



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

TEMA: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PLATAFORMA MÓVIL OMNIDIRECCIONAL PARA LA GENERACIÓN TRIDIMENSIONAL FIABLE DE ENTORNOS CERRADOS UTILIZANDO TECNOLOGÍA SLAM 3D EN EL LABORATORIO DE MECATRÓNICA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA.”

AUTORES:

CHUQUITARCO MALLITASIG, DIEGO XAVIER

QUIMBITA BEDON, STALIN SANTIAGO

DIRECTOR:

ING. MENDOZA CHIPANTASI, DARÍO JOSE

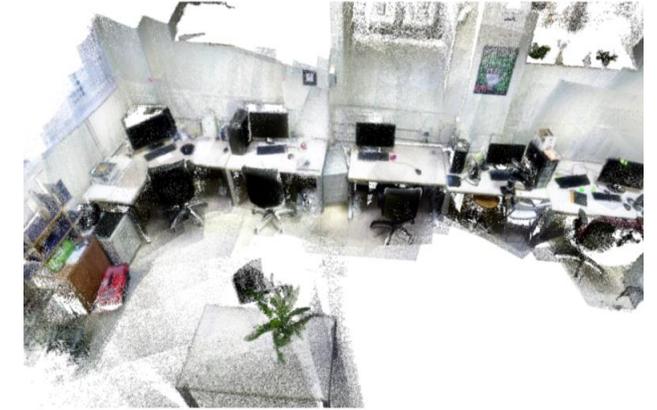


I. Introducción

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA



Ausencia de autonomía en plataformas móviles omnidireccionales



Necesidad de conocimiento del entorno en el que se mueven

Necesidad de formar un sistema de procesos complejos

Necesidad del manejo de una base de datos robusta



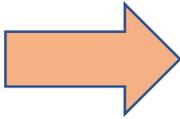
ROS.org



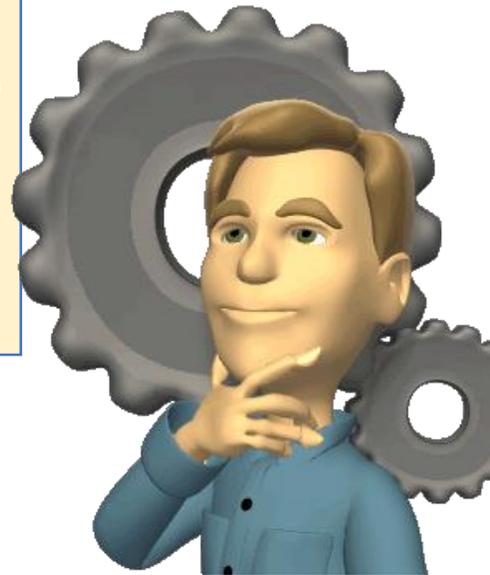
ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

II. Objetivos

**G
E
N
E
R
A
L**

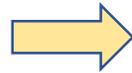


Diseñar y construir una plataforma móvil omnidireccional para la generación tridimensional fiable de entornos cerrados utilizando tecnología SLAM 3D en el Laboratorio de Mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga.



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

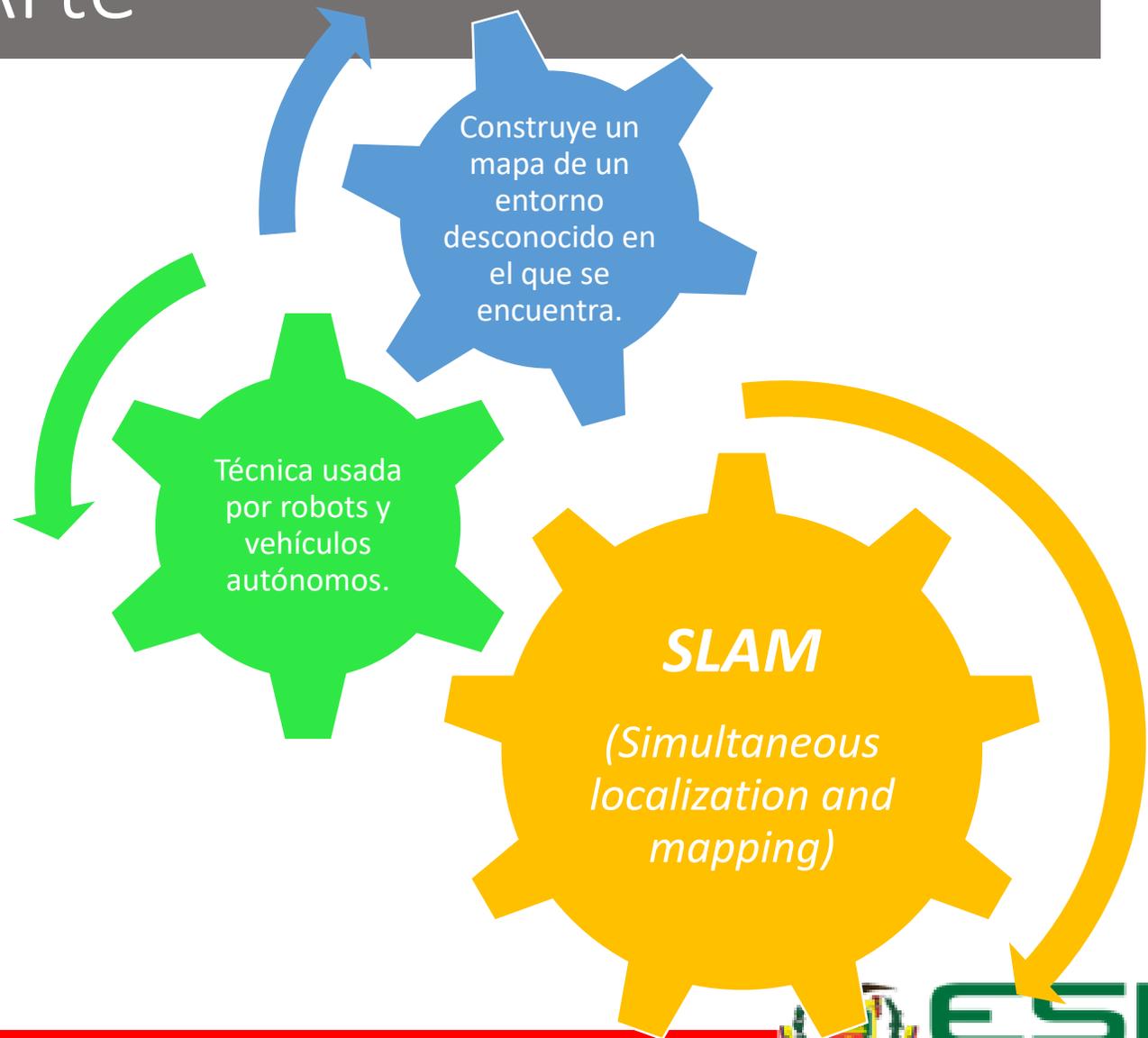
E
S
P
E
C
Í
F
I
C
O
S



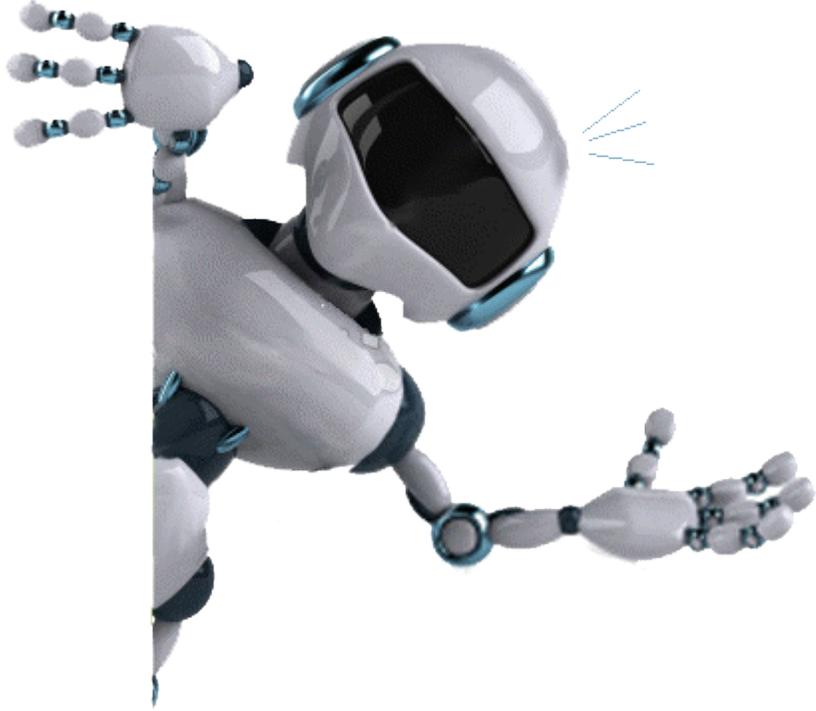
- 1) Investigar sobre los sistemas SLAM 3D.
- 2) Diseñar una plataforma móvil omnidireccional adecuada para la obtención de datos a procesar en un entorno cerrado.
- 3) Seleccionar los componentes que serán parte del sistema móvil, teniendo en cuenta un bajo costo y disponibilidad en el mercado.
- 4) Estudiar el algoritmo de generación de localización y mapeo, acorde con los requerimientos de la plataforma móvil.
- 5) Implementar SLAM 3D en una plataforma móvil omnidireccional.
- 6) Realizar toma de datos a través de pruebas en diferentes ambientes para una posterior validación del sistema.
- 7) Identificar el margen de fiabilidad en las reconstrucciones tridimensionales a través de pruebas en ambientes con diferentes iluminaciones.



II. Estado del Arte



II. Estado del Arte



III. Diseño del sistema

Definición de necesidades

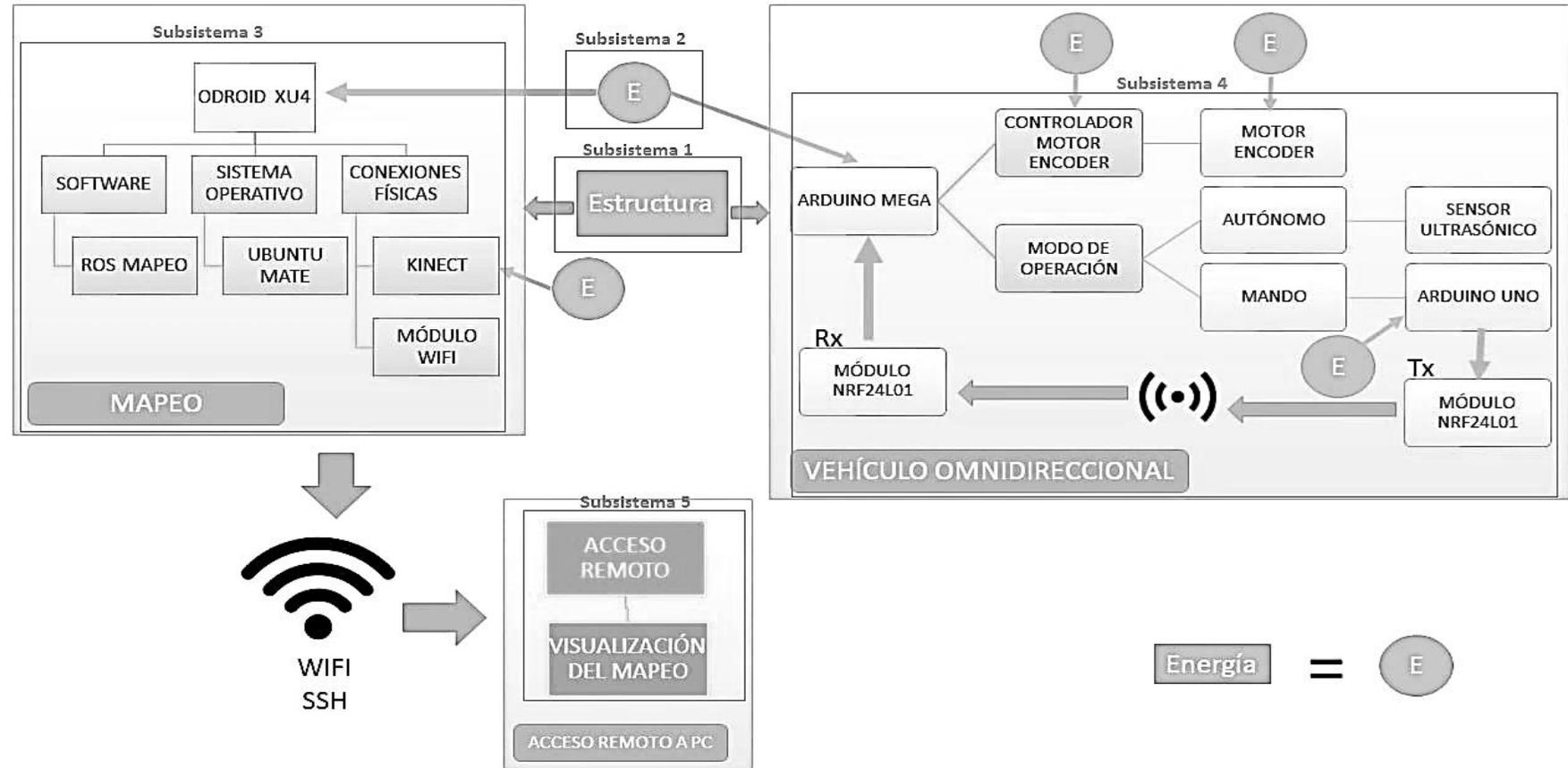
| N° | Requerimientos |
|----|---|
| 1 | Desplazarse en cualquier dirección |
| 2 | Diseño en función de la carga útil |
| 3 | Desplazarse con velocidad idónea para generar mapas 3D A medida que se moviliza |
| 4 | Control de forma automática Y manual |
| 5 | Uso de tecnología de código libre |
| 6 | Tiene autonomía energética |
| 7 | Posee sistema inalámbrico de comunicación |
| 8 | Permite la adquisición Y lectura de datos, además de visualización remota de resultados |



III. Diseño del sistema

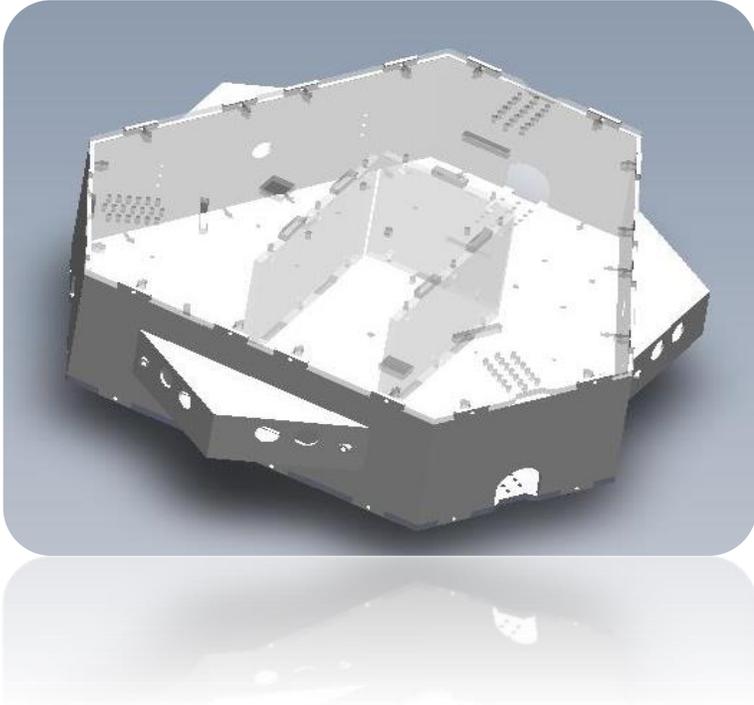
Definición de subsistemas

| N° | Subsistema |
|----|--------------------------|
| 1 | Estructura |
| 2 | Energía |
| 3 | Mapeo |
| 4 | Vehículo omnidireccional |
| 5 | Acceso remoto PC |

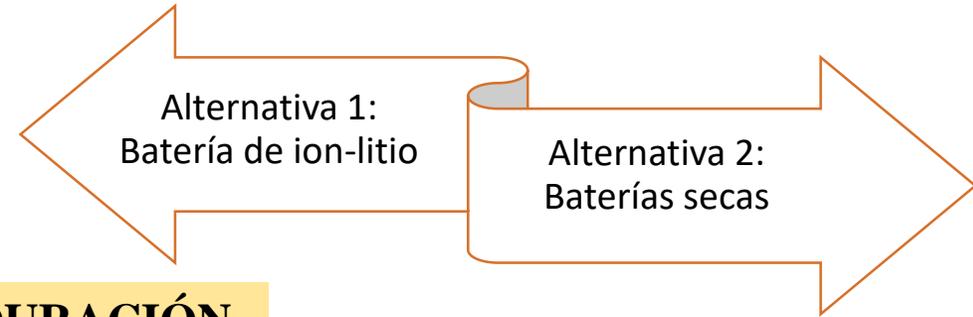


III. Diseño del sistema

Subsistema 1: Estructura



Subsistema 2: Energía



TIEMPO DE DURACIÓN

- Carga de la batería = $12V \times 11A = 132W$
- Consumo/hora = $12V * 7,8855 A = 94.6256W$

- Duración de la batería = $\frac{132W}{94.6256W} = 1 \text{ Hora, } 39 \text{ Minuto}$

aproximadamente despreciando fugas.



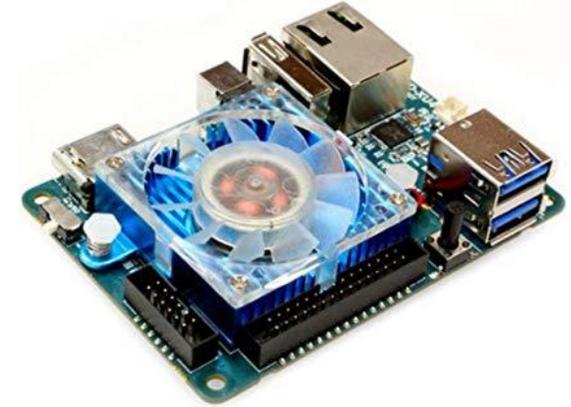
III. Diseño del sistema

Subsistema 3: Mapeo y Localización

Sensor
Kinect XBOX
360



ODROID
XU4



| Sensor Kinect XBOX 360 | |
|-----------------------------|--|
| Cámara de movimiento | Cámara VGA a color con resolución de 640x480 pixeles |
| Cámara de profundidad | 640 x 480 pixeles |
| Número de micrófonos | Matriz de 4 micrófonos |
| Ángulo de visión horizontal | 57° |
| Ángulo de visión vertical | 43° |
| Ángulo de inclinación | ± 27° |
| Intervalo de alcance | 1,2m – 3,5m |

| Parámetros de Evaluación | Ventajas |
|--------------------------|--|
| Procesador | Posee CPUs Samsung Cortex 2Ghz y Cortex Octacore |
| Memoria | Posee 2GByte LPDDR3 RAM |
| Sistema operativo | Soporta Android y Ubuntu |
| Gráficos | Admite 1080p mediante cable HDMI |
| Wifi | Posee USB WLAN con antena |
| Procesador gráfico | GRÁFICOS MALI-T628 MP6 |
| Dimensión | Posee tamaño compacto de 83 x 58 x 20 mm |



III. Diseño del sistema

Subsistema 4: Vehículo omnidireccional

Arduino
Mega



Sensor Ultrasónico
HC-SR4



| Parámetros de Evaluación | Ventajas |
|----------------------------|--|
| Número de entradas/salidas | Poseen un gran número de entradas y salidas, corresponden a 54 |
| Peso | Peso ligero de 37 g |
| Dimensiones | Posee tamaño compacto de 101,52 x 53,3 mm |
| Sistema operativo | Soporta Windows, Mac OSX y Linux |

| Parámetros de Evaluación | Ventajas |
|-----------------------------|---|
| Rango de medición | Gran rango de medición de 2 cm a 400cm. |
| Resolución | La resolución es tan baja como de 3mm |
| Peso | Peso ligero de 8,7 gr |
| Ángulo de medición efectivo | Amplio Angulo efectivo < 15º |
| Dimensión | Tamaño pequeño 43 x 20 x 17 mm |



III. Diseño del sistema

Subsistema 4: Vehículo omnidireccional

Motor de corriente continua (DC)



Ruedas omnidireccionales de doble hilera



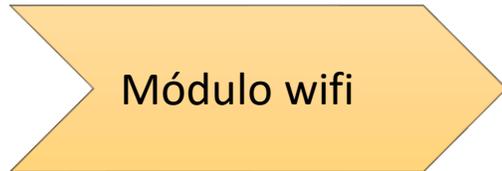
| Parámetros de Evaluación | Ventajas |
|--------------------------|--|
| Control de Velocidad | Sistema de bajo costo para control de velocidad y torque |
| Capacidad de Carga | Tiene la capacidad de soportar cargas que requieran una gran cantidad de energía para moverse |
| Tamaño | Posee una alta relación potencia-peso, reduciendo los costes de instalación y proporciona un ahorro de espacio |

| Parámetros de Evaluación | Ventajas |
|--|---|
| Aplicación | Se utilizan ruedas omnidireccionales en sistemas de configuración de tres ruedas |
| Angulo de rodillos respecto a la rueda | Los rodillos forman un ángulo de 90° respecto al eje de giro de la rueda. |
| Desplazamiento | Posee mayor libertad de movimiento en comparación con los robots que usan ruedas convencionales |



III. Diseño del sistema

Subsistema 5: Acceso remoto PC

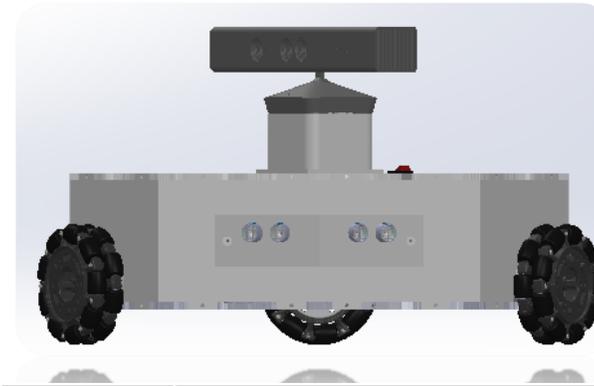
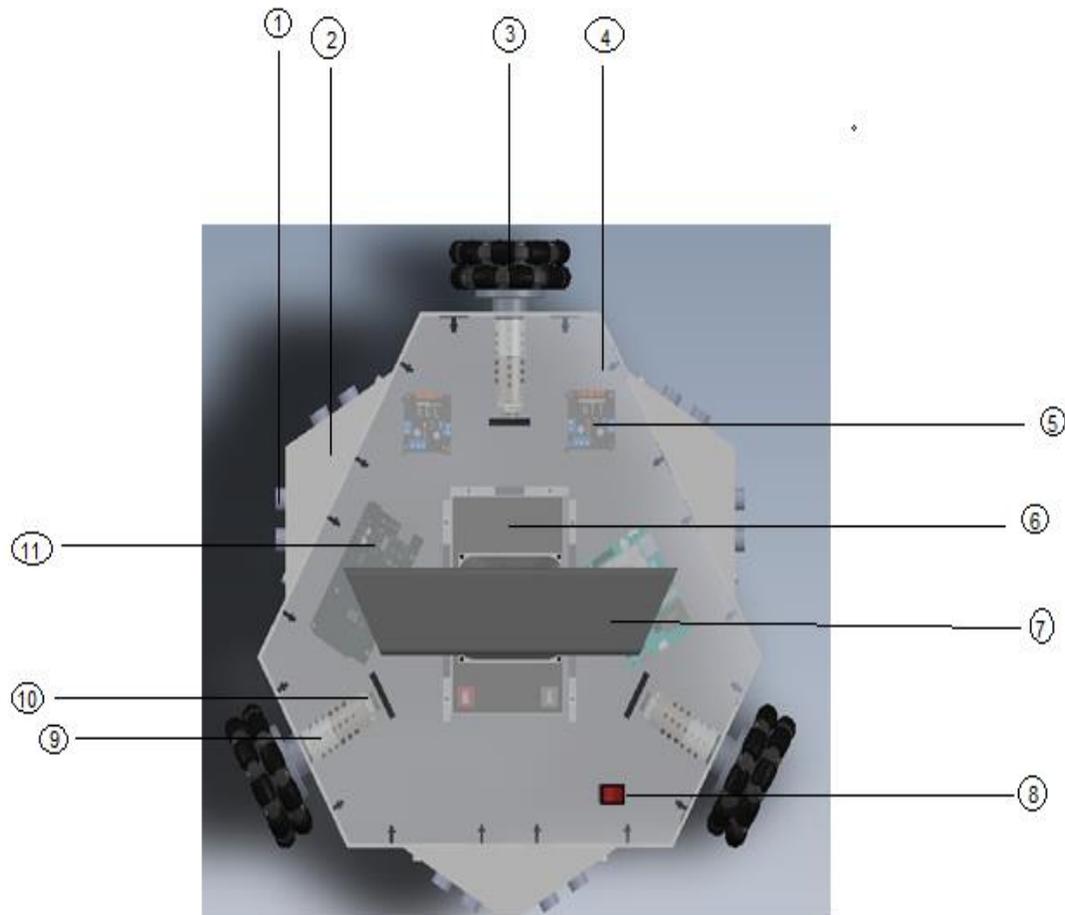


- Antena a bordo Dual Band de 2.4 GHz y 5 GHz
- Interfaz de host USB 2.0, LED indicadores de estado para actividad de la conexión WiFi y WPS
- Dimensión: 68,5 x 22,8 x 8,5 mm, Peso: 12 g

- Control remoto de cualquier ordenador.
- Trasferir archivos.
- Máximo estándar de seguridad.
- Hacer copias de seguridad de la información de la otra pc. Es más económica la asistencia remota.



III. Diseño del sistema

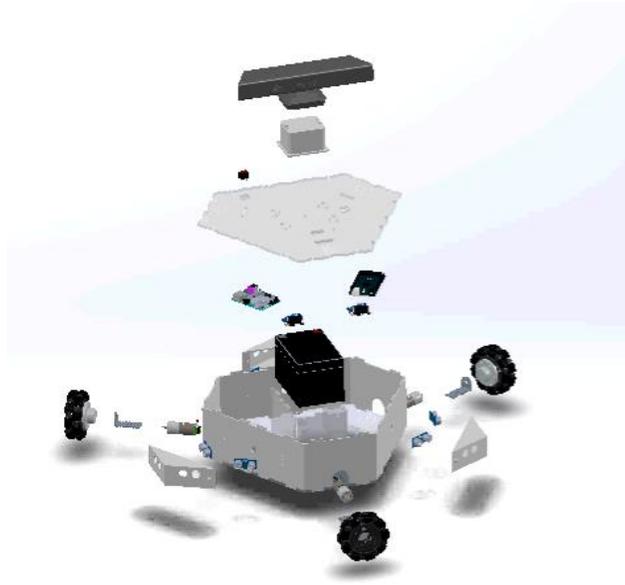


| Número | Descripción del componente |
|--------|--------------------------------|
| 1 | Sensor ultrasónico |
| 2 | Base para los sensores |
| 3 | Rueda omnidireccional |
| 4 | Cara superior de la plataforma |
| 5 | Puente H |
| 6 | Batería |
| 7 | Kinect |
| 8 | Switch |
| 9 | Motor |
| 10 | Encoder |
| 11 | Tarjeta Arduino |



III. Diseño del sistema

DESCRIPCIÓN DEL DISEÑO



$$\sigma = \frac{F_t}{A}$$
$$\sigma = \frac{68.7224 \text{ N}}{0.1121 \text{ m}^2}$$
$$\sigma = 613.045 \text{ Pa}$$
$$\sigma = 0.613045 \text{ MPa}$$

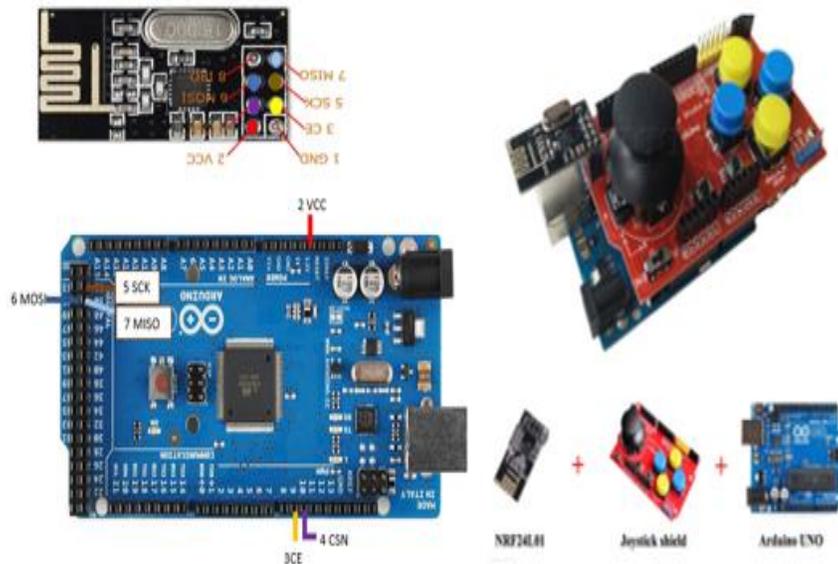
| Elemento | Cantidad | Masa (Kg) | Peso (N) |
|---------------------------------------|----------|-----------|-----------|
| Odroid-xu4 | 1 | 0.0862 Kg | 0.8447 N |
| Kinect Xbox | 1 | 0.450kg | 4.41 N |
| Módulo wifi odroid | 1 | 0.012 kg | 0.1176 N |
| Módulo L298N | 2 | 0.06 Kg | 0.588 N |
| Sensor ultrasónico hc-sr04 | 6 | 0.0522 Kg | 0.512N |
| Arduino mega | 1 | 0.037 Kg | 0.3626 N |
| Batería | 1 | 2.3 Kg | 22.54 N |
| Motor | 3 | 0.312 Kg | 3.0576 |
| Acoplamiento eje de motor | 3 | 0.3 Kg | 2.94 N |
| Llantas | 3 | 0.87 Kg | 8.526 N |
| Módulo nrf24L0 | 1 | 0.010 Kg | 0.098 N |
| Base hexagonal en acrílico | 2 | 1.6007 Kg | 15.6876 N |
| Base cara lateral 1,3 y 5 en acrílico | 3 | 0.1637 Kg | 1.6050 N |
| Base cara lateral 2,4 y 6 en acrílico | 3 | 0.2323 Kg | 2.2770 N |
| Acople Kinect | 1 | 0.3436 Kg | 3.368N |
| Acople Ultrasonidos | 3 | 0.0488 Kg | 0.4788N |
| Acople Batería | 1 | 0.1336 Kg | 1.3095N |
| Total | | 7.0121 Kg | 68.7224N |



Modos de operación

Teleoperado

Conexión de radiofrecuencia RF



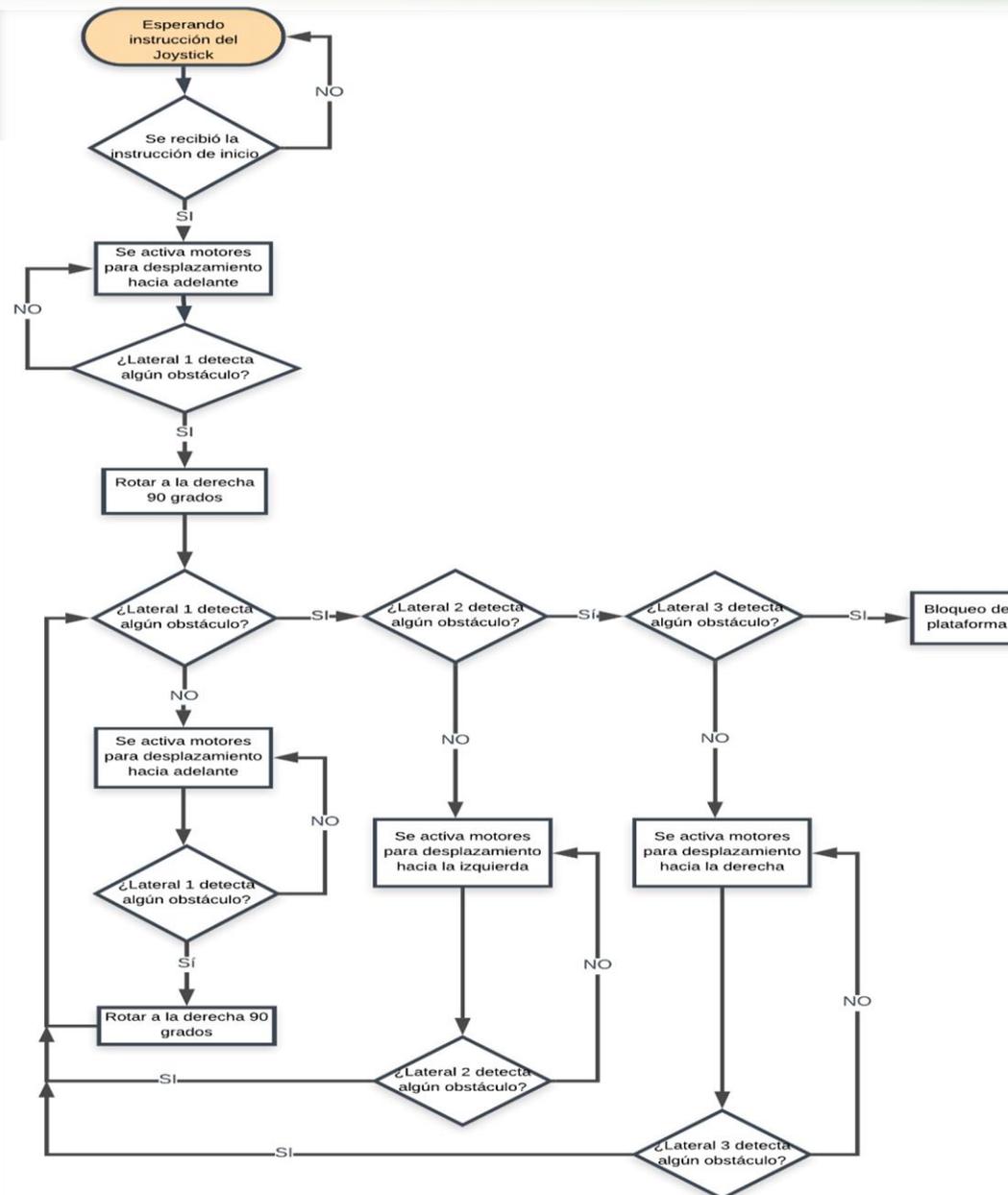
NRF24L01

- Chip de comunicación inalámbrica.
- Integra un transceptor RF (transmisor + receptor) a una frecuencia entre 2.4GHz a 2.5GHz.
- Banda libre para uso gratuito.
- La velocidad de transmisión es configurable entre 250 Kbps, 1Mbps, y 2 Mbps y permite la conexión simultánea con hasta 6 dispositivos.
- Incorpora la lógica necesaria para que la comunicación sea robusta.



Modos de operación

Automático



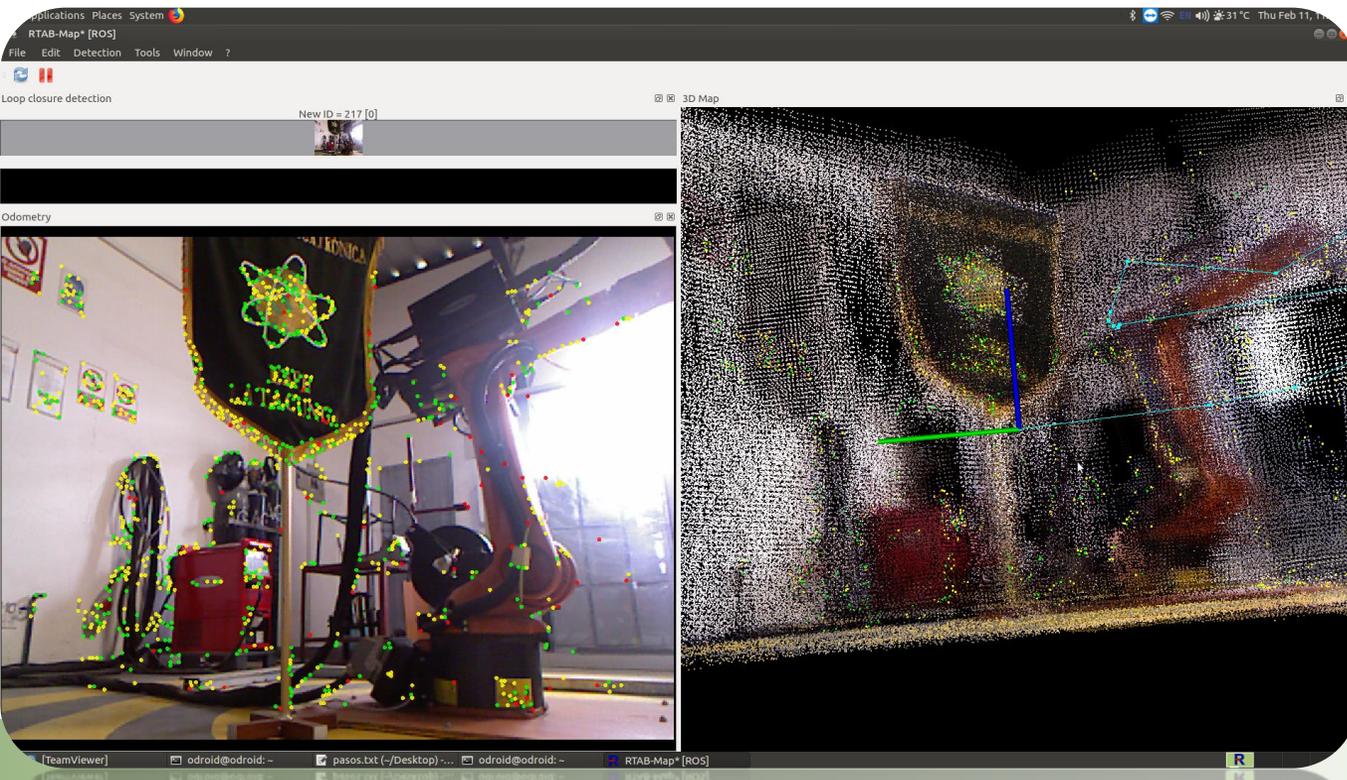
IV. Pruebas

Mapeo: Crear, Guardar y Cargar

ROS (Robot Operating System)

Herramienta de visualización "rviz" permite apreciar la imagen captada por la Kinect

Herramienta rtabamap se procede al mapeo



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

IV. Pruebas

Control interfaz humano máquina

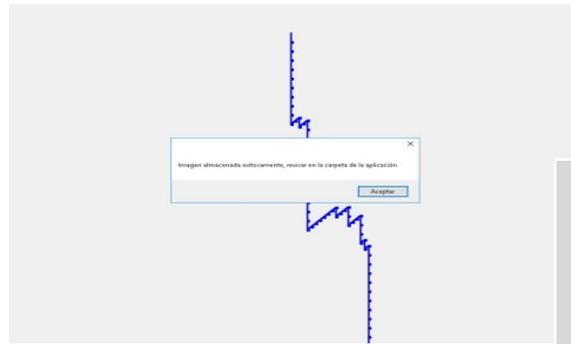


Interfaz de acceso para visualizar los datos guardados

A screenshot of a web application login window titled "Inicio Sesión". On the left is the coat of arms of Mexico. To the right are two input fields: "USUARIO:" and "CONTRASEÑA:". Below the fields are two buttons: "Ingresar" and "Salir" (with a red prohibition sign icon). The window has a standard title bar with a close button (X) in the top right corner.

IV. Pruebas

Control interfaz humano máquina



edidas

ESPE Universidad de las Fuerzas Armadas
Innovación para la Excelencia

Diego Xavier Chuquitarco Mallitasig
Stalin Santiago Quimbita Bedon

Ingresar Datos

Punto 1
Id:
Punto:

Punto 2
Id:
Punto:

Posiciones

Punto 1
X: 1,80062508583069
Y: 0,478038728237152
Z: 0,118326790630817

Punto 2
X: 4,22387504577637
Y: -1,59375417232513
Z: 0,17297774553299

Resultado
Distancia: 3,18864436995861 cm - 0,637266046707002

ESPE Universidad de las Fuerzas Armadas
Innovación para la Excelencia

for: Mallitasig Stalin Santiago Quimbita Bedon

Base de Datos Mapeo

| Punto | Posicion X | Posicion Y |
|-------|------------|------------|
| 433 | 343 | 110 |
| 432 | 43 | 165 |
| 431 | 247 | 274 |
| 430 | 52 | 159 |
| 429 | 86 | 205 |
| 428 | 157 | 309 |
| 427 | 97 | 198 |
| 426 | 951 | 70 |
| 425 | 93 | 148 |
| 424 | 212 | 285 |
| 423 | 588 | 167 |
| 422 | 53 | 190 |
| 421 | 70 | 177 |
| 420 | 259 | 54 |
| 419 | 113 | 271 |



IV. Resultados

4 entornos

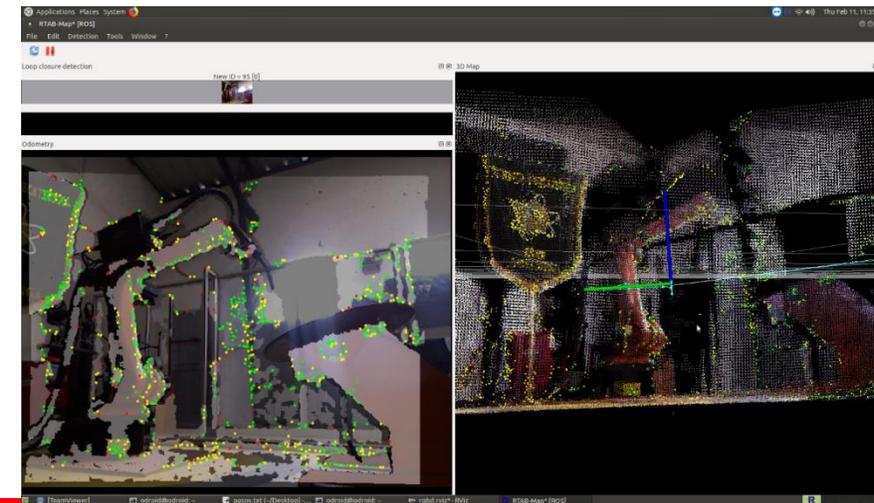


tres pruebas de mapeo en cada uno

| Modo Teleoperado | | | |
|------------------|-----------|-------------|---------|
| N° Entorno | N° Prueba | N° Elemento | % Error |
| entorno 1 | prueba 1 | Elemento 1 | 0% |
| | | Elemento 2 | 2,50% |
| entorno 2 | prueba 1 | Elemento 7 | 4,44% |
| | | Elemento 8 | 1,63% |
| | prueba 2 | Elemento 9 | 0,82% |
| | | Elemento 10 | 3,22% |
| | prueba 3 | Elemento 11 | 2,38% |
| | | Elemento 12 | 1,30% |
| entorno 3 | prueba 1 | Elemento 13 | 5,16% |
| | | Elemento 14 | 3,52% |
| | prueba 2 | Elemento 15 | 0,82% |
| | | Elemento 16 | 1,37% |
| | prueba 3 | Elemento 17 | 2,63% |
| | | Elemento 18 | 1,05% |
| entorno 4 | prueba 1 | Elemento 19 | 1% |
| | | Elemento 20 | 1,66% |
| | prueba 2 | Elemento 21 | 1,50% |
| | | Elemento 22 | 0,00% |
| | prueba 3 | Elemento 23 | 1,42% |
| | | Elemento 24 | 0,46% |

| Modo automático | | | |
|-----------------|------------|------------|---------|
| N° Entorno | N° Entorno | N° Entorno | % Error |
| entorno 1 | prueba 2 | Elemento 3 | 2,56% |
| | | Elemento 4 | 0,93% |
| | prueba 3 | Elemento 5 | 2,75% |
| | | Elemento 6 | 1,79% |

Mapeado de la plataforma móvil omnidireccional en el Laboratorio de Robótica de la Universidad de la Fuerzas Armadas ESPE.



Validación de la hipótesis

T-Student

Una vez que se ha calculado el promedio de los porcentajes con un total de $n=20$ muestras, se determina que $\bar{X} = 0,457$

$$S = \sqrt{\frac{\sum(X - \bar{X})^2}{n - 1}}$$
$$S = 0,22$$

$$T = \frac{\bar{X} - \mu_0}{\frac{S}{\sqrt{n}}}$$

$$T = 8,3$$

Con un nivel de significancia de 0,05

Comprobando con las condiciones de la tabla, se obtiene que:

$$T > t_{\alpha}$$

$$8,3 > 1,729$$

Por lo tanto, se puede determinar que se acepta la hipótesis, es decir: El diseño y construcción de la plataforma móvil omnidireccional permitirá la generación tridimensional fiable de entornos cerrados utilizando tecnología SLAM 3D

| N° | X | X - \bar{X} | (X - \bar{X}) ² |
|-----------|--------|---------------|-------------------------------|
| 1 | 1,0008 | 0,544 | 0,296 |
| 2 | 0,205 | -0,252 | 0,063 |
| 3 | 0,432 | -0,025 | 0,001 |
| 4 | 0,617 | 0,160 | 0,026 |
| 5 | 0,321 | -0,136 | 0,018 |
| 6 | 0,48 | 0,023 | 0,001 |
| 7 | 0,343 | -0,114 | 0,013 |
| 8 | 0,699 | 0,242 | 0,059 |
| 9 | 0,163 | -0,294 | 0,086 |
| 10 | 0,44 | -0,017 | 0,000 |
| 11 | 0,371 | -0,086 | 0,007 |
| 12 | 0,664 | 0,207 | 0,043 |
| 13 | 0,185 | -0,272 | 0,074 |
| 14 | 0,192 | -0,265 | 0,070 |
| 15 | 0,396 | -0,061 | 0,004 |
| 16 | 0,305 | -0,152 | 0,023 |
| 17 | 0,609 | 0,152 | 0,023 |
| 18 | 0,341 | -0,116 | 0,013 |
| 19 | 0,715 | 0,258 | 0,067 |
| 20 | 0,058 | 0,201 | 0,040 |
| \bar{X} | 0,457 | | 0,9276 |



V. Conclusiones

Se analizó y determinó de forma teórica y práctica que los beneficios de la tecnología SLAM 3D permiten el funcionamiento óptimo y fiable de un robot móvil en entornos cerrados y estables, además la recopilación de información, permitió la implementación de ideas novedosas en el proyecto realizado gracias a la actualización de datos sobre los adelantos de la misma en el sector nacional y mundial.

De acuerdo al estudio realizado, se determinó que en el ámbito de la robótica móvil los robots omnidireccionales poseen una de las estructuras más eficientes para realizar movimientos laterales, frontales, rotacionales sobre superficies planas, puesto que un sistema omnidireccional posee la misma cantidad de posicionamientos posibles que la cantidad de coordenadas necesarias para localizar un vehículo de forma única en un plano, ayudando así a una generación tridimensional inmejorable.

Se diseñó y construyó una plataforma móvil omnidireccional en acrílico transparente de 6mm para las bases inferior y superior, y para las caras laterales de acrílico de 3mm, que es material más apropiado para el soporte de todos los componentes, entre ellos los sensores de distancia ultrasónicos que son adecuados para la detección de obstáculos y paredes cerradas, una tarjeta embebida para el levantamiento del mapa tridimensional y una batería seca que permite tiempo suficiente de duración para el correcto funcionamiento del sistema.



V. Conclusiones

El algoritmo utilizado para el desarrollo de la plataforma móvil se basa en RGBD-SLAM, proceso que suministra la posición actualizada de la Kinect y crea una nube de puntos del entorno, es decir un trabajo conjunto entre posición y mapeo. Durante todo el proceso, este enfoque va guardando la información de los landmarks encontrados para su posterior análisis, es decir la evolución de medidas entre dos puntos.

La plataforma robótica móvil omnidireccional usó el sistema operativo ROS (Robot Operating System) para el control de 3 subsistemas: el acceso remoto, la locomoción omnidireccional y el mapeo y localización. Este sistema operativo permite la autonomía del robot, a partir del control de nodos creados en los subsistemas, además accede a una evaluación y administración segura de los datos obtenidos gracias a su sistema robusto y la lógica jerárquica que se maneja.

Para la validación del sistema se valoró el diseño de la plataforma robótica móvil en diferentes entornos. El principal factor a considerarse fue la luminosidad generada en el ambiente, teniendo en consideración dos aspectos: luz artificial o natural. En ambos casos la obtención de datos fue satisfactoria con una variación de margen de error de medida relativamente bajo, dando por hecho que el sistema cumple los estándares planteados al inicio del proyecto.

Se identificó la fiabilidad de la generación tridimensional al efectuar pruebas comparativas asociadas a medidas reales y medidas obtenidas en el mapeo. De acuerdo a las pruebas realizadas, tanto en la reconstrucción en modo teleoperado como en el modo automático se comprobó que existió una diferencia mínima en la medida, tomando como ejemplo el entorno uno prueba dos, donde se obtiene una medida real de 0,145 m y una calculada de 0,141 m es decir una variación mínima de 0,004 m que significa un porcentaje minúsculo de falla, teniendo como resultado que la plataforma omnidireccional cumple de forma adecuada con los objetivos esperados



V. Recomendaciones

Para solucionar la aparición de errores es necesario establecer ciertos parámetros de identificación de landmarks entre estos están aspectos como: empezar la identificación de puntos con la base de datos encerrada, además suele incorporarse procedimientos como la validación de landmarks mediante el reconocimiento del mismo punto de referencias varias veces.

Es importante señalar que a pesar de que la plataforma omnidireccional posee 6 sensores ultrasónicos, no se puede detectar todos los obstáculos que se le presentan, un mejor posicionamiento o la inclusión de más y nuevos sensores que colaboren con la odometría mejorarían ampliamente el sistema colaborando a la autonomía del robot.

El uso del internet se vuelve un limitante cuando la cobertura no es satisfactoria generando problemas de transmisión de datos e incluso pérdida de los mismos. Para trabajos futuros sería importante incluir una red inalámbrica independiente que permita estabilidad de transmisión de datos, así como una amplia cobertura. Colaboraría al manejo de información de forma más segura, evitando también fuga de datos con efectos positivos para la estación de control.



GRACIAS POR SU ATENCIÓN



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA