



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

***“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
NAVEGACIÓN AUTÓNOMO BASADO EN SLAM Y
NAVEGACIÓN REACTIVA ”***

REALIZADO POR:

**QUINALUISA MARTÍNEZ EDISON FABRICIO
TOAPANTA CAMPOVERDE JAIME ANDRÉS**

DIRECTOR: MSc. DAVID LOZA MATOVELLE

SANGOLQUÍ, JUNIO 2018



CONTENIDO

- Objetivos
- Justificación e importancia
- Estado del arte
- Diseño y Construcción
- Pruebas y resultados
- Conclusiones, recomendaciones y trabajos futuros



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

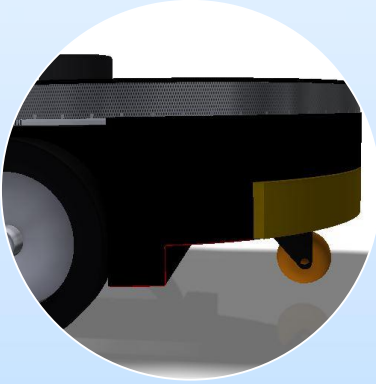


Objetivo General

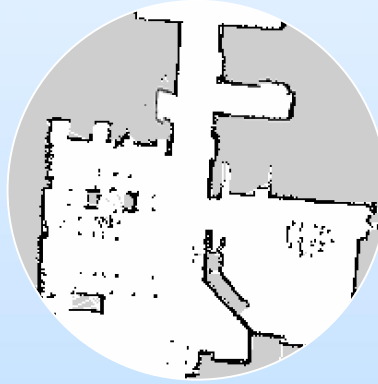


Implementar un sistema de navegación autónomo basado en SLAM y Navegación Reactiva.

Objetivos



- Reparar y rediseñar la plataforma robótica móvil para interiores SIMBA.



Realizar localización y mapeo simultáneo - SLAM



- Implementar la movilidad de la plataforma con un mando inalámbrico de conducción y también con navegación reactiva autónoma.



- Diseñar y construir la estación de carga de baterías para la plataforma de interiores.



Justificación e Importancia



Servicios



Operación segura en cualquier ambiente



Movimiento

AUTONOMÍA

Oriolo, G., Ulivi, G., & Venditelli, M. (1998). Real-Time Map Building and Navigation for Autonomous Robots in Unknown Environments.



¿Cómo llego hasta allí?



¿Por donde estoy yendo?



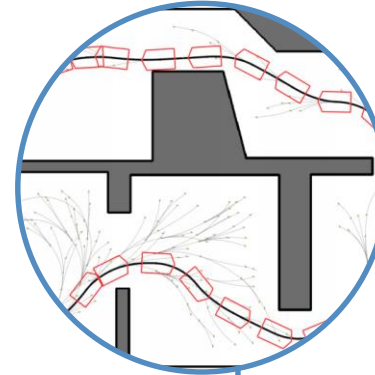
¿Dónde estoy?

AUTONOMÍA

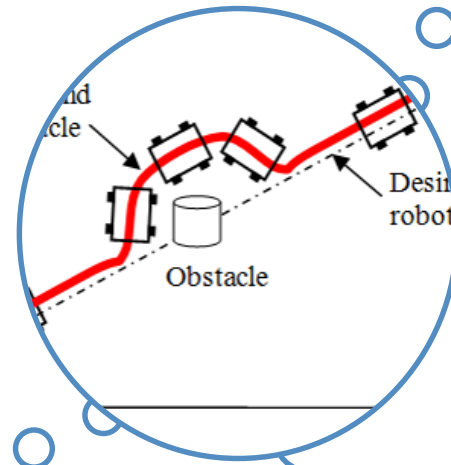
AUTONOMÍA



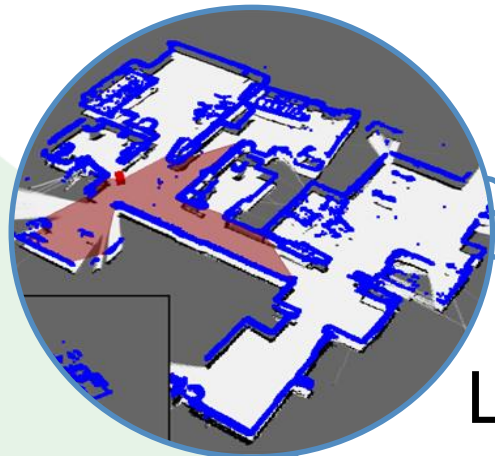
Estación de
carga



Navegación
Reactiva



Mapeo



Posición -
Localización



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



Estado del Arte

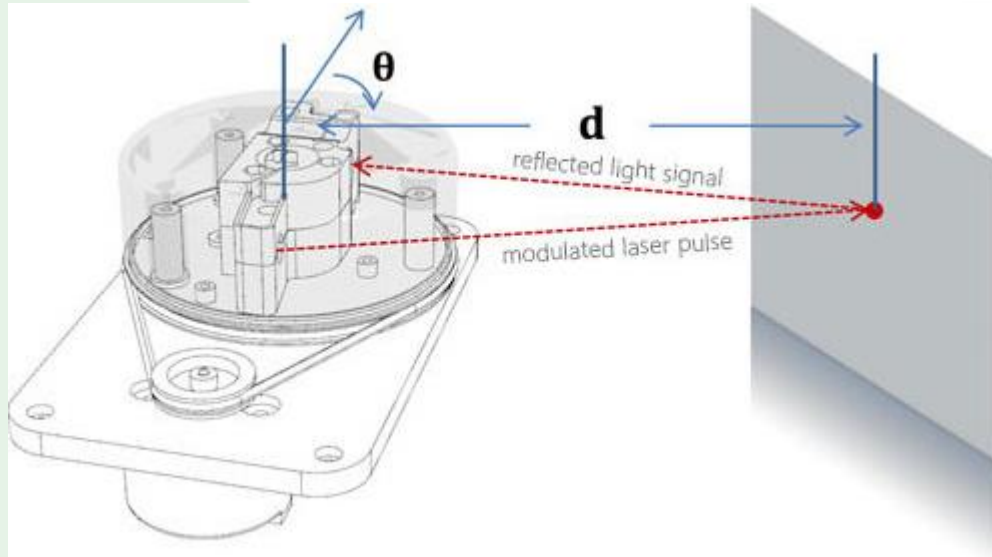
Percepción



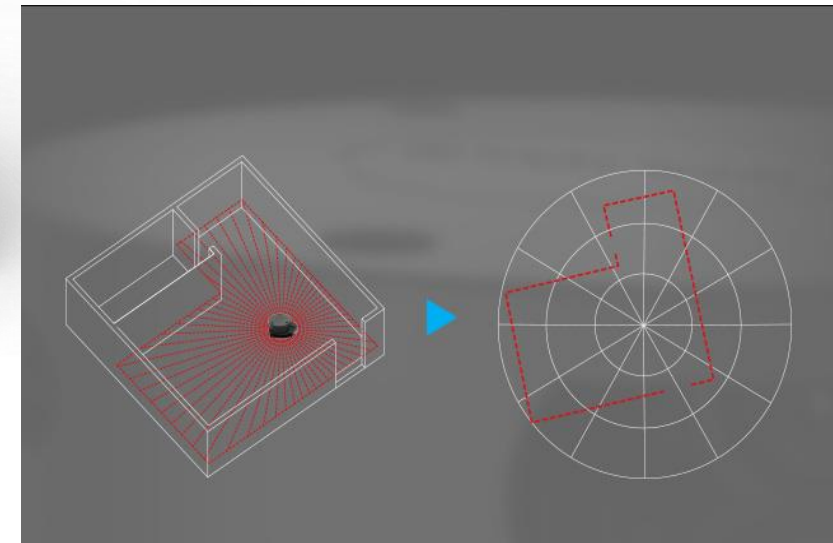
Sensor sonar



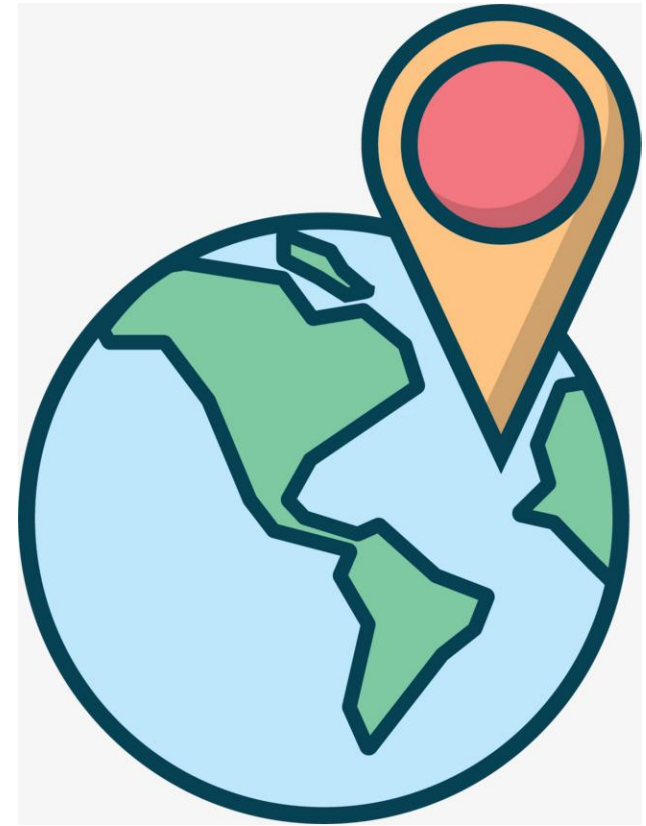
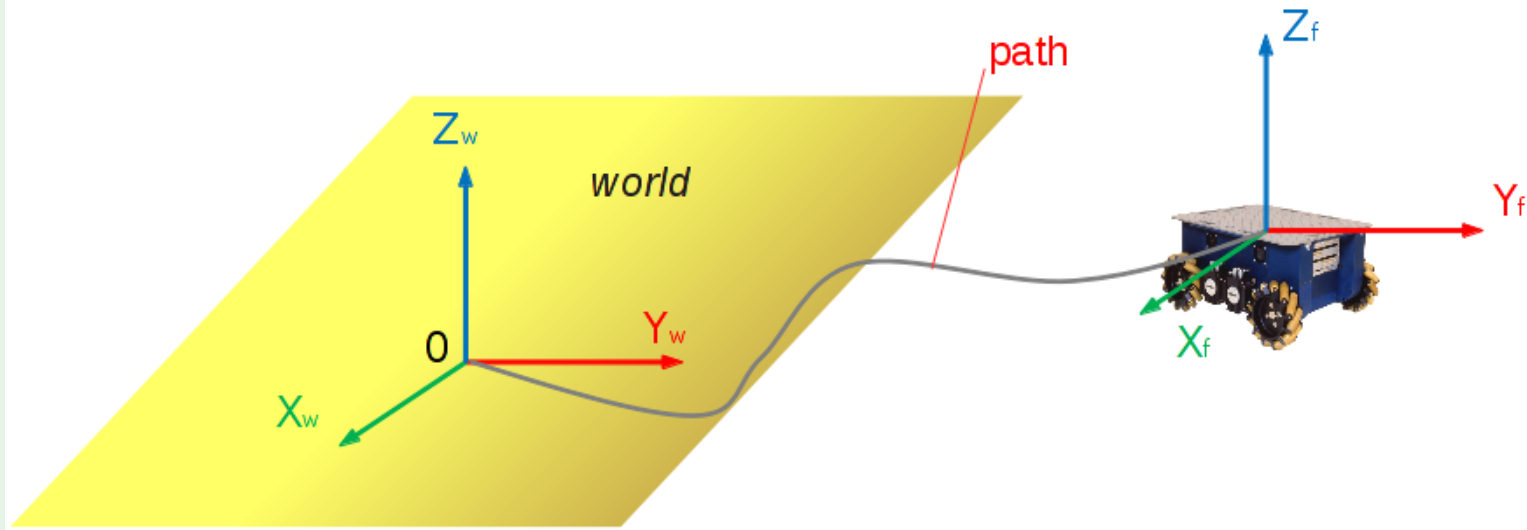
Sensor Kinect



Sensor Lidar

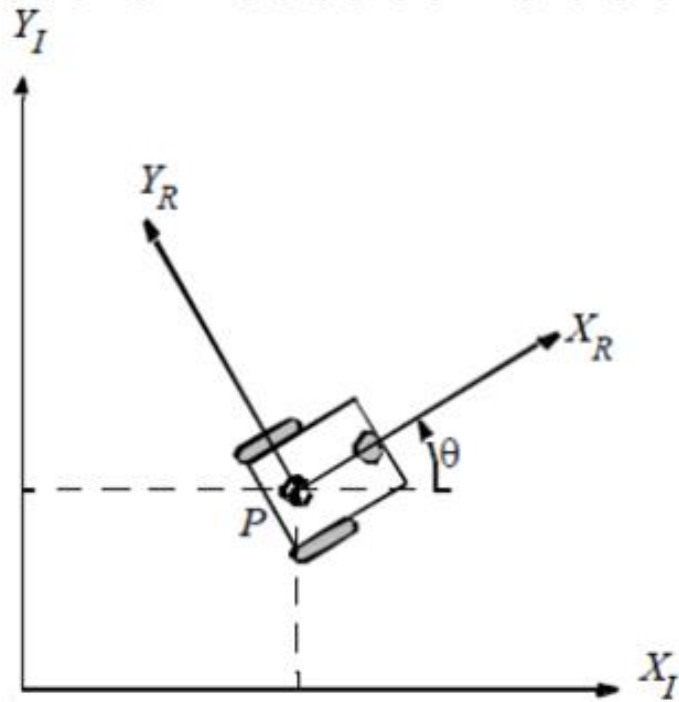


Localización Global



Localización Local

Cinemática del Robot



$$\Delta s = \frac{\Delta s_r + \Delta s_l}{2}$$

$$\Delta \theta = \frac{\Delta s_r - \Delta s_l}{b}$$

$$\Delta x = \Delta s \cos(\theta + \Delta \theta)$$

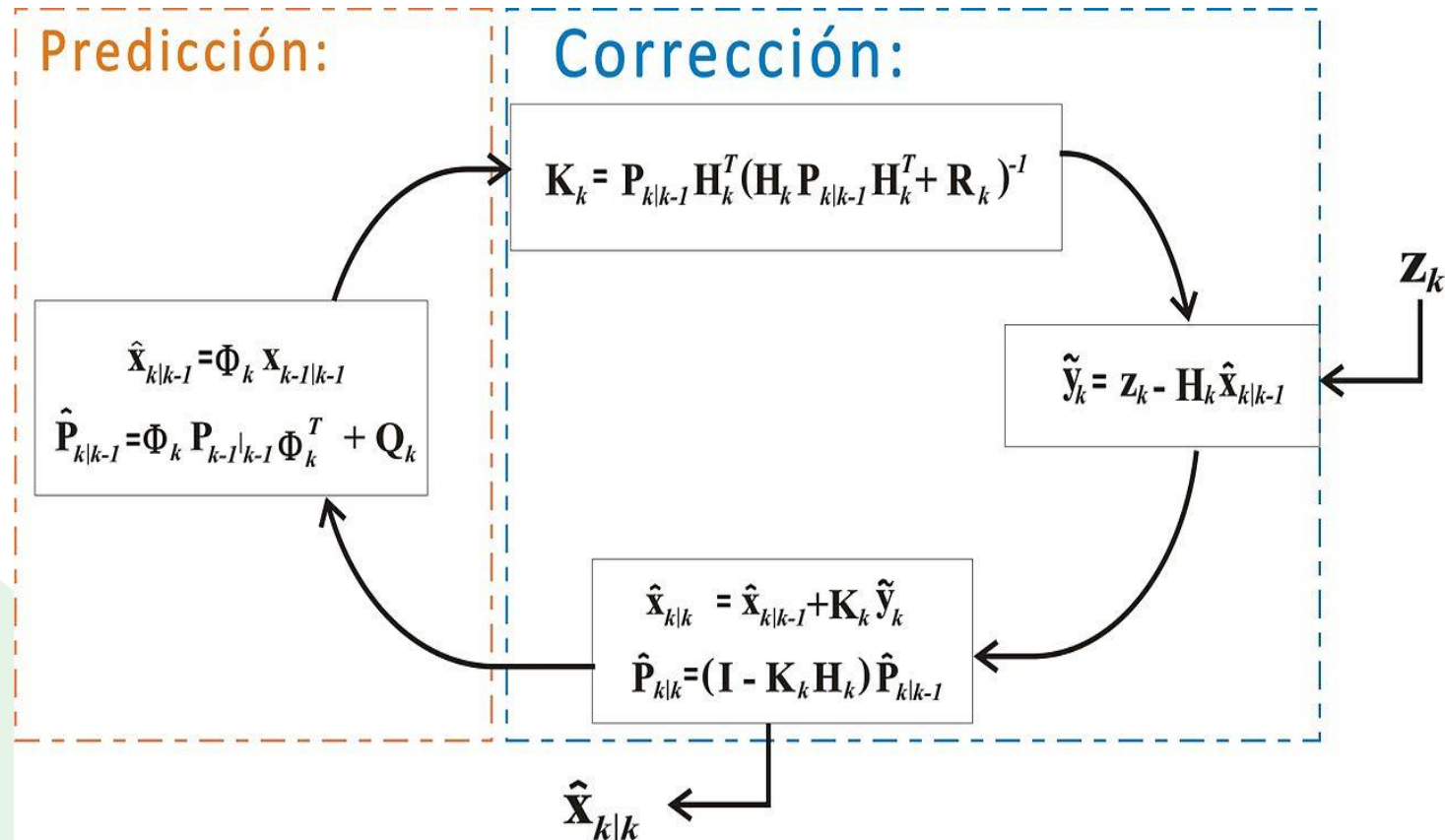
$$\Delta y = \Delta s \sin(\theta + \Delta \theta)$$

(b = distancia entre ruedas)

$$\begin{pmatrix} x(t + \Delta t) \\ y(t + \Delta t) \\ \theta(t + \Delta t) \end{pmatrix} = f(x, y, \theta, \Delta s_r, \Delta s_l) = \begin{pmatrix} x(t) \\ y(t) \\ \theta(t) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \frac{\Delta s_r + \Delta s_l}{2} \cos(\theta(t) + \frac{\Delta s_r - \Delta s_l}{b}) \\ \frac{\Delta s_r + \Delta s_l}{2} \sin(\theta(t) + \frac{\Delta s_r - \Delta s_l}{b}) \\ \frac{\Delta s_r - \Delta s_l}{b} \end{pmatrix}$$

Localización Local

Corrección con Filtro KALMAN



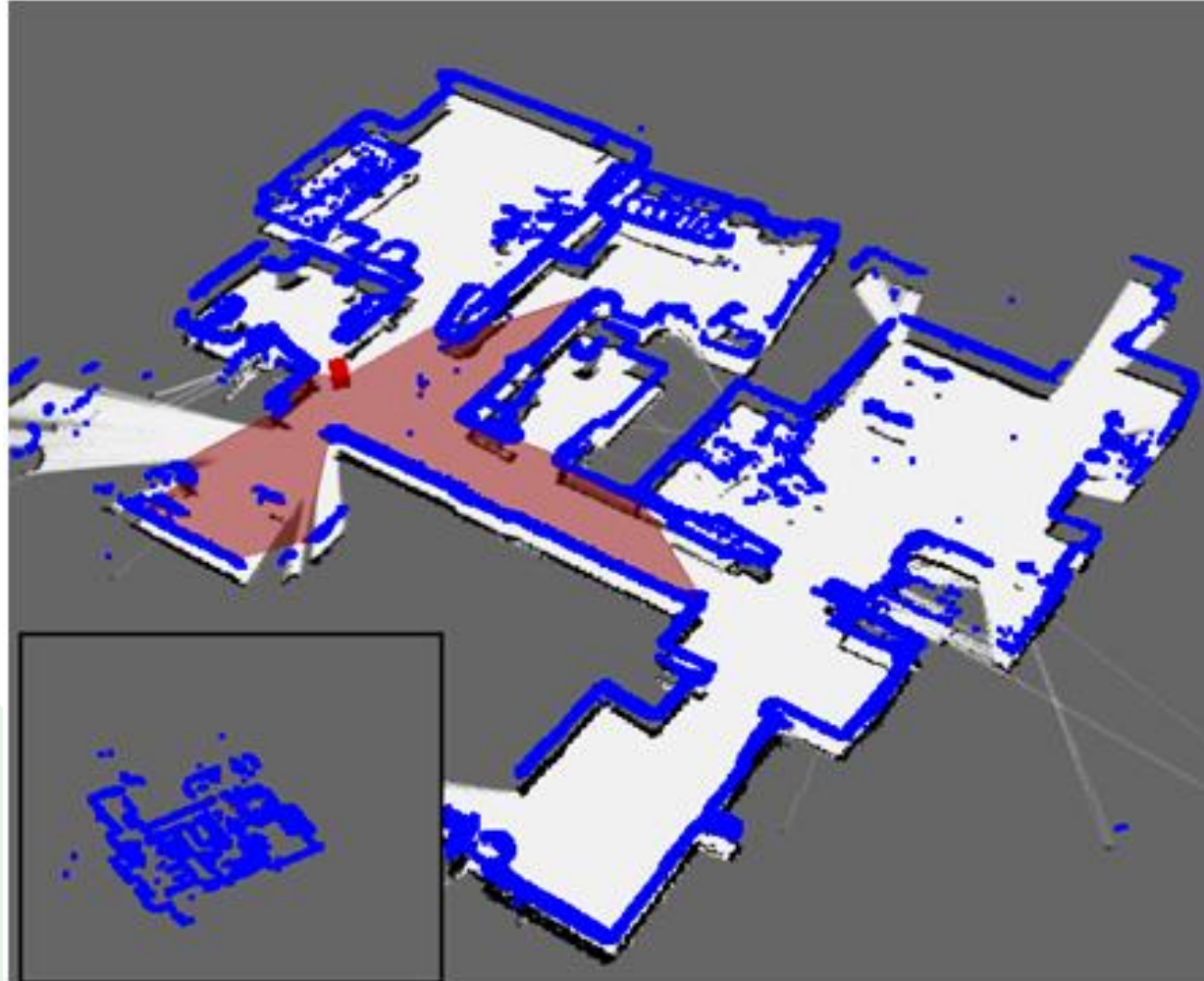


ESPE

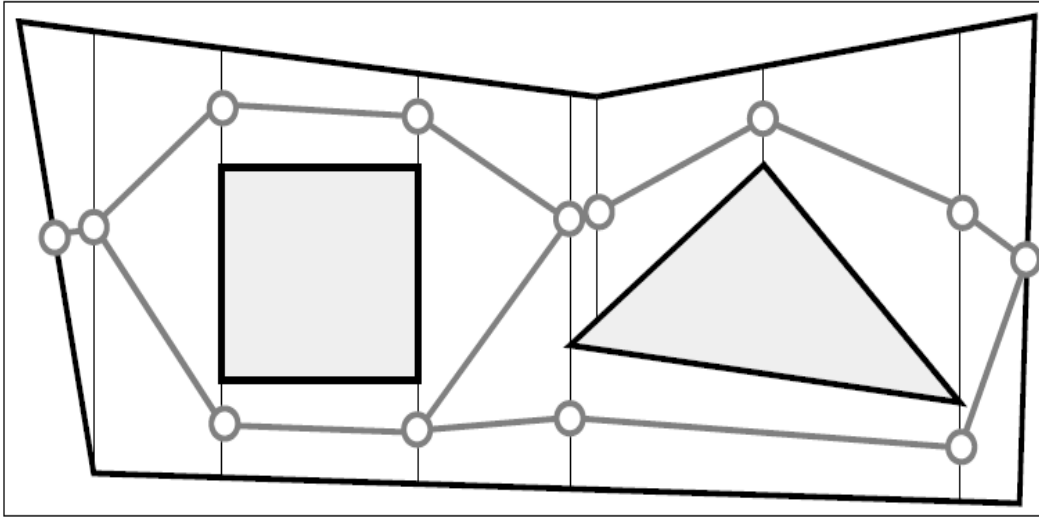
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



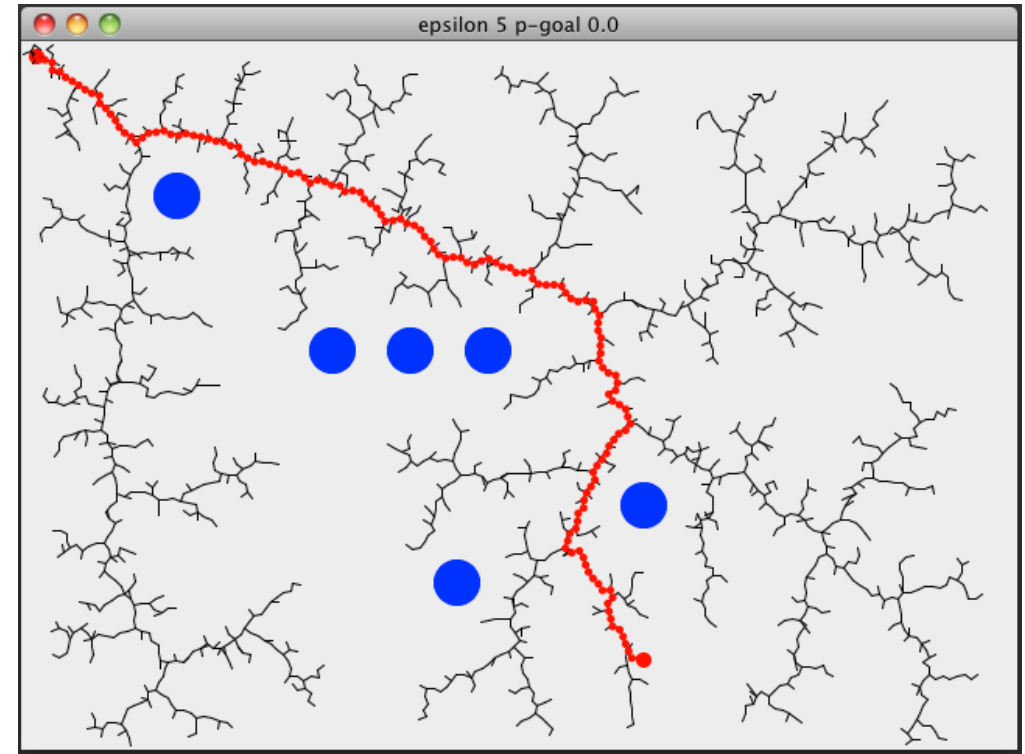
SLAM



Planificación de trayectoria



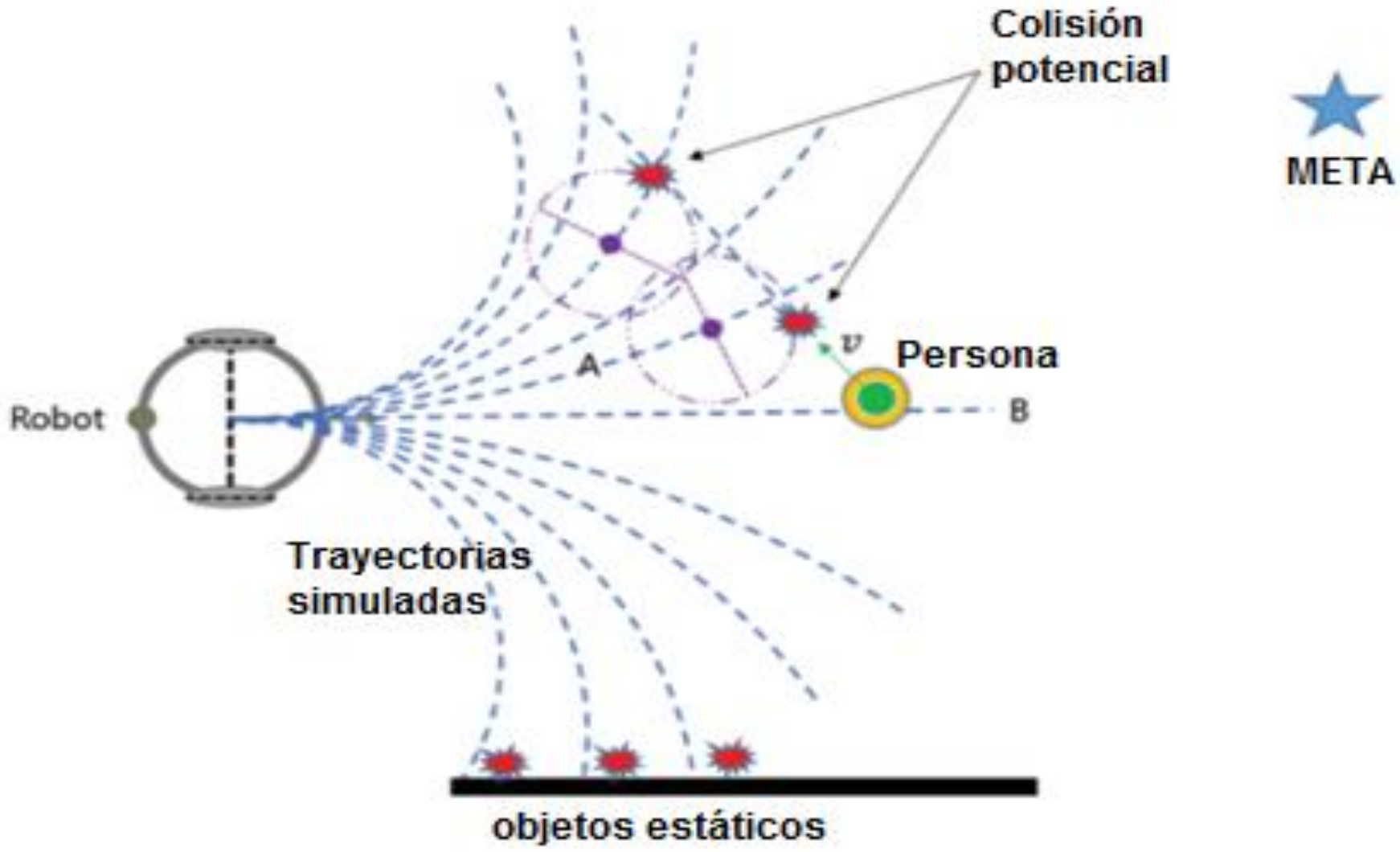
DESCOMPOSICION DE CELDAS



RRT (Rapidly Exploring Random Tree)



NAVEGACIÓN REACTIVA



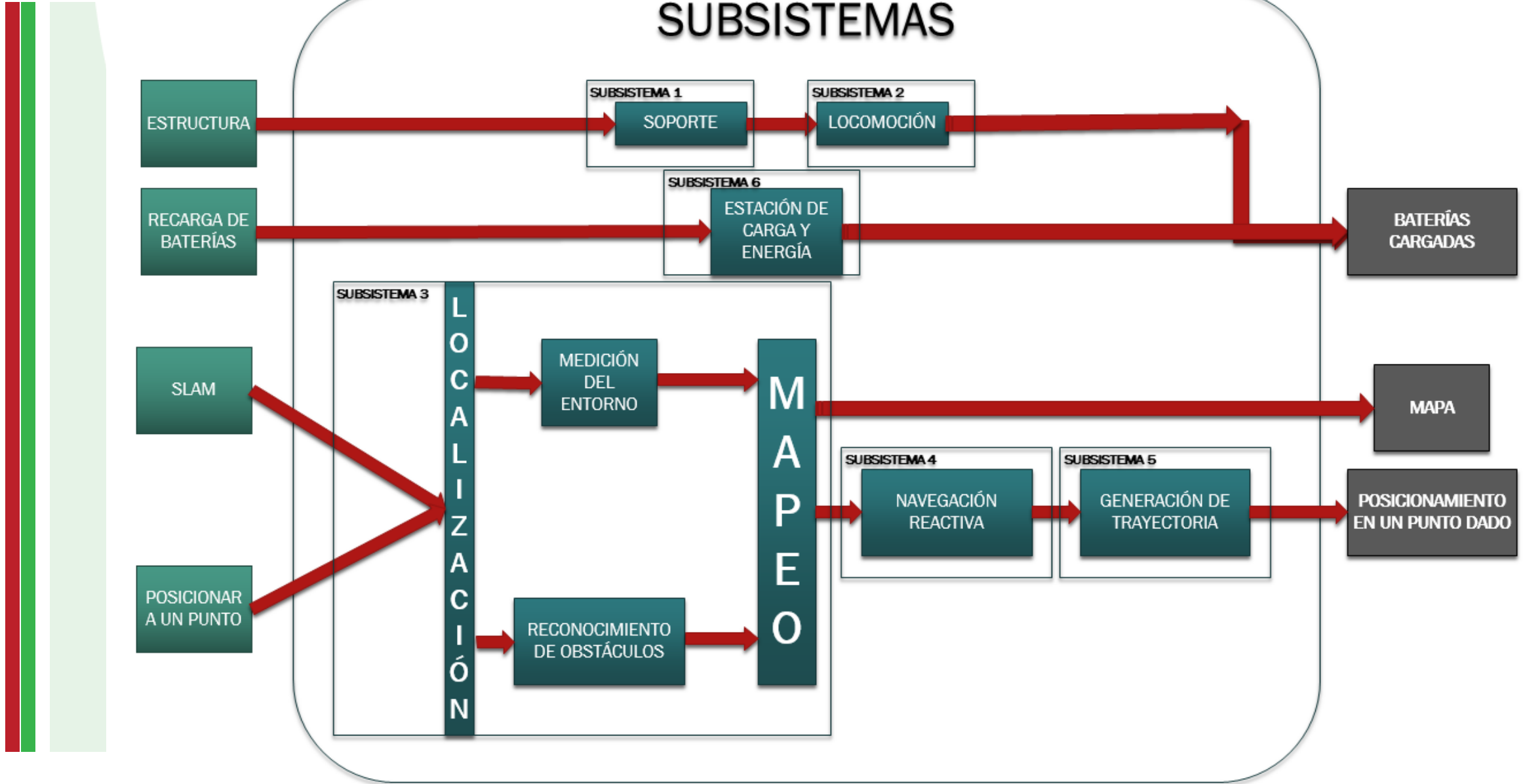
Diseño y Construcción



Características Técnicas



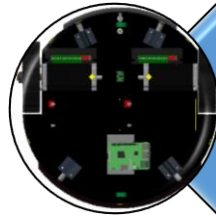
| métrica | magnitud | unidad |
|------------------------------|--------------------|------------------|
| Diámetro máximo | 460 | mm |
| Distancia mínima de desnivel | 60 | mm |
| Altura máxima | 600 | mm |
| Mínimo radio de curvatura | 460 | mm |
| Velocidad máxima | 1,5 | m/s |
| Aceleración máxima | 1,0 | m/s ² |
| Peso máximo de carga | 5 | Kg |
| Peso máximo de la plataforma | 10 | Kg |
| Capacidad de baterías mínimo | 5 | Ah |
| Voltaje de operación | 24 | V |
| Decibelios | 80 | dB |
| Color de estado energético | Rojo - Verde- Azul | RGB |



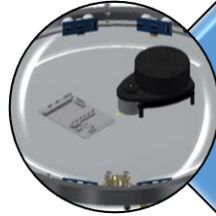
MÓDULOS

| # | Subsistemas | Módulos |
|---|---------------------------|-------------------------------------|
| 1 | Estructura y soporte | ESTRUCTURA + ADITAMENTO DE CARGA |
| 2 | Locomoción | |
| 3 | Localización y mapeo | SENSORES |
| 4 | Navegación reactiva | |
| 5 | Generación de trayectoria | |
| 6 | Estación de carga | DOCKING |

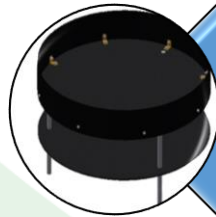
ETAPAS DE DESARROLLO



Módulo de Estructura



Módulo de Sensores

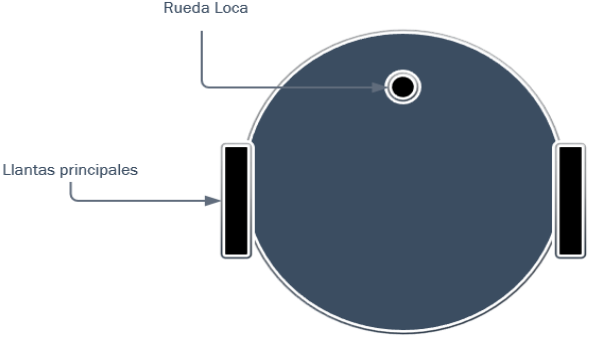
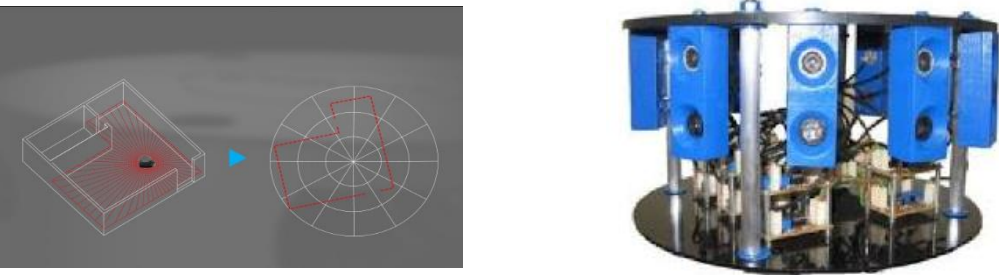


Aditamento de Carga



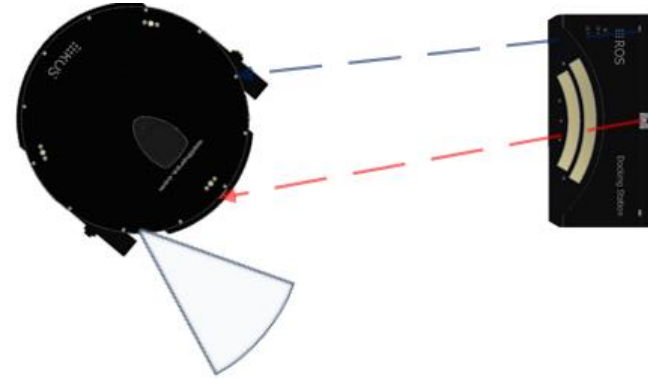
Estación de Carga



| Módulo | Solución |
|-------------------|--|
| Estructura |  |
| Sensores |  |



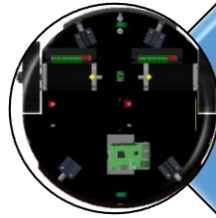
Estación de Carga



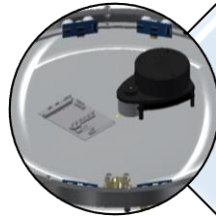
Control



ETAPAS DE DESARROLLO



Módulo de Estructura



Módulo de Sensores



Estación de Carga



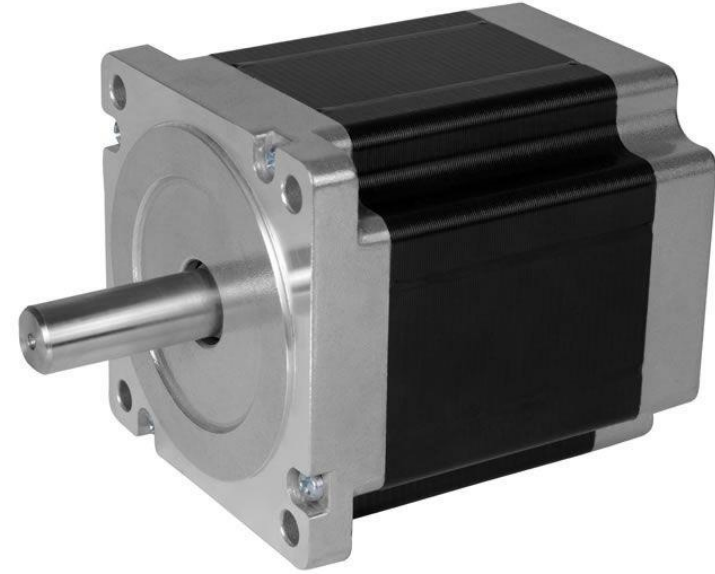
Aditamento de Carga

$$\sum T = 0$$

$$Fr \times r = T_{motor}$$

$$\mu \frac{m}{2} g \times r = 3 Nm$$

$$m = 21 Kg = \text{carga neta} + \text{peso robot}$$



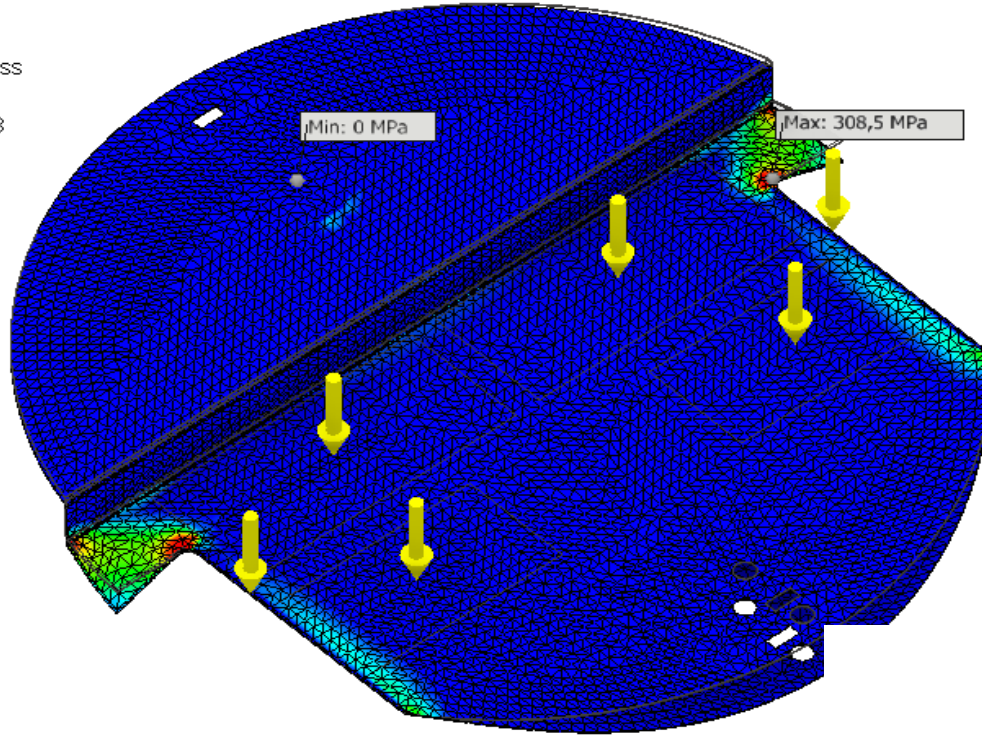
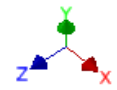
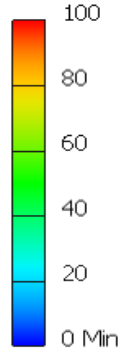


ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



Nodes:68637
Elements:33550
Type: Von Mises Stress
Unit: MPa
21/06/2018, 11:29:03



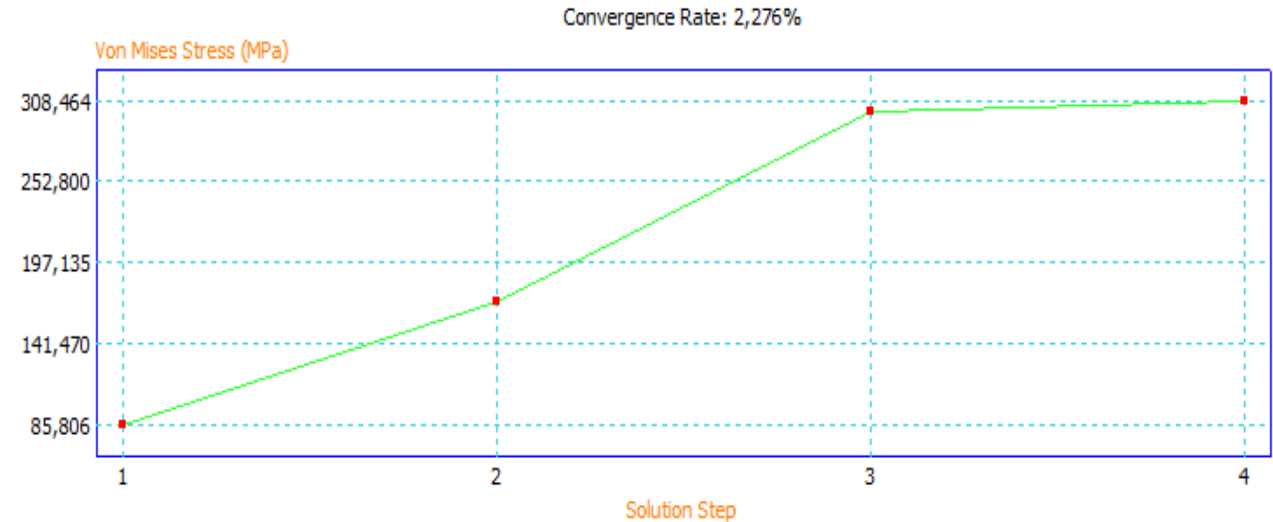
Material Acero Galvanizado

Espeesor 1.1mm

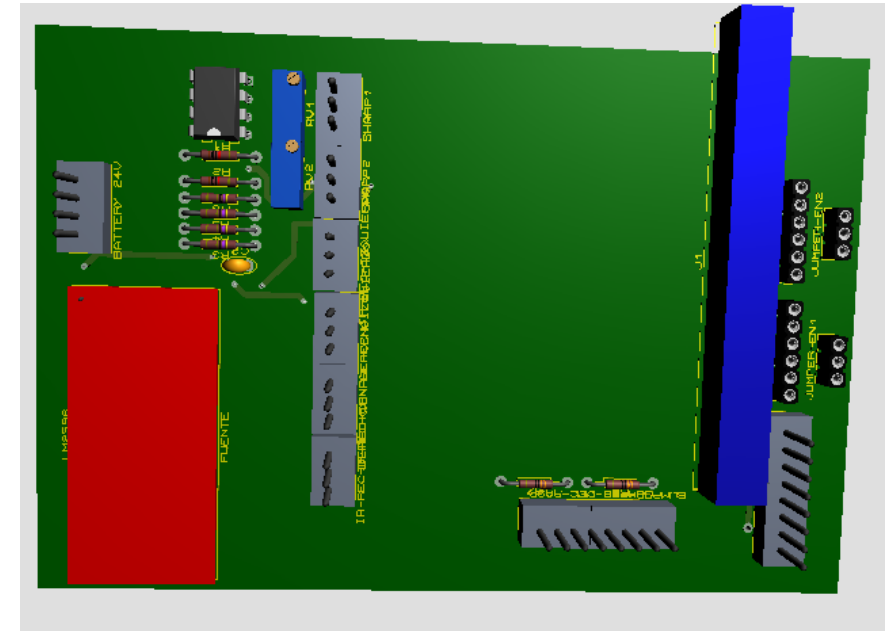
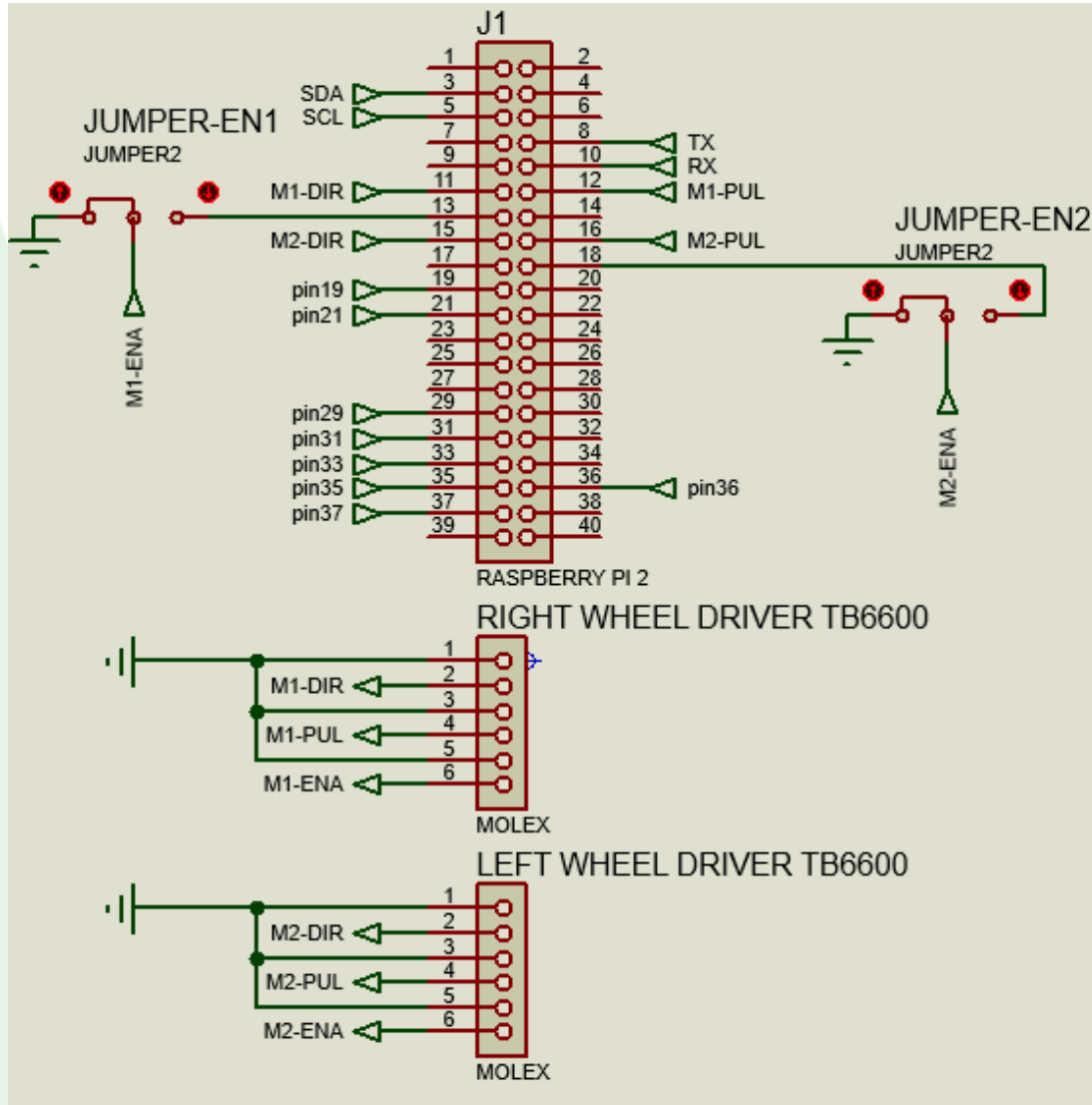
Sy 330MPa

Sut 440MPa

Módulo Estructura

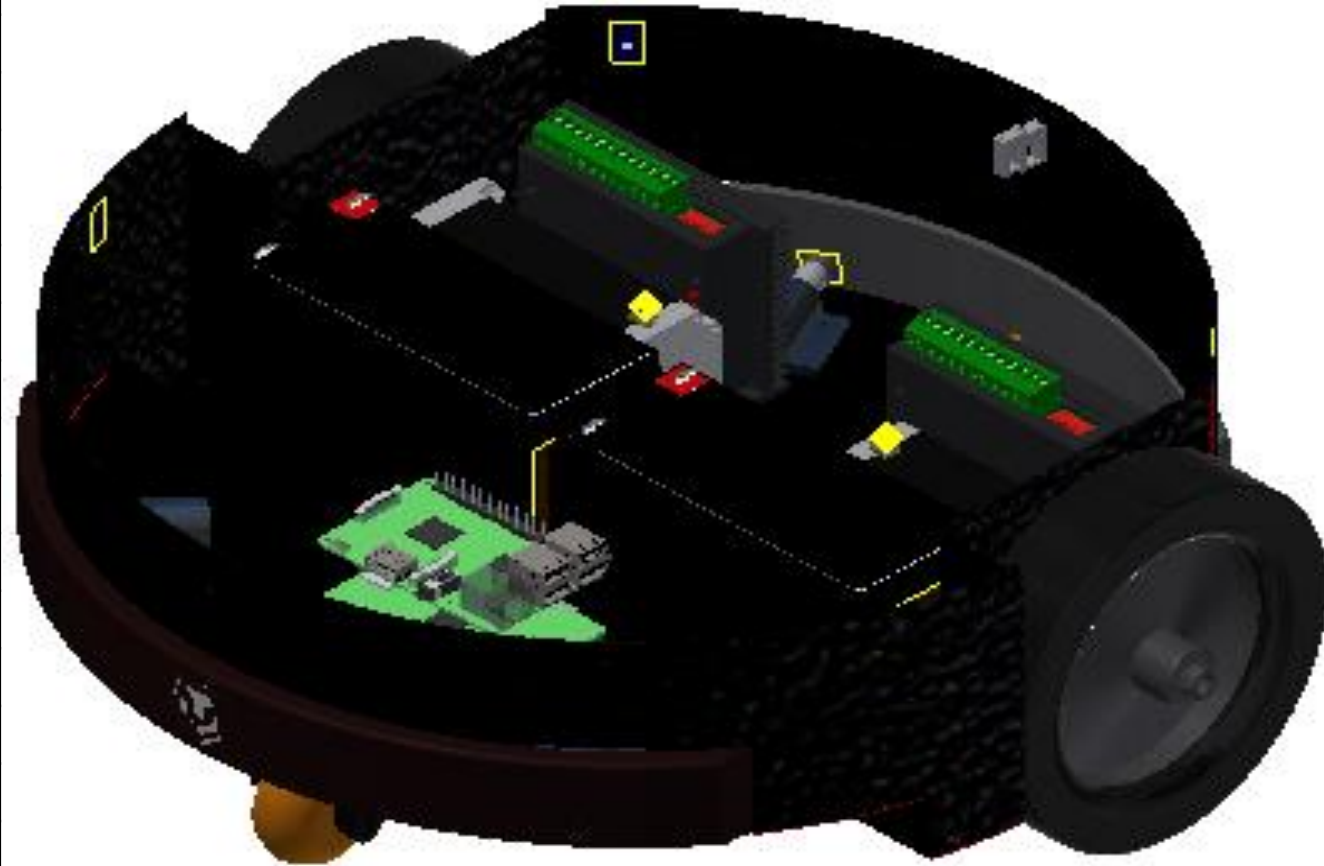


Módulo Estructura: Placa principal

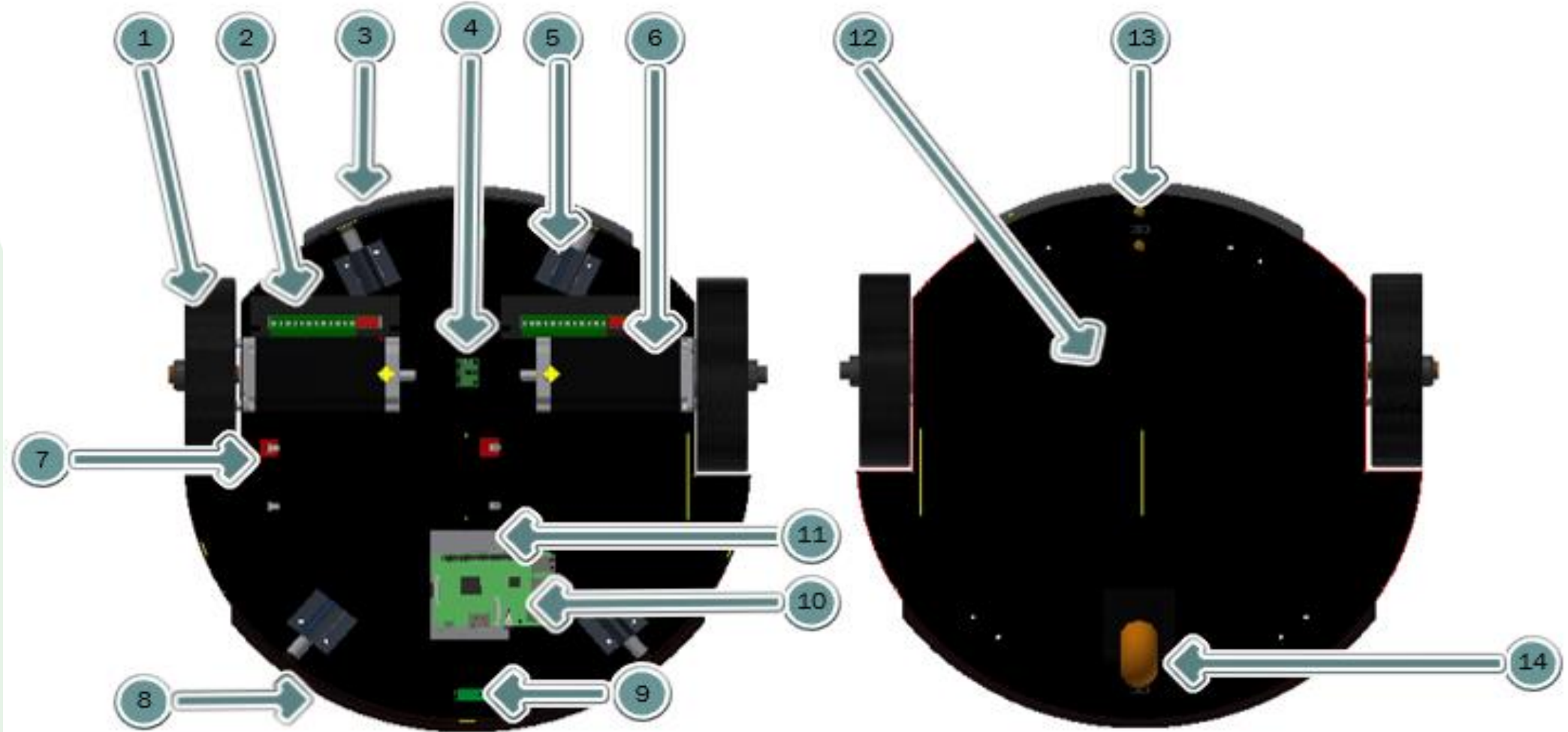


Módulo Estructura

| Número | Descripción | #Elementos |
|--------|-----------------------------------|------------|
| 1 | Rueda Motriz | 2 |
| 2 | Driver Motor a Pasos | 2 |
| 3 | Bumper Trasero | 1 |
| 4 | Sensor IMU- Giroscopio | 1 |
| 5 | Tope de ventana | 4 |
| 6 | Motor a pasos | 2 |
| 7 | Batería 12V | 2 |
| 8 | Bumper Frontal | 1 |
| 9 | Sensor Sharp | 2 |
| 10 | Raspberry PI 2 | 1 |
| 11 | Circuito Principal | 1 |
| 12 | Bastidor | 1 |
| 13 | Pines de Carga | 1 |
| 14 | Rueda seguidora | 1 |
| 15 | Soporte de receptores infrarrojos | 3 |
| 16 | Receptores Infrarrojos | 4 |



Módulo Estructura

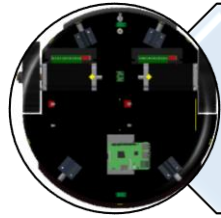




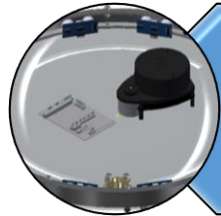
Módulo Estructura



ETAPAS DE DESARROLLO



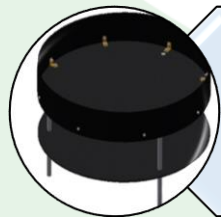
Módulo de Estructura



Módulo de Sensores



Estación de Carga



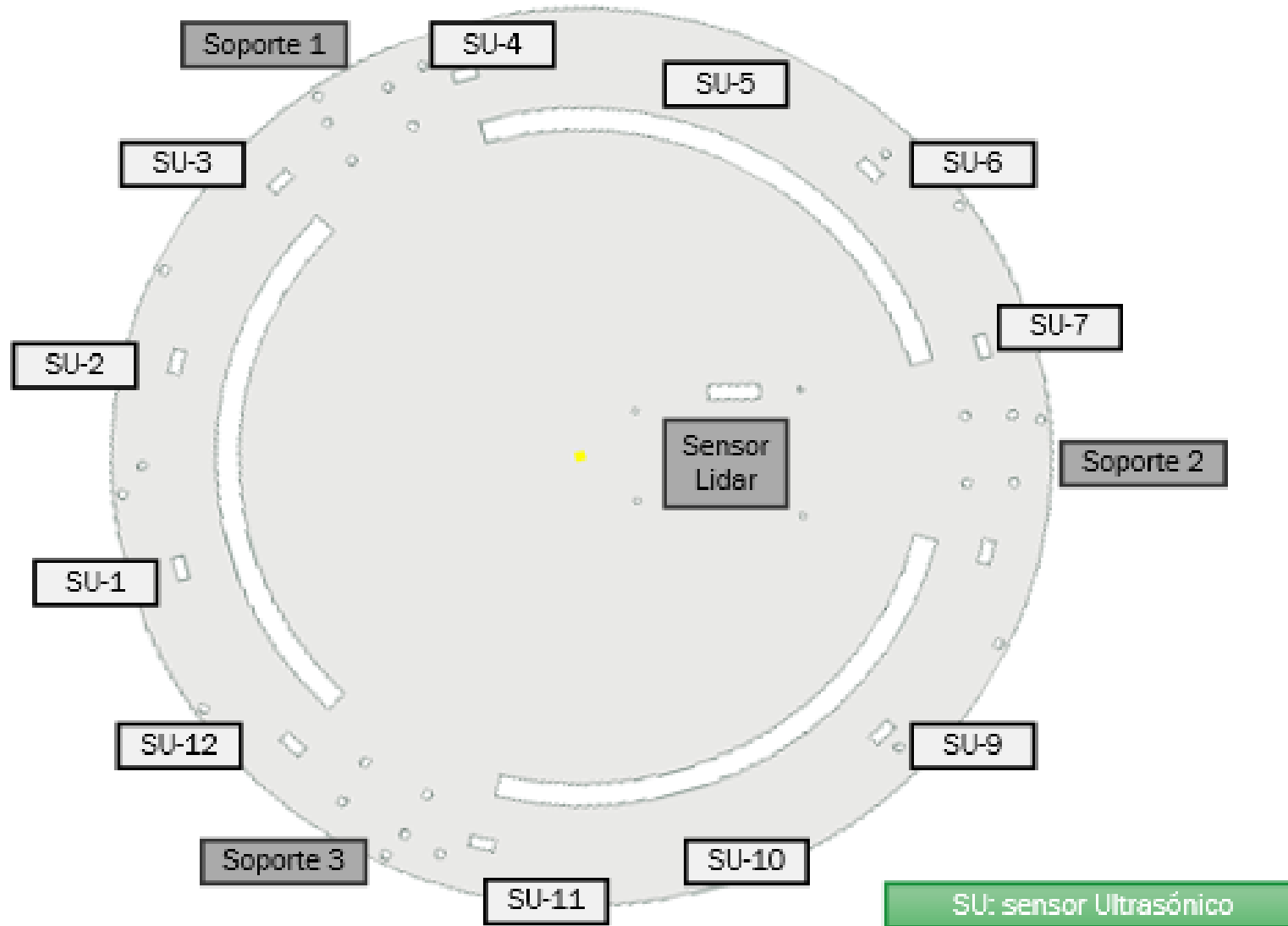
Aditamento de Carga



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Módulo Sensores

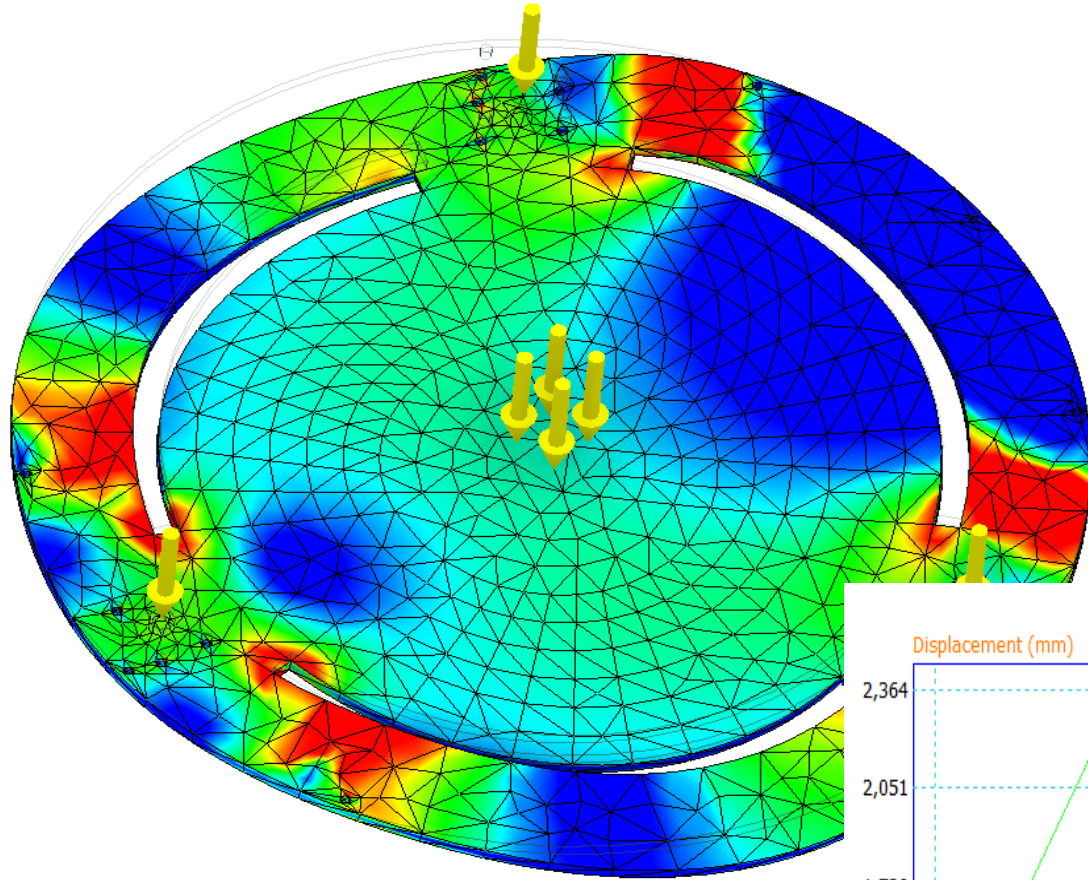
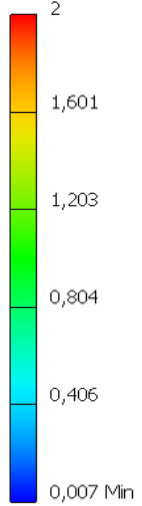




ESPE

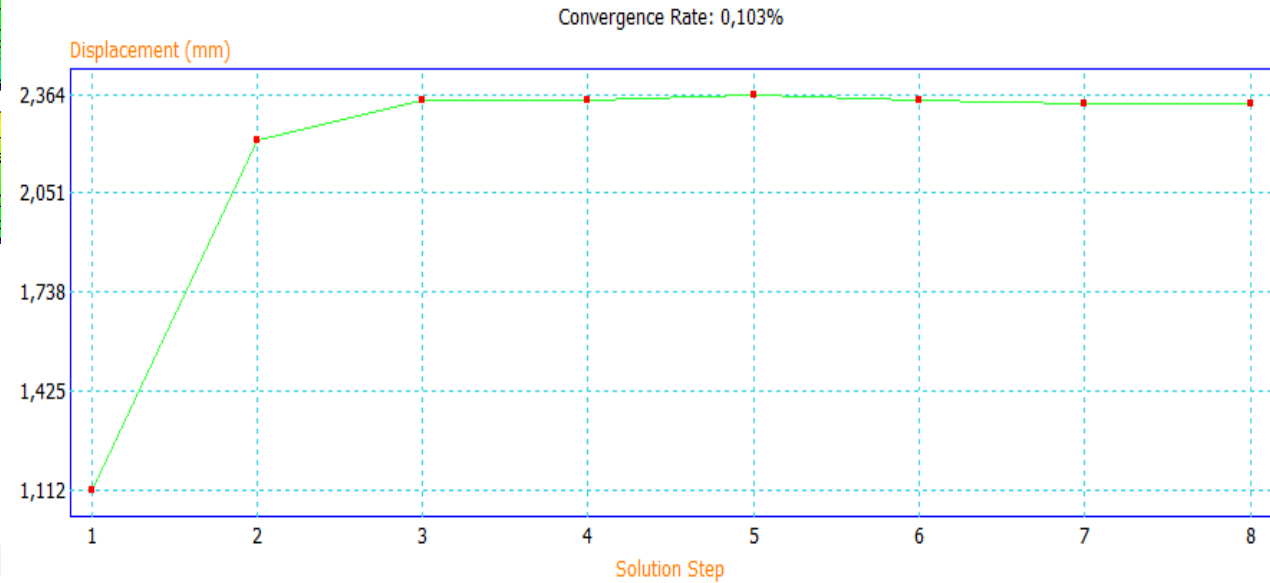
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Nodes: 12240
Elements: 5798
Type: Von Mises Stress
Unit: MPa
19/6/2018, 19:04:21

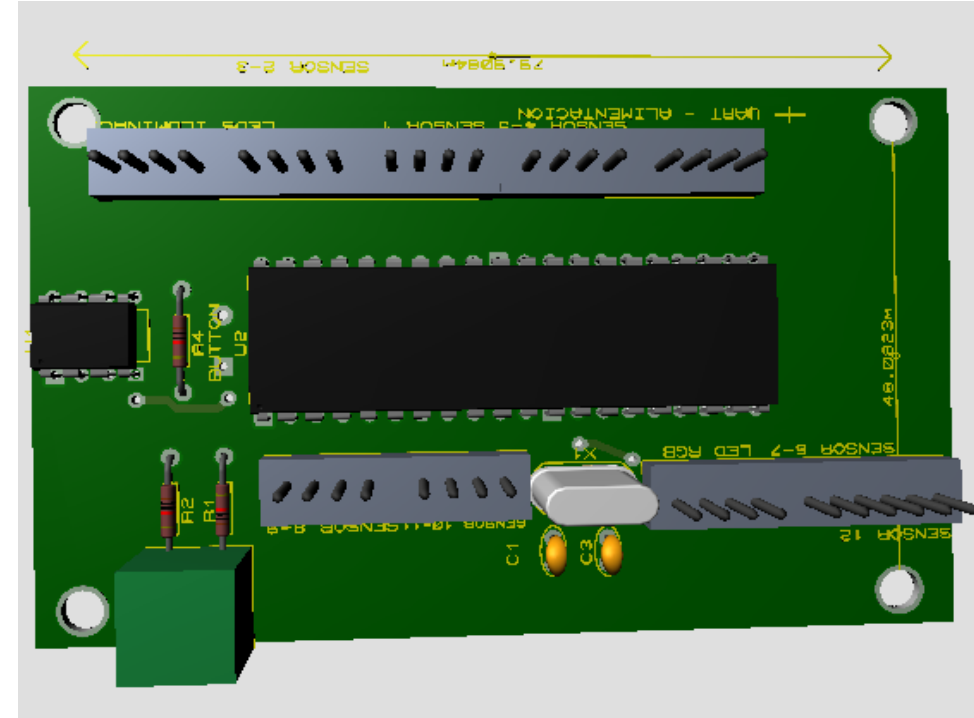
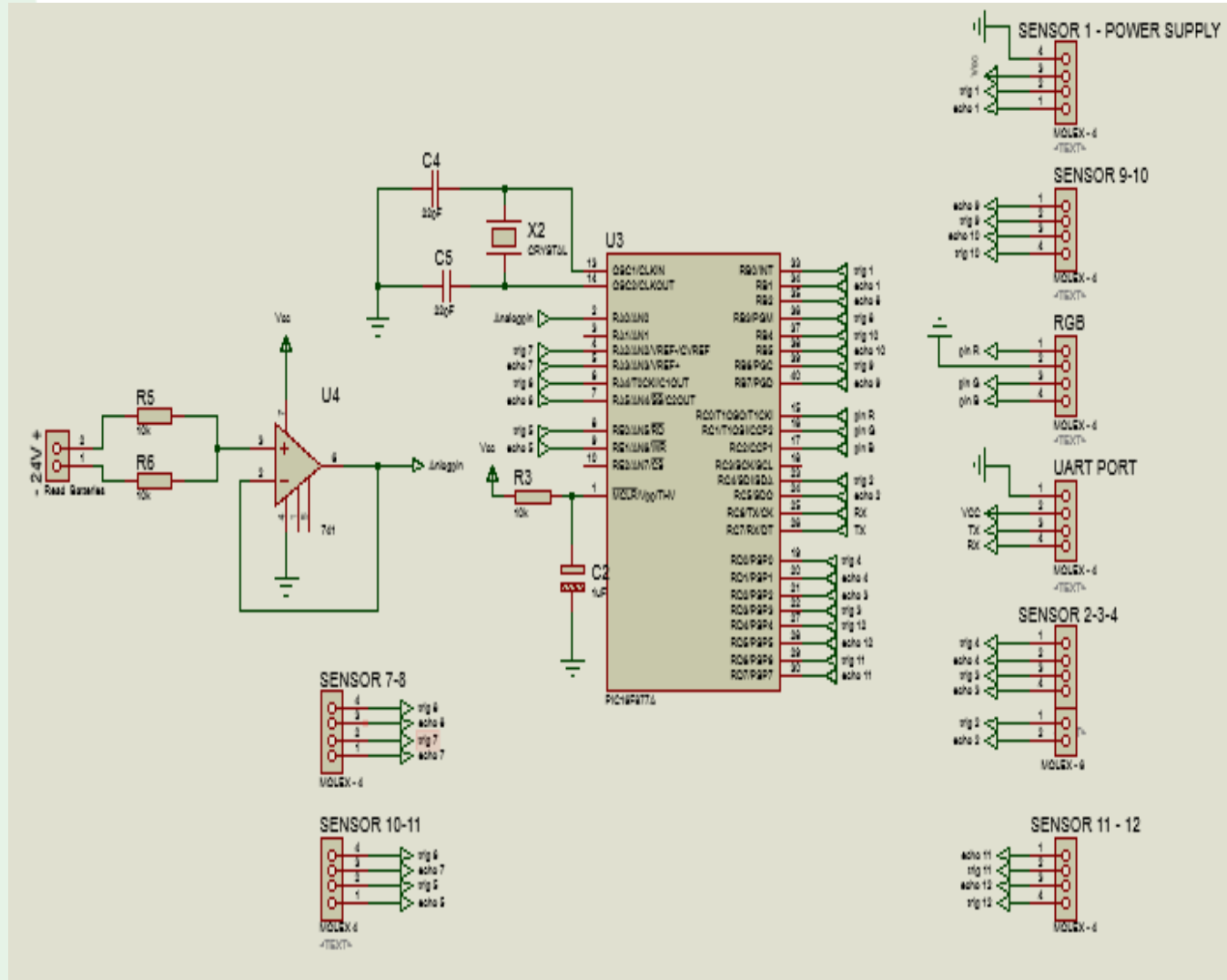


Módulo Sensores

| | |
|-----------------|----------|
| Material | Acrílico |
| Espesor | 5mm |
| Sy | 48MPa |
| Sut | 79,8MPa |

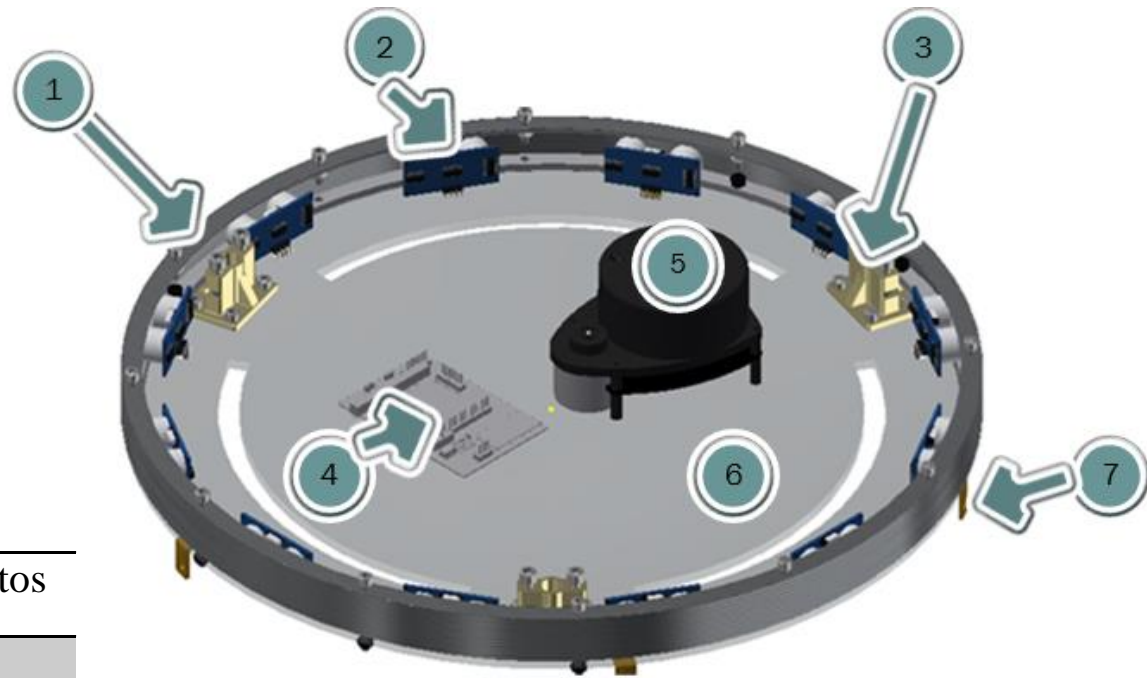


Módulo Sensores

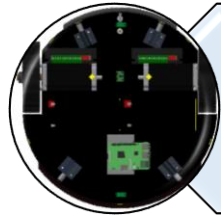


Módulo Sensores

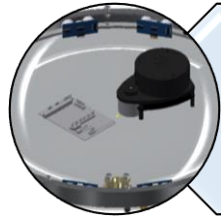
| Número | Descripción | #Elementos |
|--------|--------------------|------------|
| 1 | Malla Metálica | 1 |
| 2 | Sensor Ultrasónico | 12 |
| 3 | Soporte | 3 |
| 4 | Placa electrónica | 1 |
| 5 | Sensor Rplidar A1 | 1 |
| 6 | Placa Base | 1 |
| 7 | Soporte L | 5 |
| 8 | Tapa de Módulo | 1 |



ETAPAS DE DESARROLLO



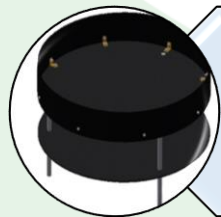
Módulo de Estructura



Módulo de Sensores



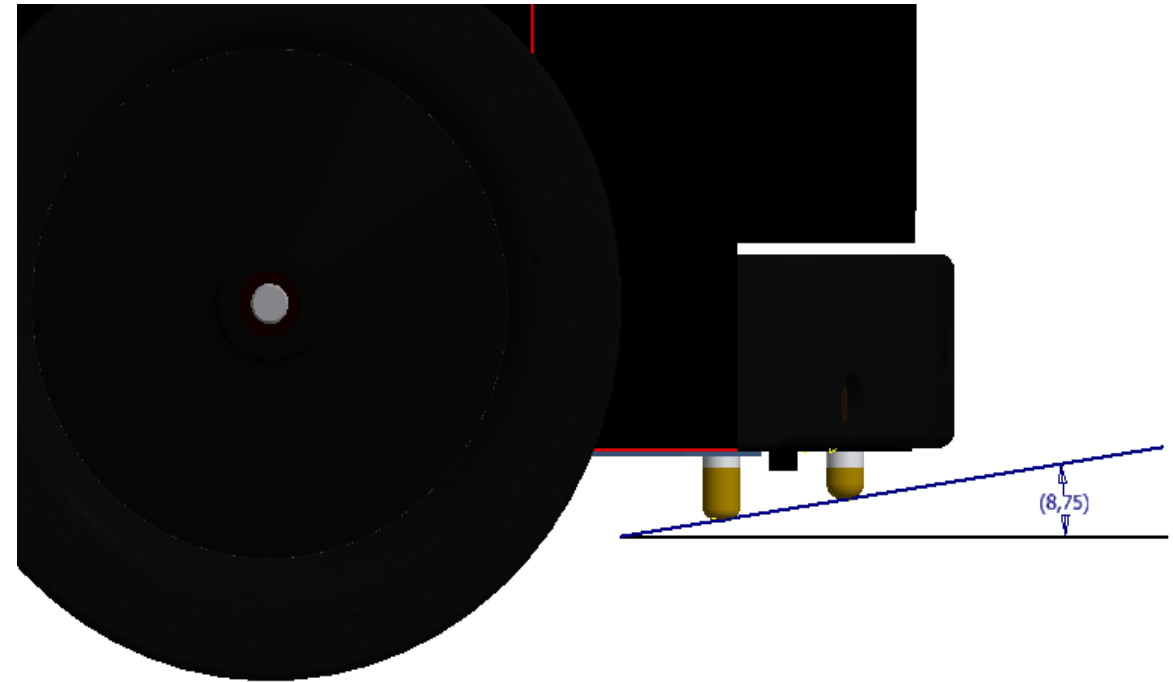
Estación de Carga



Aditamento de Carga

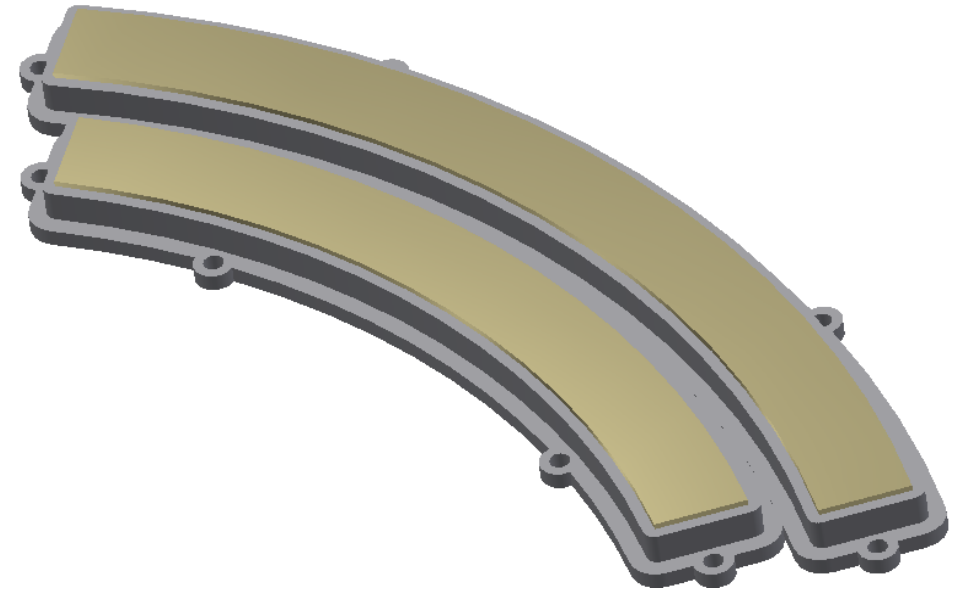


Estación de Carga

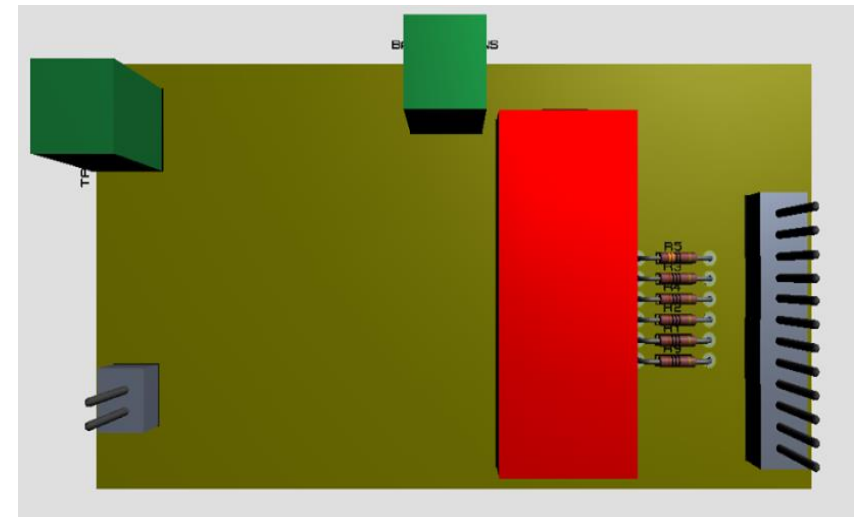
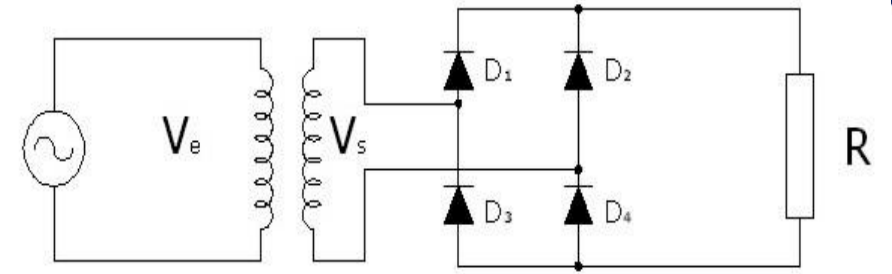




Estación de Carga



Estación de Carga



Estación de Carga

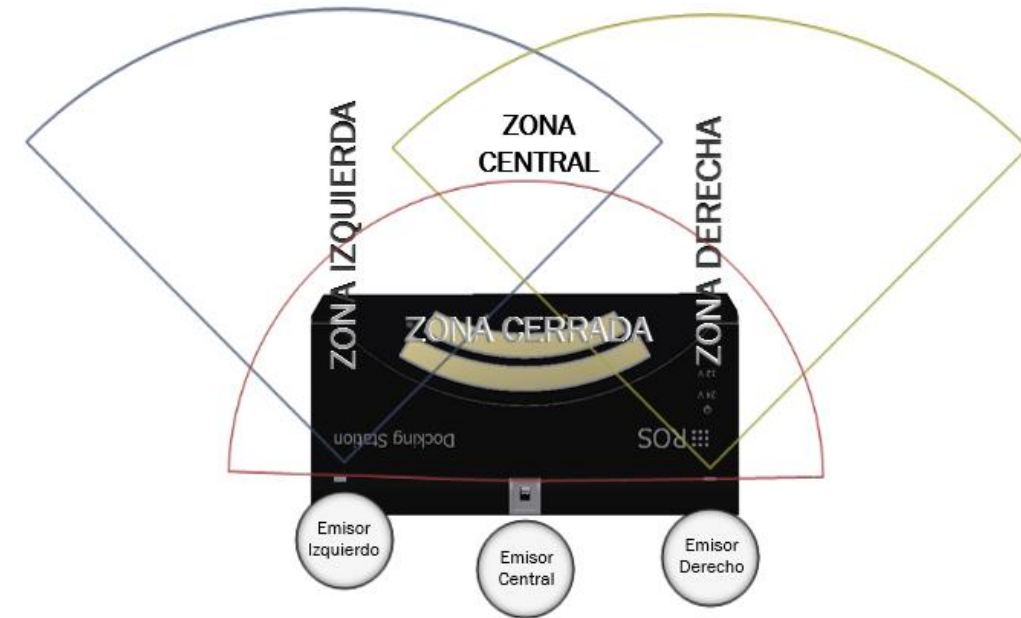
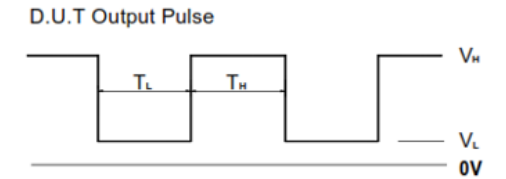
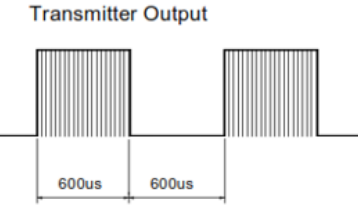
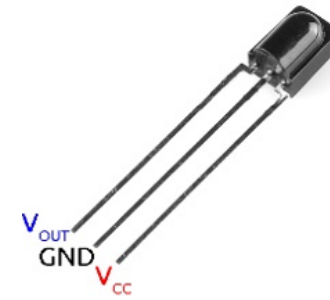
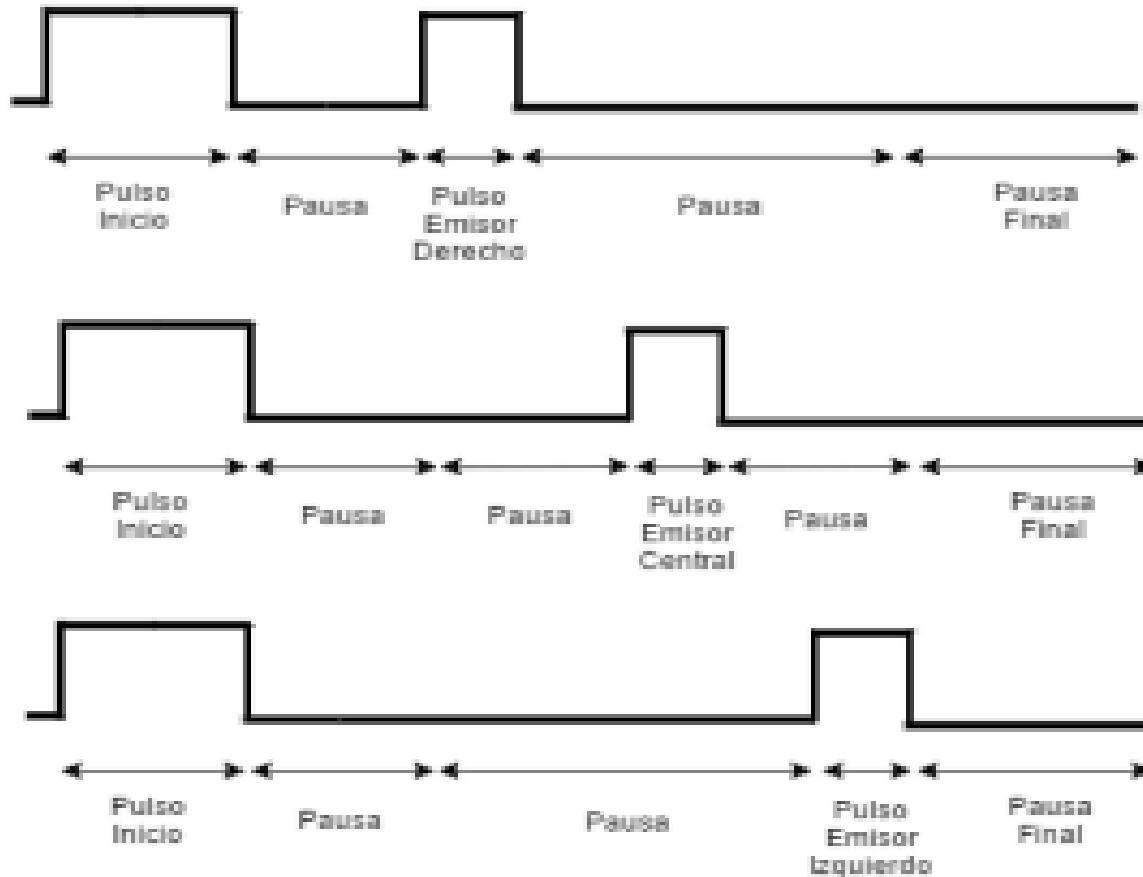
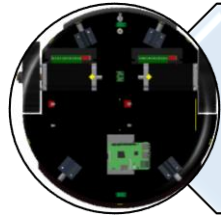
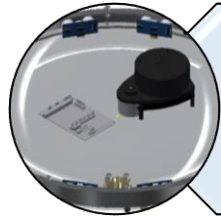


Imagen tomada de: Vera Durán, J. (2016). Sistema de recargar de energía de robots móviles con ROS. Málaga: Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial - Universidad de Málaga.

ETAPAS DE DESARROLLO



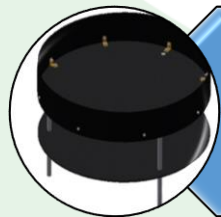
Módulo de Estructura



Módulo de Sensores

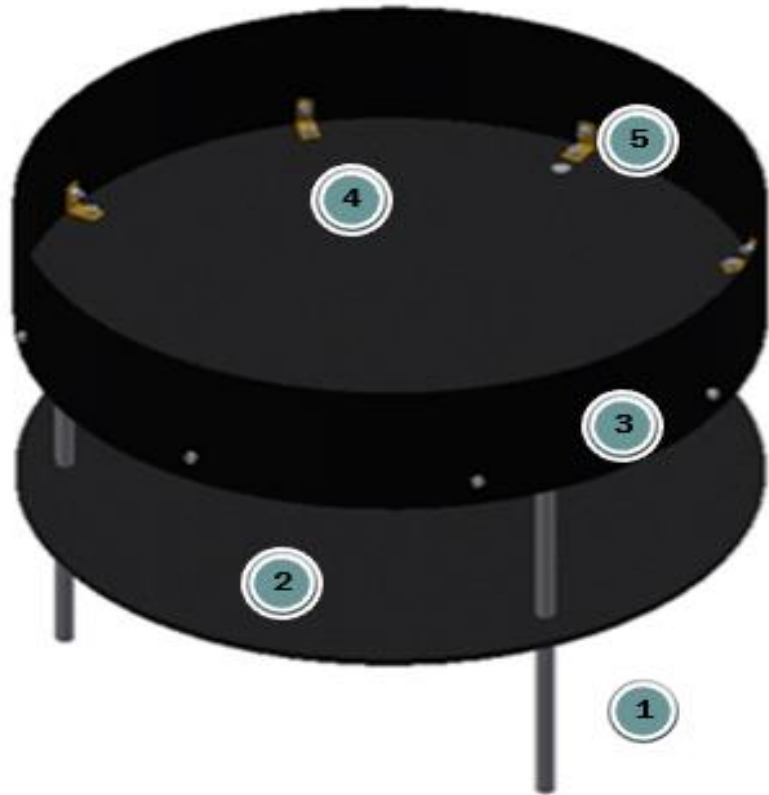


Estación de Carga



Aditamento de Carga

Aditamento de Carga



| Número | Descripción | #Elementos |
|--------|----------------|------------|
| 1 | Eje de soporte | 3 |
| 2 | Placa base | 1 |
| 3 | Placa base | 1 |
| 4 | Contorno | 1 |
| 5 | Soporte L | 8 |

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \times E \times I}{(K \times L)^2}$$

EL momento de inercia para una sección circular está da do por:

$$I = \frac{\pi \times d^4}{64}$$

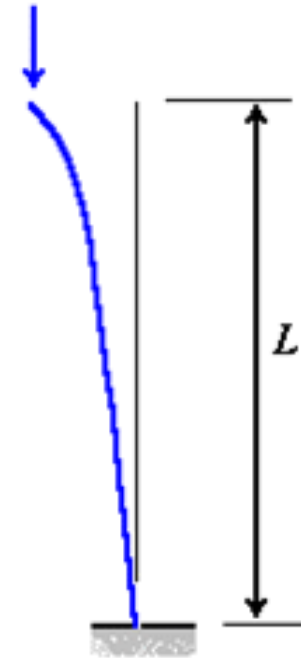
Por lo que el diámetro para la columna se obtiene:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \times E \times \frac{\pi \times d^4}{64}}{(K \times L)^2}$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^3 \times E \times d^4}{64 \times (K \times L)^2}$$

$$P_{cr} = 196.2 \text{ N}$$

Aditamento de Carga



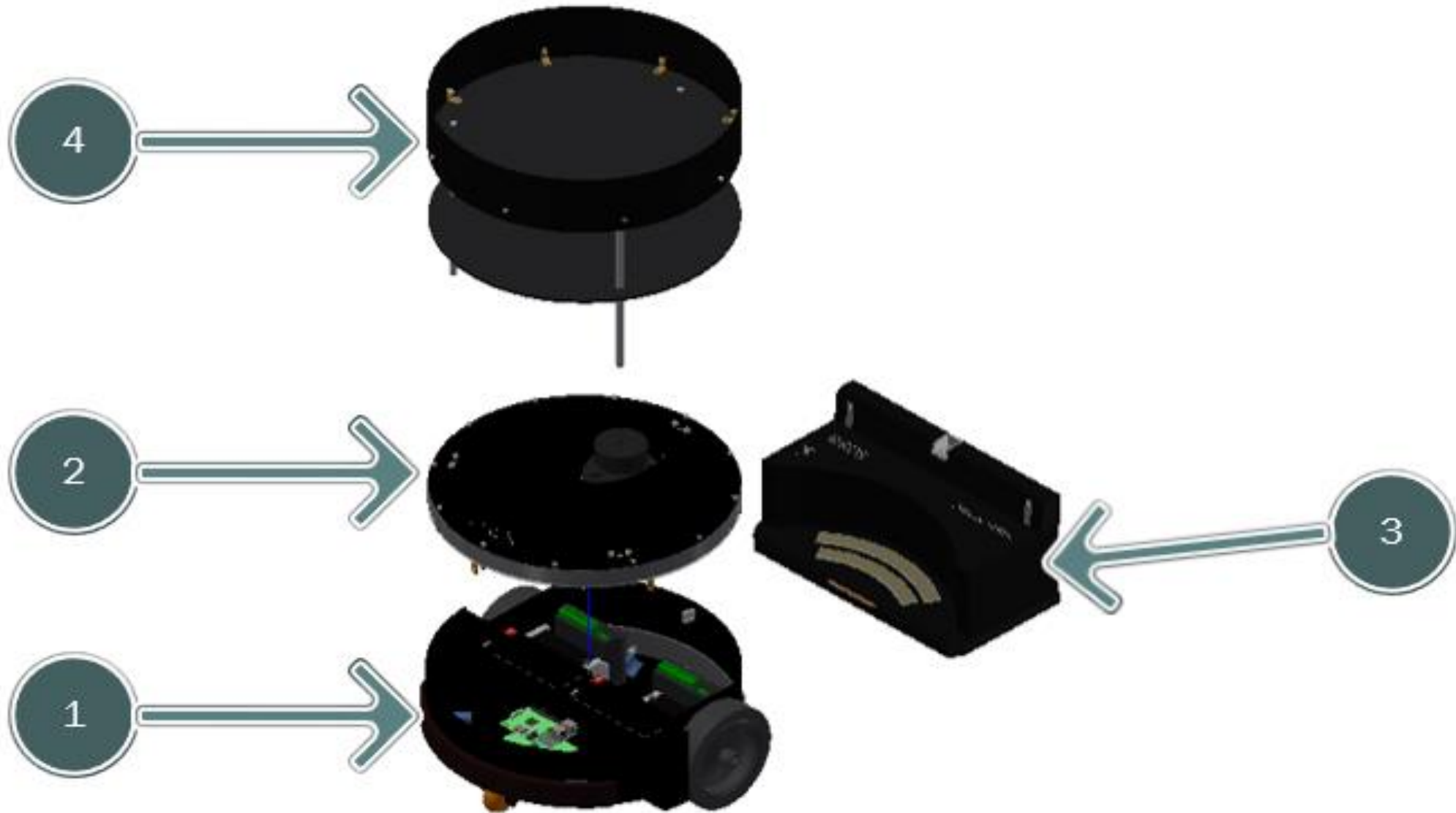
$$d^4 = \frac{P_{cr} \times 64 \times (K \times L)^2}{\pi^3 \times E}$$

$$d^4 = \frac{196.2 \text{ N} \times 64 \times (0.7 \times 300 \text{ mm})^2}{\pi^3 \times 200 \text{ GPa}}$$

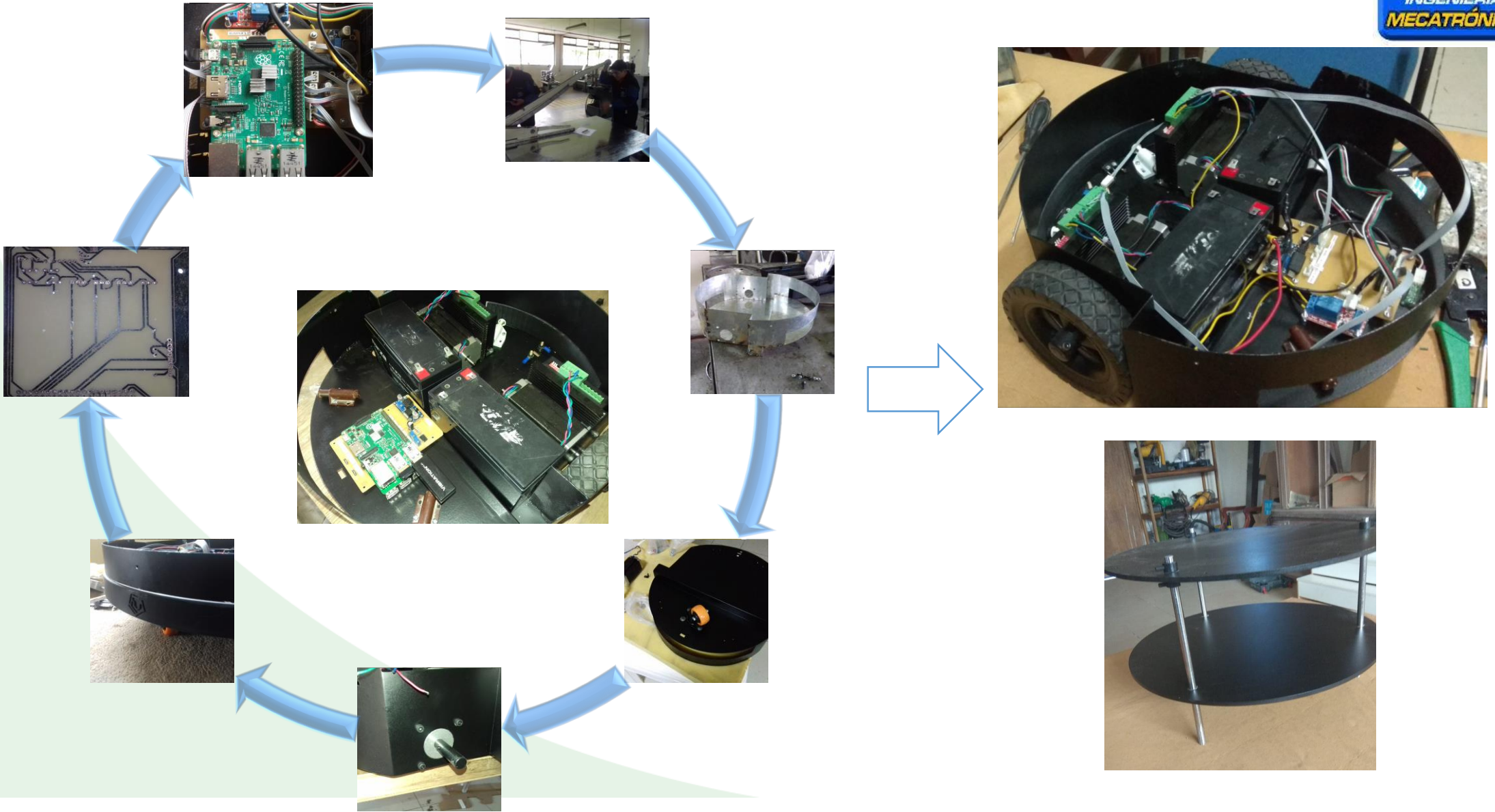
$$d^4 = 89.3 \text{ mm}^4$$

$$d \approx 3.07 \text{ mm}$$

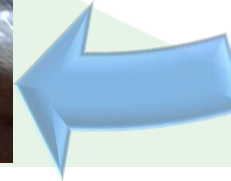
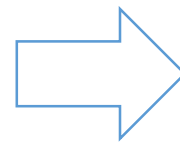
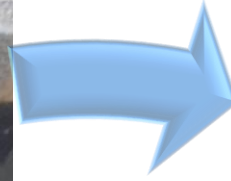
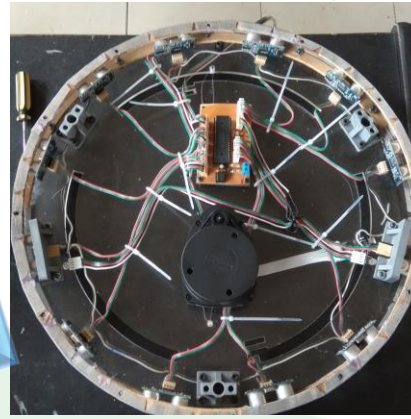
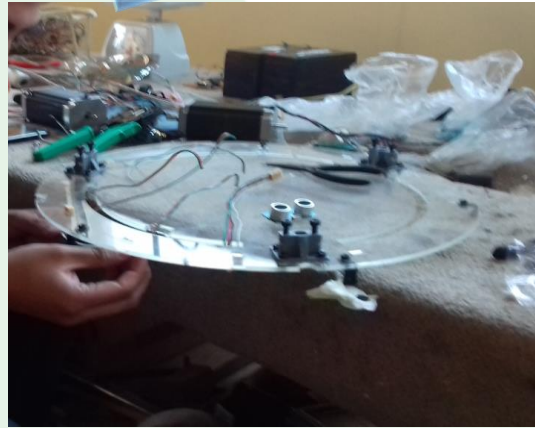
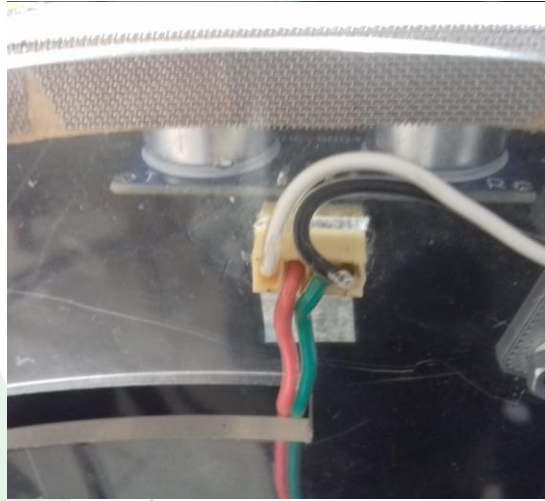
Esquema Final



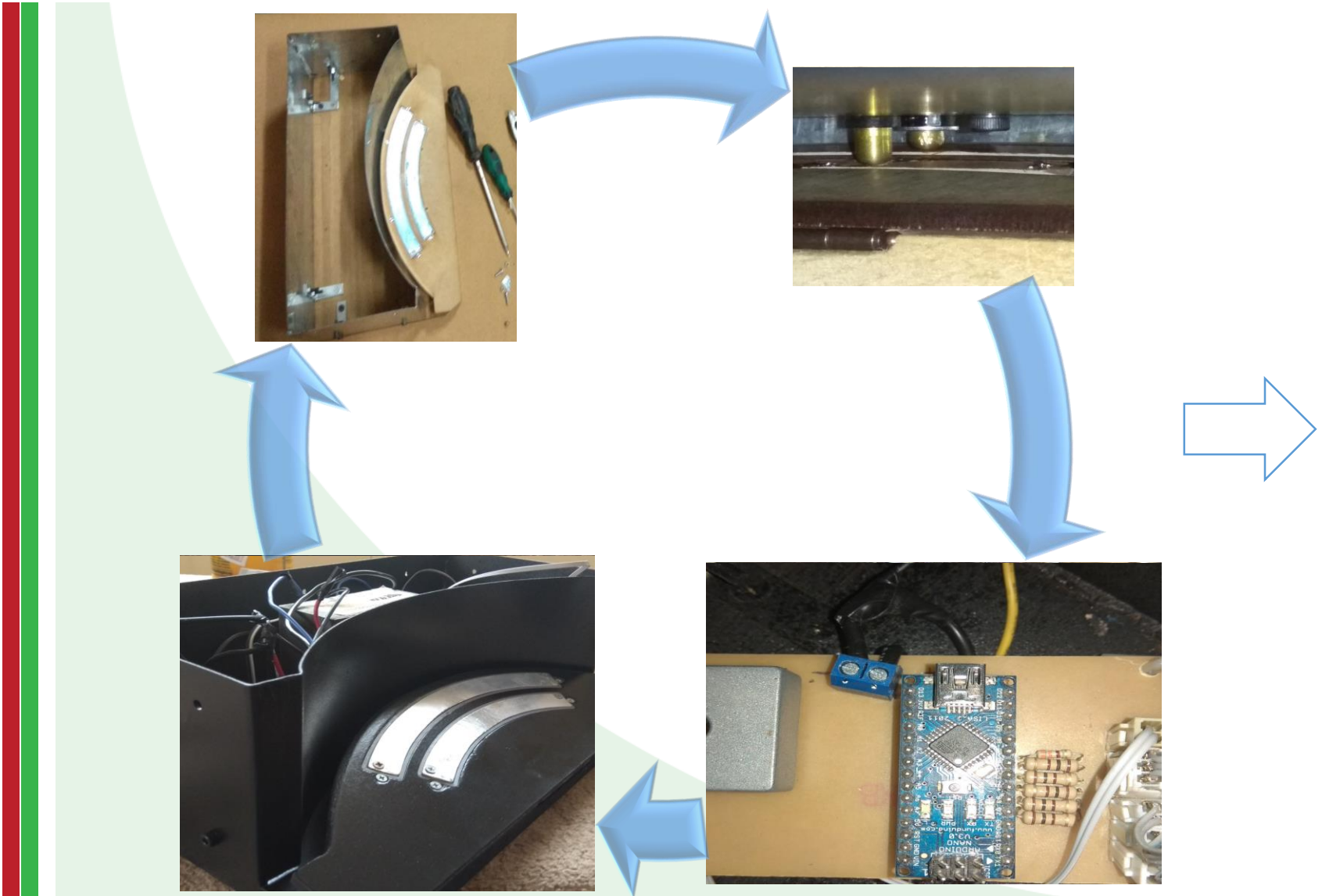
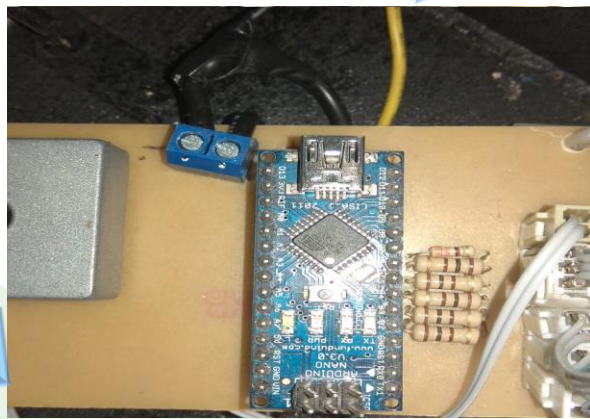
Construcción y Montaje



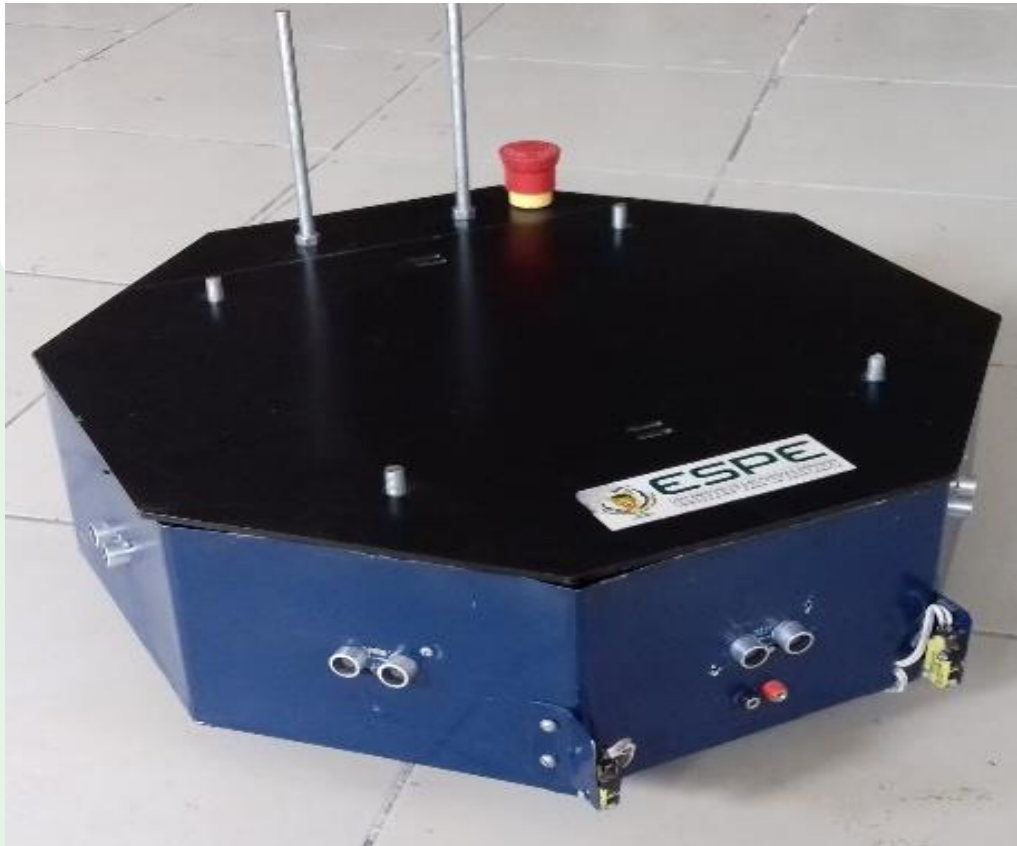
Construcción y Montaje



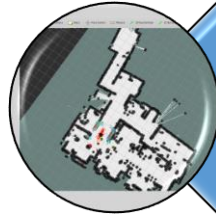
Construcción y Montaje



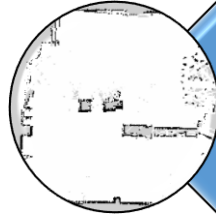
Construcción y Montaje



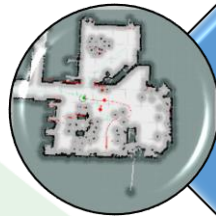
ETAPAS DE AUTONOMÍA



INTERFAZ GRÁFICA



SLAM

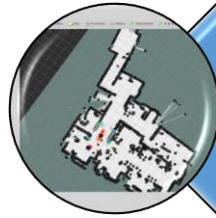


NAVEGACIÓN

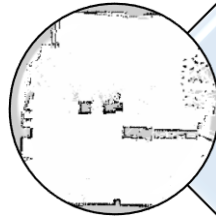


ANCLAJE
ESTACIÓN

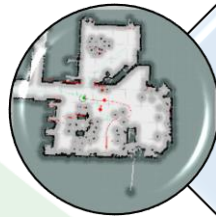
ETAPAS DE AUTONOMÍA



INTERFAZ GRÁFICA



SLAM



NAVEGACIÓN



ANCLAJE
ESTACIÓN



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Diseño HMI



SIMBA

mar 19 de jun 16:42 chezz

SLAM NAVIGATION RESOURCES

Start Slam

Save Map as ...

Stop Slam

Robot State

JOYSTICK CONTROL

ROBOT BATTERY

16:41:26: Mapa Cargado

Interact Move Camera Select Focus Camera Measure 2D Pose Estimate 2D Nav Goal Publish Point Plant Flag

The main area of the HMI displays a 3D visualization of a SLAM map. The map is rendered on a grid background, showing the robot's path and the reconstructed environment. The robot's current position is indicated by a white square. The environment includes a large rectangular structure and a vertical structure. The interface also features a toolbar with various interaction tools like 'Interact', 'Move Camera', 'Select', 'Focus Camera', 'Measure', '2D Pose Estimate', '2D Nav Goal', 'Publish Point', and 'Plant Flag'.



Desarrollado por: Andrés Toapanta - Fabricio Quinaluisa

SIMBA

SLAM NAVIGATION RESOURCES

Start Navigation

Load Map


Set Docking Position

Go Docking Station

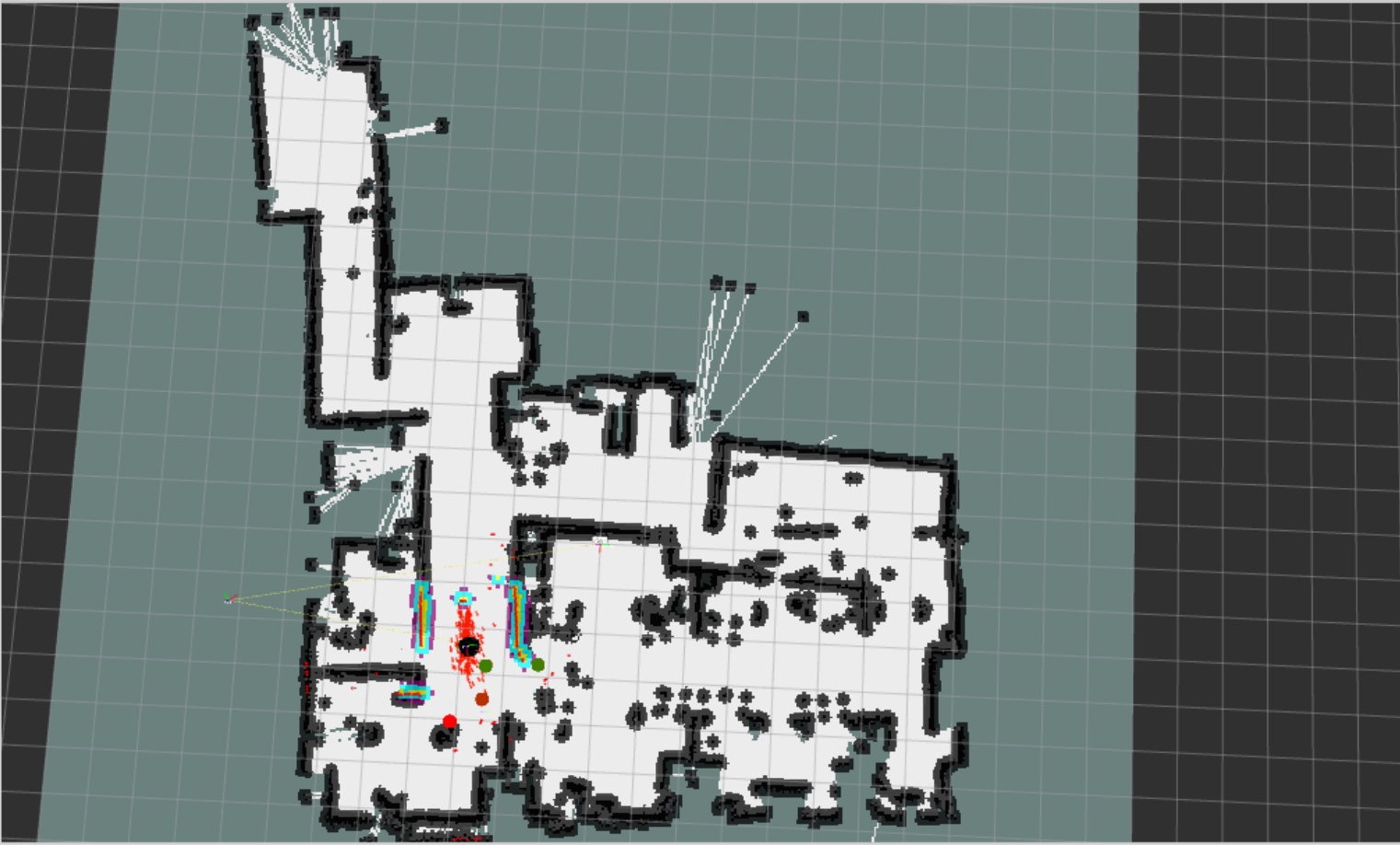
Stop Navigation

Robot State

JOYSTICK CONTROL

ROBOT BATTERY  80%

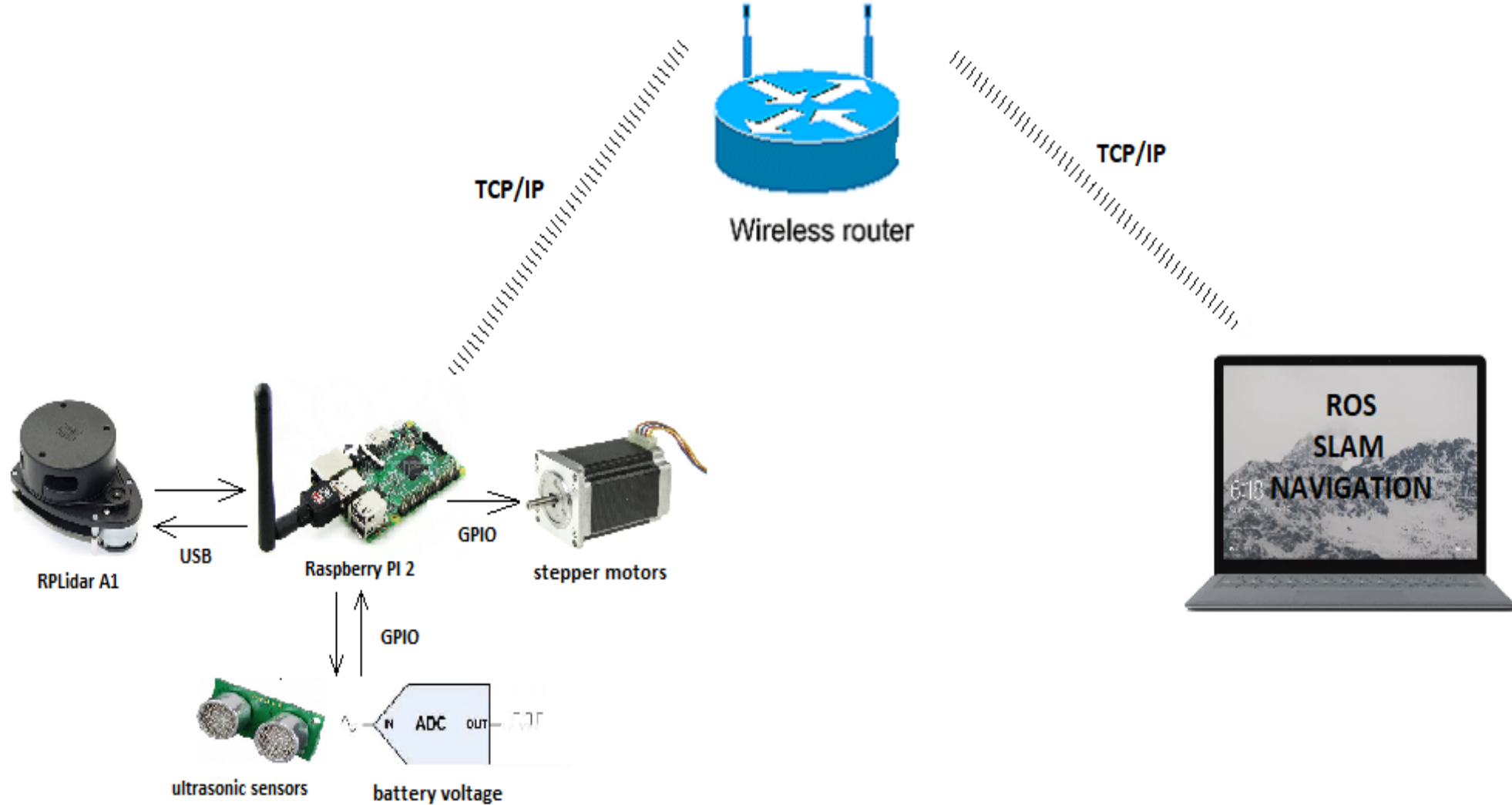
17:22:01: Por favor espere
17:22:01: Para auto-posicionar presione boton SET DOCKING POSITION
17:22:07: This goal has been accepted by the simple action server
17:22:26: Goal reached.
17:22:28: Auto posicionando en docking
17:31:26: This goal has been accepted by the simple action server
17:32:59: This goal was canceled because another goal was recieved by the simple action server
17:33:04: This goal has been accepted by the simple action server
17:33:14: Goal reached.
17:33:39: This goal has been accepted by the simple action server
17:34:49: Goal reached.
17:35:52: This goal has been accepted by the simple action server
17:36:34: Goal reached.



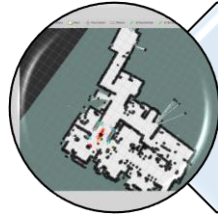
Interact Move Camera Select Focus Camera Measure 2D Pose Estimate 2D Nav Goal Publish Point Plant Flag

Desarrollado por: Andrés Toapanta - Fabricio Quinaluisa

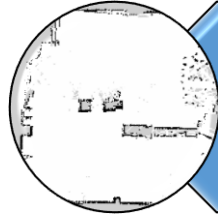
Conexión HMI



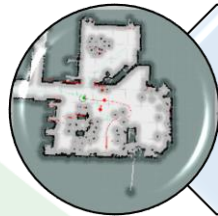
ETAPAS DE AUTONOMÍA



INTERFAZ GRÁFICA



SLAM



NAVEGACIÓN



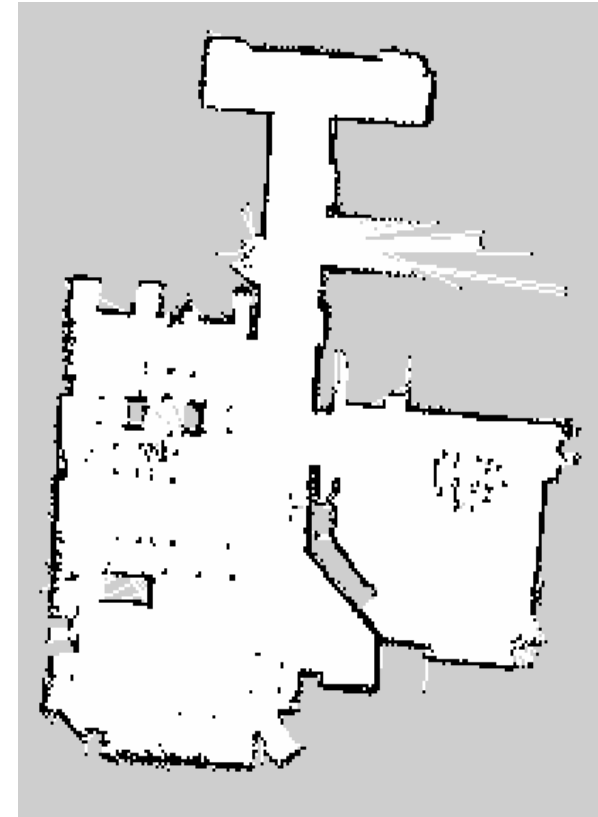
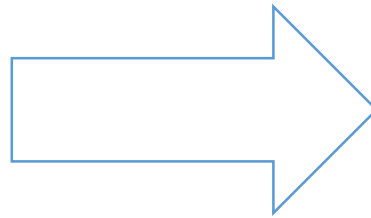
ANCLAJE
ESTACIÓN



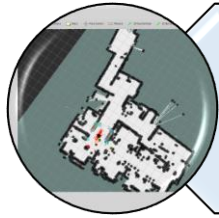
ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

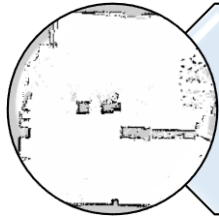
SLAM



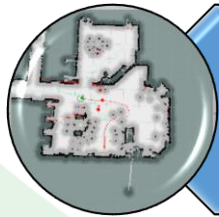
ETAPAS DE AUTONOMÍA



INTERFAZ GRÁFICA



SLAM

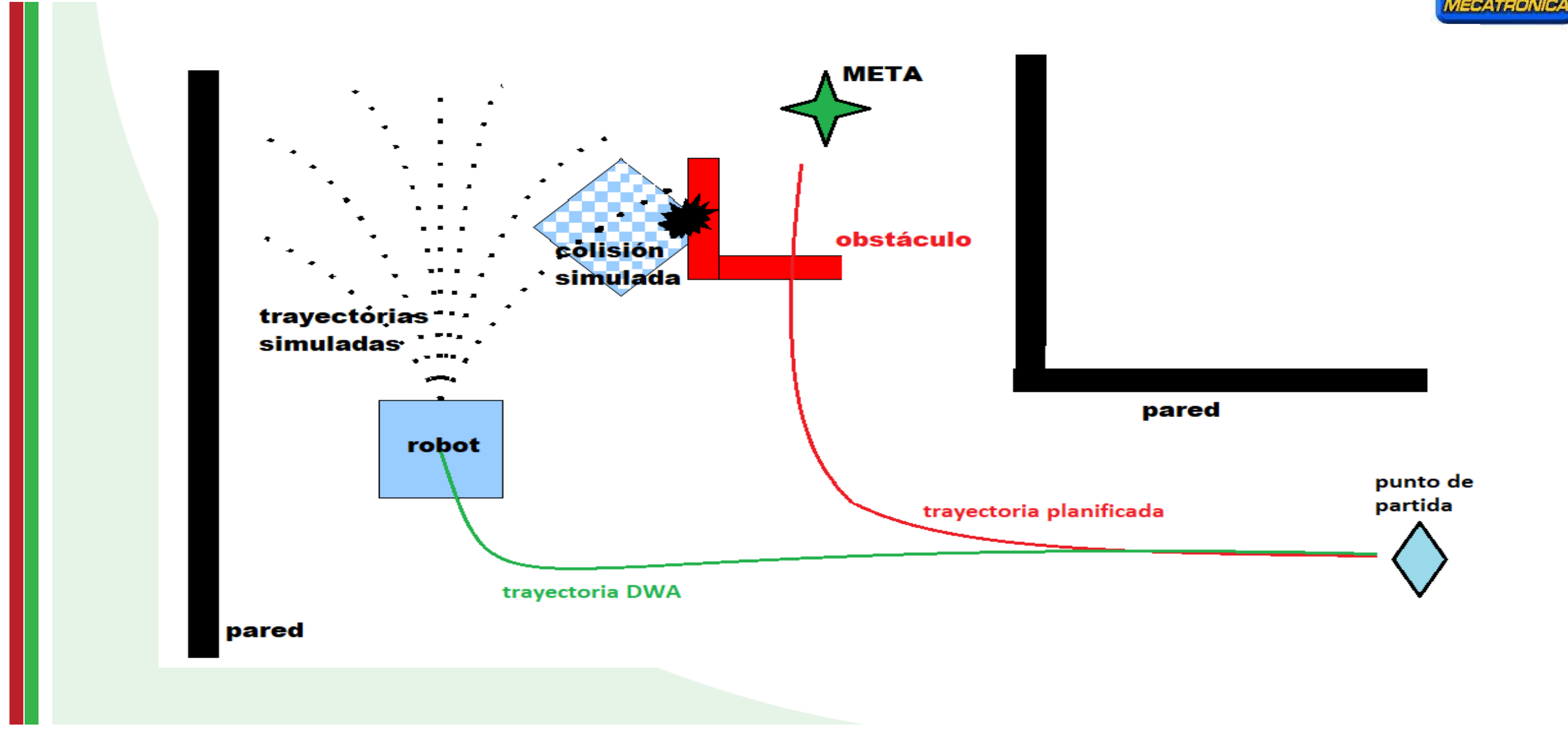


NAVEGACIÓN

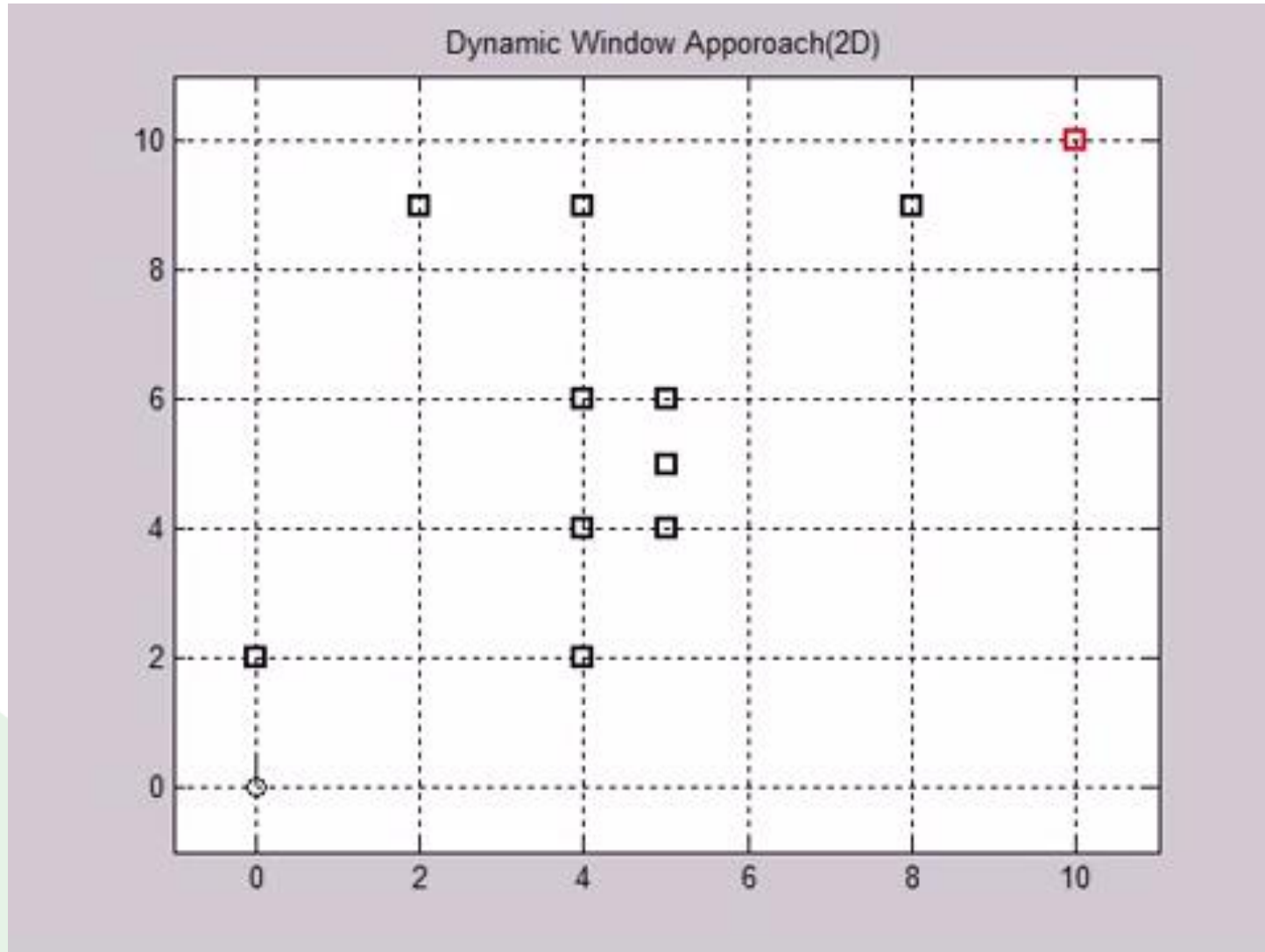


ANCLAJE
ESTACIÓN

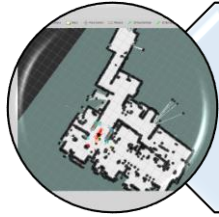
Navegación Reactiva



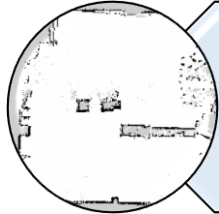
Navegación Reactiva - DWA



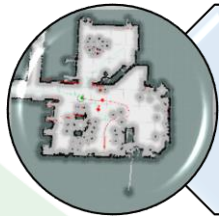
ETAPAS DE AUTONOMÍA



INTERFAZ GRÁFICA



SLAM

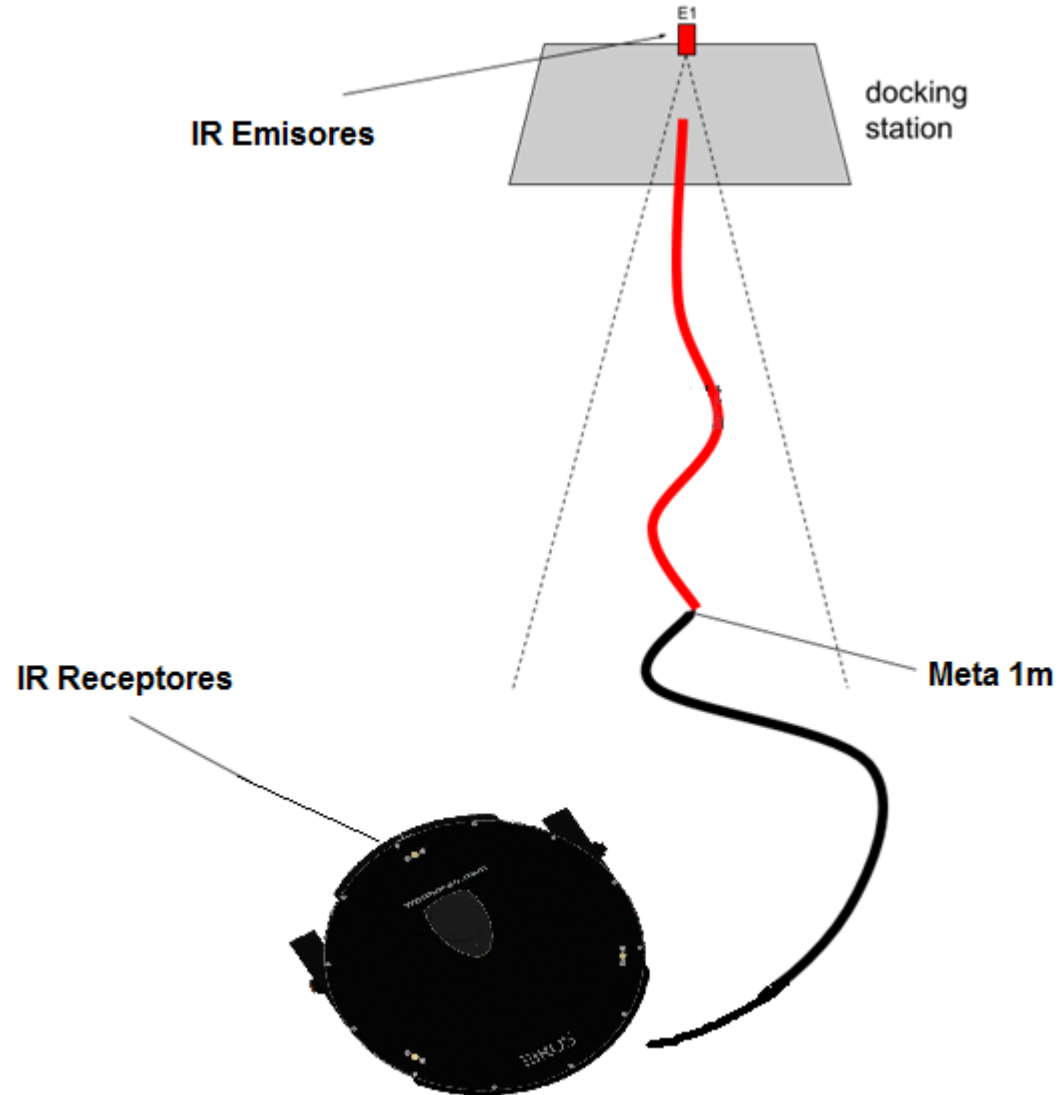


NAVEGACIÓN



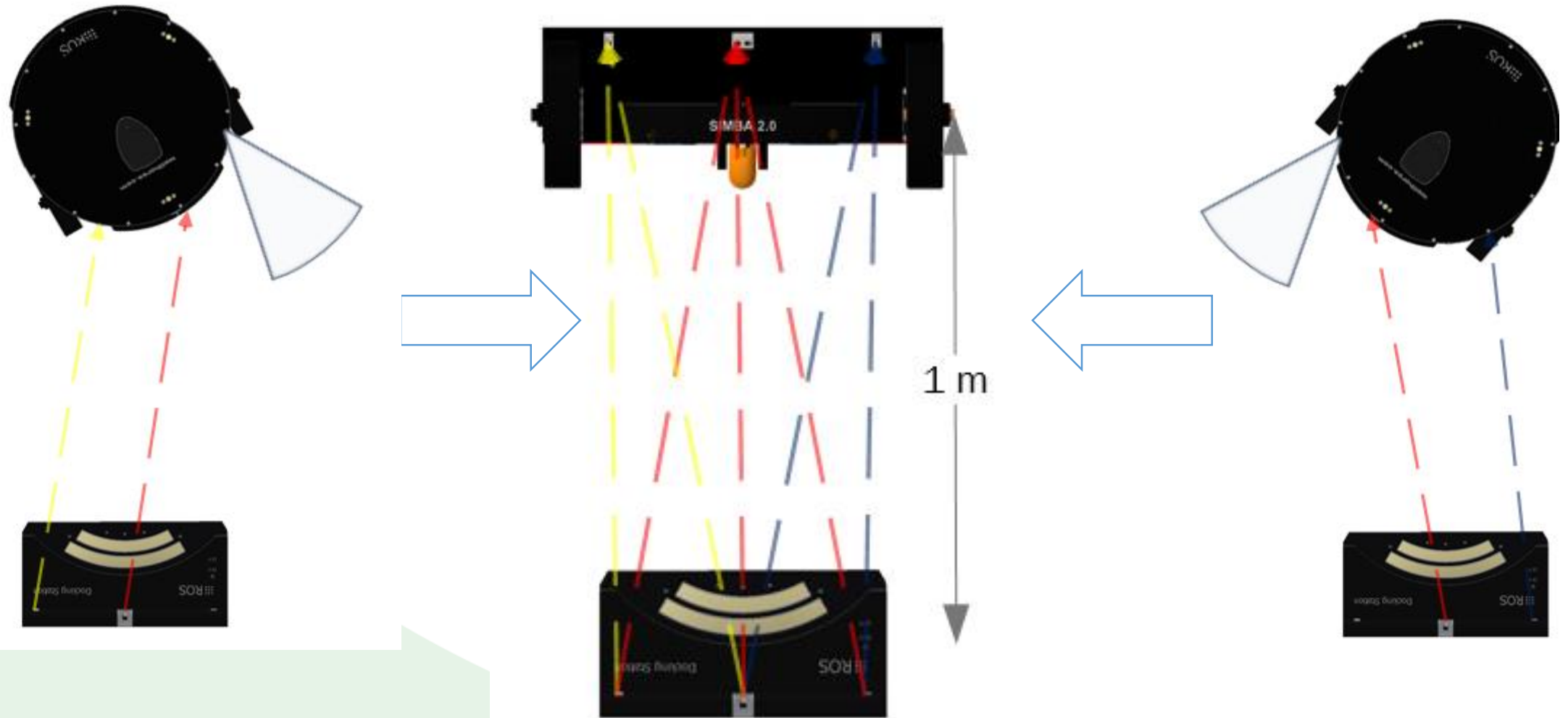
ANCLAJE
ESTACIÓN

Anclaje estación de carga

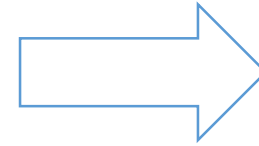
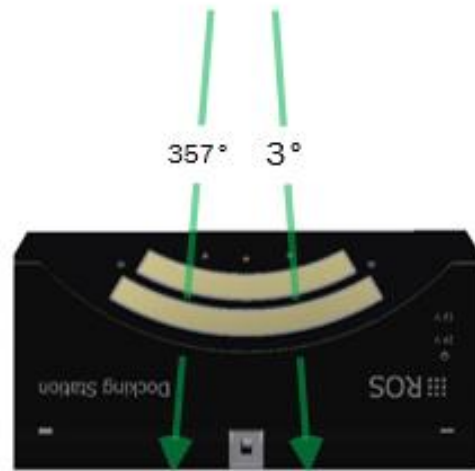
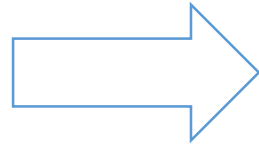
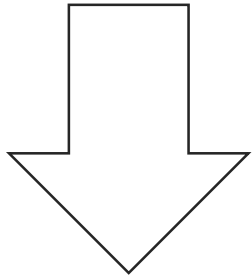


- **Señal Emitida a 1m del posicionamiento del Robot.**
- **Envío de Señal Modulada**

Anclaje estación de carga



Anclaje estación de carga





ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

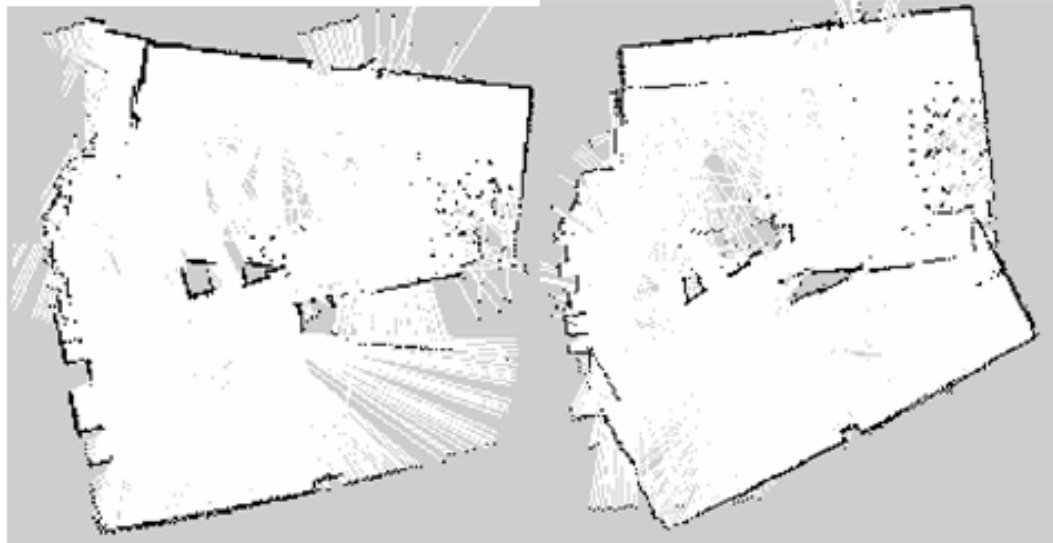


Pruebas y Resultados





Prueba de velocidad de mapeo



a)

b)



c)

d)

a: 0,5 m/s

b: 0,35 m/s

c: 0,2 m/s

d: 0,17 m/s

Entorno 2 - Departamento

| Lado | Distancia | | Error % |
|------|-----------|----------|---------|
| | Real (m) | SLAM (m) | |
| L1 | 11,74 | 11,5095 | 1,96% |
| L2 | 4,50 | 4,44547 | 1,21% |
| L3 | 4,77 | 4,6 | 3,56% |
| L4 | 1,88 | 1,86979 | 0,54% |

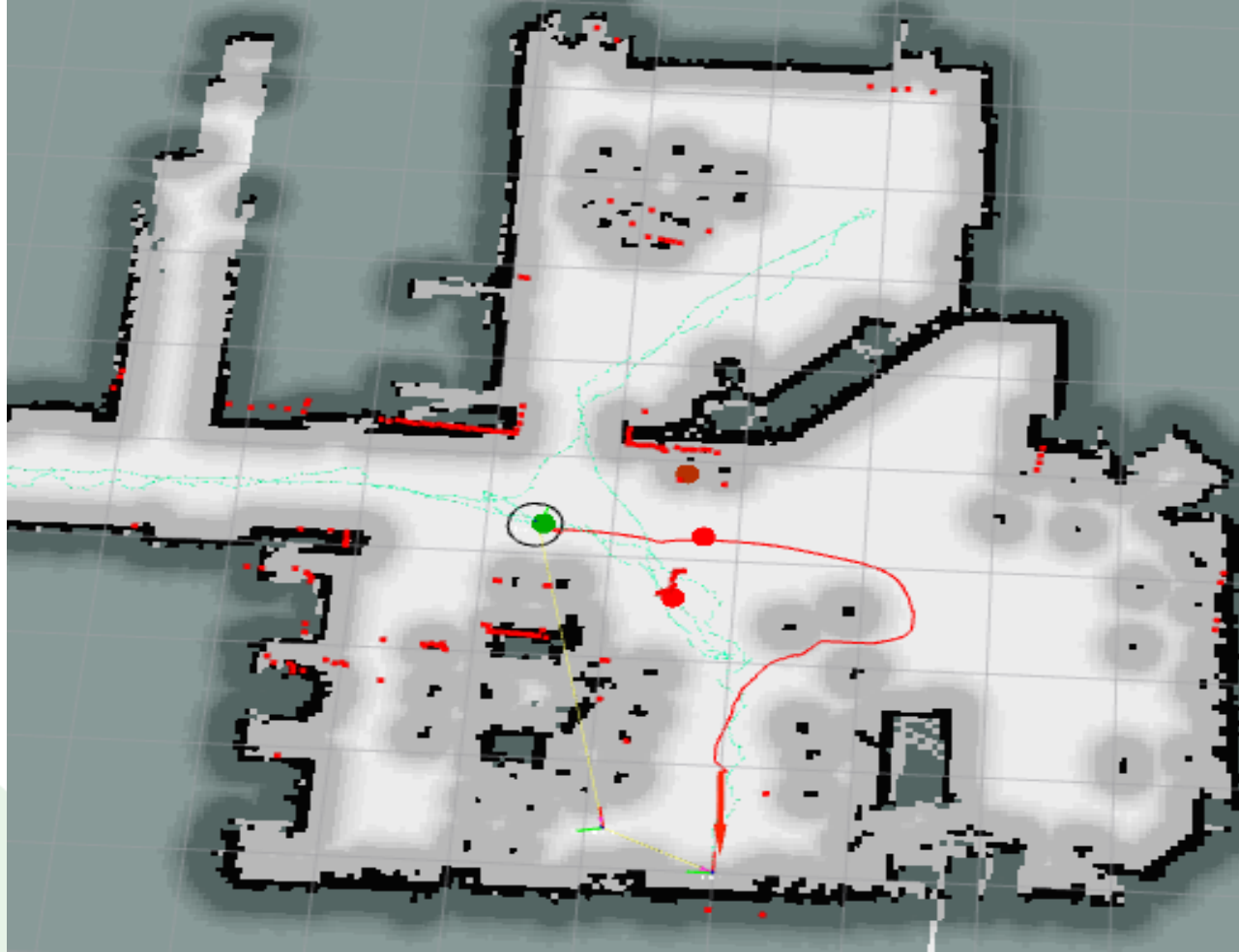




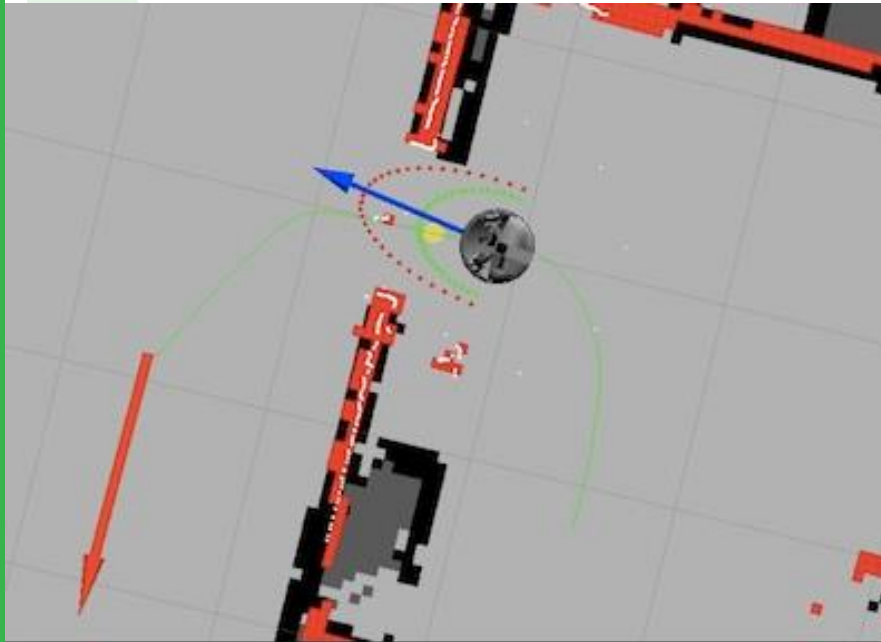
ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Prueba de Navegación



Prueba de Navegación



| N° | GOAL | | | REAL | | | Error Absoluto P. Real | | |
|----|-------|--------|---------|-------|--------|---------|------------------------|--------------|--------------|
| | X [m] | Y [m] | yaw [°] | X [m] | Y [m] | yaw [°] | X [m] | Y [m] | yaw [°] |
| 1 | 3,000 | 0,004 | -2,000 | 2,870 | 0,030 | -2,200 | 0,130 | 0,027 | 0,200 |
| 2 | 0,990 | 0,000 | 0,250 | 1,020 | 0,040 | 3,000 | 0,030 | 0,040 | 2,750 |
| 3 | 3,027 | 0,997 | 32,340 | 2,970 | 0,810 | 29,000 | 0,057 | 0,187 | 3,340 |
| 4 | 4,024 | -0,986 | -49,000 | 4,090 | -1,080 | -47,000 | 0,066 | 0,094 | 2,000 |



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



Conclusiones, Recomendaciones y Futuros Trabajos

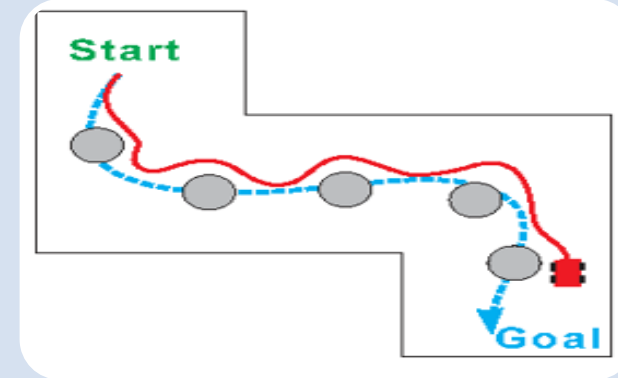
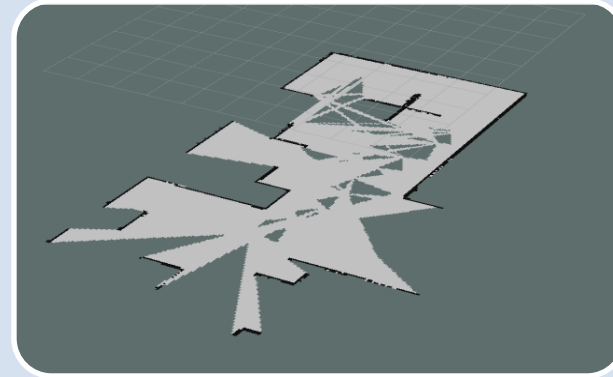
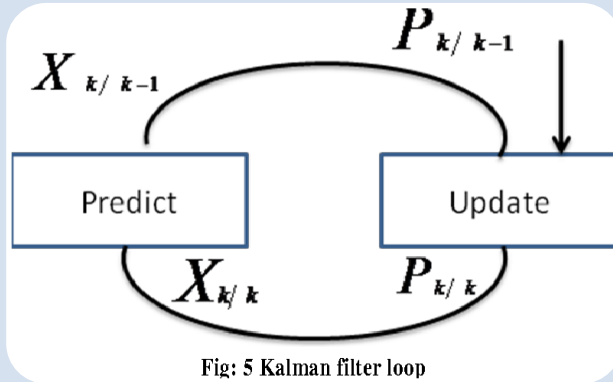
Conclusiones



LIDAR, ultrasónicos, infrarrojos para SLAM, Navegación Reactiva y autodocking.

Navegación en interiores, Trayectorias rectas y curvas 0,69 m/s y 2 rad/s.
Carga 5Kg.
Consumo 6,34 A.

Conclusiones



Localización
con EKF.
Odometría en
trayectorias
rectilíneas y
curvas.

SLAM con
joystick.
0,17 m/s y
3,56% error.

Navegación
con
planificación
de ruta y DWA
para
navegación
reactiva

Conclusiones



Estación de carga. Auto-anclaje con sensores infrarrojos.

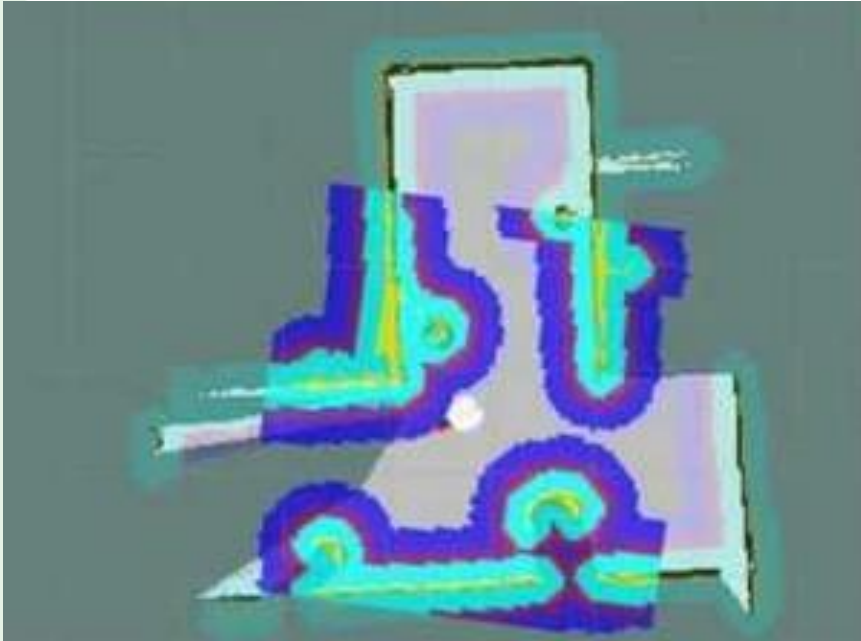


Transporte de objetos y levantamiento de mapas



Recomendaciones y trabajos futuros





EXPLORACIÓN SLAM AUTÓNOMO

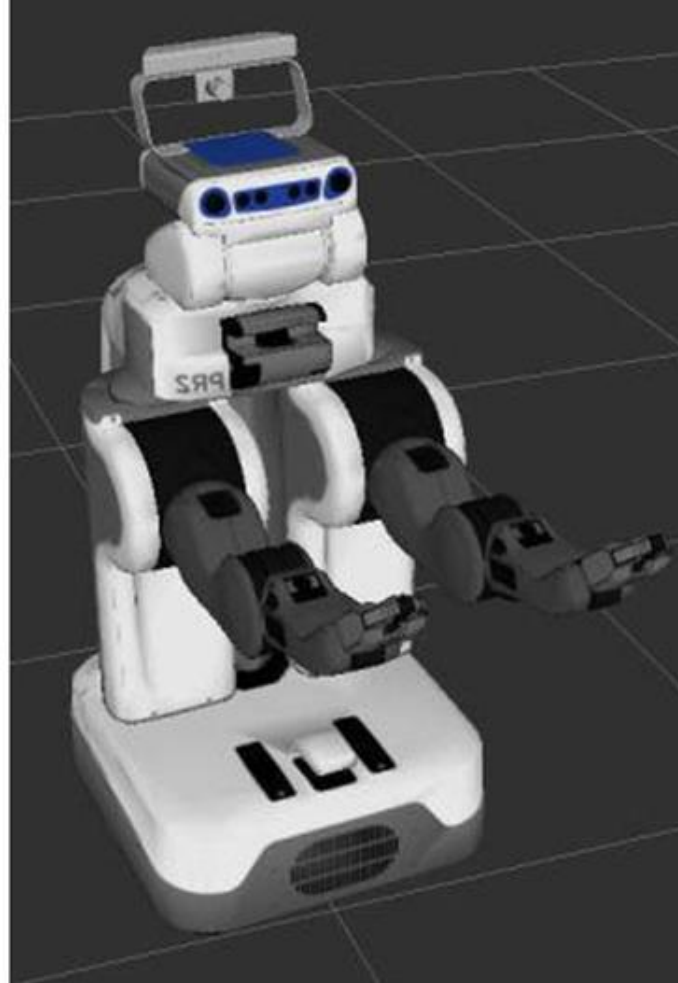


KIDNAPPED ROBOT PROBLEM



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



MANIPULADORES

Robot PR2



Gracias por su atención.



SIMBA