



# **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA MULTIROBOT DESCENTRALIZADO PARA REALIZAR TRABAJO COLABORATIVO CON APLICACIONES LOGÍSTICAS, FLEXIBLES Y ESCALABLES**

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN  
DEL TÍTULO DE INGENIERO MECATRÓNICO

2019

Aguirre Aymara Bryan Gabriel

Moyano Cabezas Cristian Javier

Director: Ing. Luis Escobar

# CONTENIDO

- **Objetivos**
- **Conceptos Básicos**
- **Antecedentes**
- **Requerimientos**
- **Metodología de Diseño**
- **Subsistemas**
- **Pruebas y Resultados**
- **Conclusiones**
- **Recomendaciones y Trabajos Futuros**

# Objetivos

Diseñar e implementar un sistema multirobot descentralizado para trabajo colaborativo

M

Modulares y de  
costo accesible

F

Flexibilidad y  
Escalabilidad

M

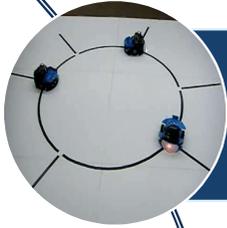
Maniobrabilidad

T

Tecnología de  
licencia abierta

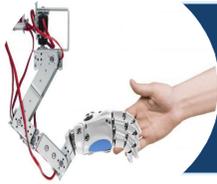


# Conceptos Básicos



## Sistema Multirobot:

- Grupo de  $n$  entes robóticos que operan en un mismo entorno.



## Robótica Colaborativa:

- Sistema multirobot que realiza acciones en conjunto para cumplir con un objetivo.



## Flexibilidad

- Capacidad de un sistema para ser modificado y adaptarse según su entorno lo requiera.



## Escalabilidad

- Se refiere a la posibilidad de añadir u optimizar aspectos del sistema para mejorar su rendimiento

# Antecedentes

## Trabajos de Investigación



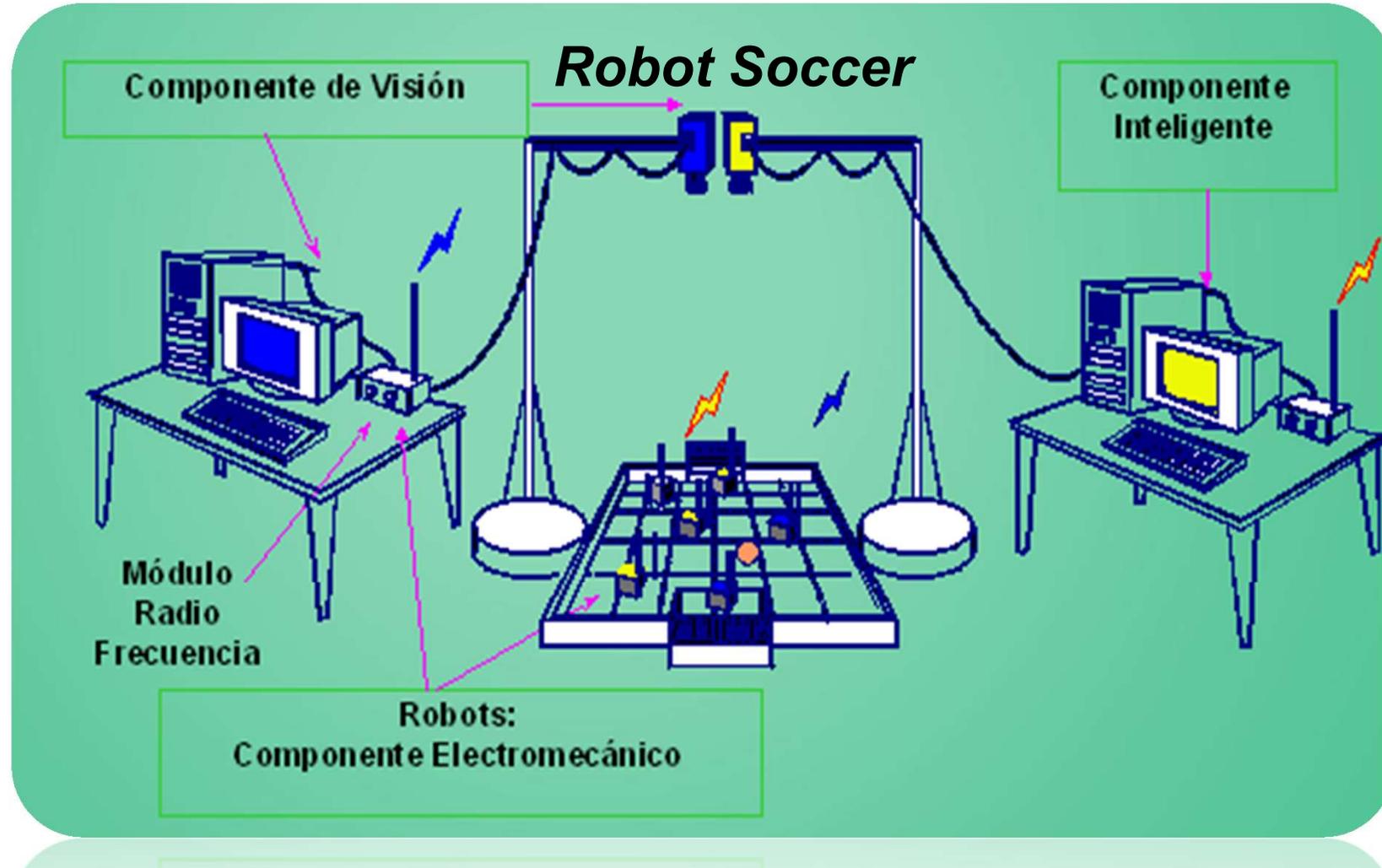
## Aplicaciones Industriales



## Aplicaciones Futuras



# Antecedentes

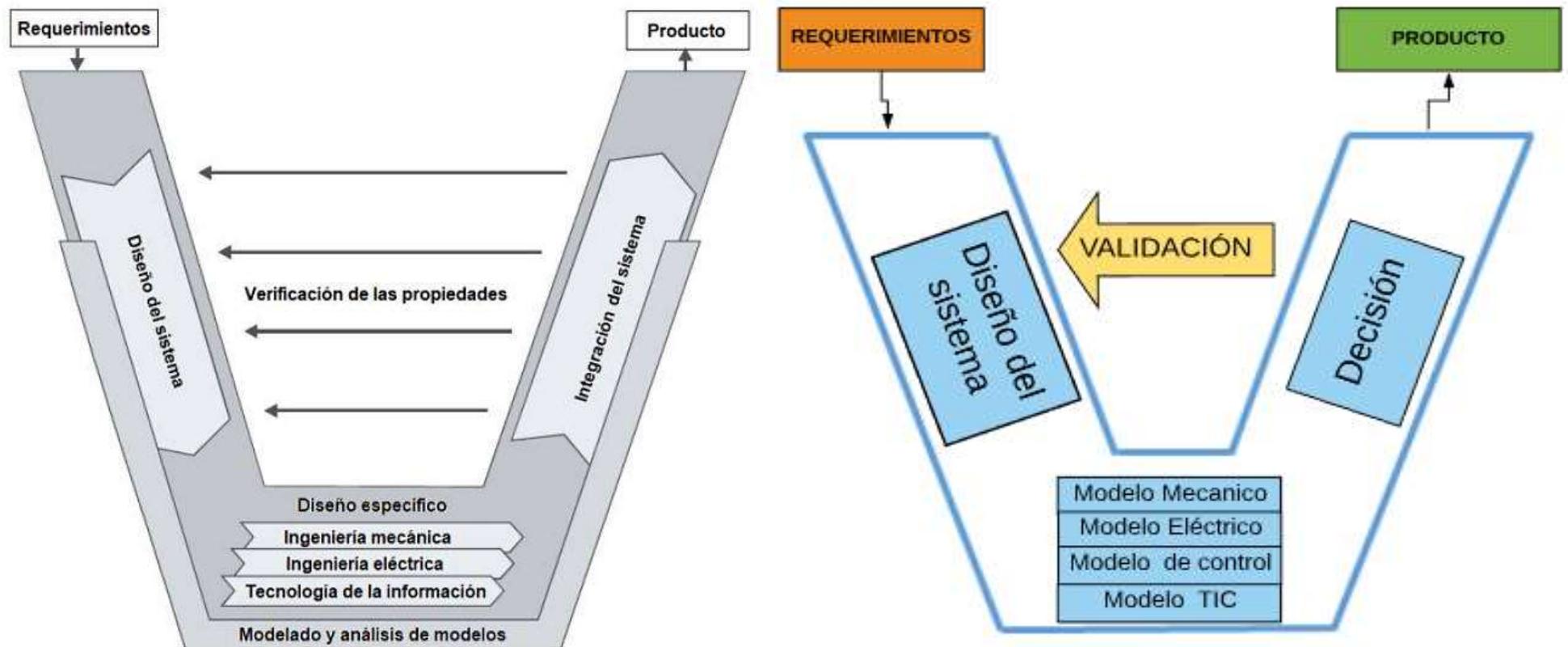


# Requerimientos

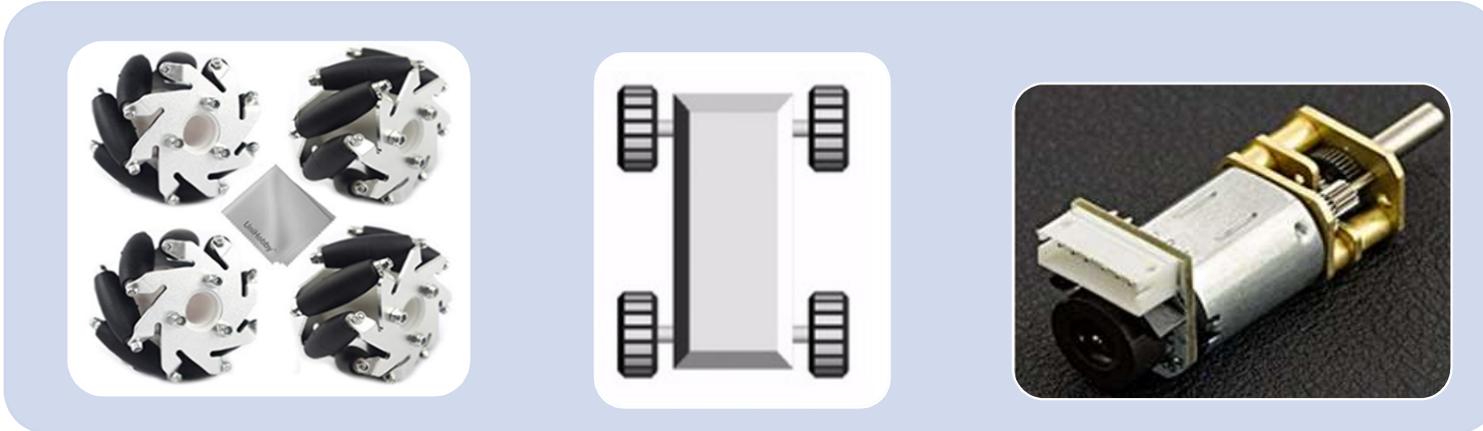
N°	Requerimientos
1	Creación de una red de robótica colaborativa
2	Brindar buena maniobrabilidad
3	Cada robot debe tener un peso máximo de 2Kg
4	Autonomía energética mayor a una hora
5	Capacidad de carga mayor a 1 kilogramo
6	Comunicación inalámbrica entre componentes el sistema
7	Sistema operativo de licencia abierta
8	Costo de cada robot menor a 700 dólares
9	El robot móvil debe tener autonomía para tomar decisiones
10	La plataforma robótica debe ser flexible.
11	La plataforma robótica debe tener características escalables

# Metodología de Diseño

VDI 2206



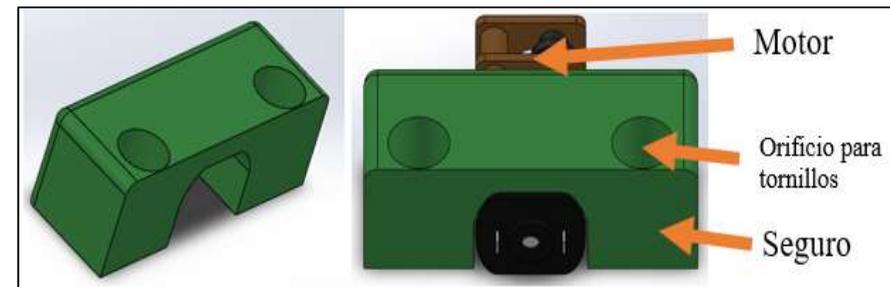
# Subsistema Mecánico



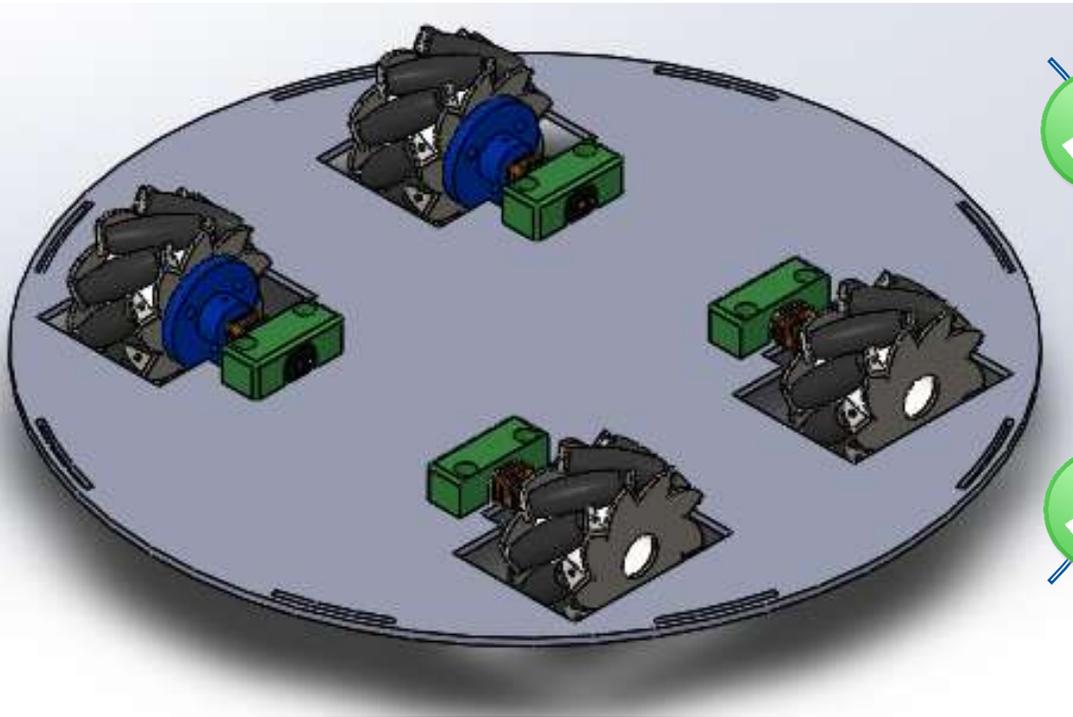
Ruedas  
omnidireccionales

Estructura  
Skid Steer

Micromotores Dc



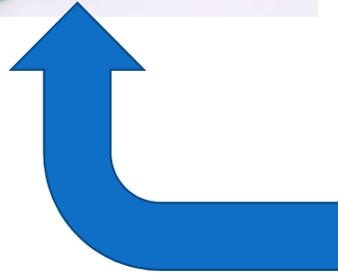
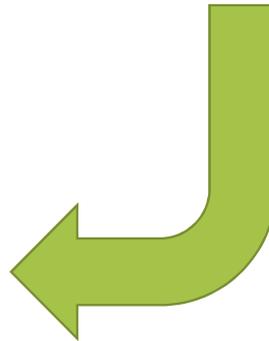
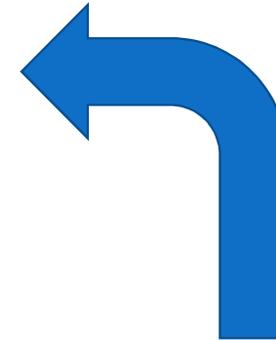
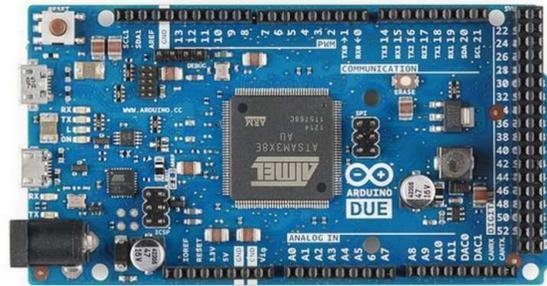
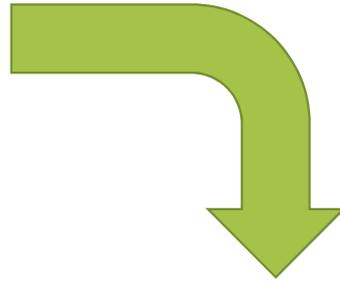
# Subsistema Mecánico



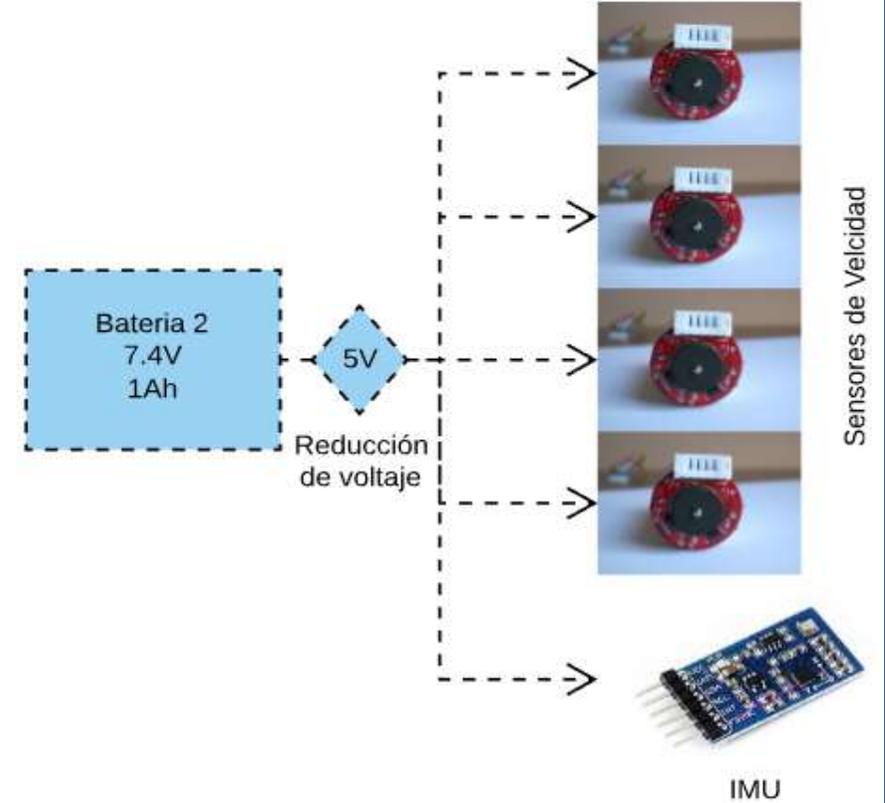
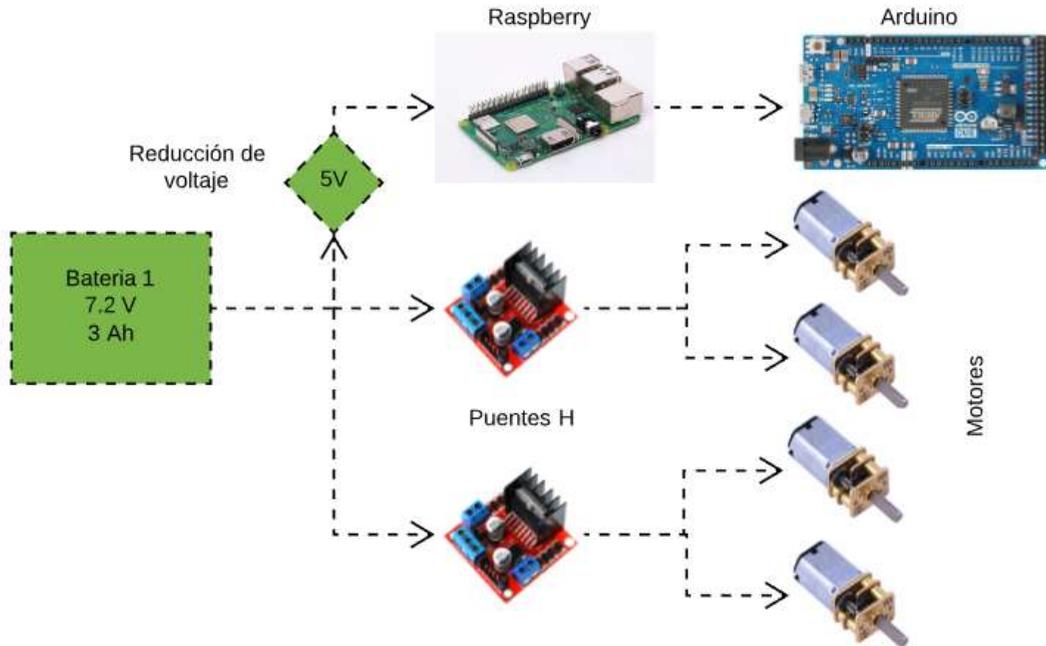
- ✓ Maniobrabilidad
- ✓ Flexibilidad
- ✓ Escalabilidad
- ✓ Sistema Modular



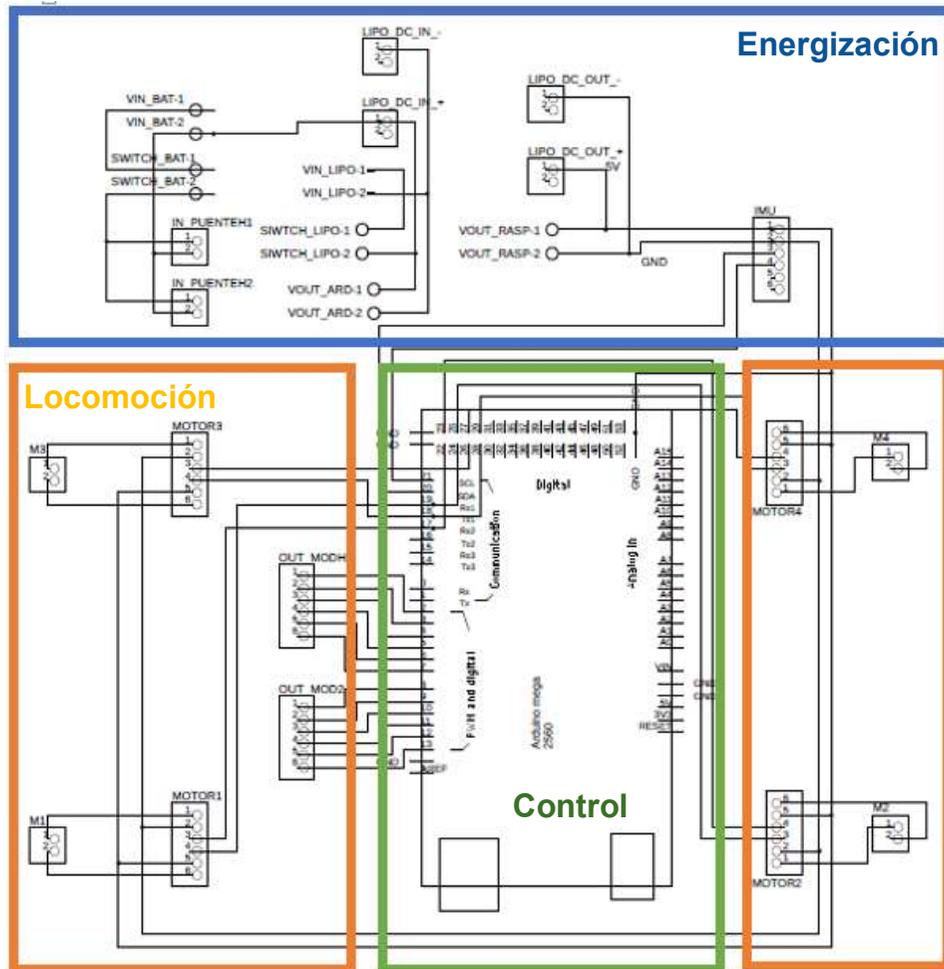
# Subsistema Electrónico



# Subsistema Electrónico



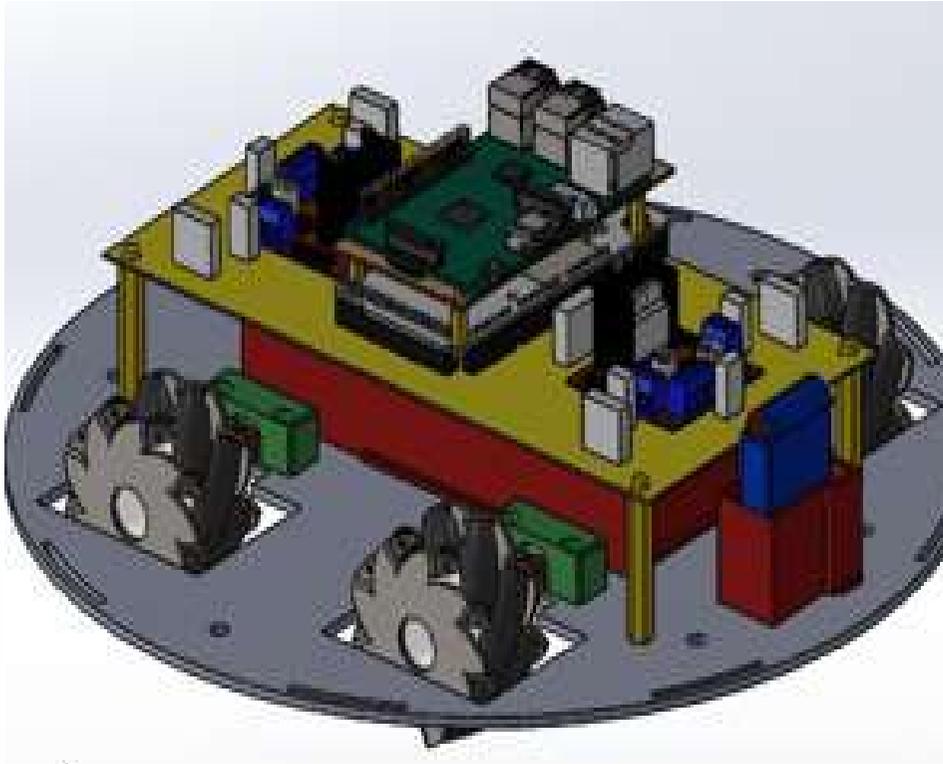
# Subsistema Electrónico



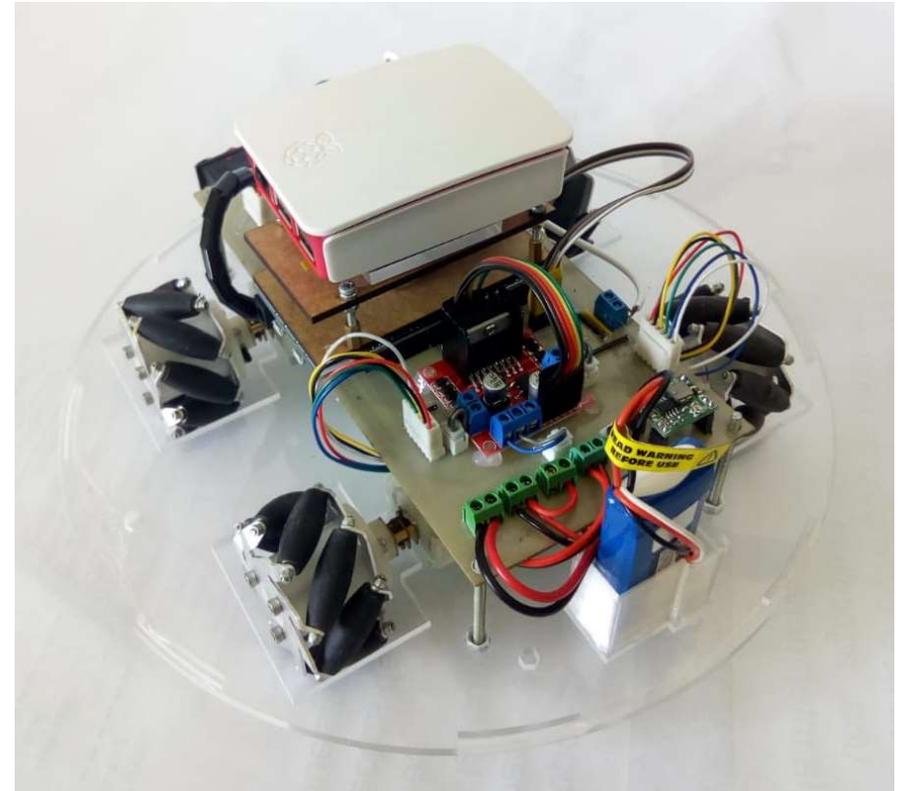
- ✓ Flexibilidad
- ✓ Escalabilidad
- ✓ Autonomía Energética
- ✓ Sistema Modular

# Integración Mecánico - Electrónico

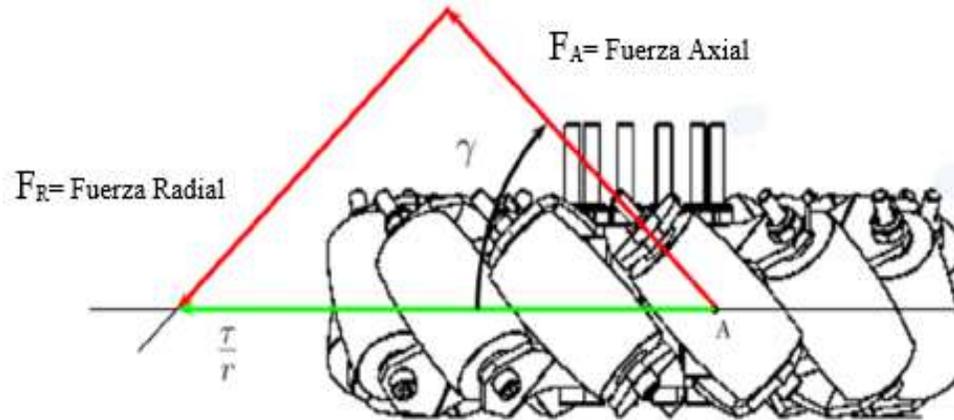
› Diseño de concepto



› Implementación

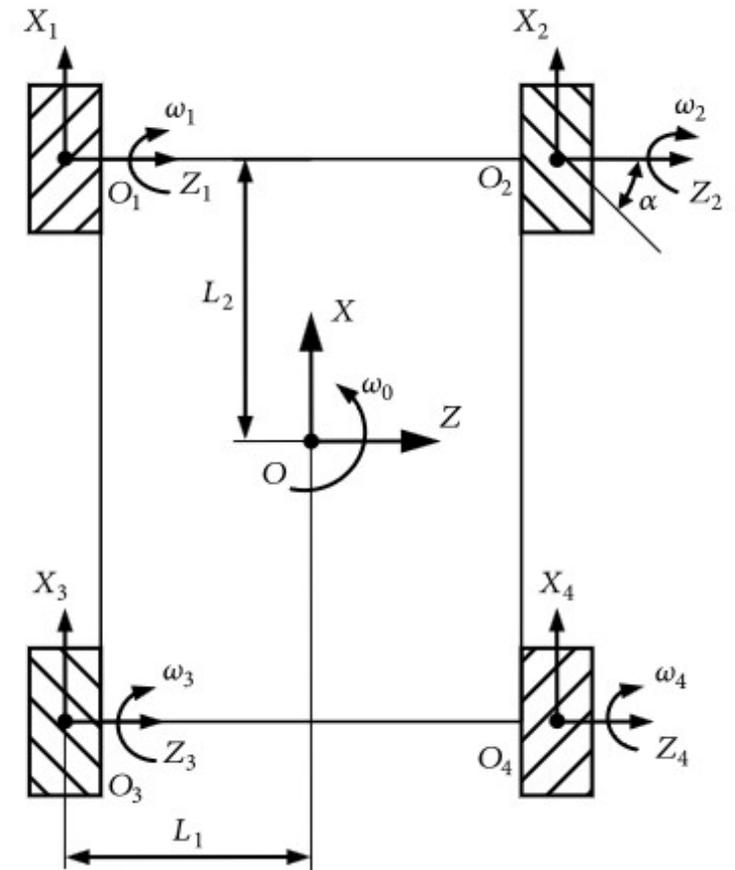


# Subsistema de Control



$$V_w = J(\alpha) * V_o$$

$$\begin{bmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \omega_3 \\ \omega_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{\tan \alpha} & -\frac{L1 * \tan \alpha + L2}{\tan \alpha} \\ 1 & \frac{1}{\tan \alpha} & \frac{L1 * \tan \alpha + L2}{\tan \alpha} \\ 1 & \frac{1}{\tan \alpha} & -\frac{L1 * \tan \alpha + L2}{\tan \alpha} \\ 1 & \frac{1}{\tan \alpha} & \frac{L1 * \tan \alpha + L2}{\tan \alpha} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ w_z \end{bmatrix}$$



# Subsistema de Control

$$\begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ w_z \end{bmatrix} = \frac{r}{4} * \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \\ -\frac{1}{L1 + L2} & \frac{1}{L1 + L2} & -\frac{1}{L1 + L2} & \frac{1}{L1 + L2} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \omega_3 \\ \omega_4 \end{bmatrix}$$

Velocidad longitudinal

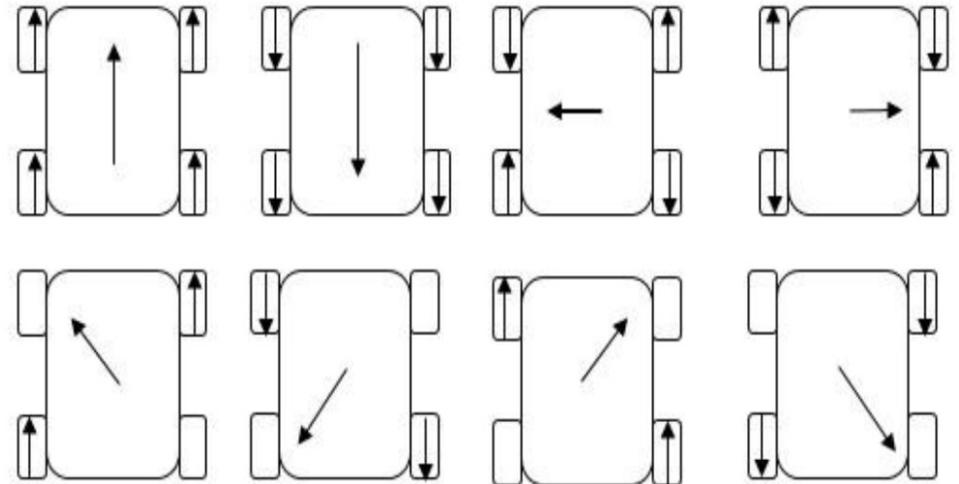
$$v_y(t) = (\omega_1 + \omega_2 + \omega_3 + \omega_4) * \frac{r}{4}$$

Velocidad transversal

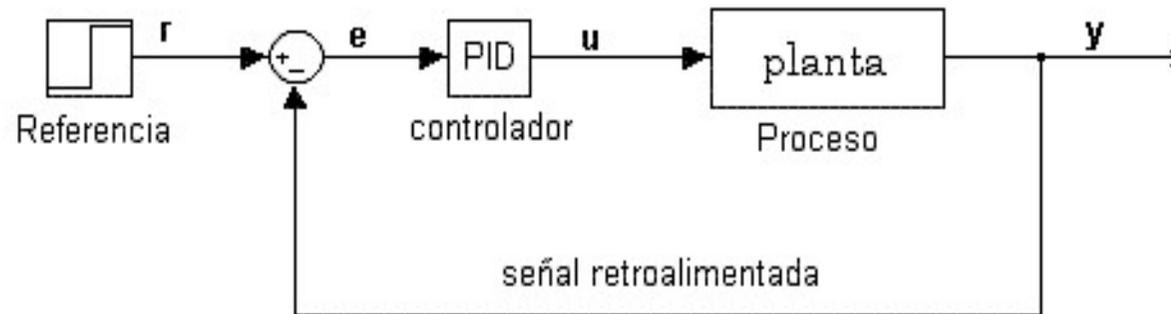
$$v_x(t) = (-\omega_1 + \omega_2 + \omega_3 - \omega_4) * \frac{r}{4}$$

Velocidad Angular

$$w_z(t) = (-\omega_1 + \omega_2 - \omega_3 + \omega_4) * \frac{r}{4(L1 + L2)}$$

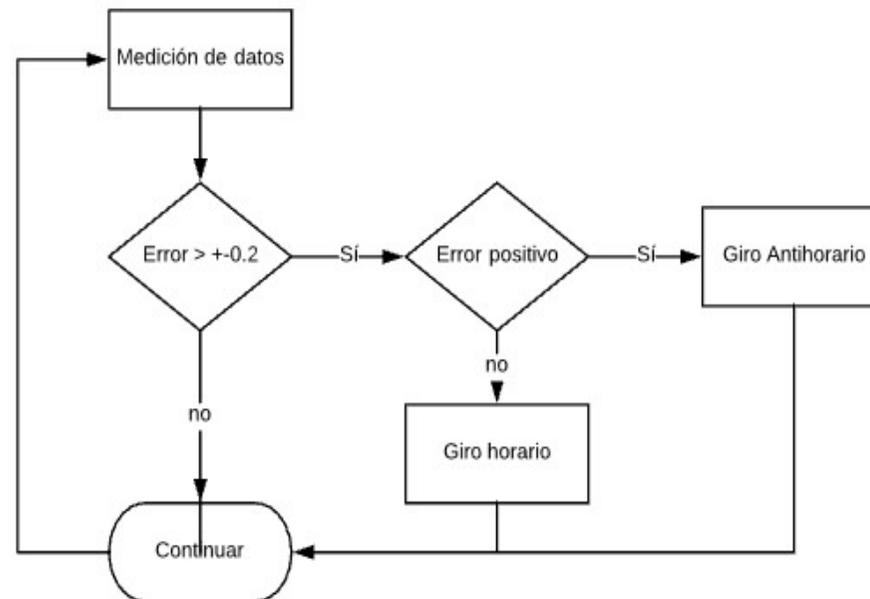


# Subsistema de Control

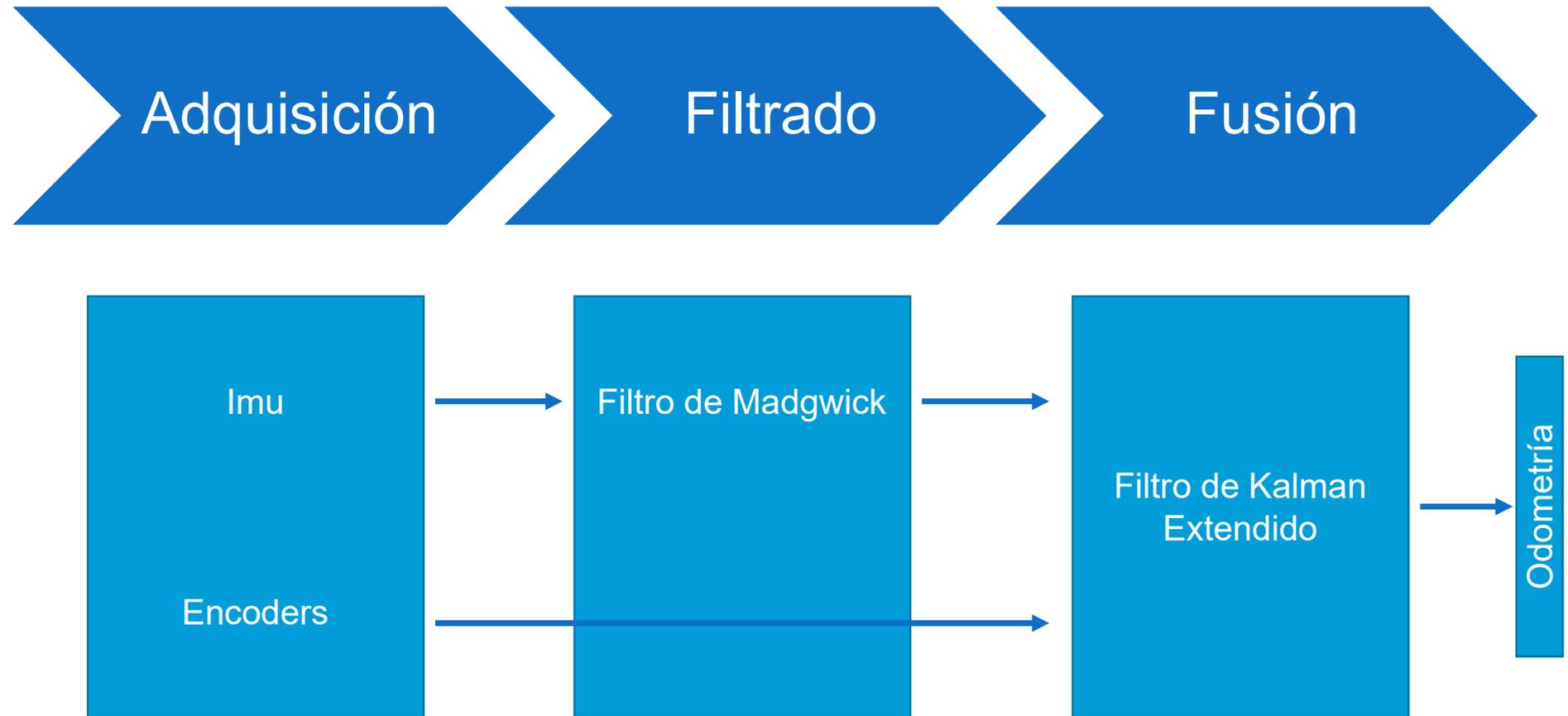


$$\frac{0.489}{0.94s + 4.997}$$

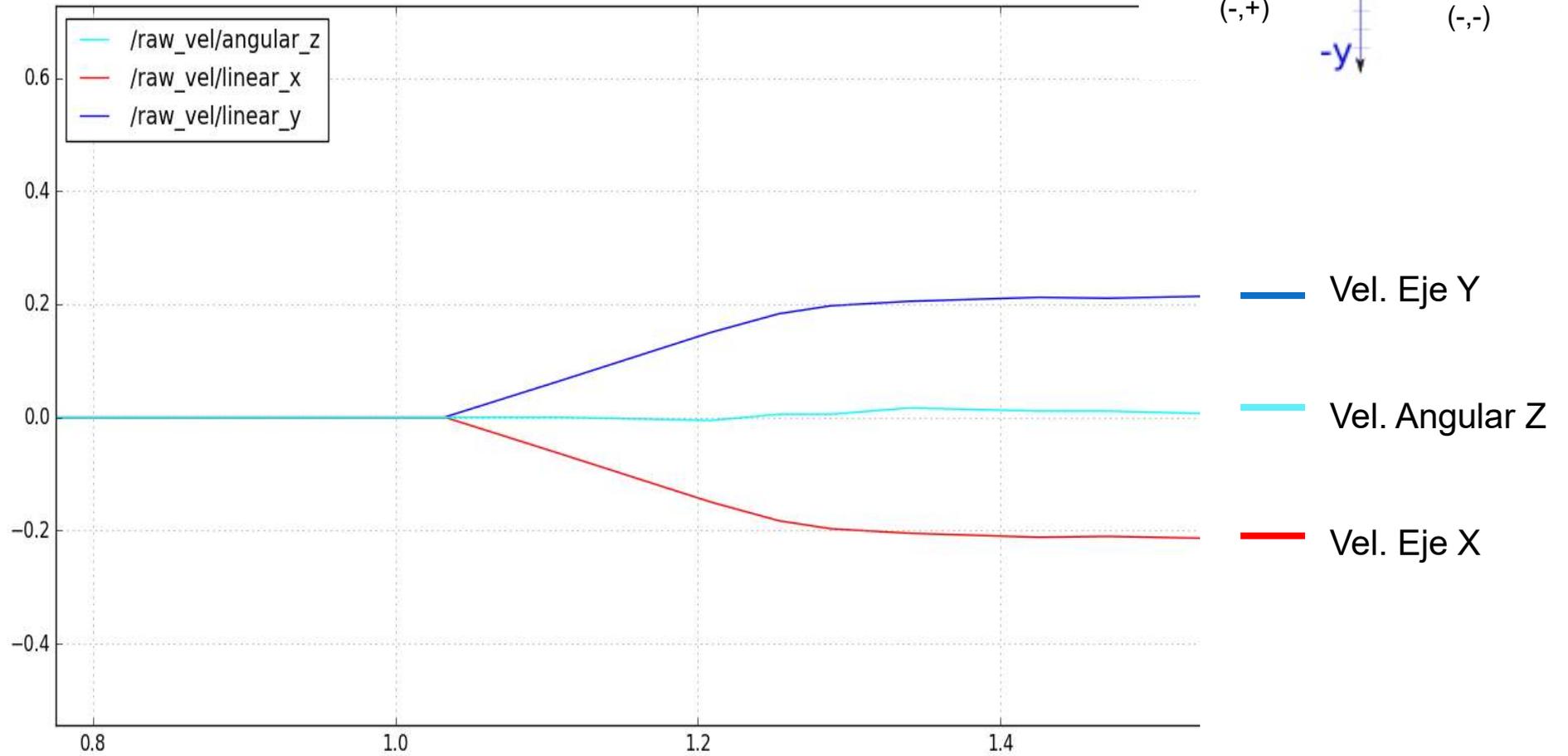
- P: 1.6
- I: 0.5
- D: 0.3



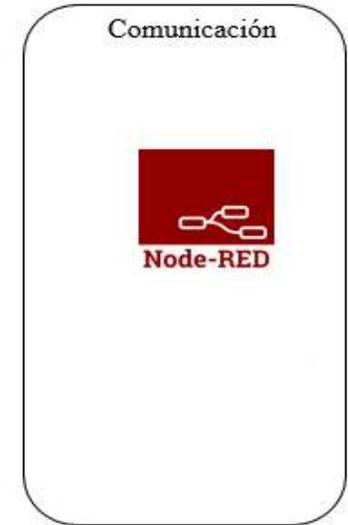
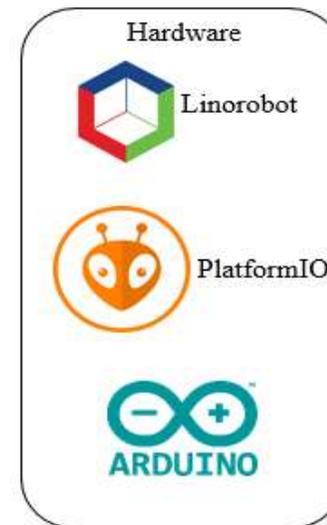
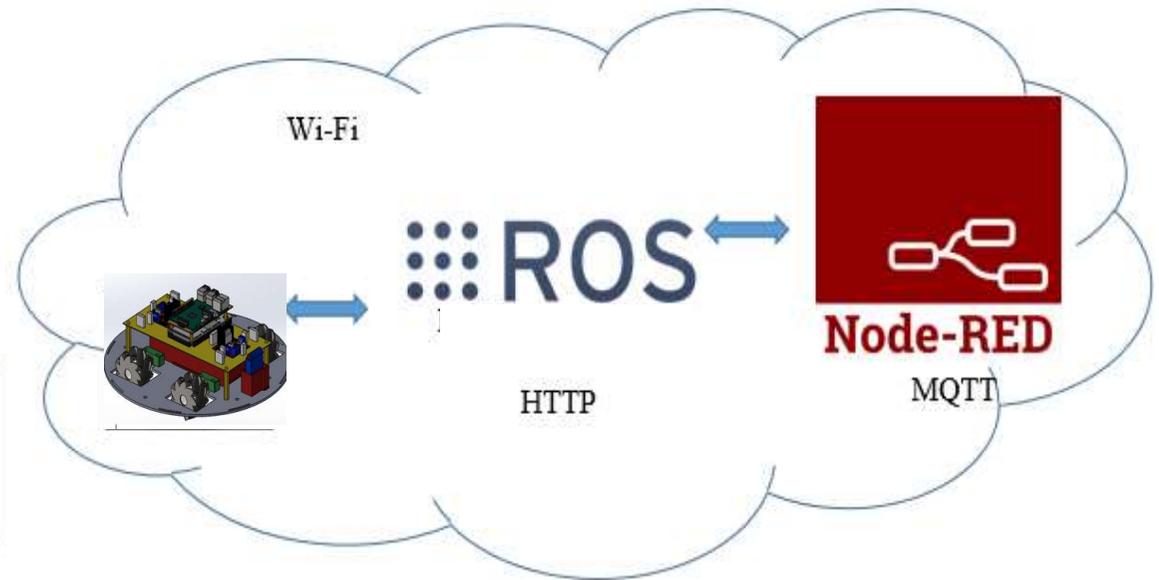
# Subsistema de Control



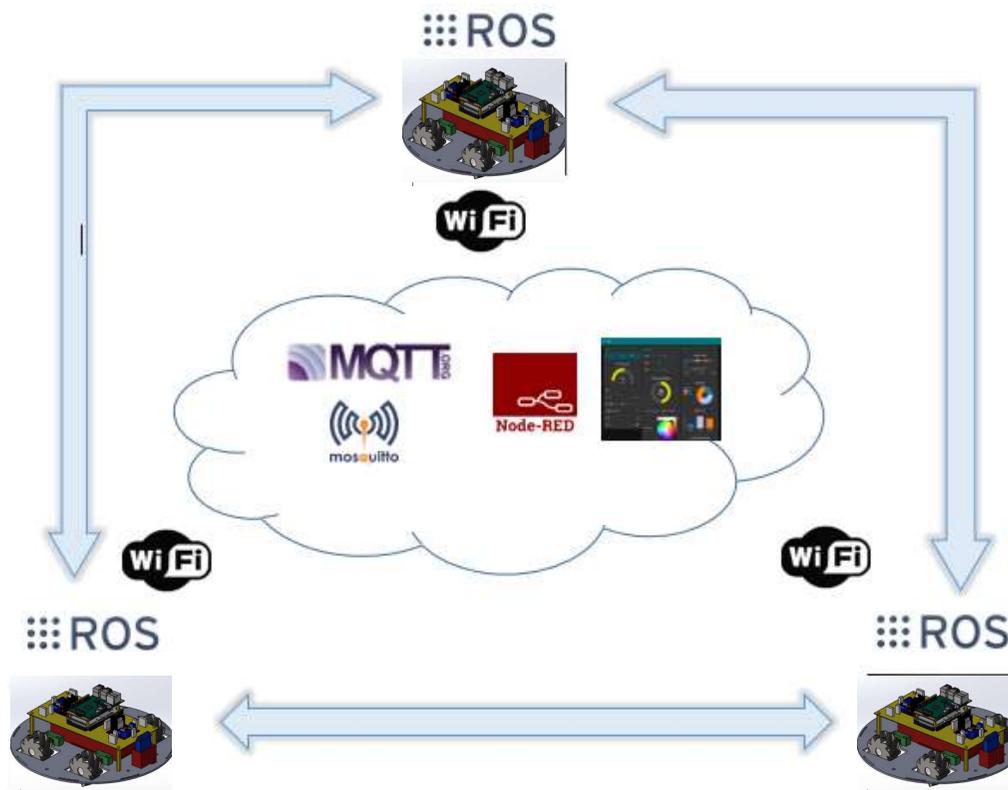
# Subsistema de Control



# Subsistema TIC's

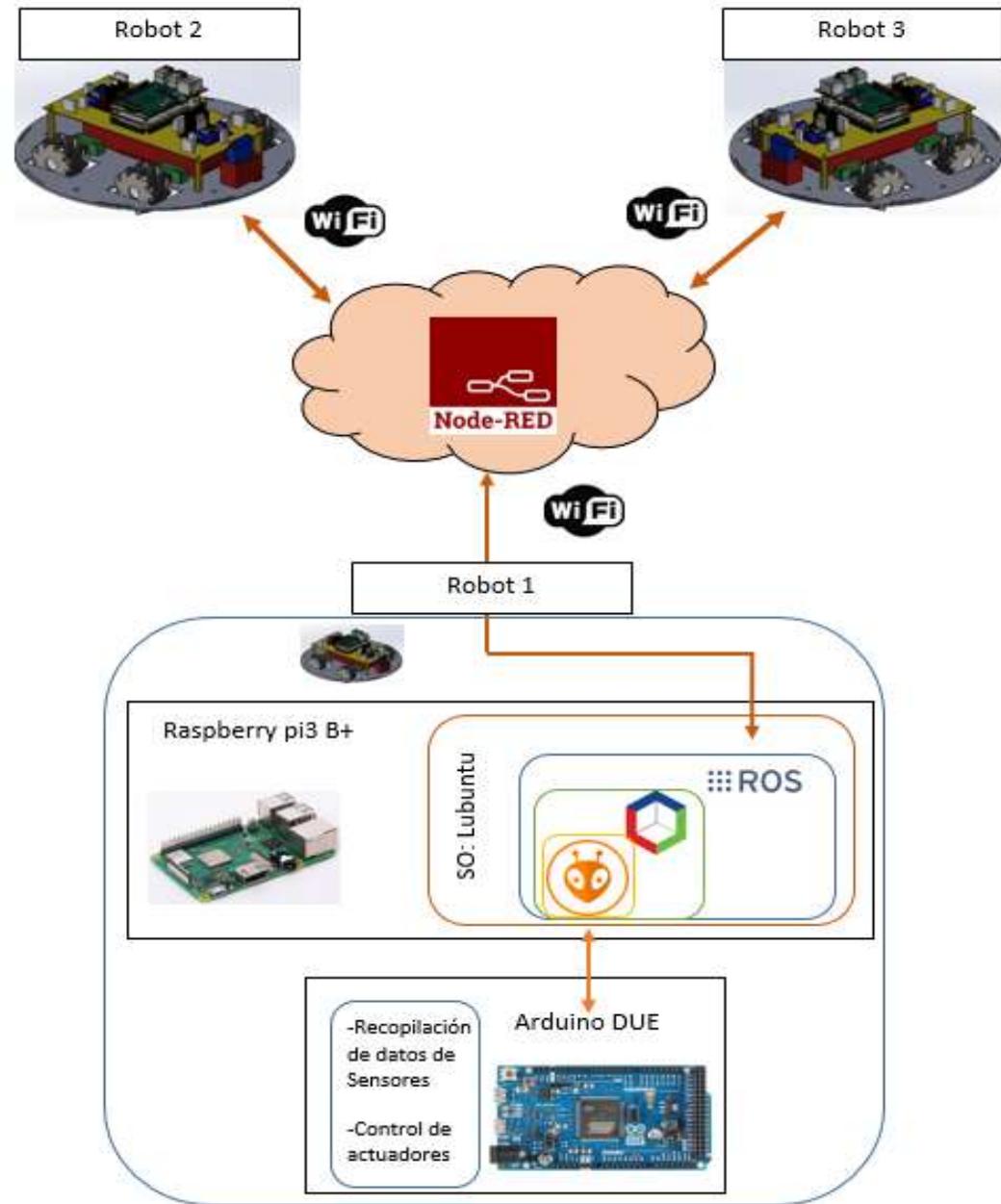


# Subsistemas de Control y TIC's

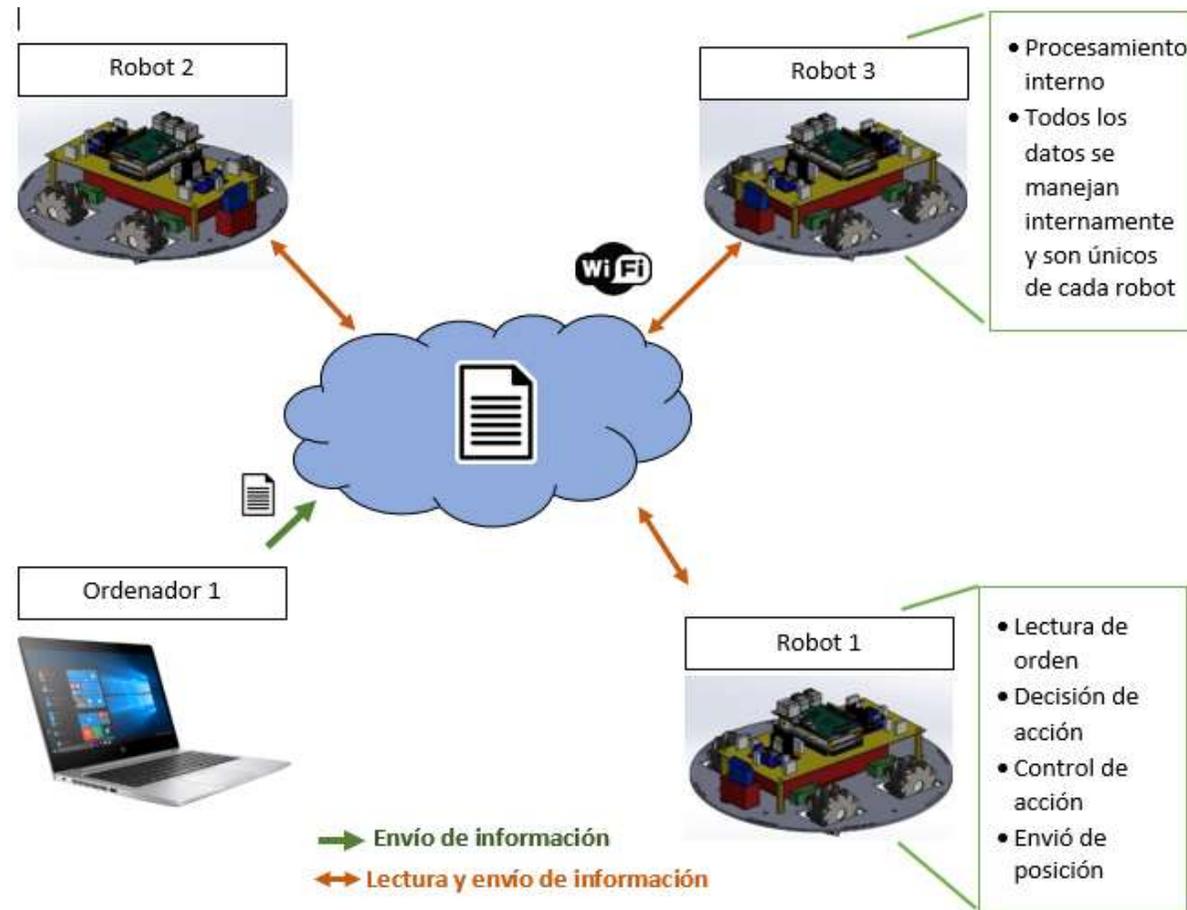


- ✓ Software de licencia abierta
- ✓ Escalabilidad
- ✓ Flexibilidad
- ✓ Autonomía en procesos
- ✓ Comunicación Inalámbrica

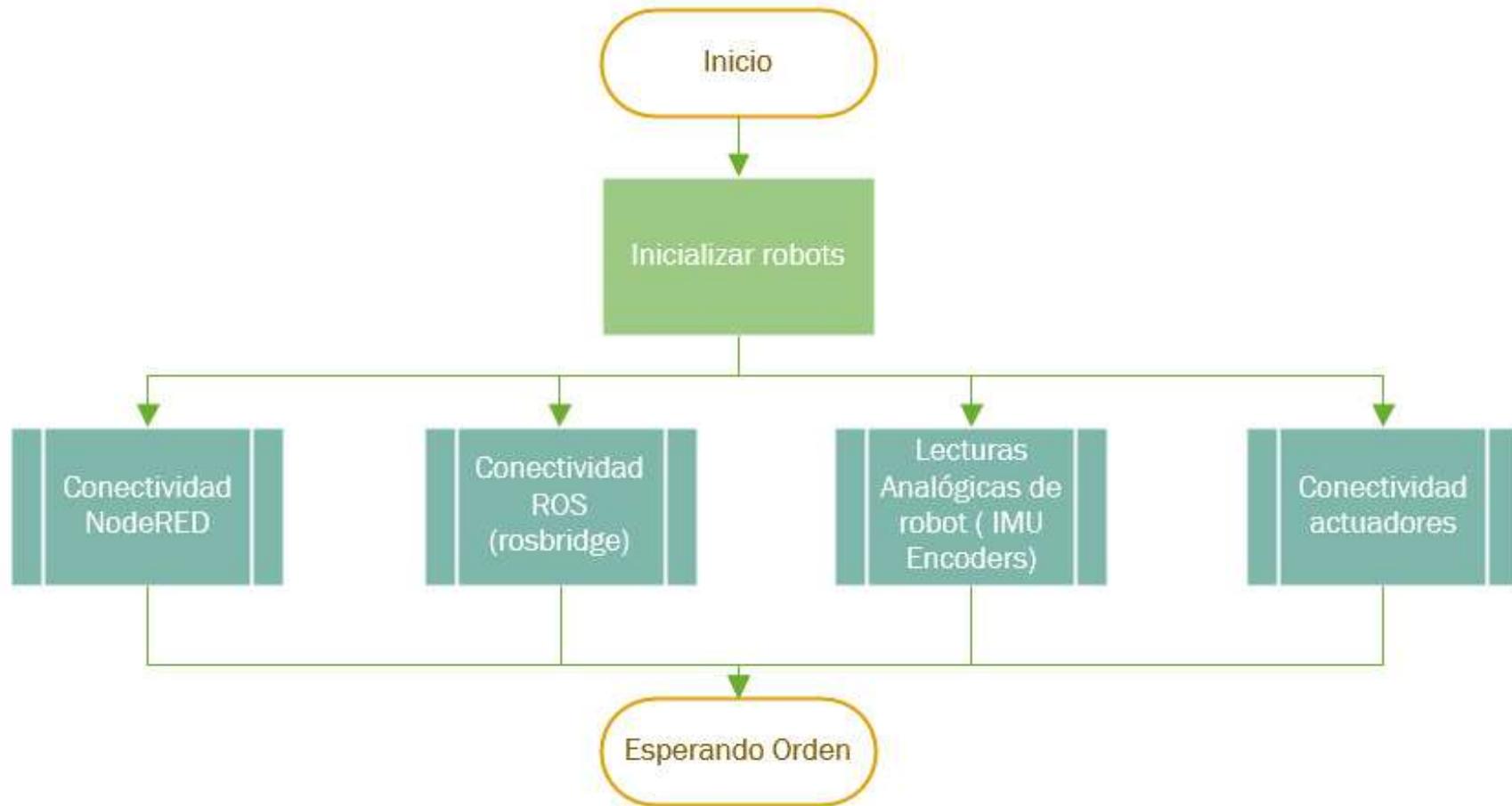
# Integración de Subsistemas



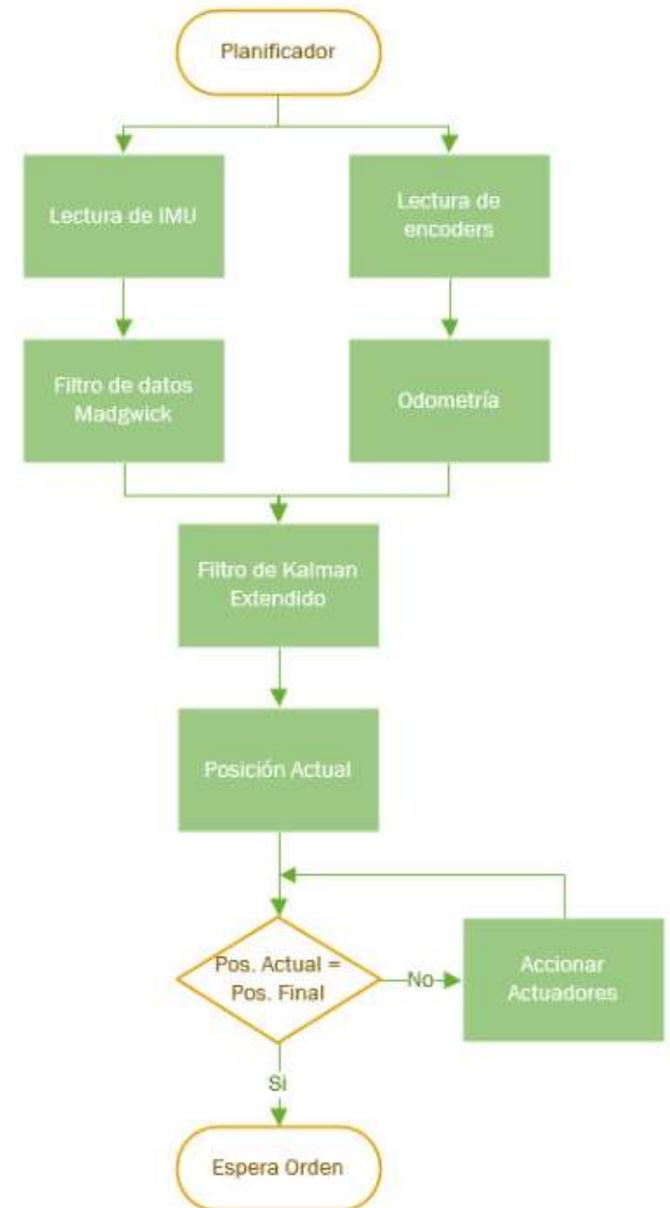
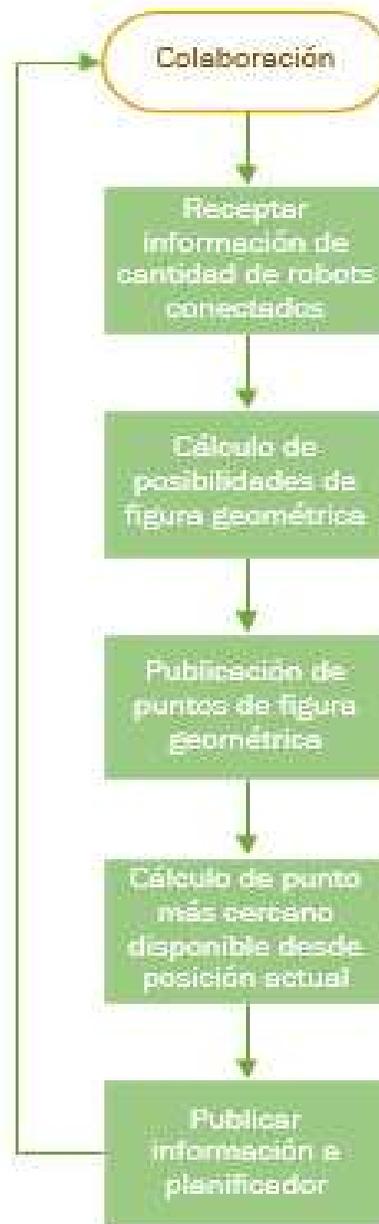
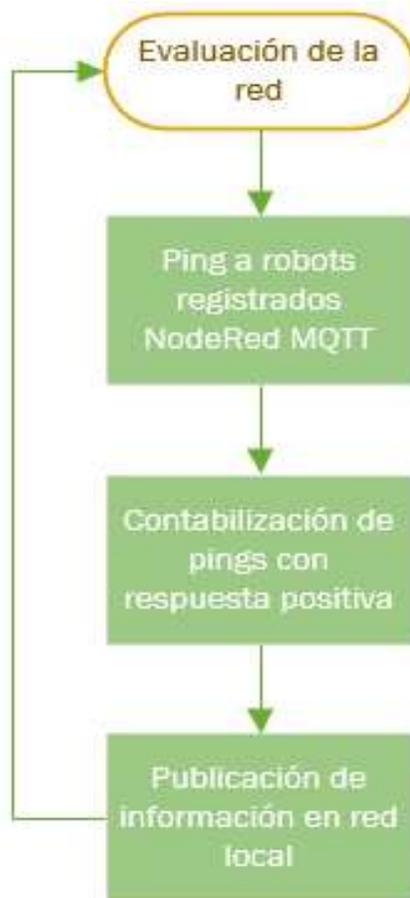
# Integración de Subsistemas



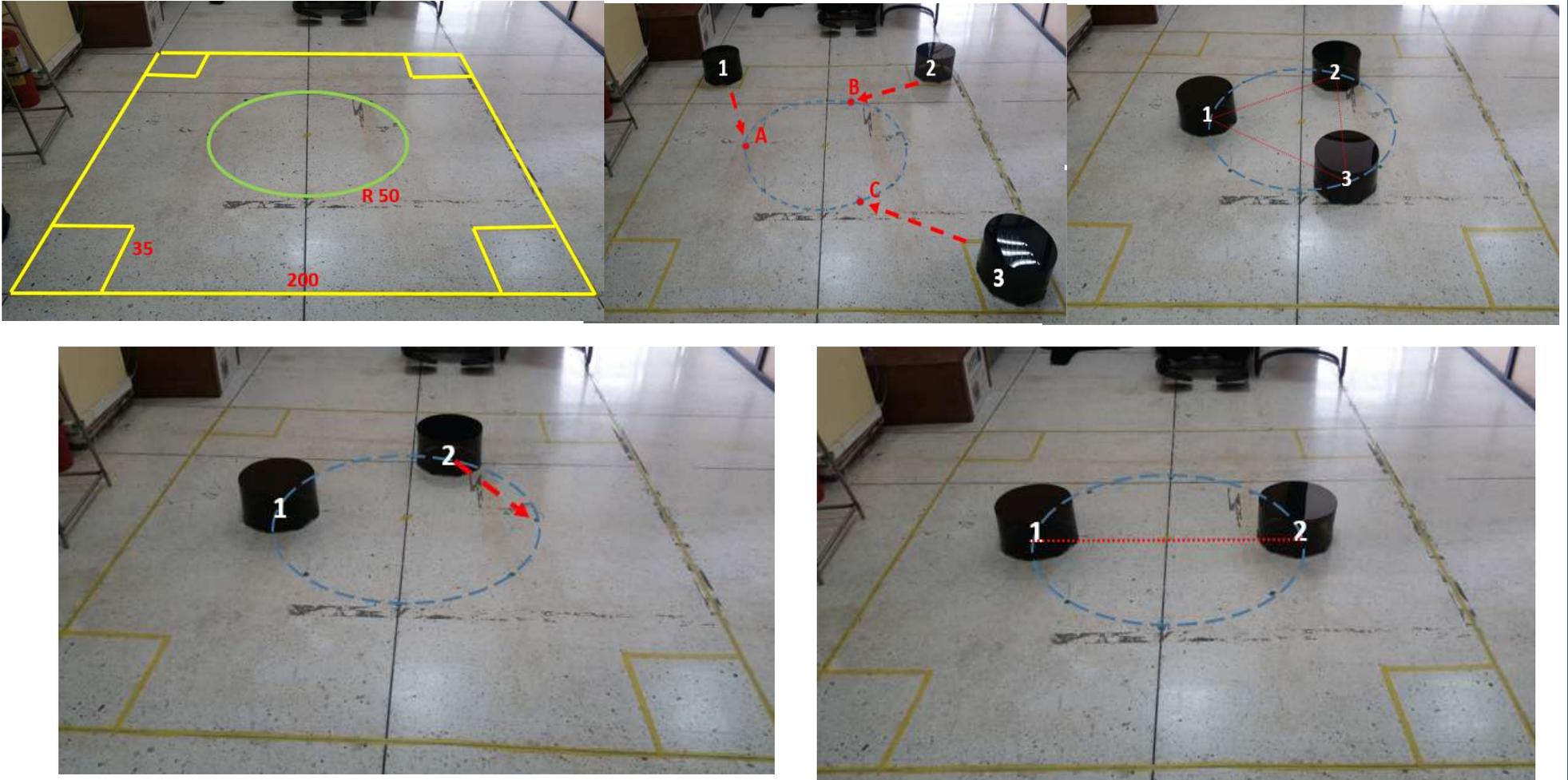
# Integración de Subsistemas

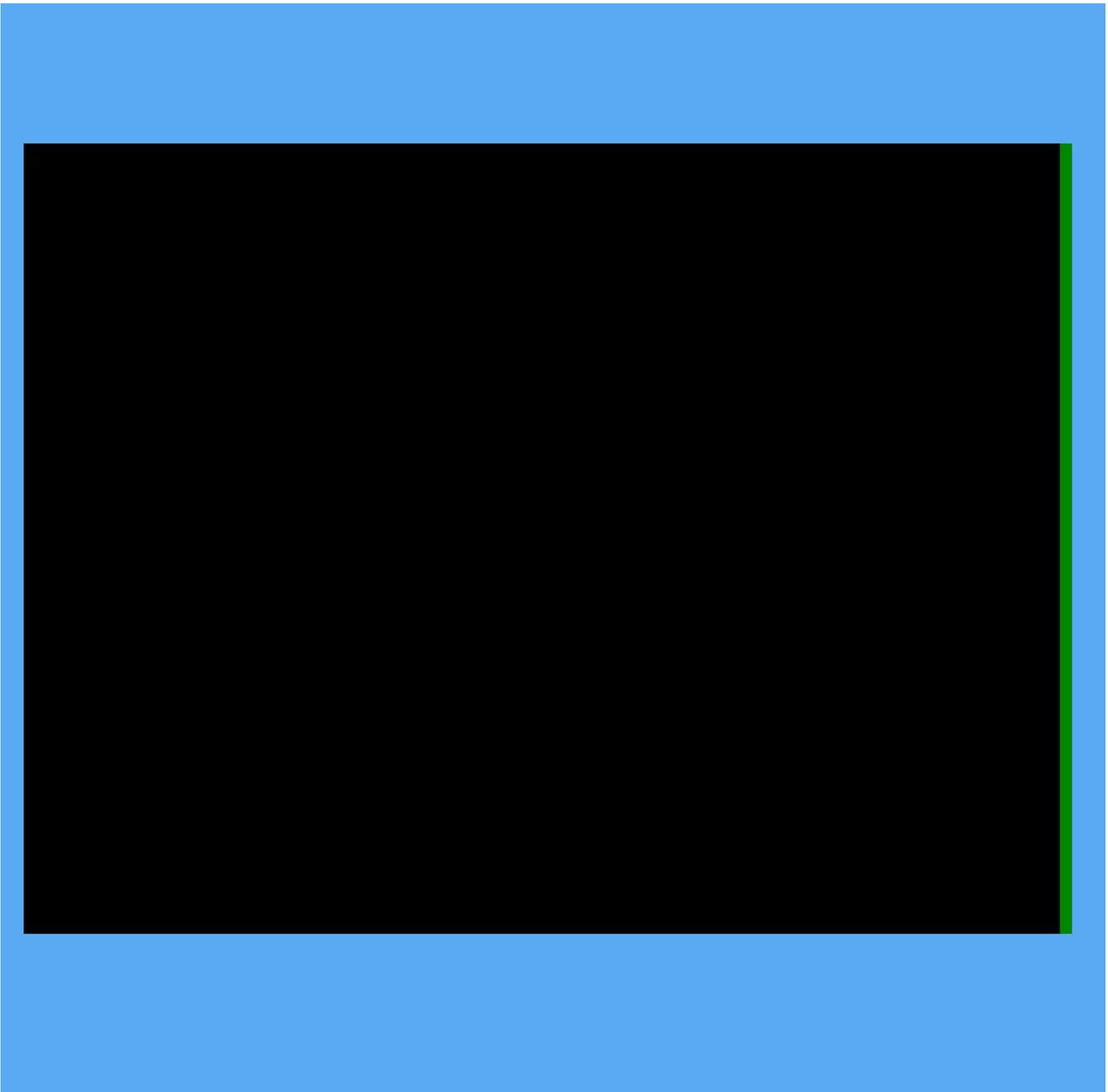


# Integración de Subsistemas

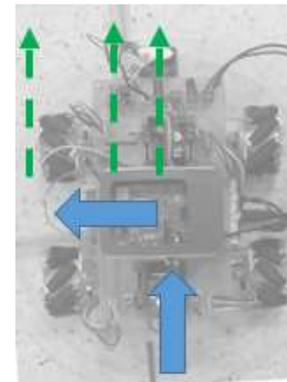
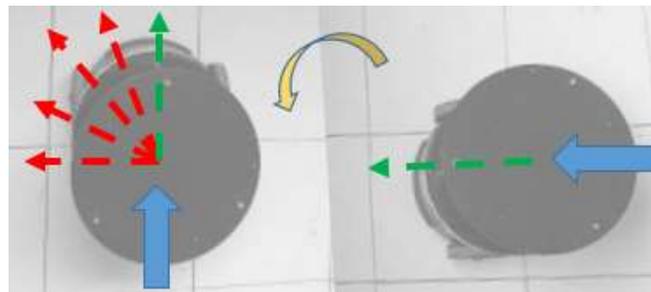
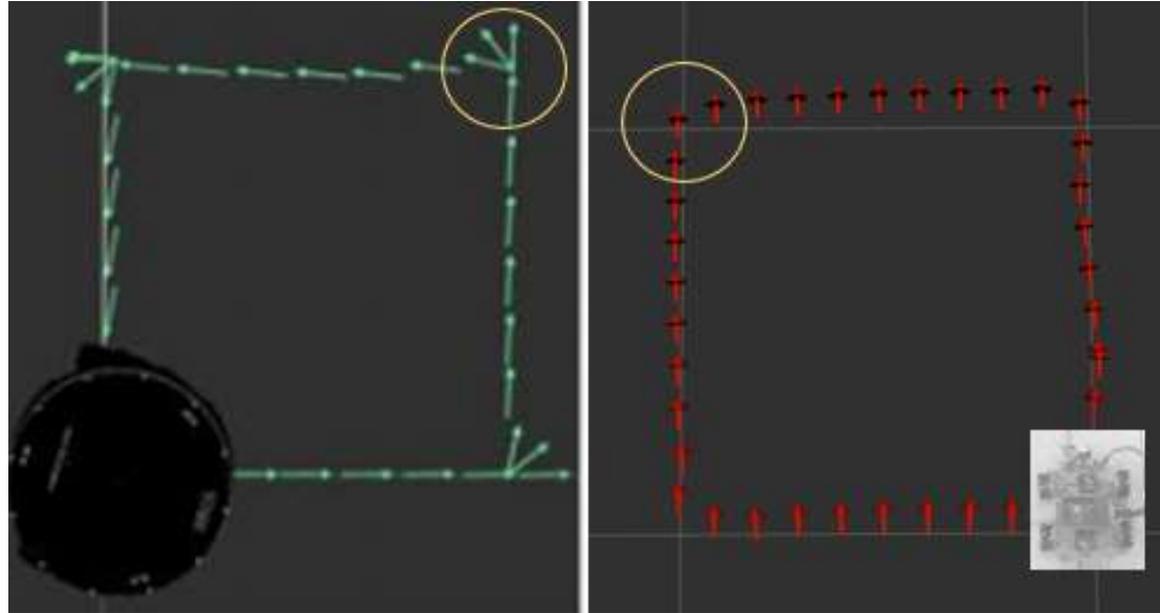


# Aplicación

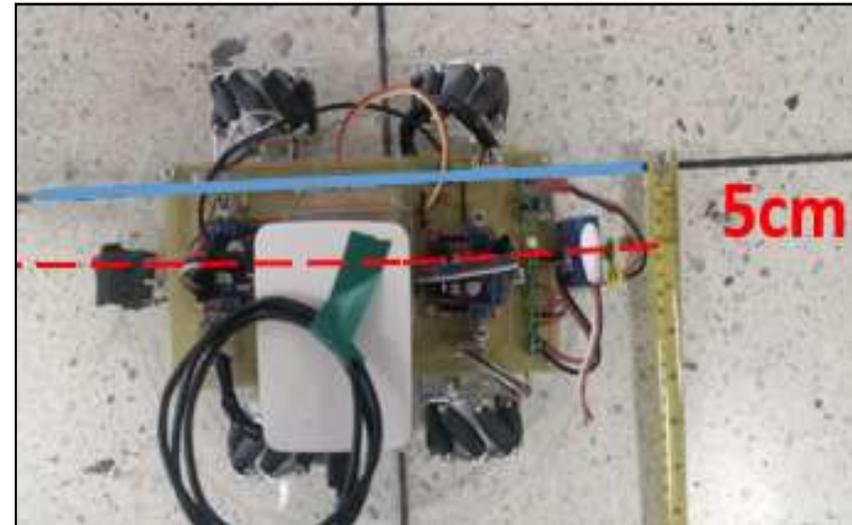
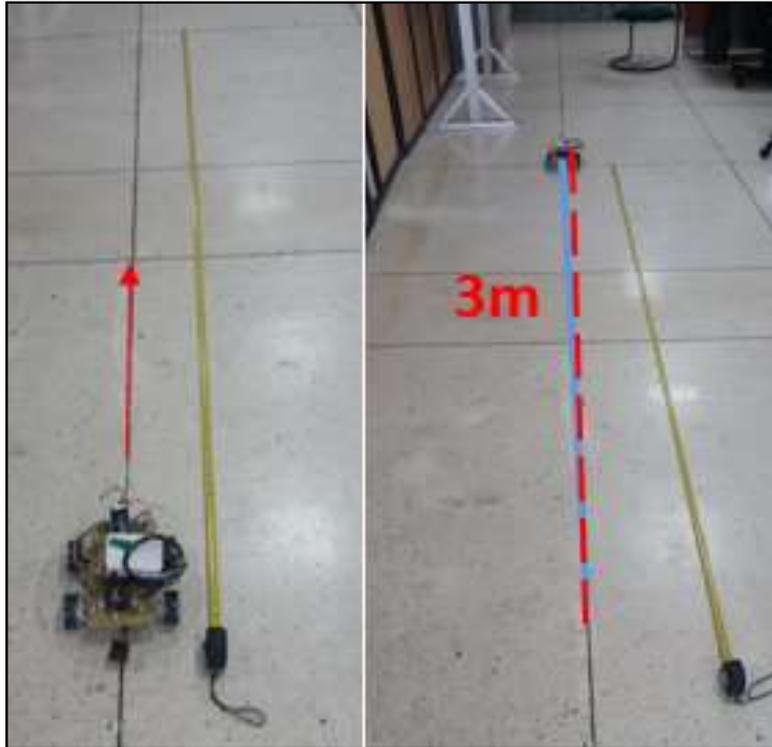




# Pruebas y Resultados

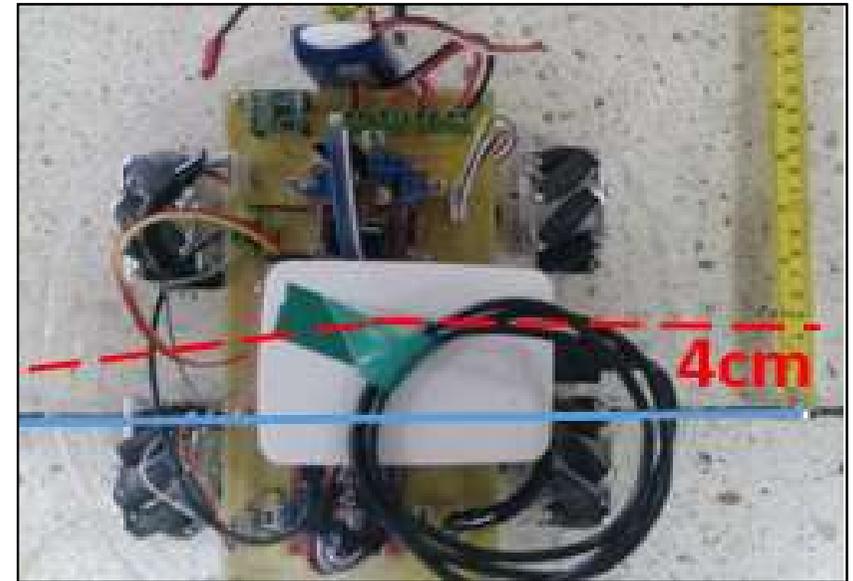
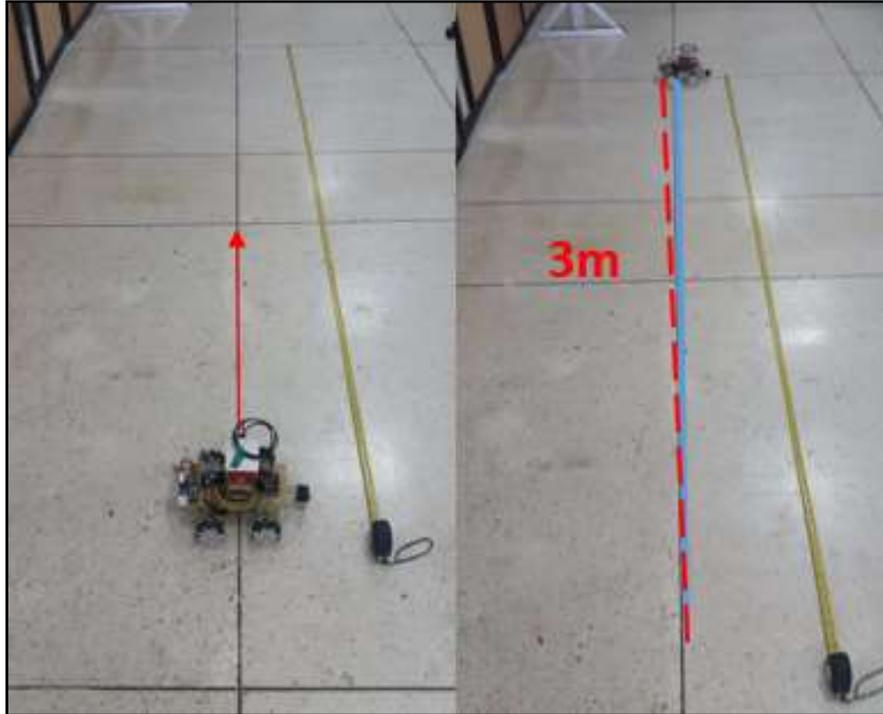


# Pruebas y Resultados



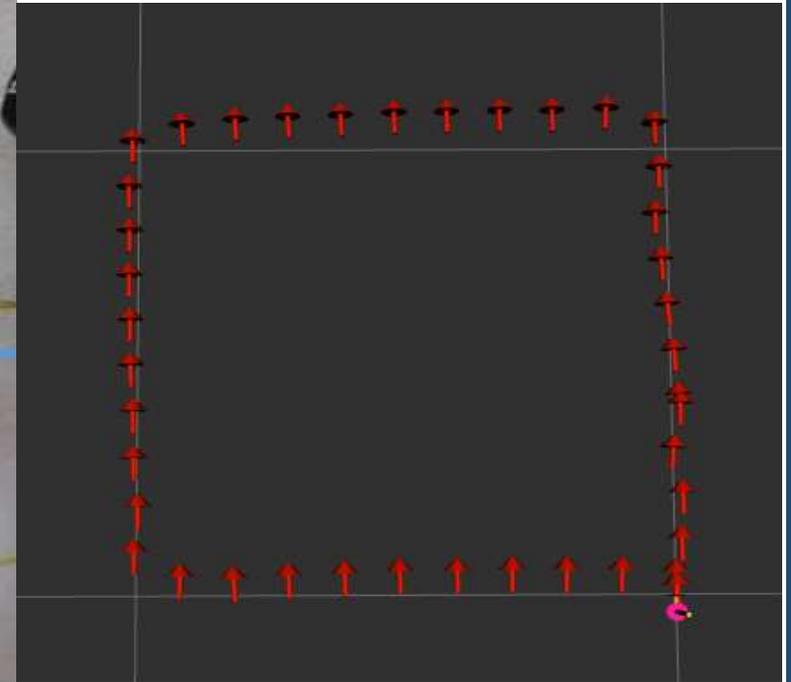
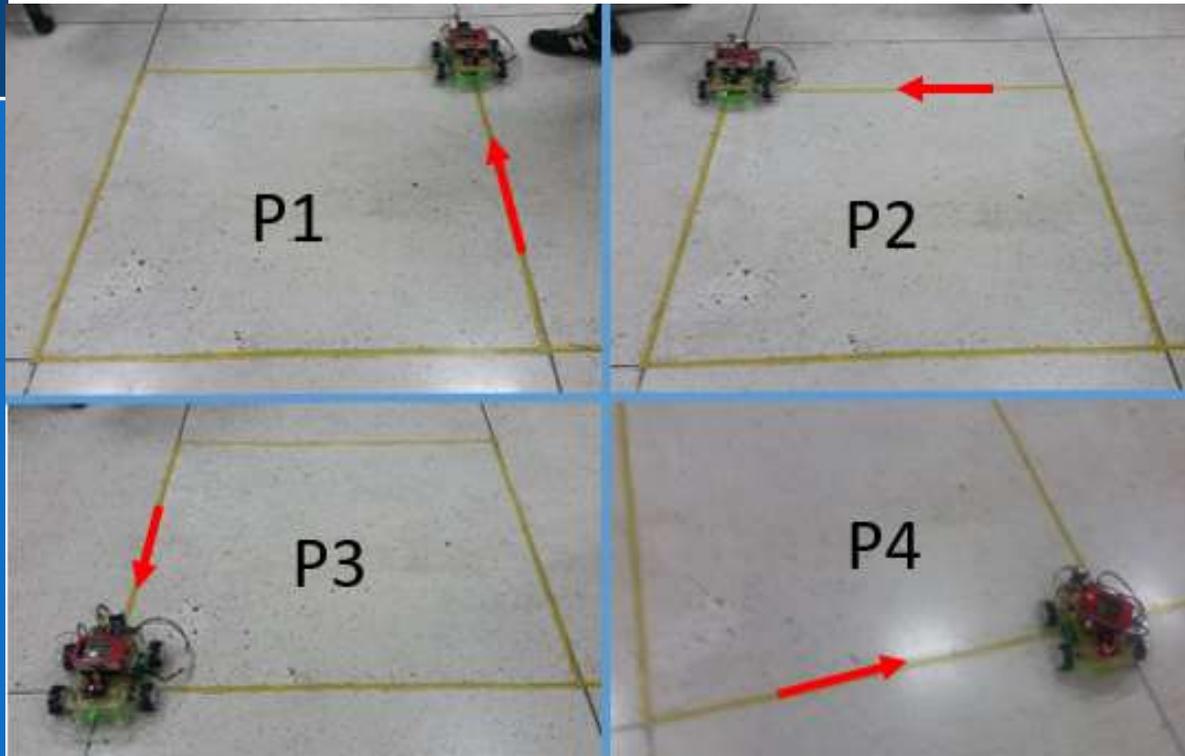
N°	Dist. Rviz	Dist. Manual	Promedio Dist.	Referencia	Error %
1	4	5	4.5	300	1.5%
2	3	3	3	300	1%
3	2	2	2	300	0.67%
4	2	3	2.5	300	0.83%
5	4	4	4	300	1.33%
Error Final					<b>1.07%</b>

# Pruebas y Resultados



N°	Dist. Rviz	Dist. Manual	Promedio Dist.	Referencia	Error %
1	4	4	4	300	1.33%
2	4	5	4.5	300	1.5%
3	2	4.5	4.25	300	1.42%
4	3	4.4	3.7	300	1.23%
5	2	3	2.5	300	0.83%
Error Final					<b>1.26%</b>

# Pruebas y Resultados

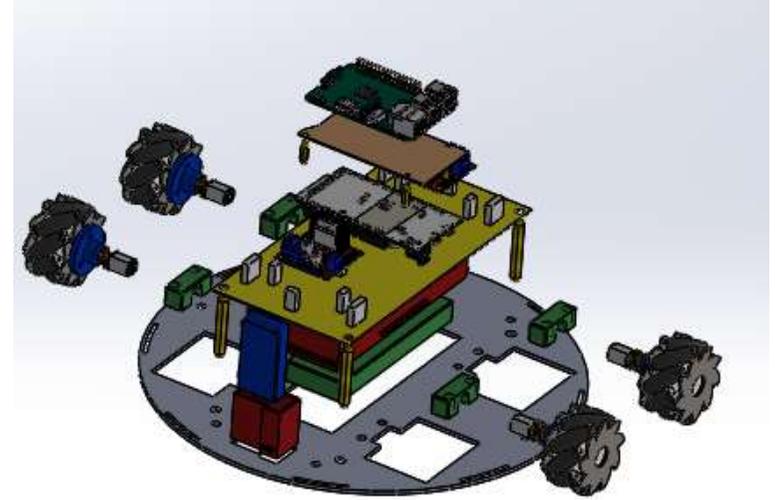


N°	Dist. Rviz	Dist. Manual	Promedio Dist.	Referencia	Error %
1	5	7	6	400	1.5%
2	4	4	4	400	1%
3	7	9	8	400	2%
4	2	4	3	400	0.75%
5	5	6	5.5	400	1.38%
				Error Final	<b>1.38%</b>

# Pruebas y Resultados

## Especificaciones Técnicas del Robot

Medidas	30 x 17 [cm]
Peso	2.14 Kg [cm]
Capacidad de carga	1.2 Kg [cm]
Autonomía energética	65 minutos



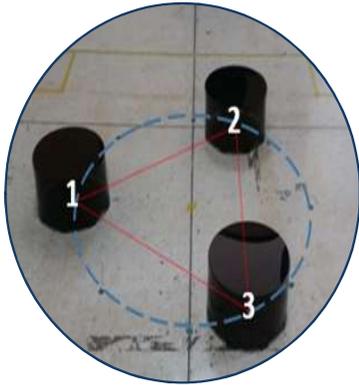
Cantidad	Elemento	Precio Total
4	Ruedas omnidireccionales Mecanum 60 mm	\$102
4	Micro-motores con encoder incluid	\$ 88
1	Arduino DUE	\$ 30
1	Raspberry pi3 B+	\$ 80
2	Puente H L298	\$ 10
1	PCB	\$ 9
varios	Elementos electrónicos	\$ 12
1	Batería 3000mAh	\$ 12
1	Batería LIPO 1000mAh	\$ 21
1	Sensor IMU	\$ 22
1	Base de acrílico	\$ 15
1	Carcasa de acrílico	\$ 34
	<b>Resultado</b>	<b>\$ 435</b>

# Pruebas y Resultados

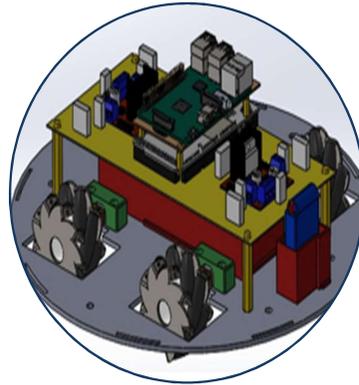
-  Maniobrabilidad
-  Peso máximo de 2Kg
-  Autonomía Energética
-  Capacidad de carga de 1Kg
-  Comunicación Inalámbrica

-  Licencia abierta
-  Costo menor a \$700 por robot
-  Autonomía de procesos
-  Plataforma escalable
-  Plataforma flexible
-  Trabajo colaborativo

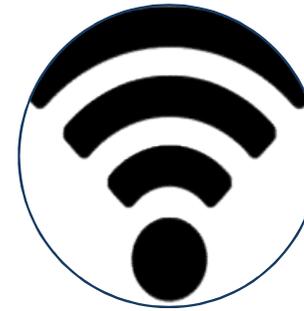
# Conclusiones



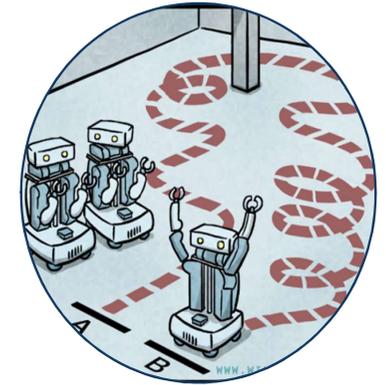
Tres robots  
móviles, trabajo  
colaborativo



Ruedas  
omnidireccionales  
Configuración  
Skid Steer



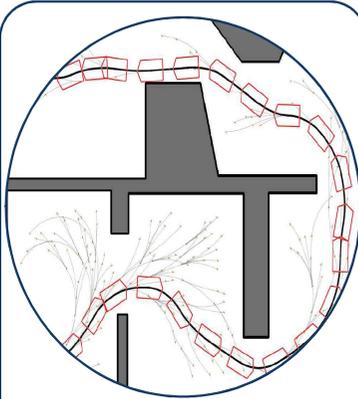
Red inalámbrica  
Protocolo MQTT  
Aplicaciones IOT.



Autonomía en sus  
procesos, red  
descentralizada.



# Recomendación y Trabajos Futuros



Planificador de movimientos



Aumentar más dispositivos en la red



Protocolo CoAP



Aumentar las características de los robots



Crear un producto



Gracias

A close-up photograph of a red pencil writing the word "Gracias" in a cursive script on a white surface. The pencil is positioned on the right side of the frame, with its tip touching the end of the word. A thin black line is drawn underneath the word, extending from the left edge of the frame to the pencil tip.

Gracias

