (2023). What is mapping in robotics? How to create maps in ROS. Medium. https://medium.com/@mansooralam129047/what-is-mapping-in-robotics-how-to-create-map-in-ros-8c002d409c07