

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

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO EN MECATRÓNICA

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA MULTI-ROBOT TIPO  
ENJAMBRE, BASADO EN LA ASIGNACIÓN DE TAREAS”**

AUTORES: AYALA BRAVO EDISON LEONARDO  
MEJÍA GONZÁLEZ LEONARDO DAVID

DIRECTOR: ING. LOZA MATOVELLE DAVID CÉSAR

07-03-2023





# Objetivos

Antecedentes y  
Justificación

Investigación  
previa

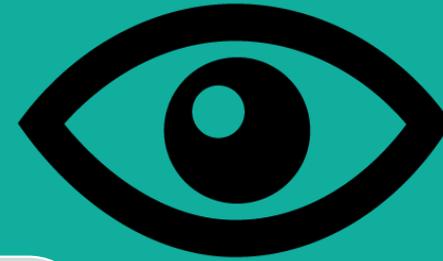
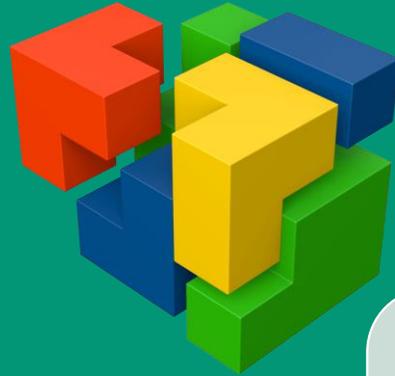
Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



Diseñar y construir  
un sistema multi-  
robot tipo enjambre,  
basado en la  
asignación de tareas





# Antecedentes

## Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

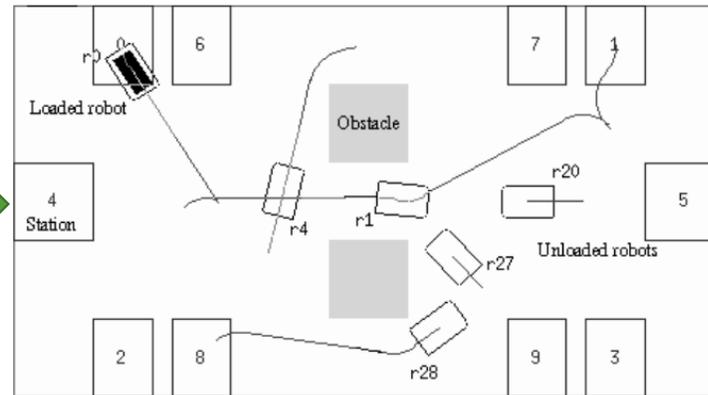
Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



Primer robot (1939)



Proyecto MARTHA (1990)



Sistemas multi-robot (Actualidad)



# Justificación e Importancia

## Antecedentes y Justificación

Investigación previa

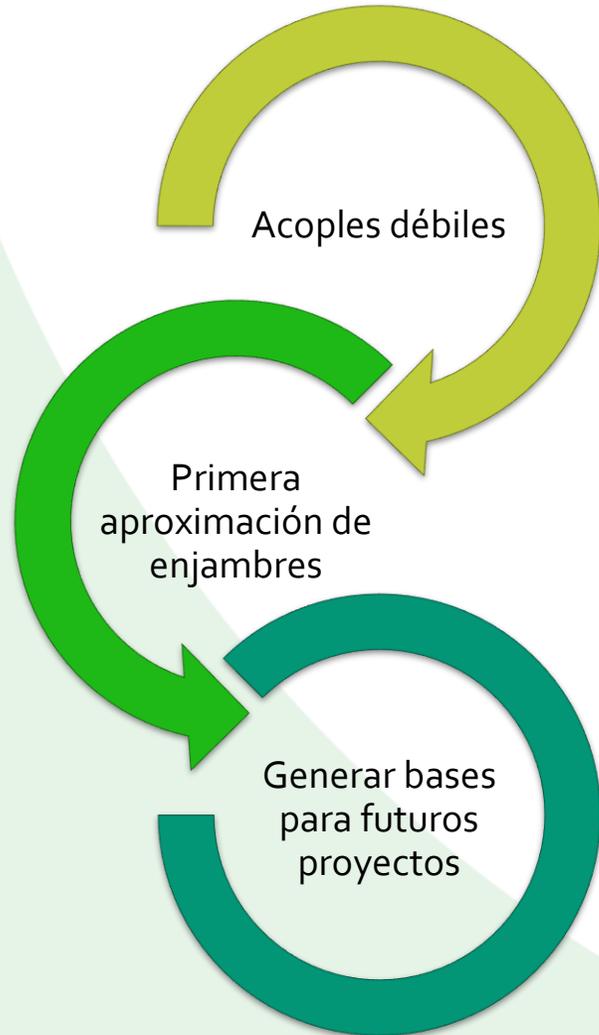
Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

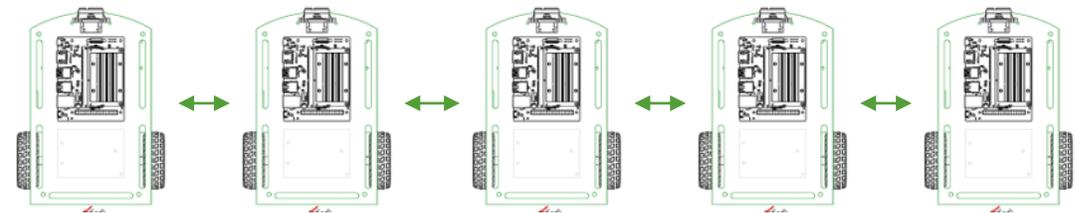
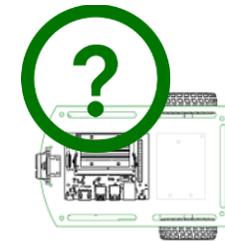
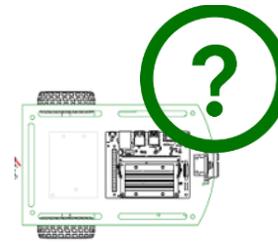
Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



amazon



ACOPLE FUERTE



ECUADOR

Antecedentes y  
Justificación

Investigación  
previa

Diseño y  
construcción

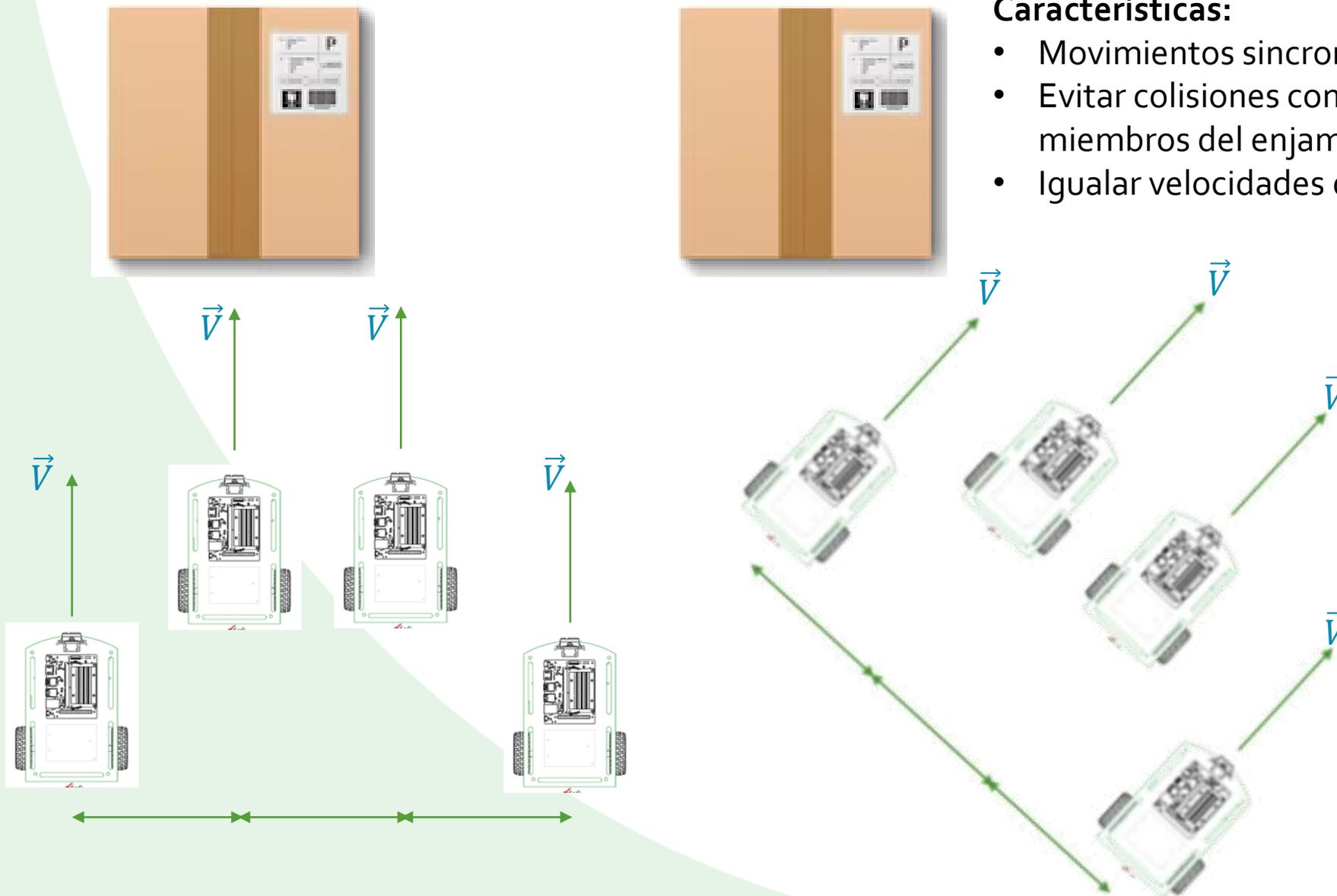
Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

# Sistemas multi-robot



## Características:

- Movimientos sincronizados
- Evitar colisiones con objetos y miembros del enjambre
- Igualar velocidades del enjambre



Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Diseño y construcción

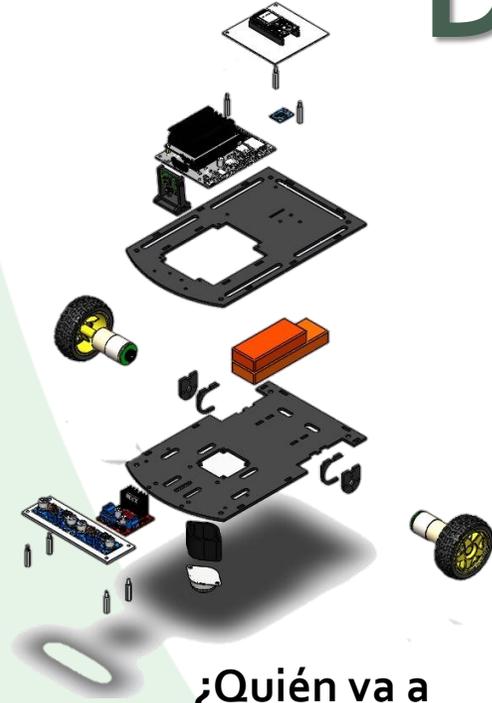
Pruebas y Resultados

Conclusiones

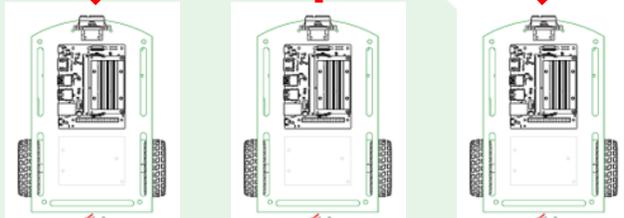
Recomendaciones

Trabajos futuros

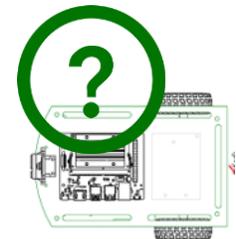
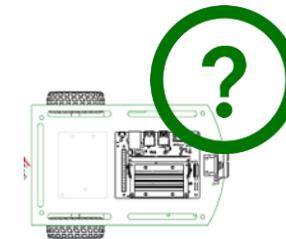
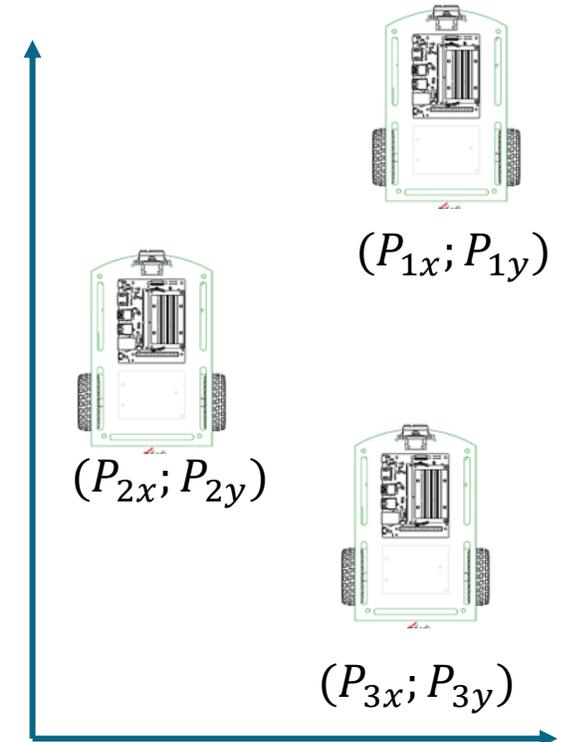
# Diseño del sistema General



¿Quién va a ser el líder?



Parámetro de diseño
Modularidad
Implementar un sistema de comunicación entre los robots
Selección de un líder
Ubicación en el espacio





# Diseño del sistema

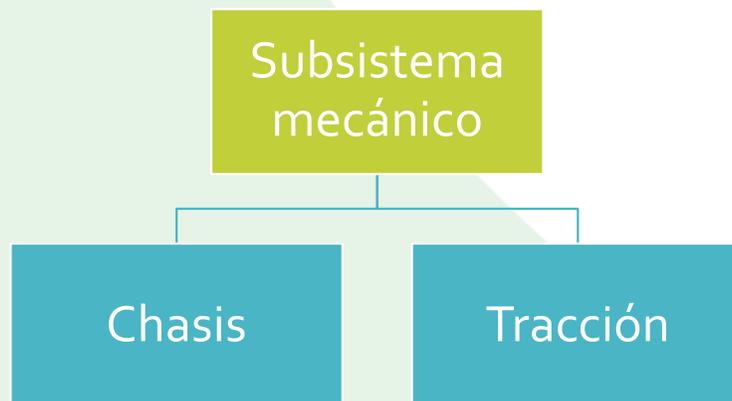
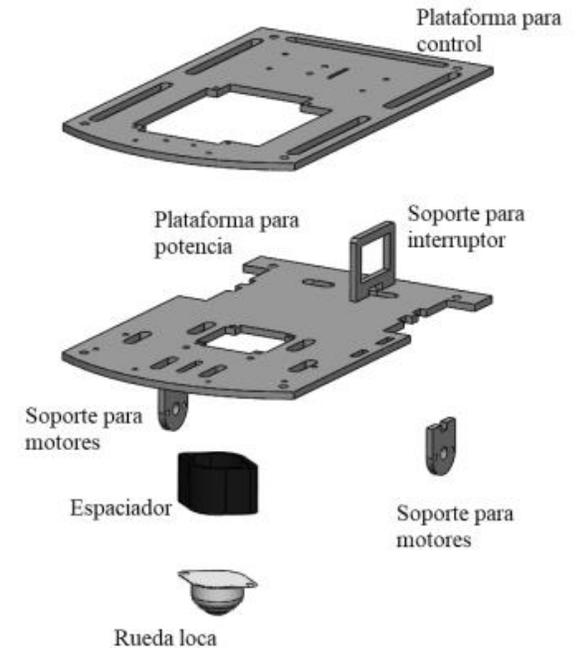
## Subsistema mecánico

### Requerimientos

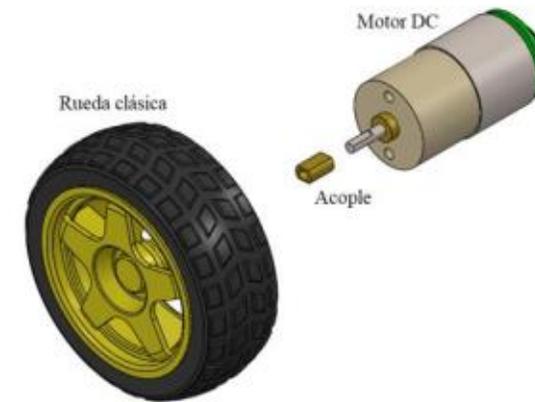
- Soportar al menos 1.2kg.
- Diseño de fácil montaje y desmontaje

### Características:

- Sistema de locomoción: Rodante
- Número de ruedas: 3 (2 para tracción y 1 para estabilidad)
- Configuración de las ruedas: Diferencial
- Tipo de ruedas: Clásicas y rueda loca



a



b

Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



# Diseño del sistema

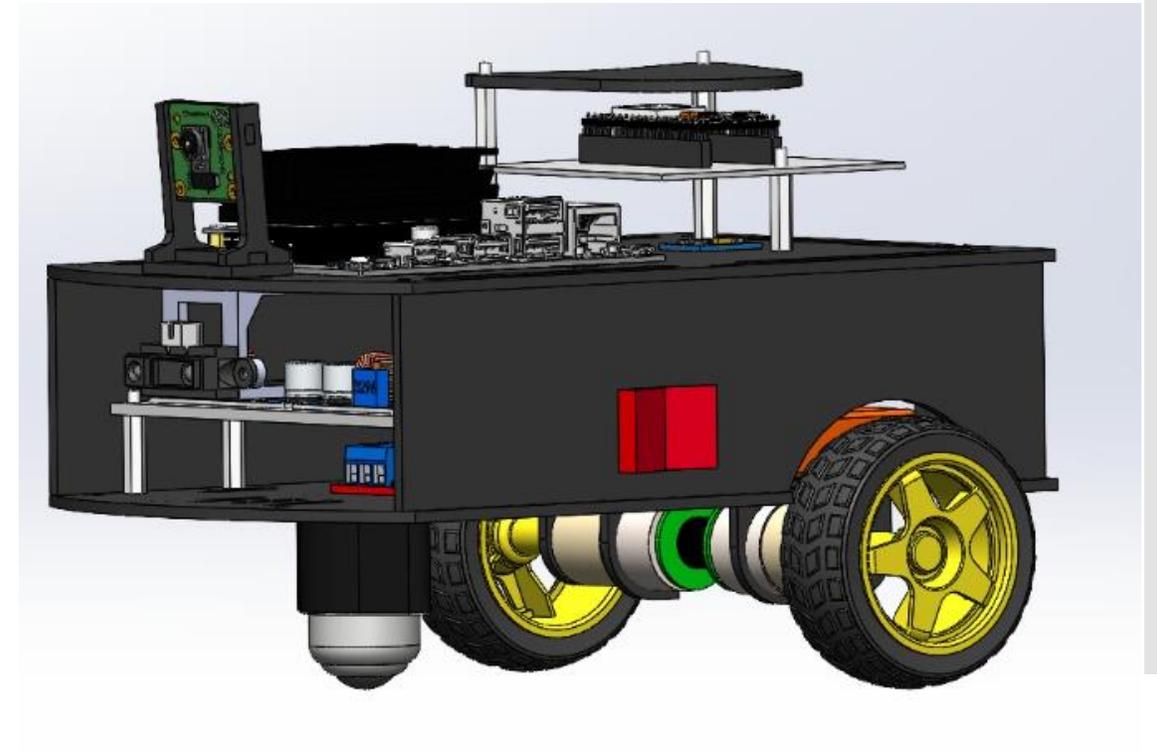
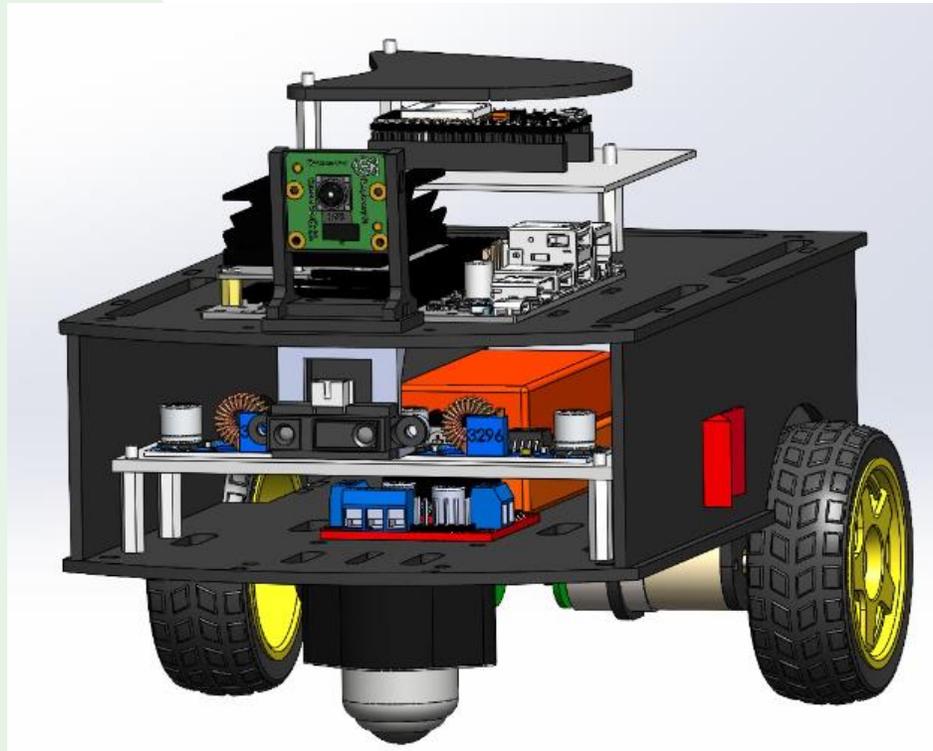
## Subsistema mecánico

### Características

- Dimensiones: 229x173x155 [mm]
- Aceleración  $(0 - 0,4 \left[ \frac{m}{s} \right])$ :  $2 \left[ \frac{m}{s^2} \right]$

### Modelo dinámico de Euler Lagrange

$$\dot{v} = \frac{1}{mr} (\tau_r + \tau_l)$$



Antecedentes y  
Justificación

Investigación  
previa

Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

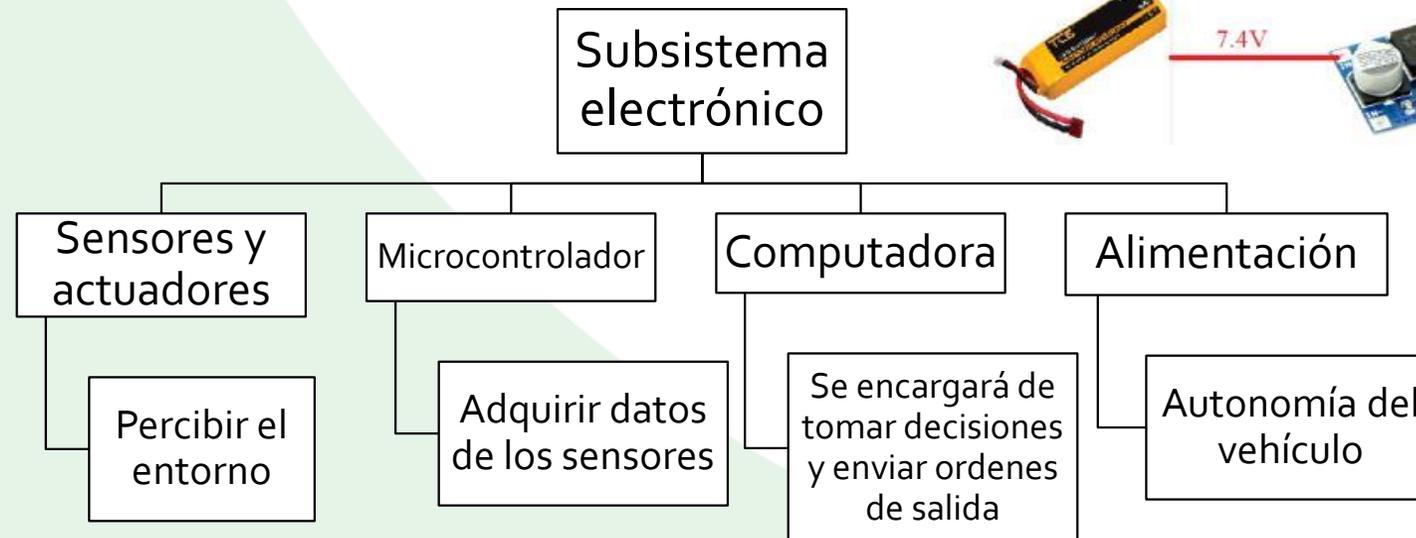
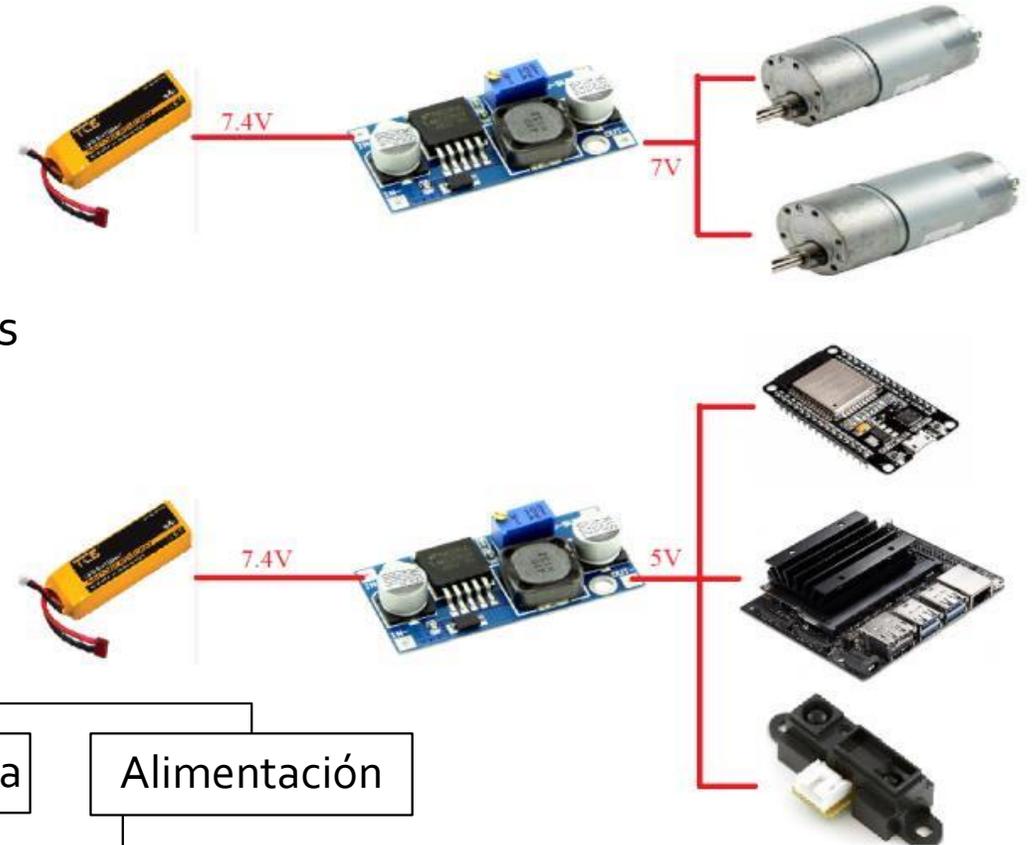


# Diseño del sistema

## Subsistema electrónico

### Requerimientos

- Autonomía de al menos 1 hora
- Diseño de circuitos impresos
- Fácil conexión de sensores y actuadores



Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



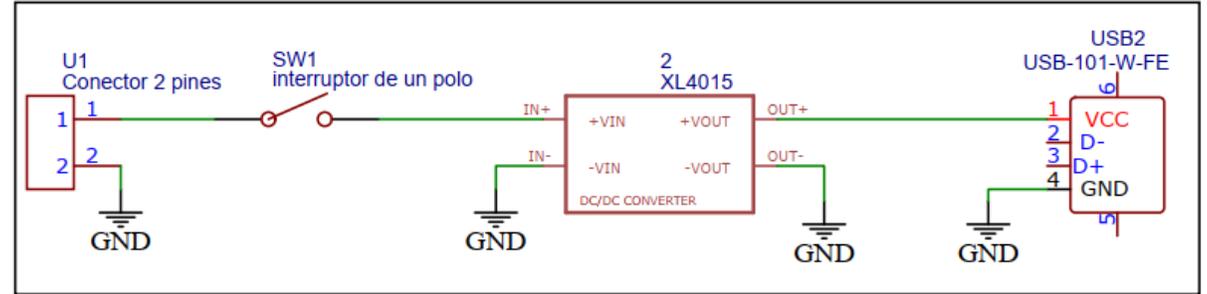
# Diseño del sistema

## Subsistema electrónico

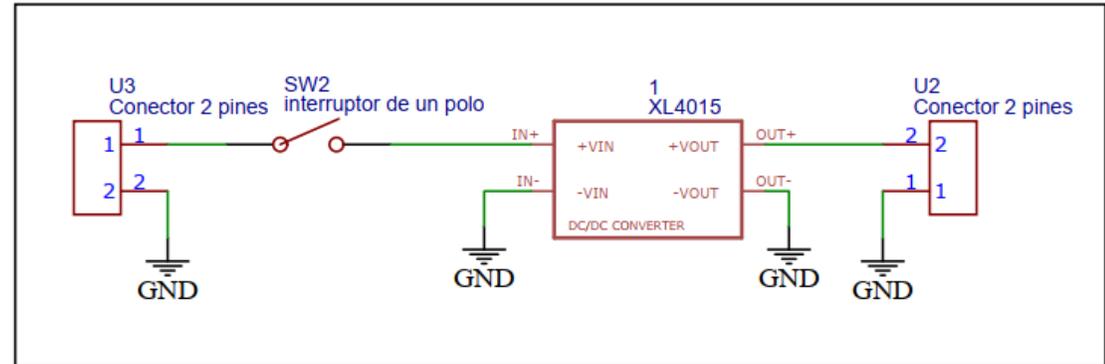
### Batería 1

Componente	Cant.	Voltaje [V]	Corriente [mA]	Potencia [W]
Motor DC	2	7	~145	2.02
L298n	1	7	40	0.28
Total			185	2.3

### Control sensores y jetson



### Driver L298n



Tiempo de duración de la batería 1

$$t_{b2} = \frac{1500[mAh]}{185[mA]} = 8,1 [h]$$

Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

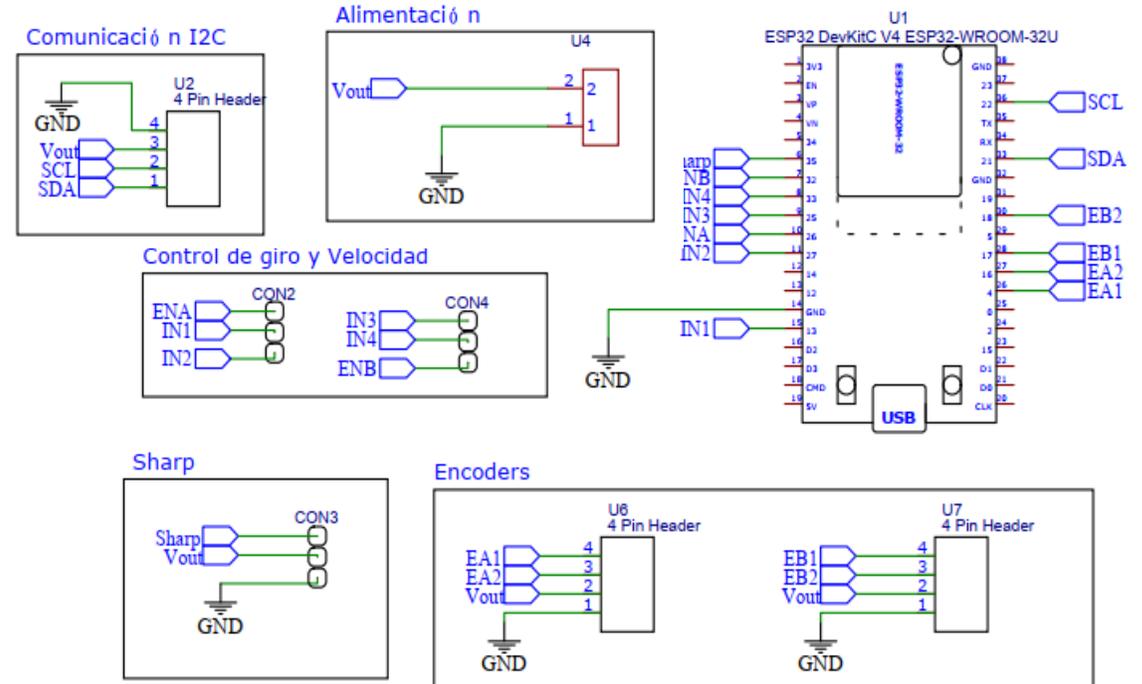


# Diseño del sistema

## Subsistema electrónico

### Batería 2

Componente	Cant.	Voltaje [V]	Corriente [mA]	Potencia [W]
Encoder	2	5	20	0.2
MPU6050	1	5	4	0.02
ESP32	1	5	~600	3
Jetson Nano	1	5	~1000	5
Total			1644	8.22



Tiempo de duración de la batería 2

$$t_{b2} = \frac{2200[mAh]}{1644[mA]} = 1,33[h]$$

Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



# Diseño del sistema

## Subsistema de control

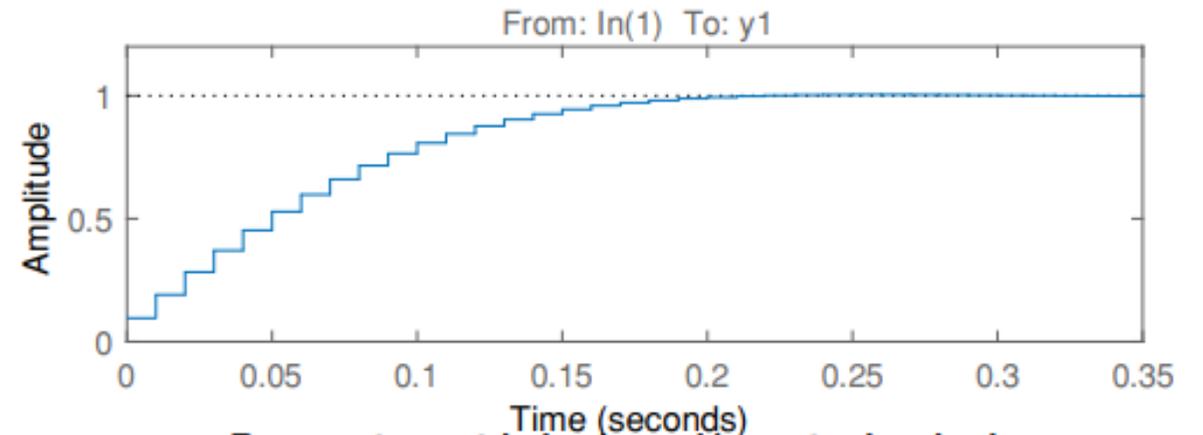
### Requerimientos

- Control de velocidad angular para ambos motores  $SP: \omega_r$  y  $\omega_l$

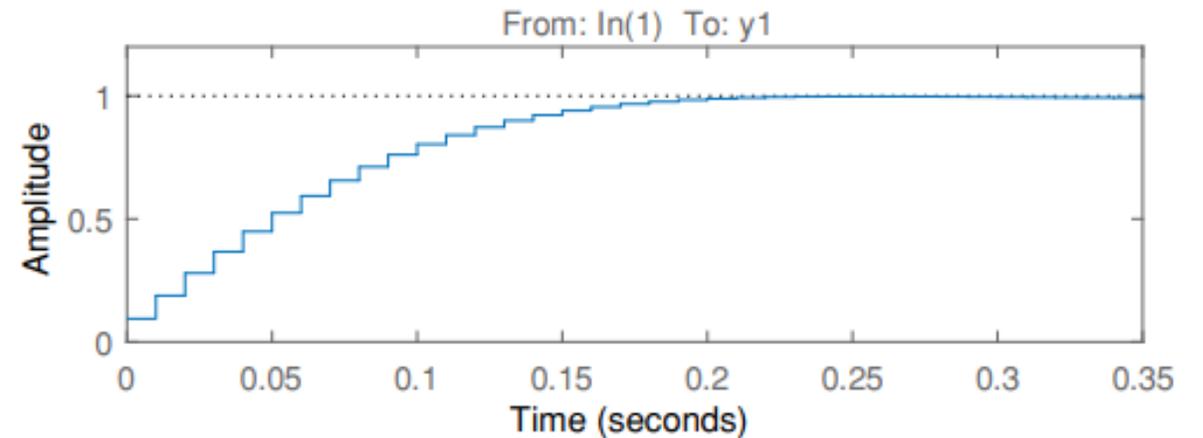
### Cálculo del *setpoint* de velocidad angular

$$\omega = \frac{v}{r} = 11,9 \left[ \frac{rad}{s} \right] = 114[rpm]$$

Respuesta controlada al escalón motor derecho



Respuesta controlada al escalón motor izquierdo



Antecedentes y  
Justificación

Investigación  
previa

Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

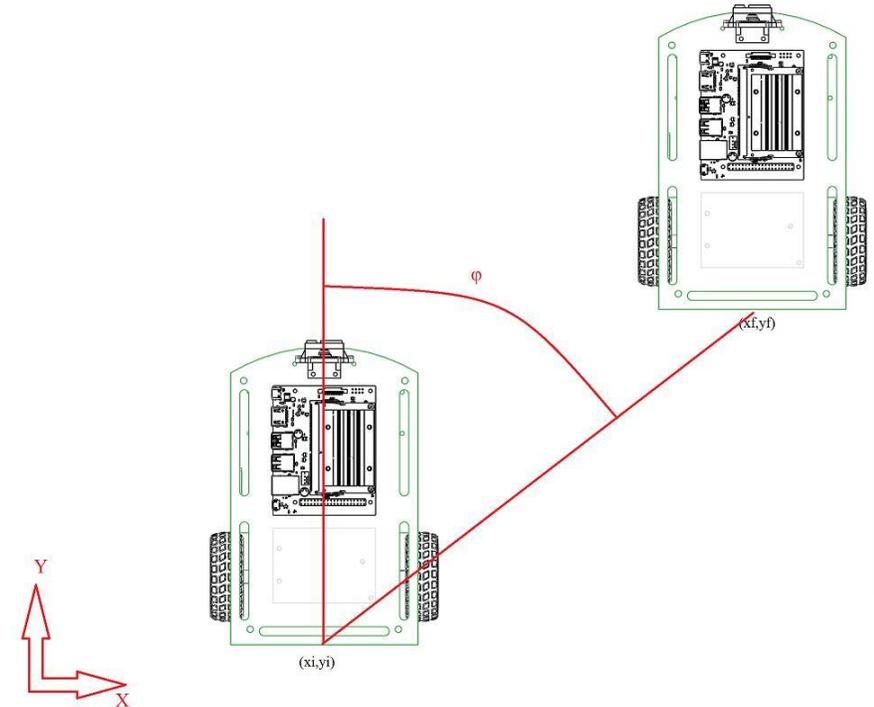
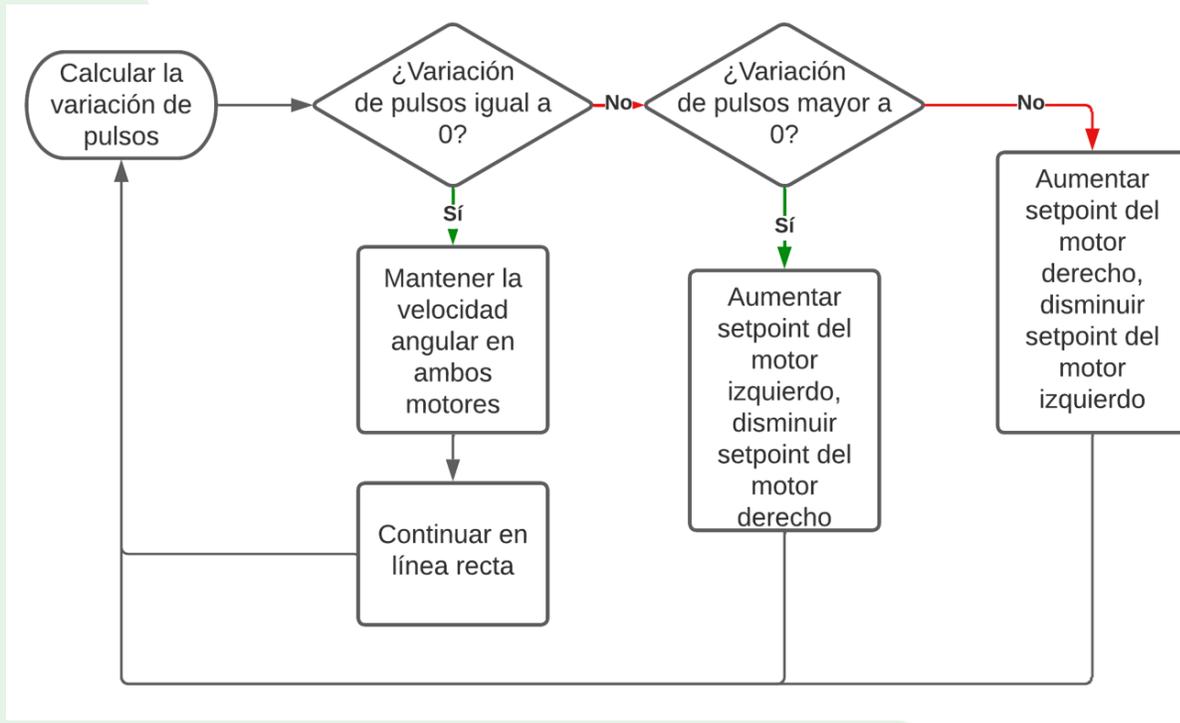
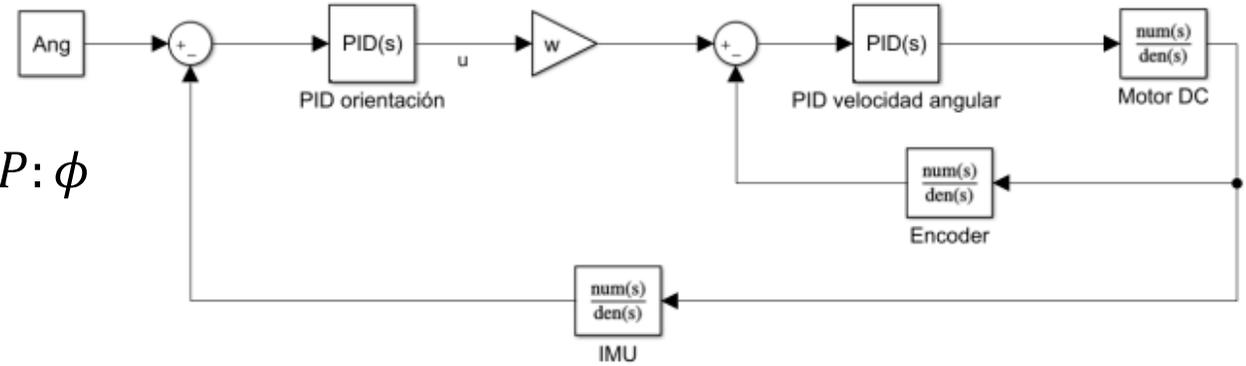


# Diseño del sistema

## Subsistema de control

### Requerimientos

- Avance en línea recta  $SP: \Delta p$
- Control de giro para orientación  $SP: \phi$



Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

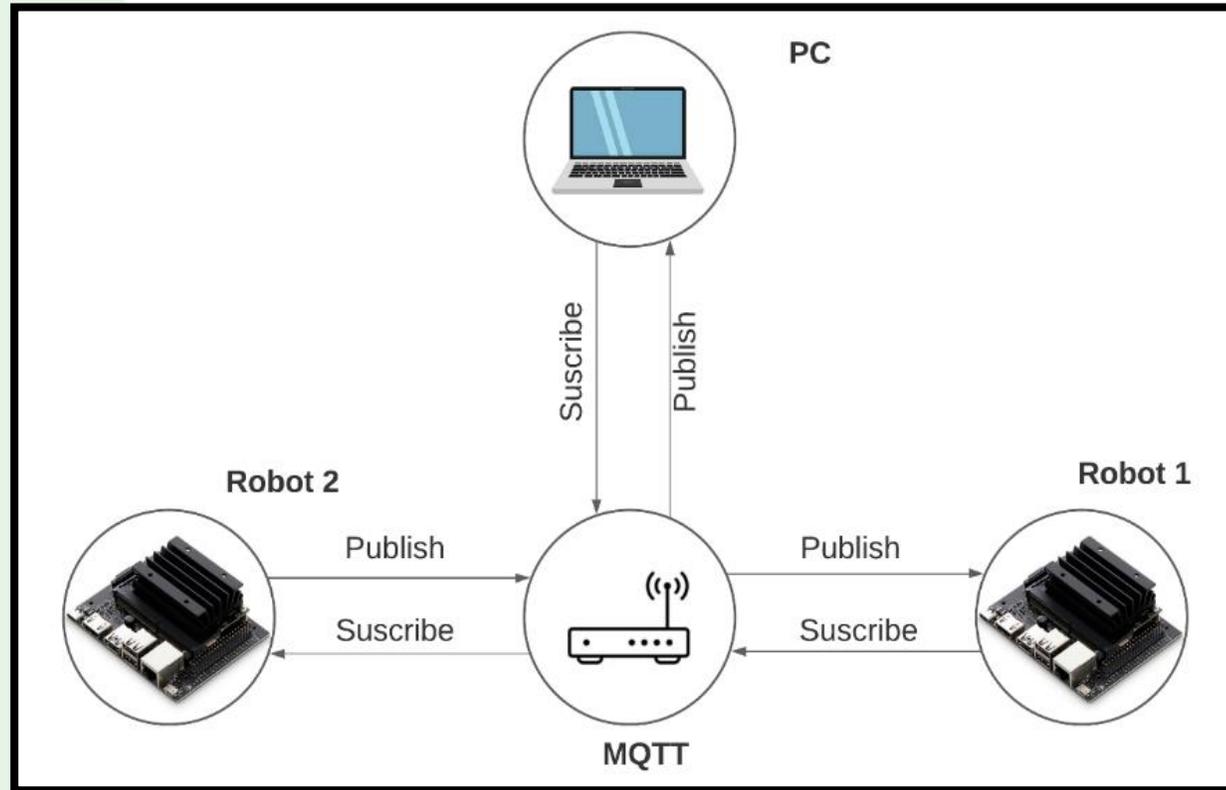
Trabajos futuros

# Diseño del sistema

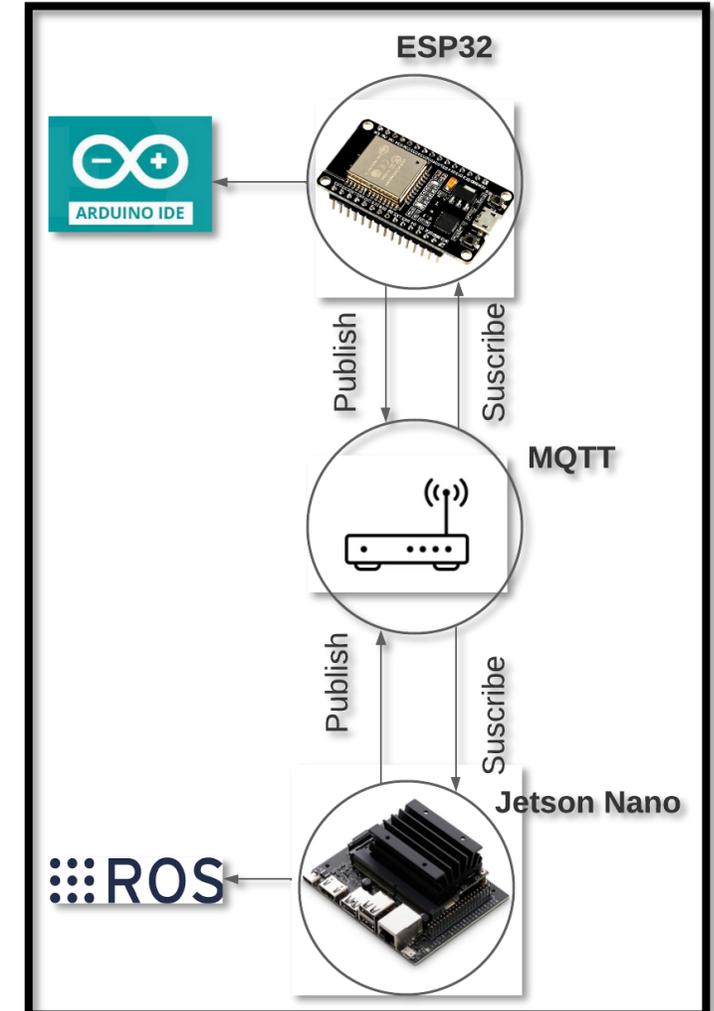
## Subsistema de software

### Requerimientos

- Modularidad
- Escalable
- Sencillo



Enjambre



Agente Simple



Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

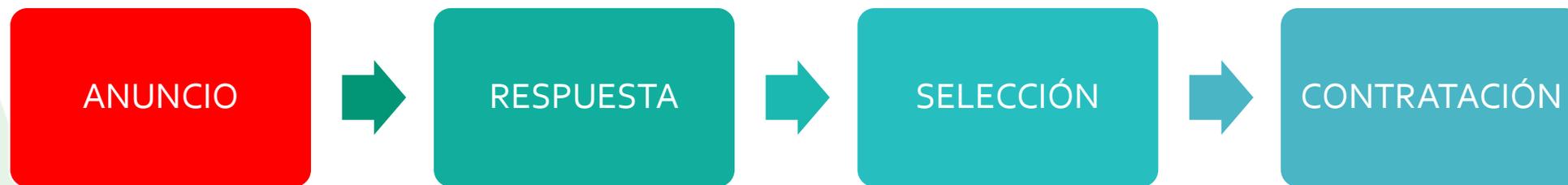
Conclusiones

Recomendaciones

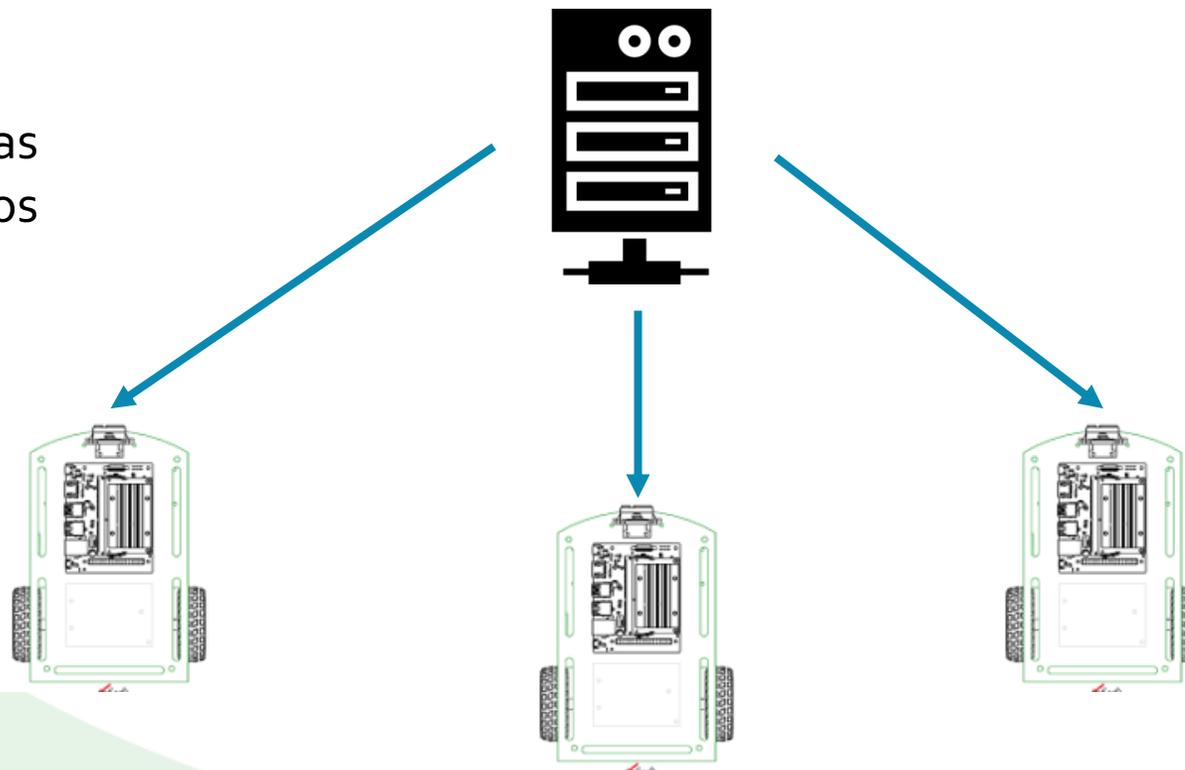
Trabajos futuros

# Diseño del sistema

## Algoritmo de ordenamiento



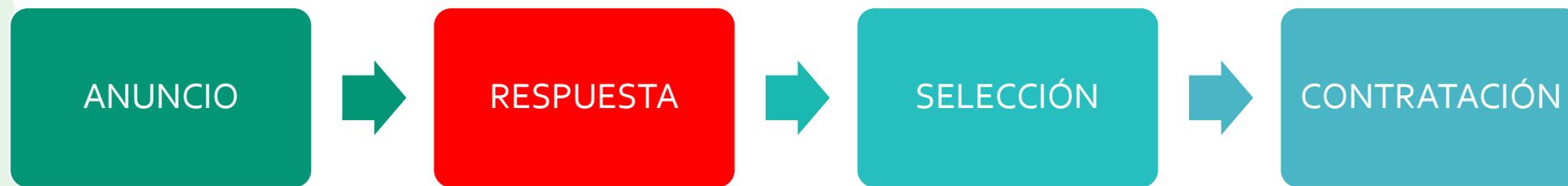
Se envía las posiciones de las tareas disponibles a los posibles compradores





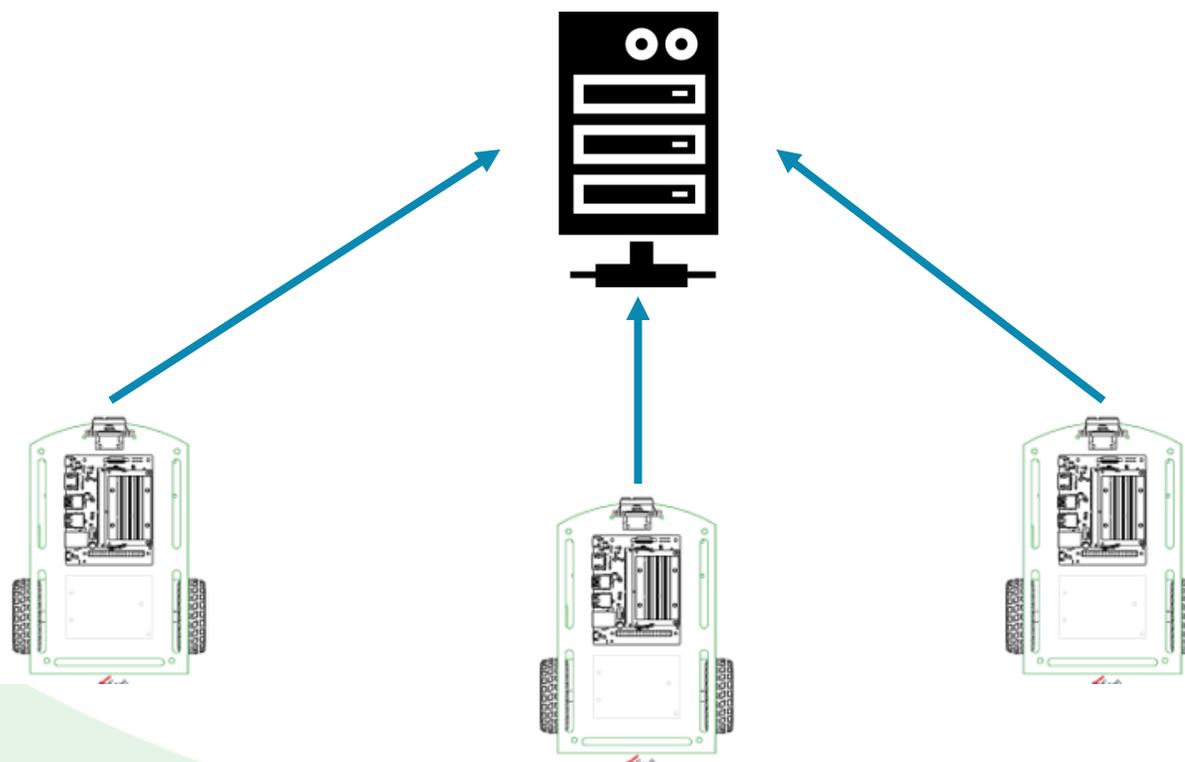
# Diseño del sistema

## Algoritmo de ordenamiento



Cada realiza un oferta por las tareas

Envía un mensaje contenedor de la información requería



Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

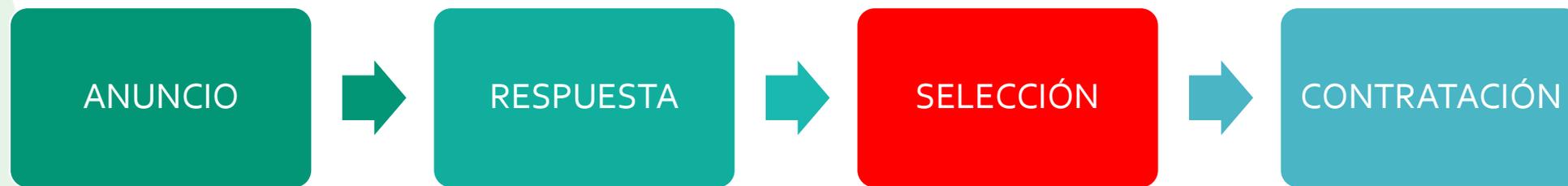
Recomendaciones

Trabajos futuros



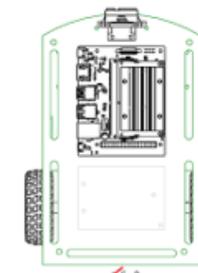
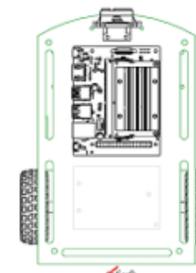
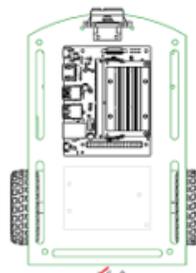
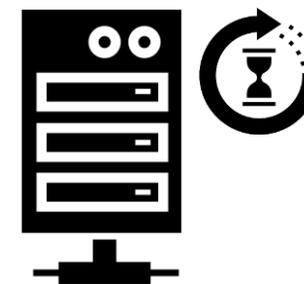
# Diseño del sistema

## Algoritmo de ordenamiento



Dependiendo el método de subasta se asignaran los ganadores

Se elige la mejor oferta para cada tarea



Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

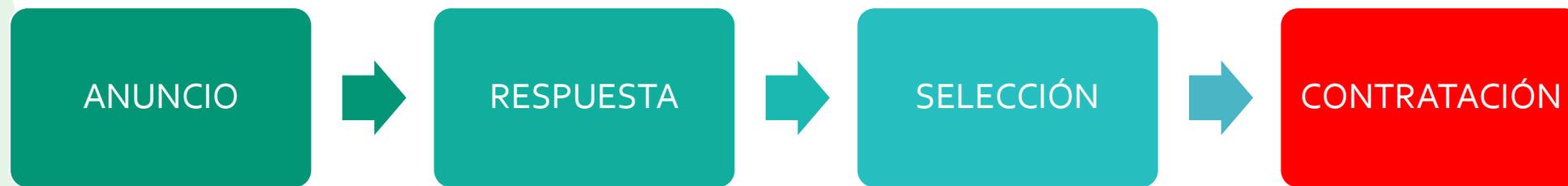
Recomendaciones

Trabajos futuros

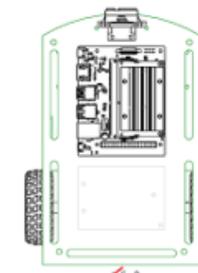
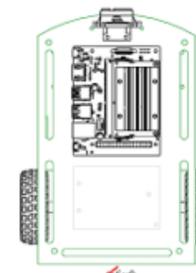
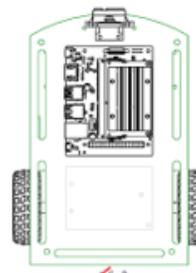


# Diseño del sistema

## Algoritmo de ordenamiento



Se informa a los agentes las asignaciones



Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



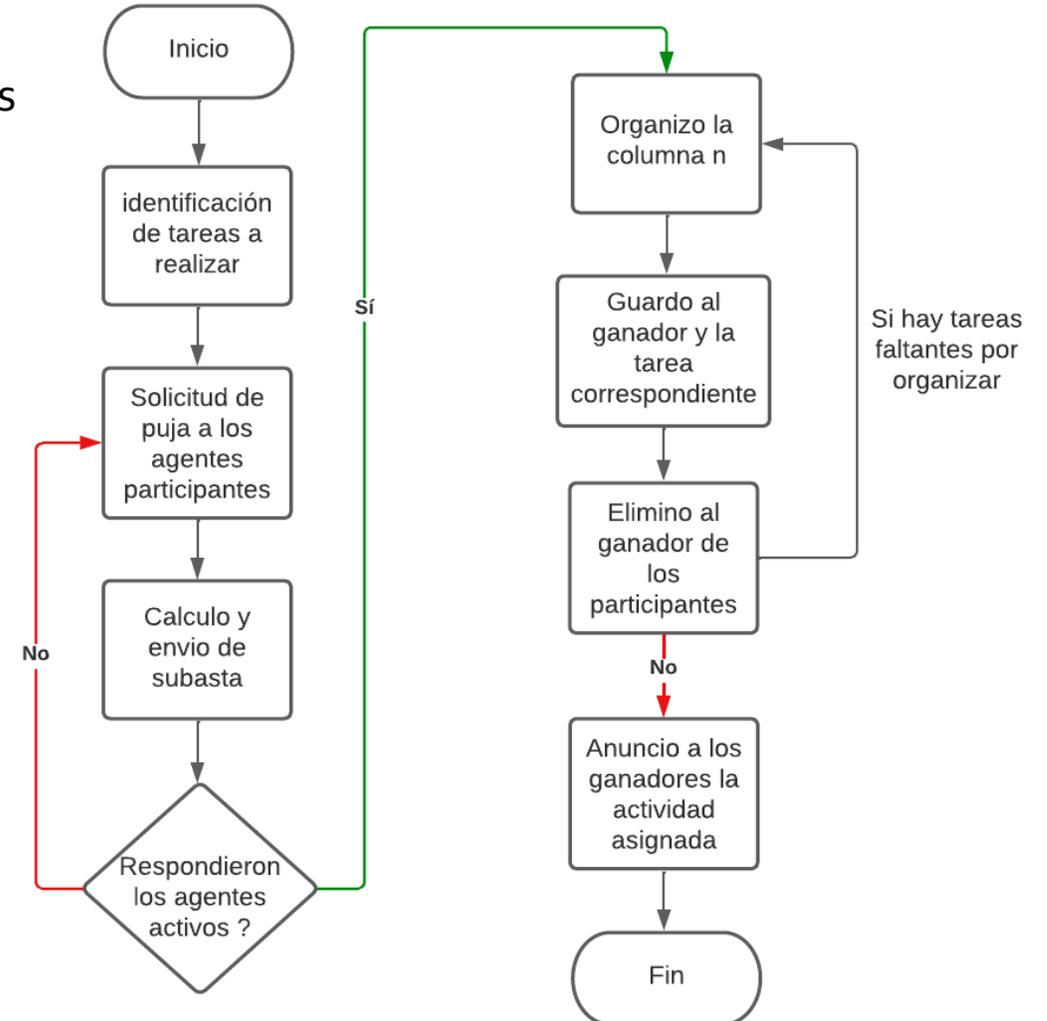
# Diseño del sistema

## Algoritmo de ordenamiento

### Requerimientos

- Rapidez relativa en el procesamiento
- Menor número de ronda de anuncio posibles
- Mayor número de asignaciones por ronda
- Simplicidad en su aplicación

Tipo	Características
Paralelo	Rondas: 1 Tareas anunciadas en la ronda r: m Tareas asignadas por ronda: m
Secuencial	Rondas: m Tareas anunciadas en la ronda r: 1 Tareas asignadas por ronda: 1



$$\text{Oferta} = \sqrt{(x_f - x_i)^2 + (y_f - y_i)^2}$$

Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



Antecedentes y Justificación

Investigación previa

**Diseño y construcción**

Pruebas y Resultados

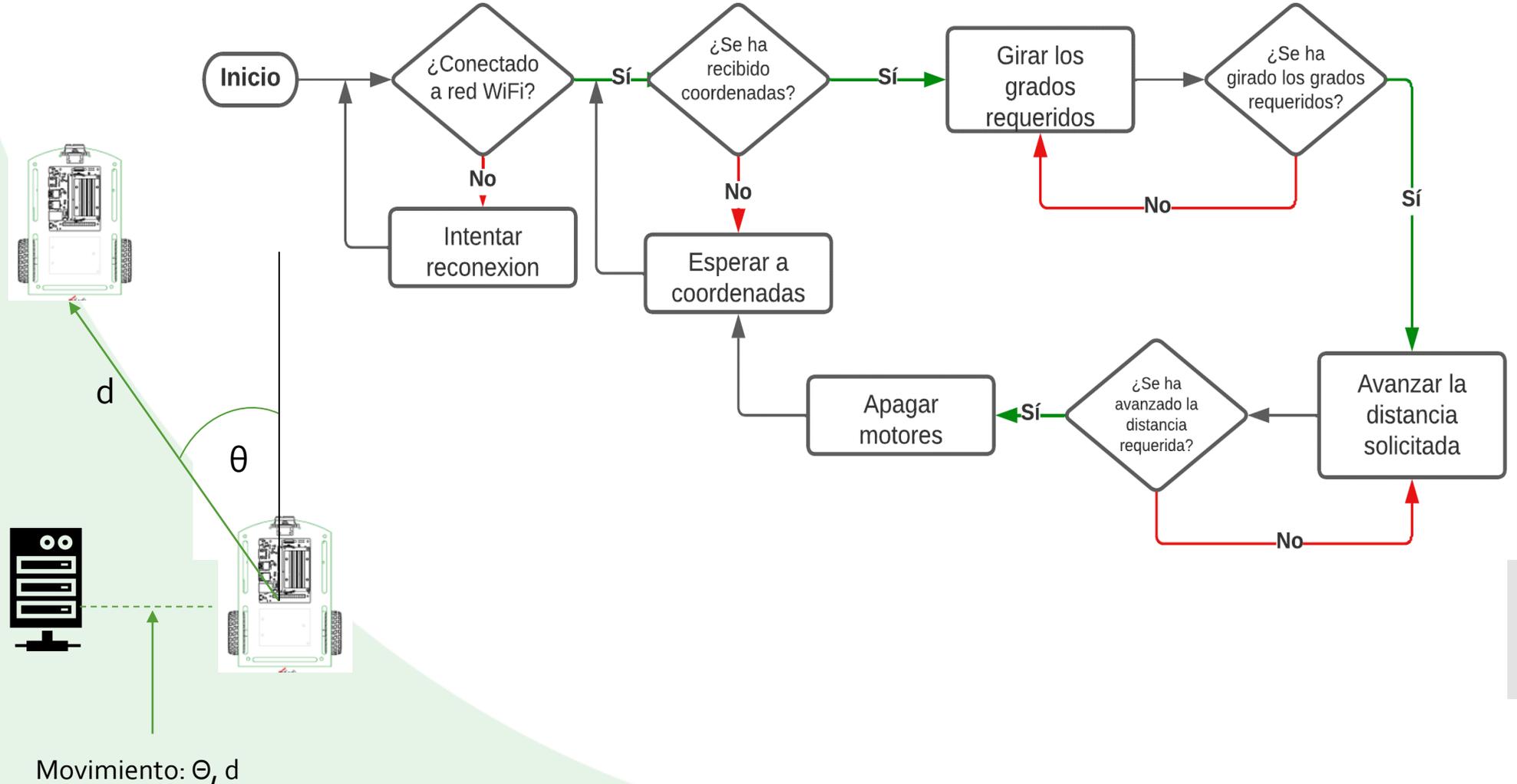
Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

# Diseño del sistema

## Algoritmo de odometría





# Diseño del sistema

## Algoritmo de colisiones

Antecedentes y Justificación

Investigación previa

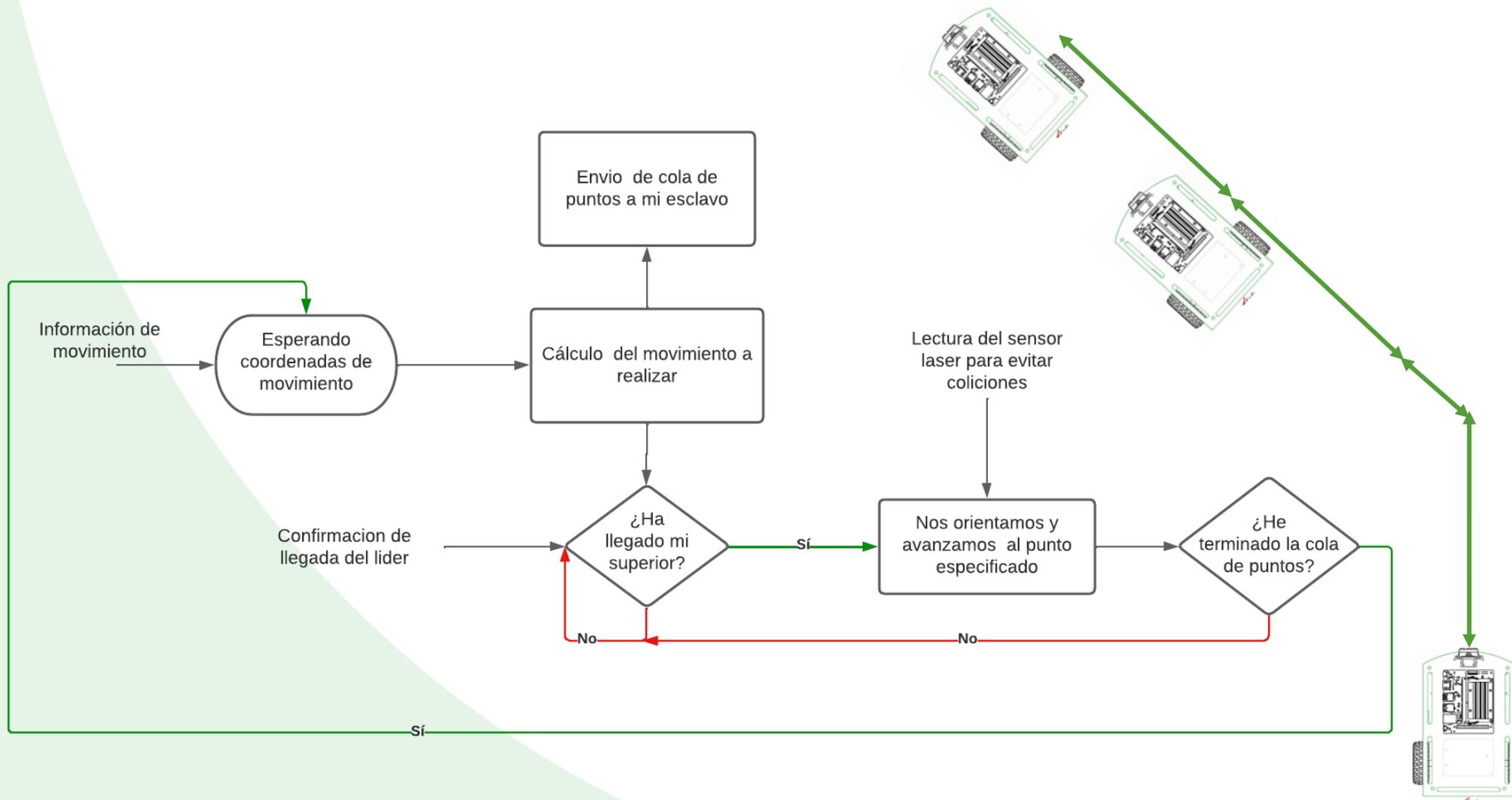
**Diseño y construcción**

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

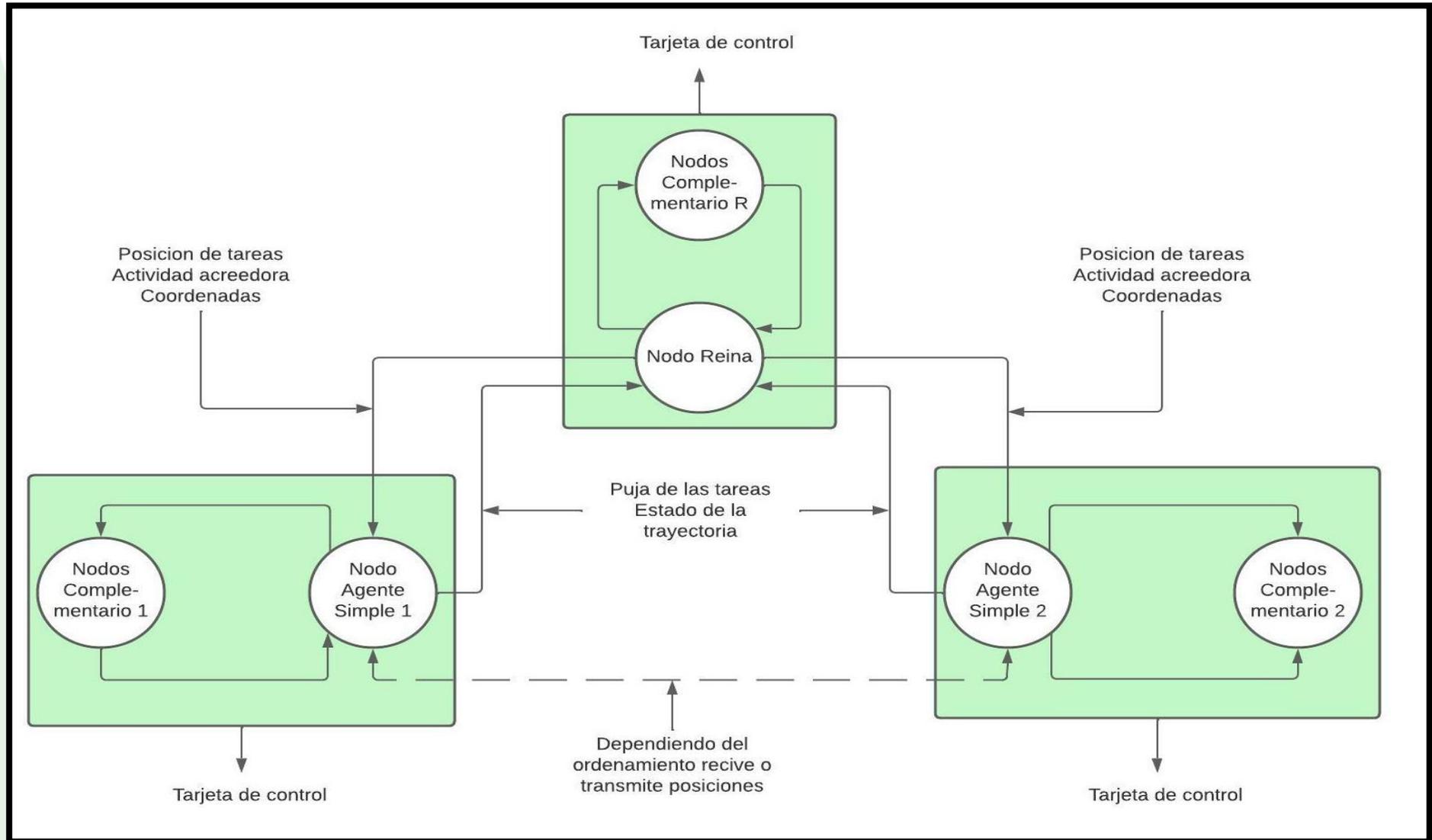
Trabajos futuros





# Diseño del sistema

## Integración de los algoritmos Integración global



Broker

Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



# Construcción e implementación

Antecedentes y Justificación

Investigación previa

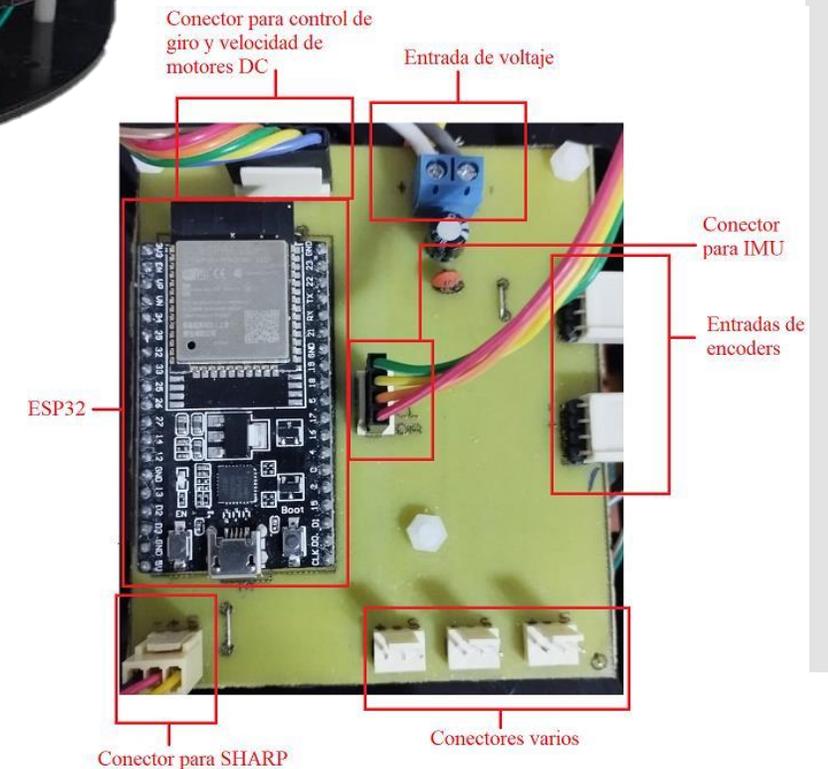
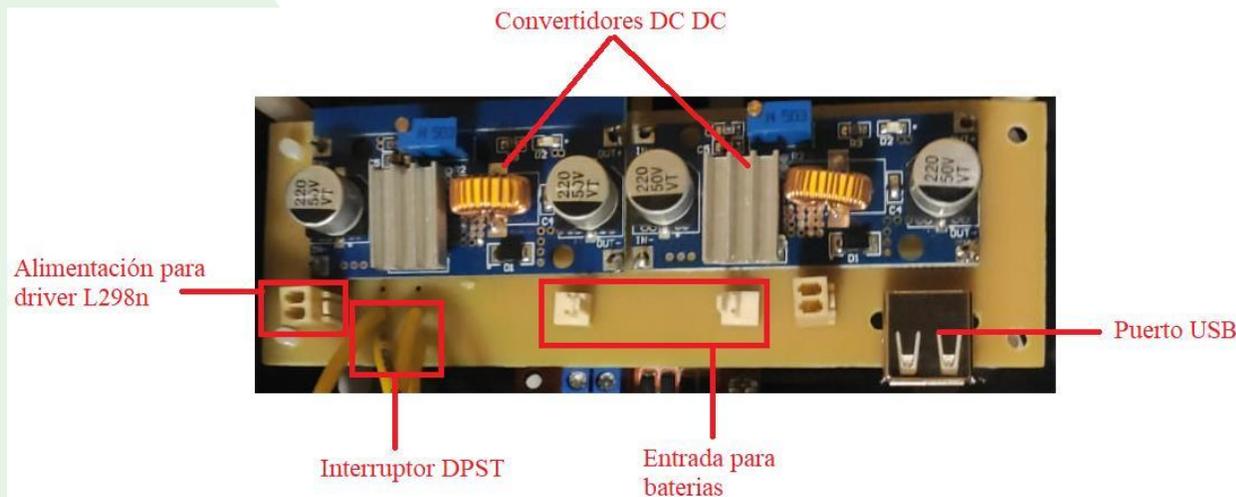
Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros





# Pruebas GSD

Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

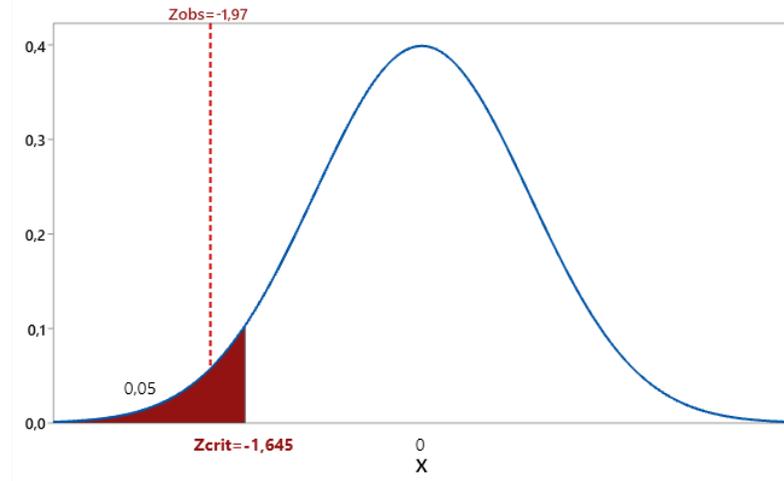
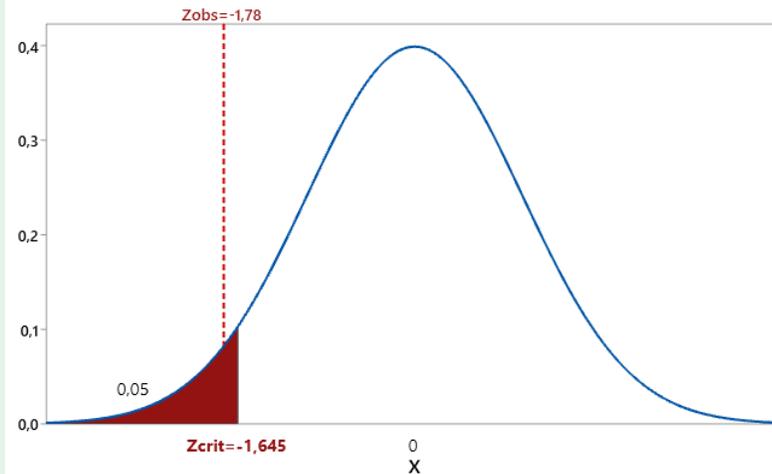
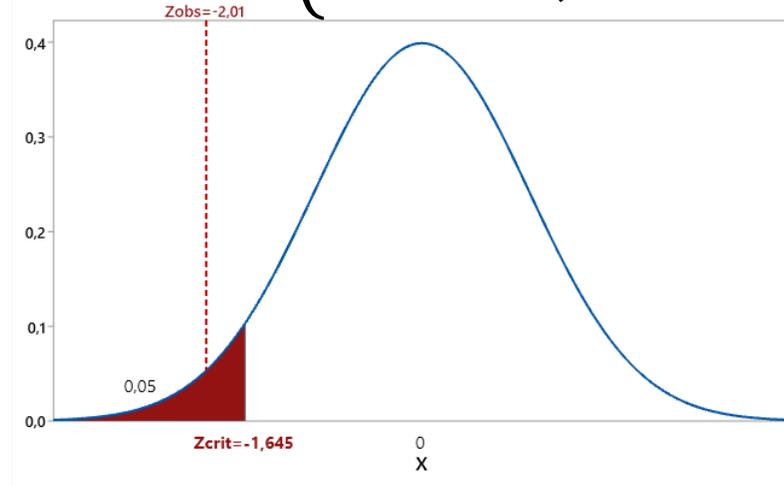
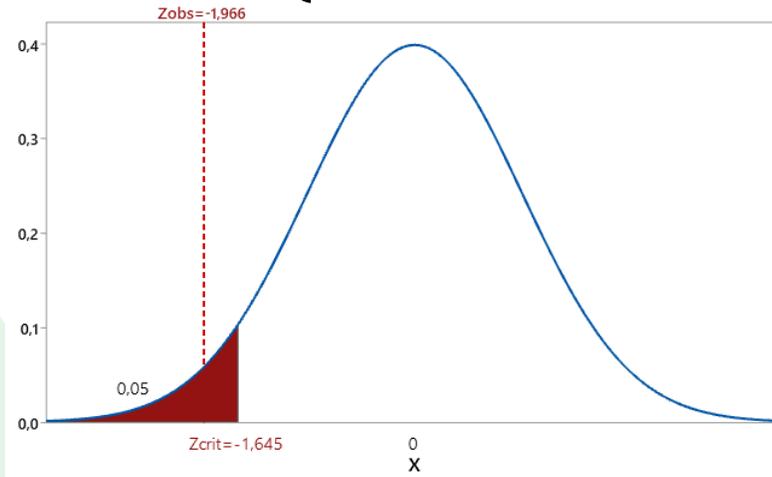
Trabajos futuros

$\Delta\phi$

$\Delta d$

$$J_1 \begin{cases} \Delta\phi < 1,8 \\ \Delta d < 2,5 \end{cases}$$

$$J_2 \begin{cases} \Delta\phi < 2,6 \\ \Delta d < 1,4 \end{cases}$$





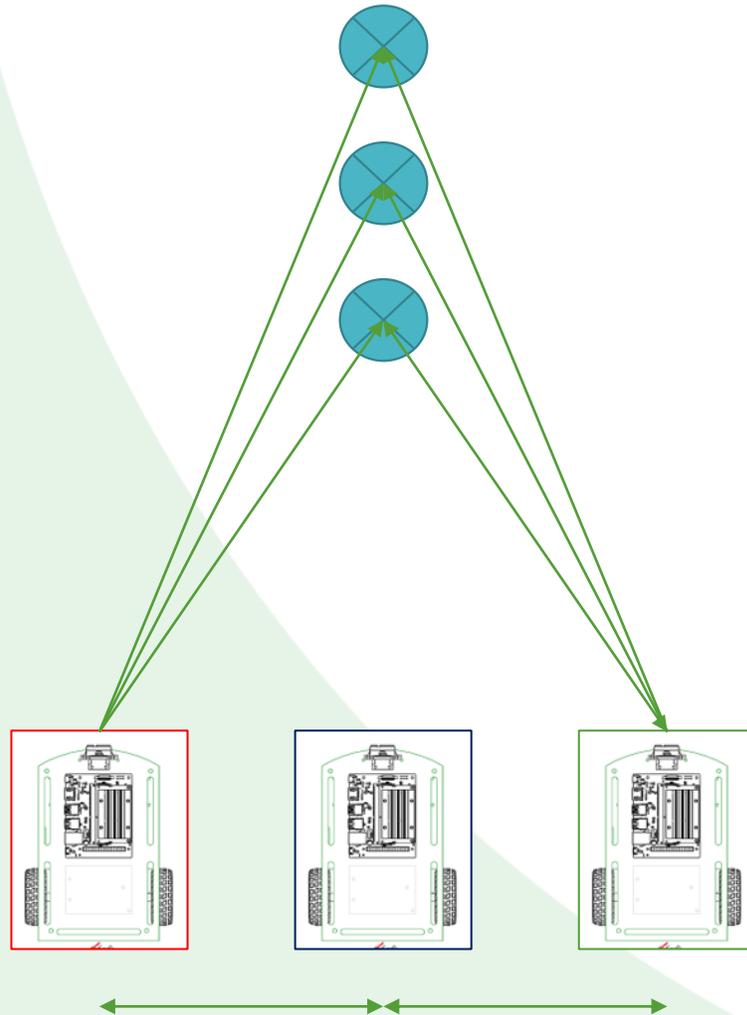
# Pruebas de ordenamiento

## Validación a distancias iguales

Uso de la función Where de Numpy

Lectura de la matriz :

- Izquierda a derecha
- Arriba hacia abajo



Agente	Tarea 1	Tarea 2	Tarea 3
Rojo	$d_a$	$d_b$	$d_c$
Azul	$d_1$	$d_2$	$d_3$
Verde	$d_a$	$d_b$	$d_c$

Introducción

Investigación  
previa

Metodología

Diseño y  
construcción

**Pruebas y  
Resultados**

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



# Pruebas de conexión del enjambre

Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Diseño y construcción

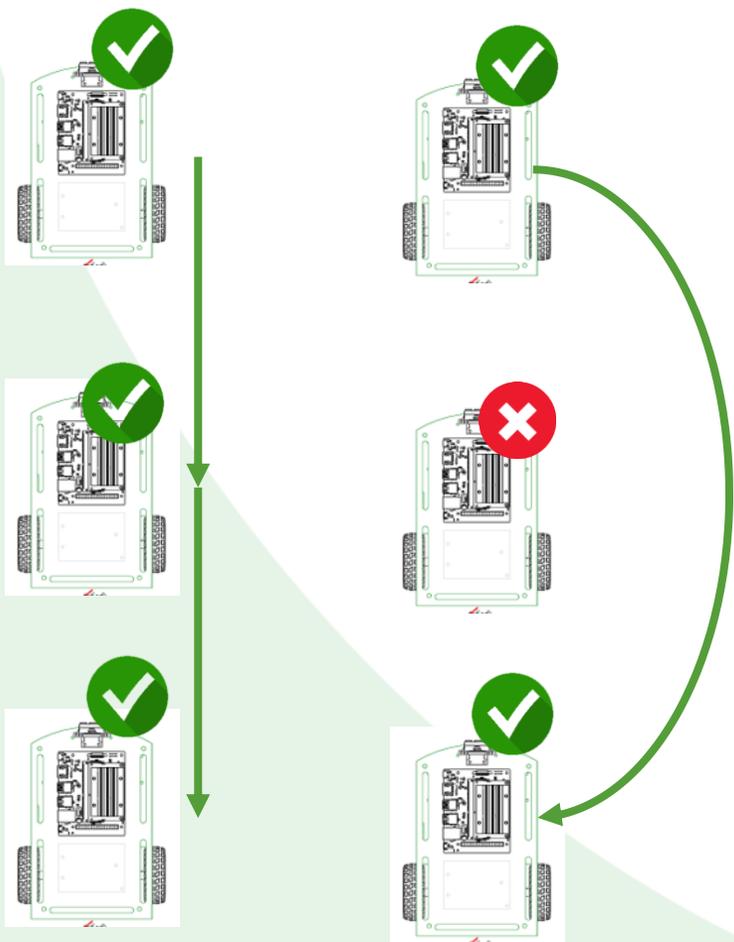
Pruebas y Resultados

Conclusiones

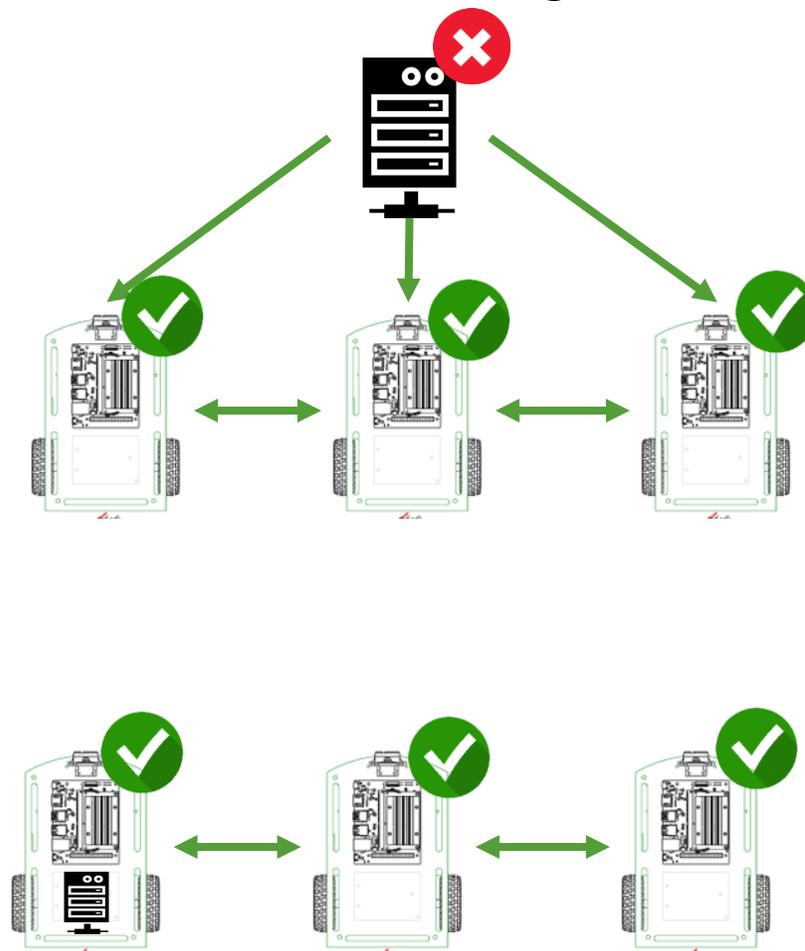
Recomendaciones

Trabajos futuros

## Validación cuando falla un agente simple



## Validación cuando falla el agente reina





# Ordenamiento

Comparación entre simulación e implementación

Antecedentes y  
Justificación

Investigación  
previa

Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros





# Video Funcional

Antecedentes y  
Justificación

Investigación  
previa

Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros



**Falla de comunicación con IMU**  
**Luz roja intermitente**



Antecedentes y Justificación

Investigación previa

Diseño y construcción

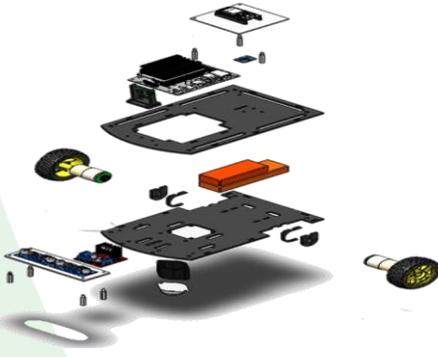
Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

# Conclusiones



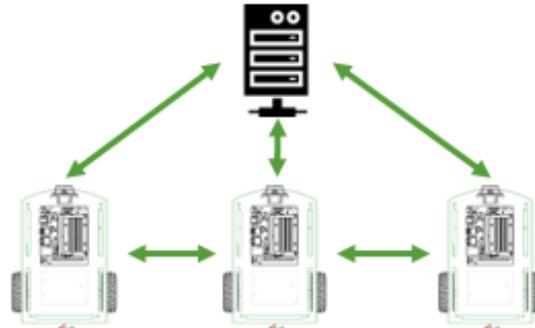
Diseño modular



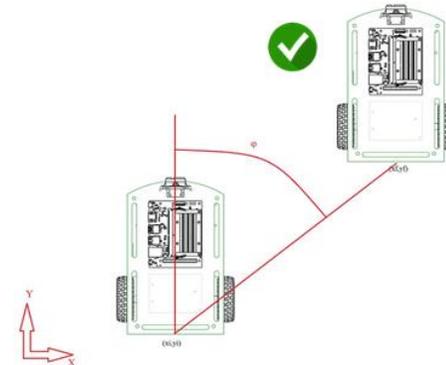
Algoritmo de prevención de colisiones



Rapidez de ordenamiento



Características del sistema



Validación de movimiento



Antecedentes y  
Justificación

Investigación  
previa

Diseño y  
construcción

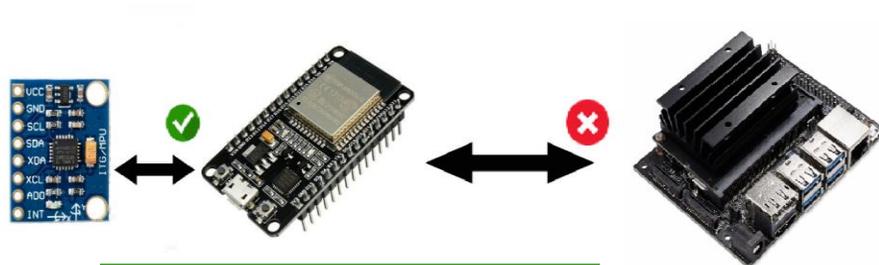
Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

**Recomendaciones**

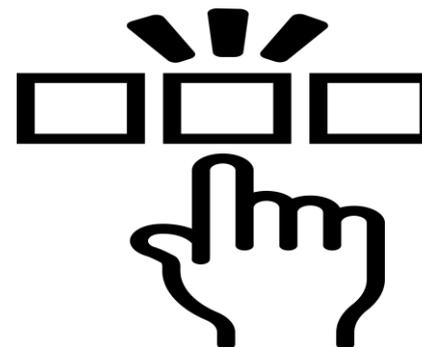
Trabajos futuros

# Recomendaciones



I2C - Rosserial

- Comunicación entre dispositivos



Adherencia

- Selección de componentes



Limitaciones

- Envío de datos



Antecedentes y  
Justificación

Investigación  
previa

Diseño y  
construcción

Pruebas y  
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Trabajos futuros

# Trabajos Futuros

## Control de posición

- Realimentación externa



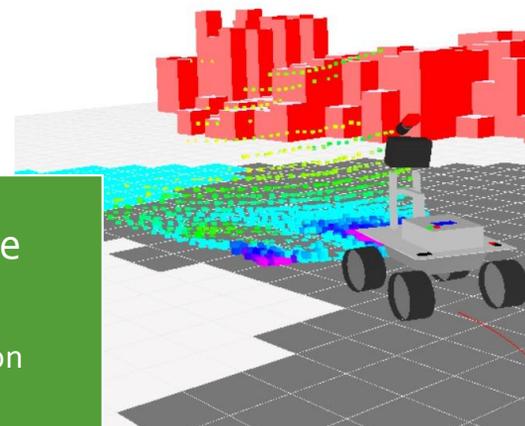
## Sistema de percepción

- Procesamiento de señales



## Unidad de control

- Navegación SLAM





# GRACIAS POR SU ATENCIÓN