

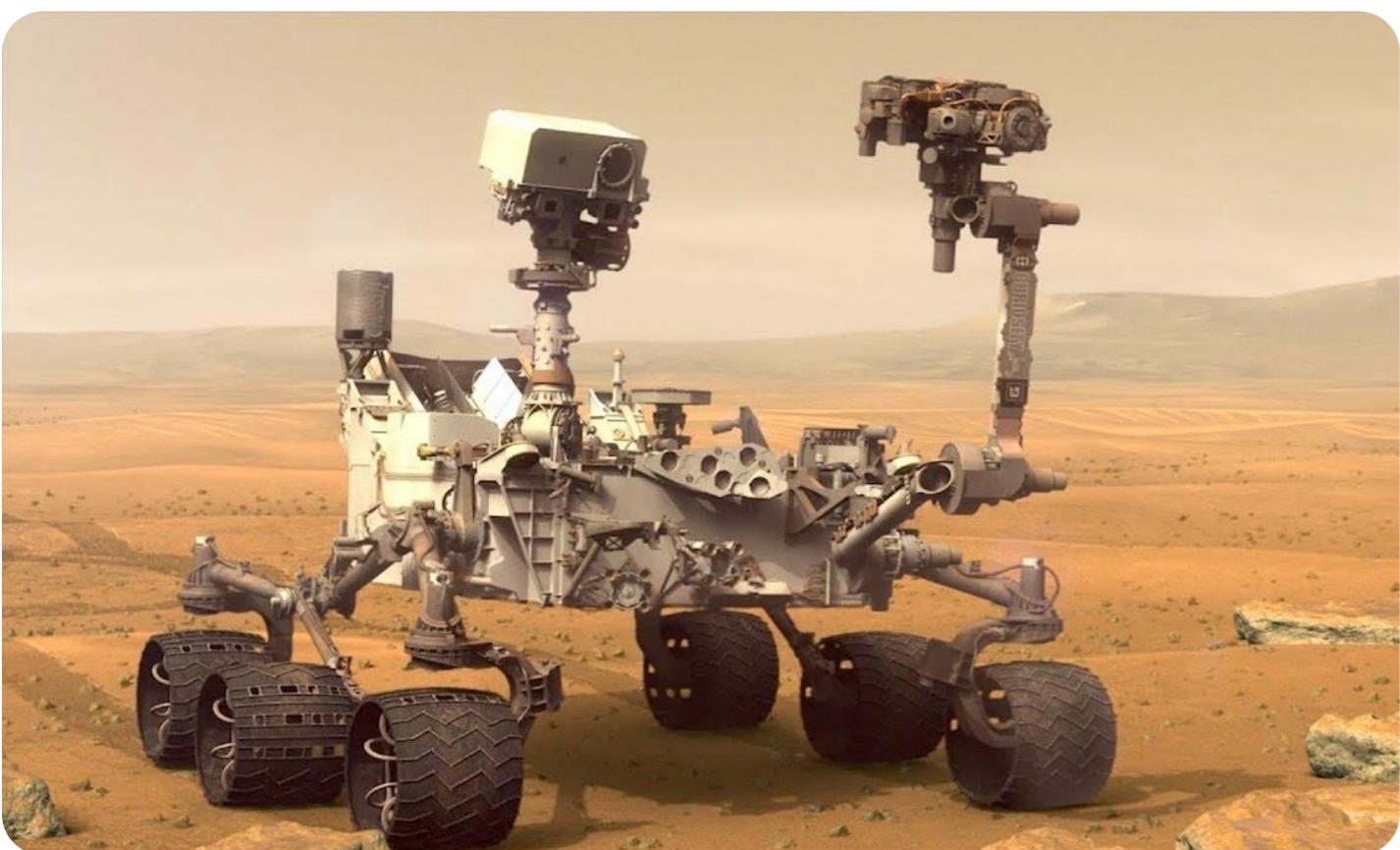
Desarrollo de un Robot Móvil Terrestre Semi-Autónomo con Acceso Remoto

Autores: Cristian MOLINA
Nickson GARCIA

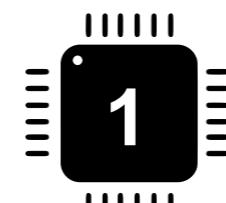
Director: Harold F MURCIA

Semillero de Investigación: SIRUI
Fecha: 15 de Julio de 2019

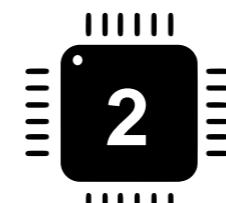
Introducción



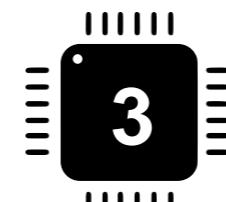
Este proyecto nace en el semillero SIRUI, donde se trataron temas relacionados a la robótica móvil tales como acondicionamiento de señales, electrónica de potencia, sistemas de percepción y acción, así como el desarrollo de software para robots.



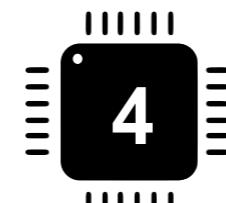
Planteamiento del Problema



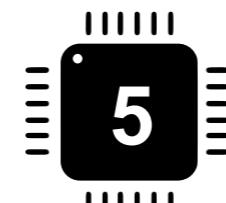
Objetivos



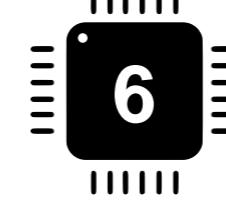
Metodología



Desarrollo



Resultados



**Conclusiones y Trabajo
Futuro**

Planteamiento del Problema



Fig. 1. Robótica para agricultura de precisión. Fuente: [1]



Fig. 2. Robótica industrial. Fuente: [2]

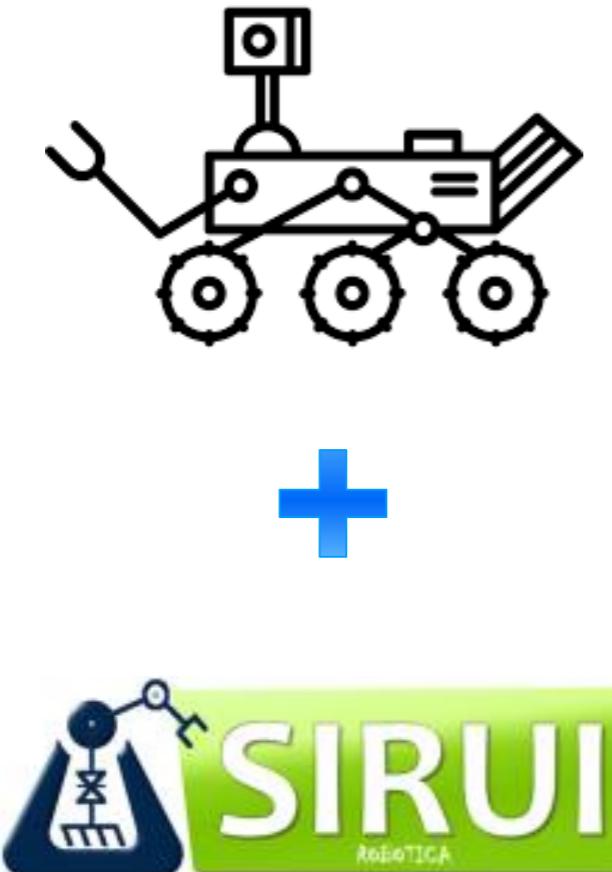


Fig. 3. Robótica de exploración. Fuente: [3]



Fig. 4. Robótica para manejo de explosivos.
Fuente: [4]

Planteamiento del Problema



Entre las diferentes opciones de hardware, electrónica y software, ¿cuáles deben tenerse en cuenta para el desarrollo de una plataforma móvil semi-autónoma con manipulación remota?



Objetivos

Objetivo General

Desarrollar una plataforma robótica móvil terrestre que pueda ser operada de manera remota en desplazamiento y manipulación de carga, empleando Robotic Operating System ROS.



Objetivos

Objetivos Específicos



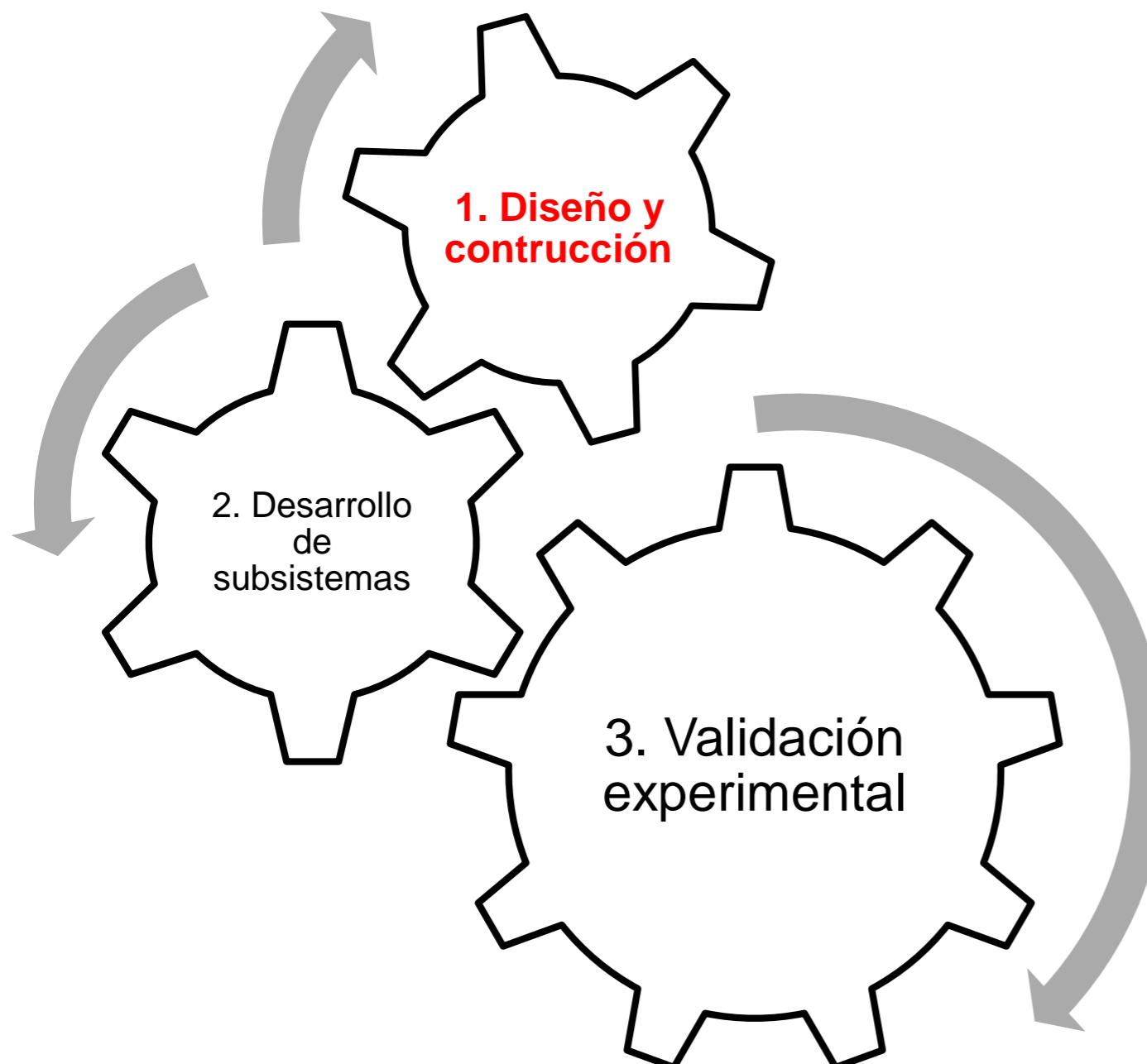
Estudiante 1: Cristian Giovanny Molina Hernández.

- Diseñar y construir un robot móvil terrestre no tripulado UGV en topología “skid-steering” en sus capas mecánica y electrónica.
- Desarrollar un control automático de velocidad angular sobre cada tracción lateral del robot, para mejorar los desplazamientos de traslación y giro del mismo.

Estudiante 2: Nickson Eduardo García Hernández.

- Establecer un sistema de comunicación remoto mediante una red Wireless entre el UGV y el piloto, de manera que se acceda a todos los elementos de percepción y se manipulen todos los elementos de acción del robot desde el centro de control.
- Estimar la trayectoria recorrida del robot a partir de odometría y unidad de medición inercial IMU.

Metodología

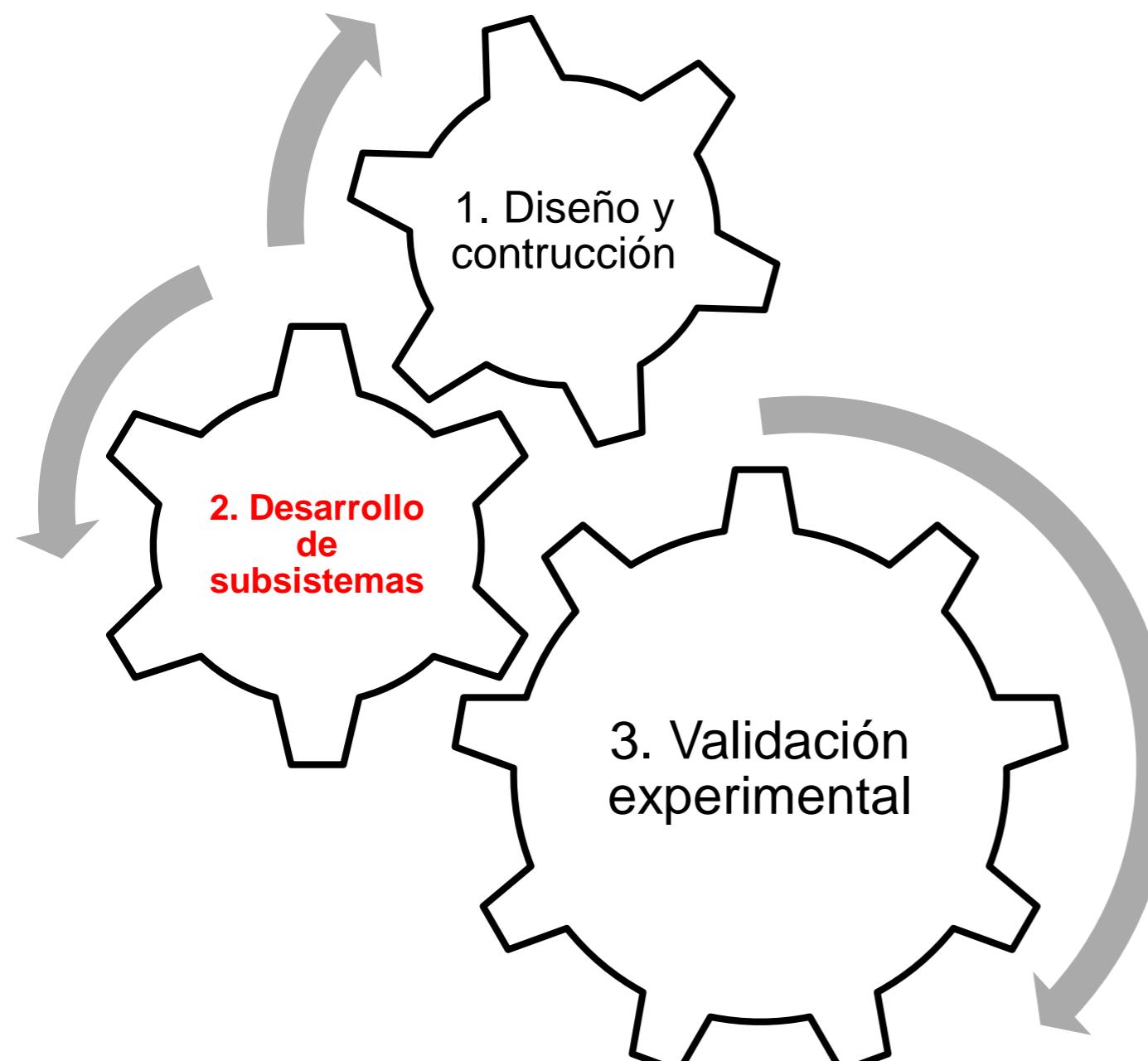


1. Diseño y construcción



Fig. 5. Diseño en CAD 3D del Alpha.
Fuente: Autores

Metodología



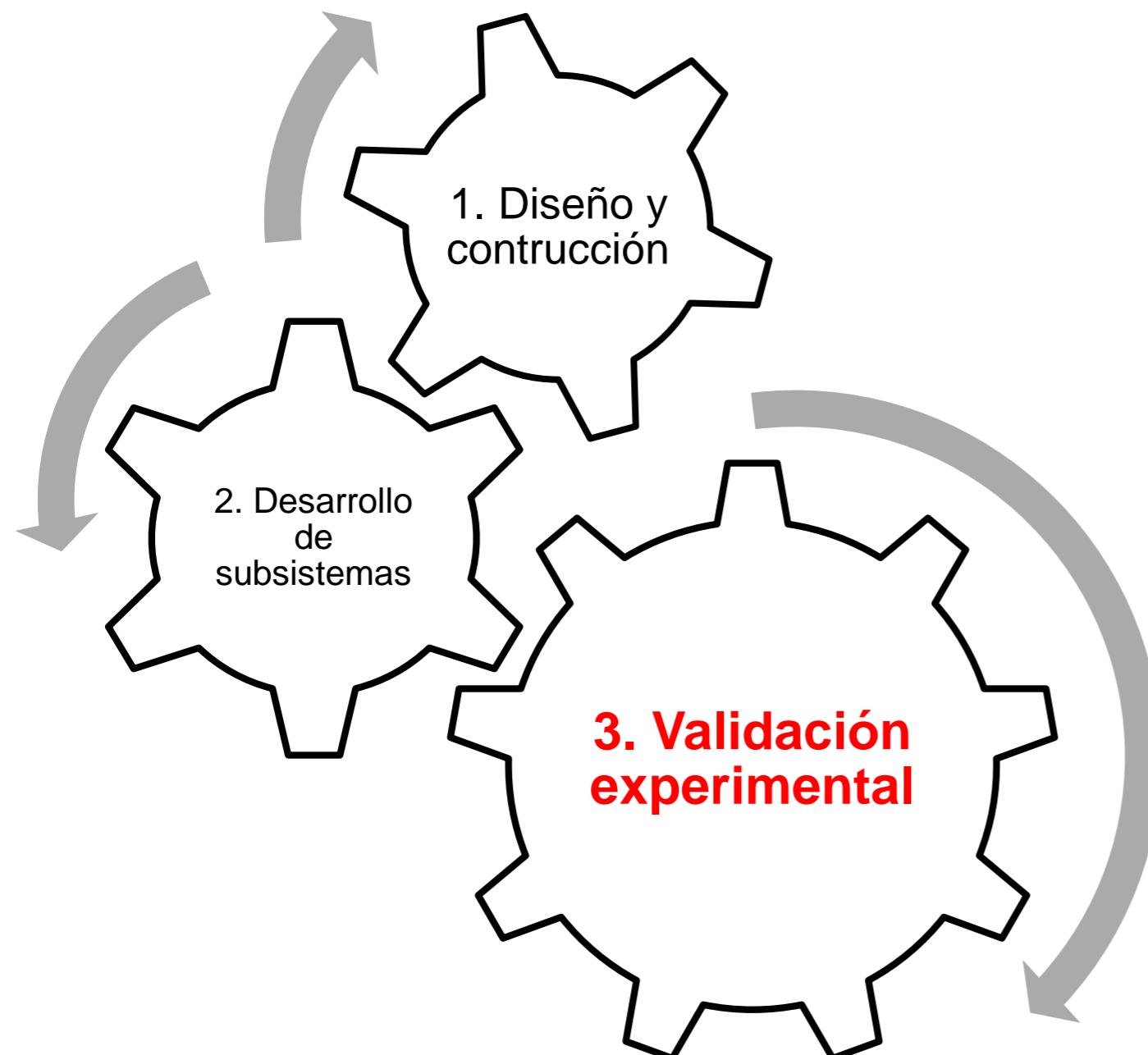
2. Desarrollo de subsistemas



Fig. 6. Diseño en CAD 3D de los diferentes subsistemas.

- Percepción
- Acción
- Comunicación

Metodología



3. Validación experimental

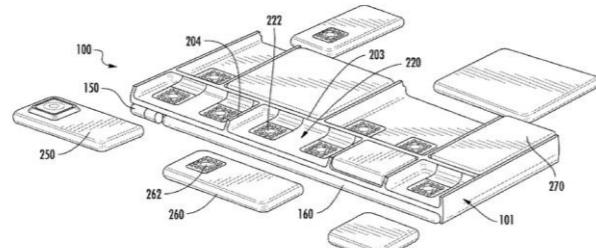
- Florencia, Caquetá
- Cañón del Combeima, Tolima
- Desierto de la Tatacoa, Huila

Desarrollo



Capa mecánica

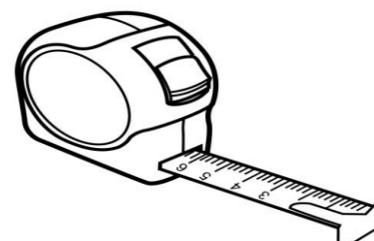
Modular



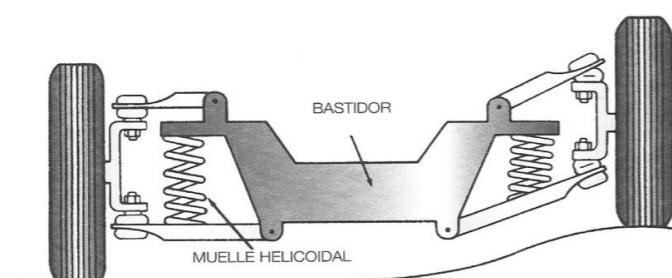
Masa



Tamaño



Sistema de suspensión

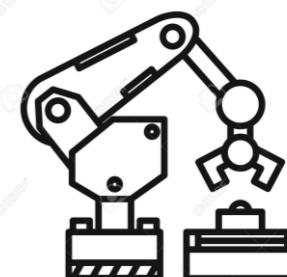


Requerimientos

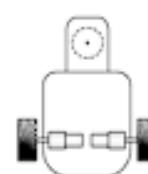
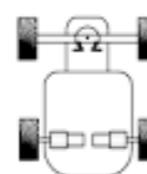
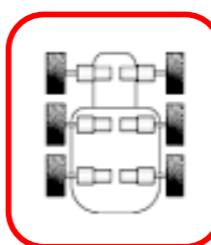
Interfaz de hardware amigable



Actuador de manipulación



Topología / Sistema de tracción



Desarrollo



Capa mecánica



Fig. 7. Diseño 3D de piezas modulares. Fuente: Autores

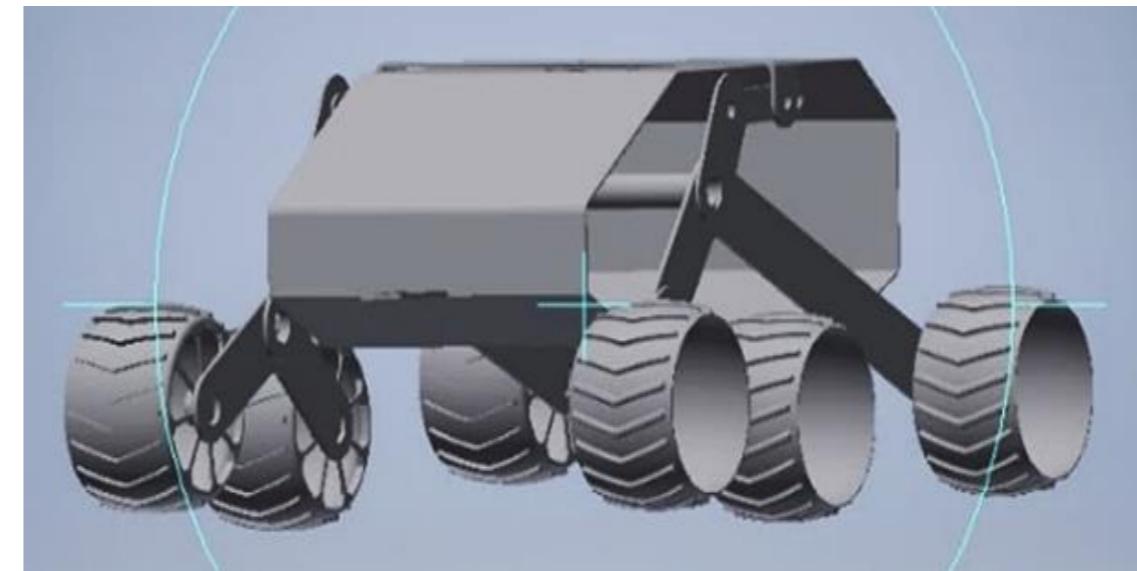


Fig. 8. Diseño de sistemas de tracción y suspensión. Fuente: Autores



Fig. 9. Diseño de interfaz de hardware amigable. Fuente: Autores



Fig. 10. Diseño del elemento manipulador de carga. Fuente: Autores

Desarrollo



Capa electrónica

Requerimientos

Autonomía



Paro de
emergencia



Illuminación



Instrumentación

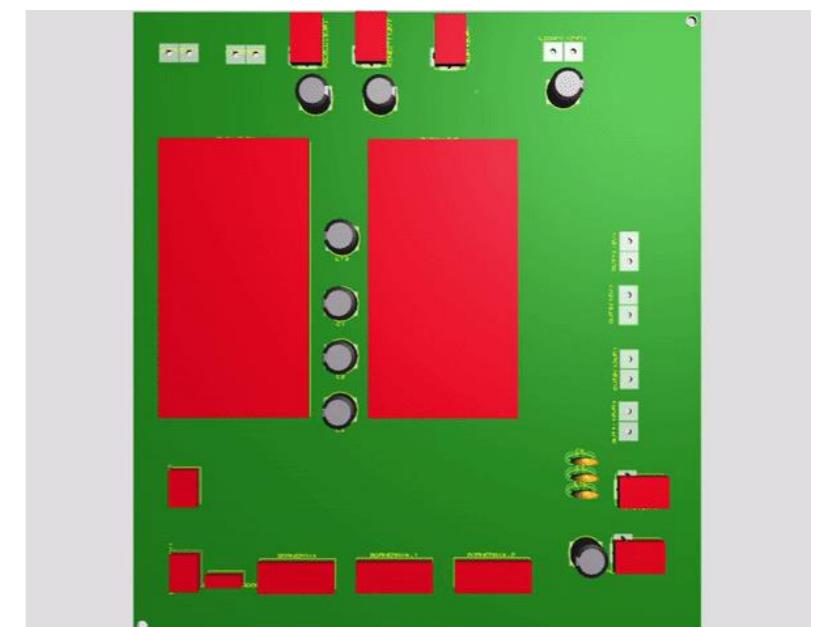
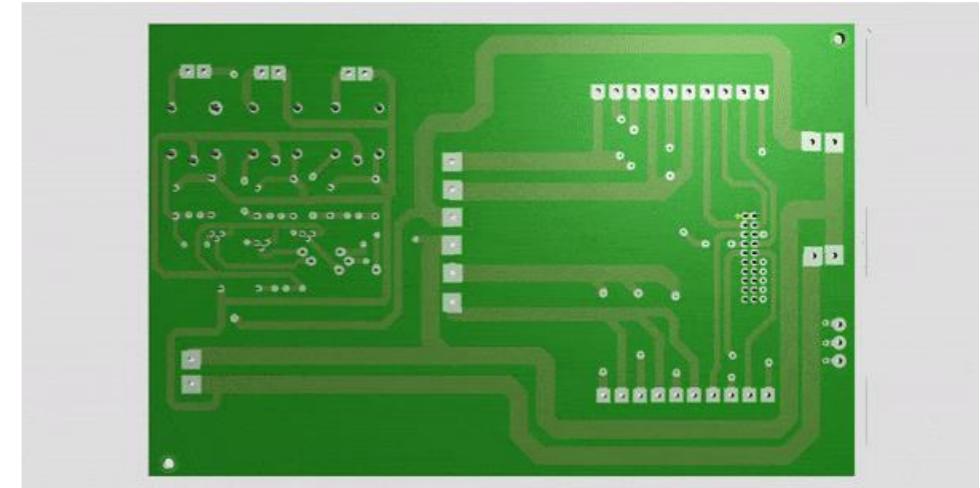


Fig. 11. Diseño de tarjetas electrónicas.
Fuente: Autores



Desarrollo

Capa electrónica

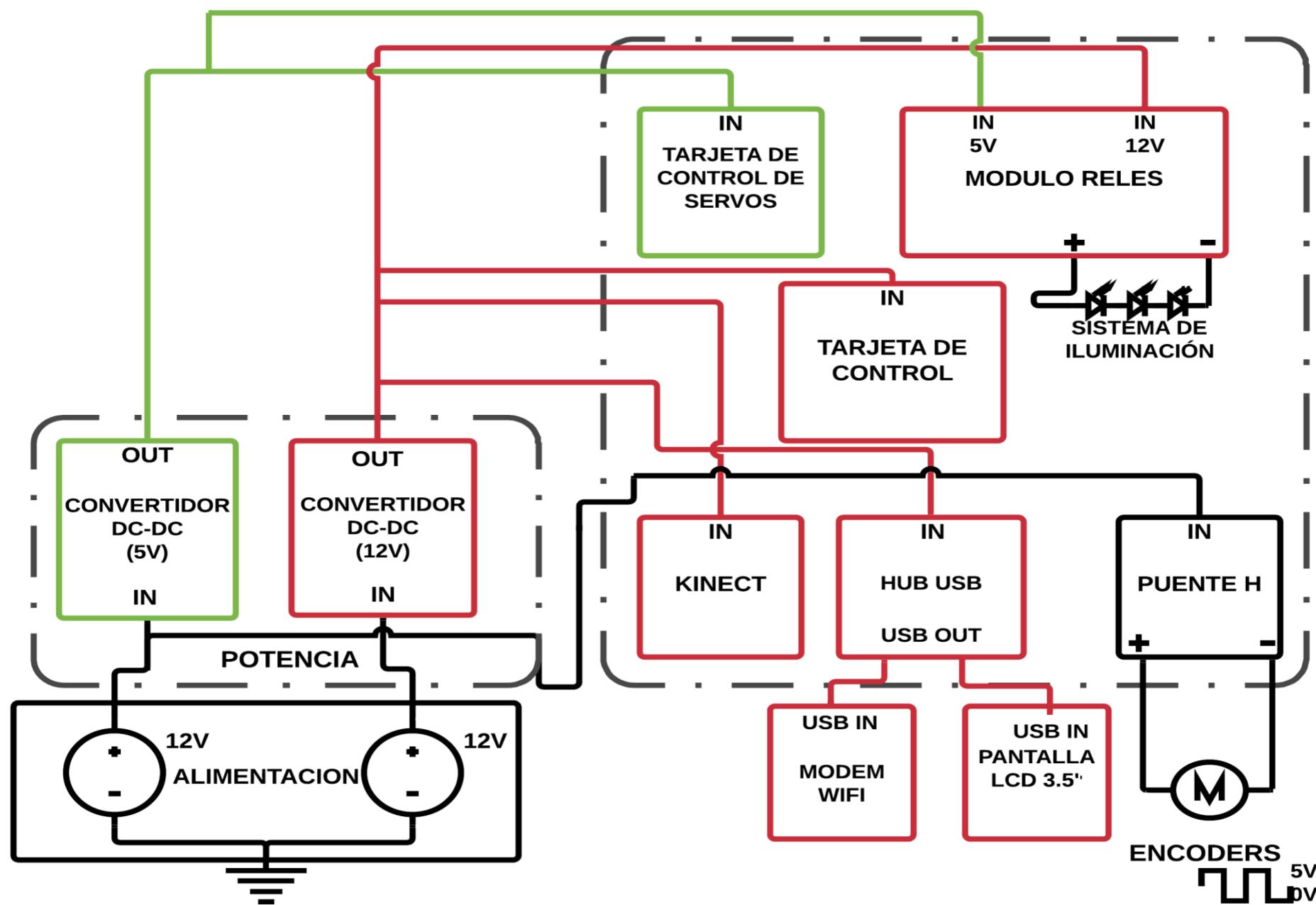
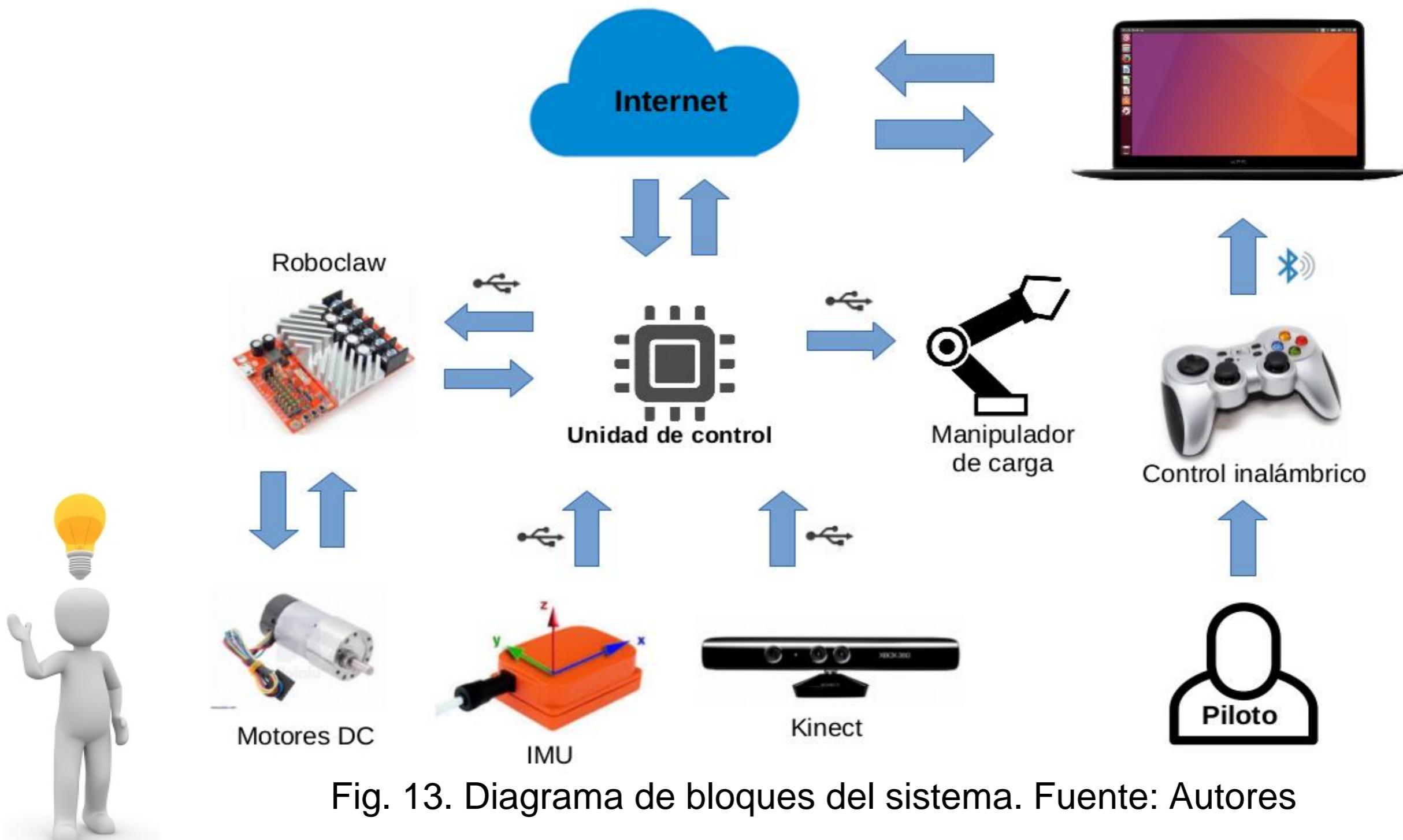


Fig. 12. Diagrama electrónico del sistema. Fuente: Autores

Desarrollo

Capa electrónica

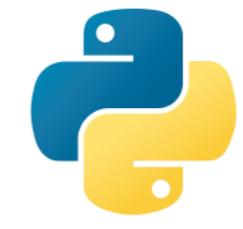


Desarrollo

Capa de software

Requerimientos

Ejecución multitarea



pythonTM

Accesibilidad remota



Control de velocidad



Trazado de trayectoria
recorrida



Elemento de manejo



Desarrollo

💻 Capa de software

Ejecución multitarea

ROS

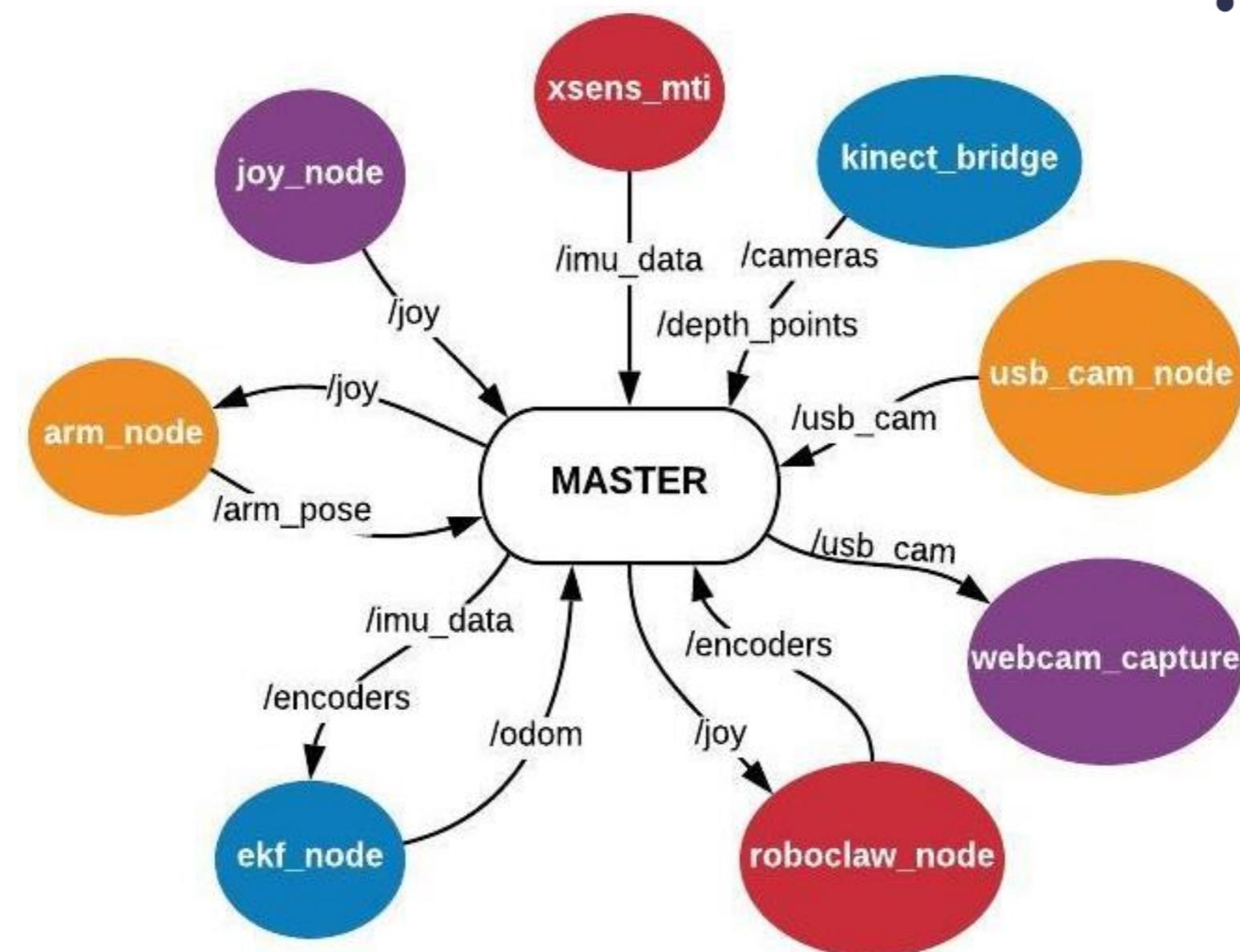
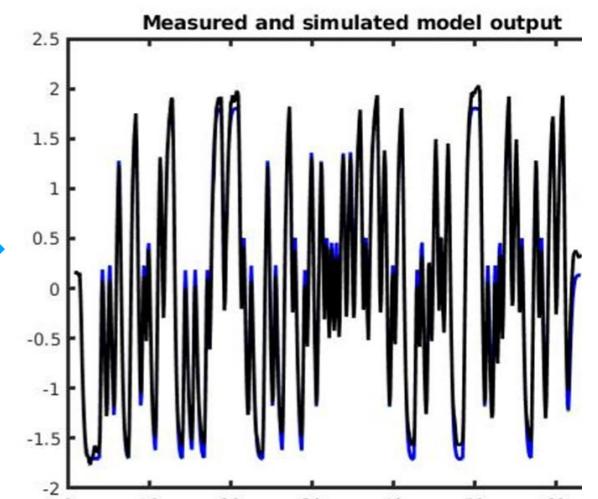
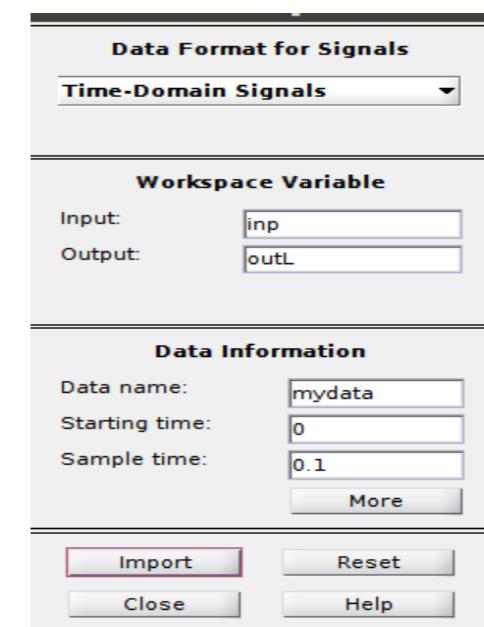
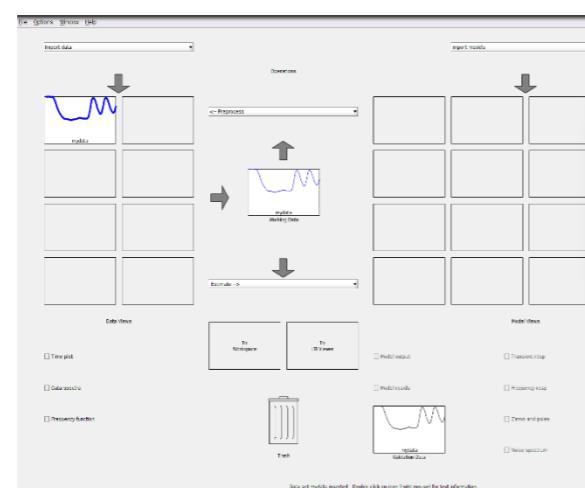
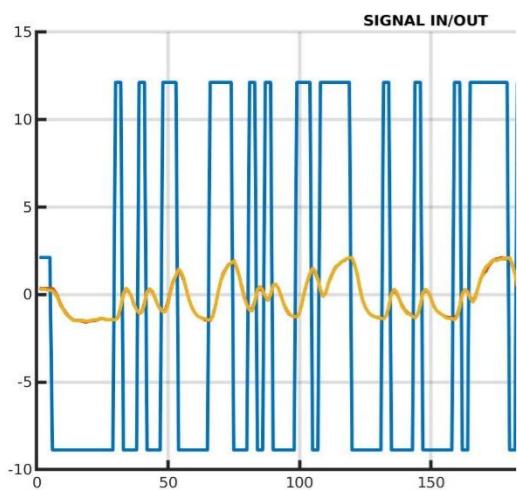
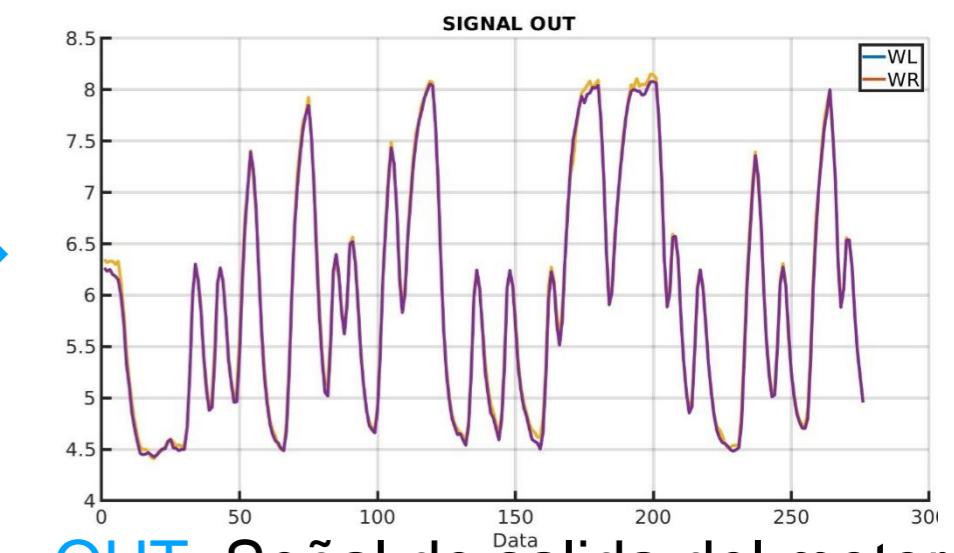
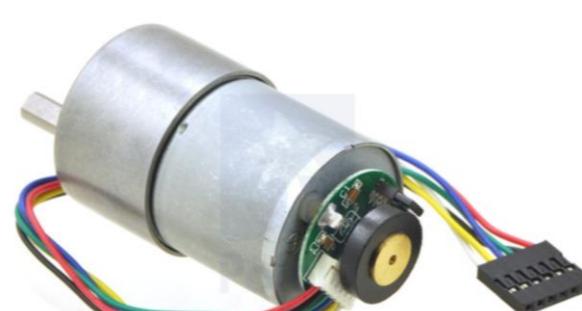
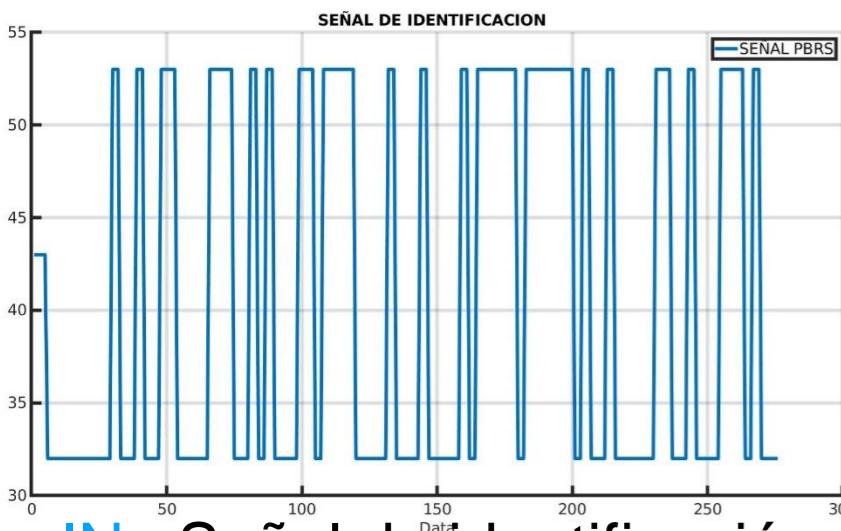


Fig. 14. Mapa de nodos y tópicos del sistema. Fuente: Autores



Desarrollo

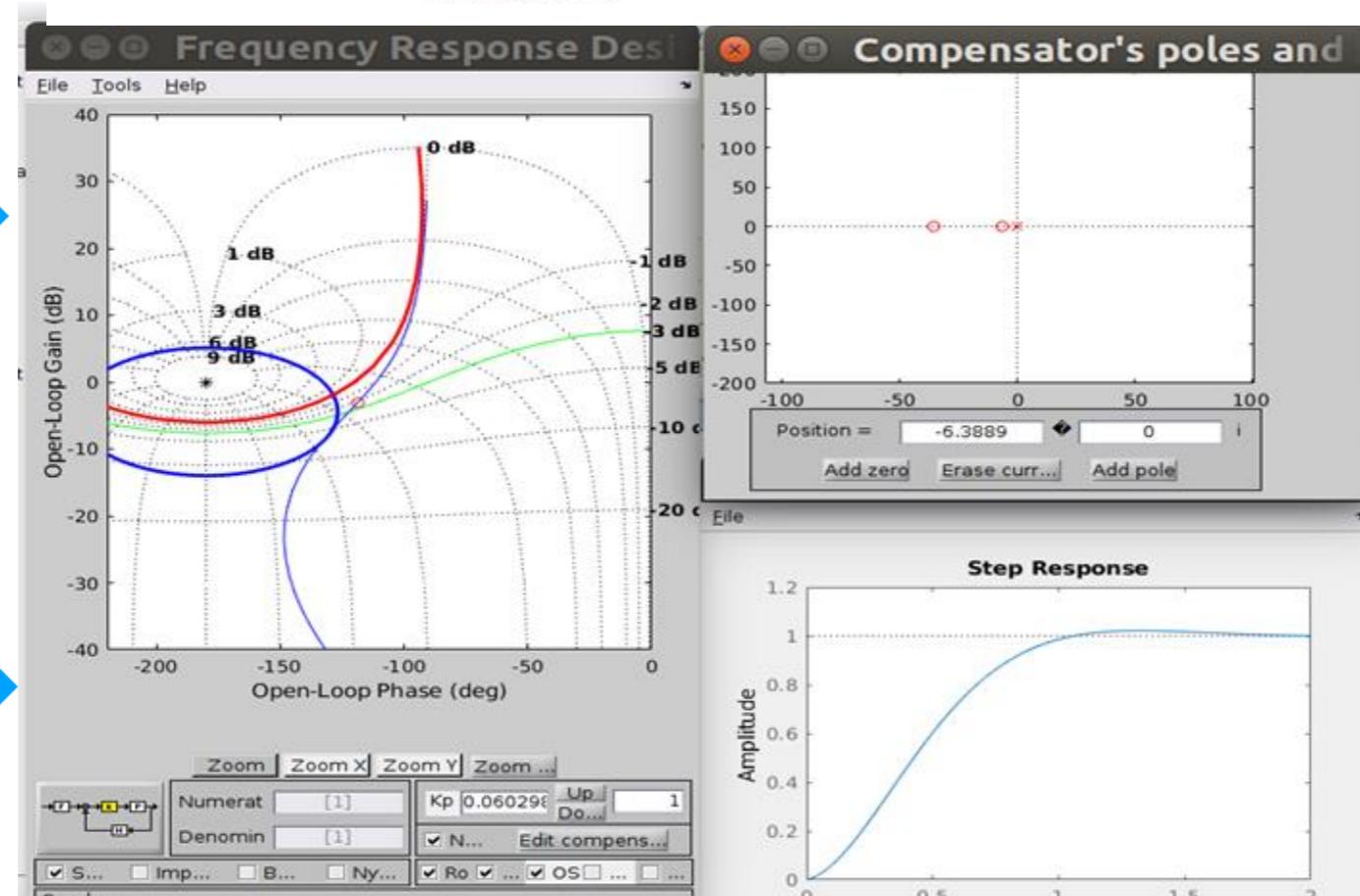
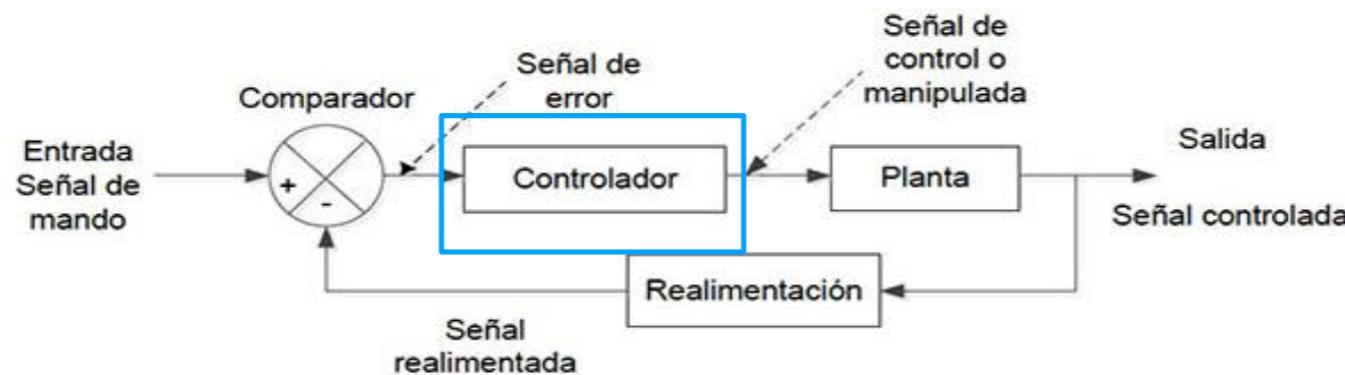
Capa de software





Desarrollo

Capa de software



Modelo estimado
del motor

Diseño de controlador PID con FRtool –
Parámetros $Ro = 0.8$, $Ts = 2 S$, $\%OS = 5\%$.



MATLAB
The Language of Technical Computing

Motor Derecho

$$CRz(s) = \frac{(0.05327 s^2 + 2.305 s + 13.06)}{s}$$

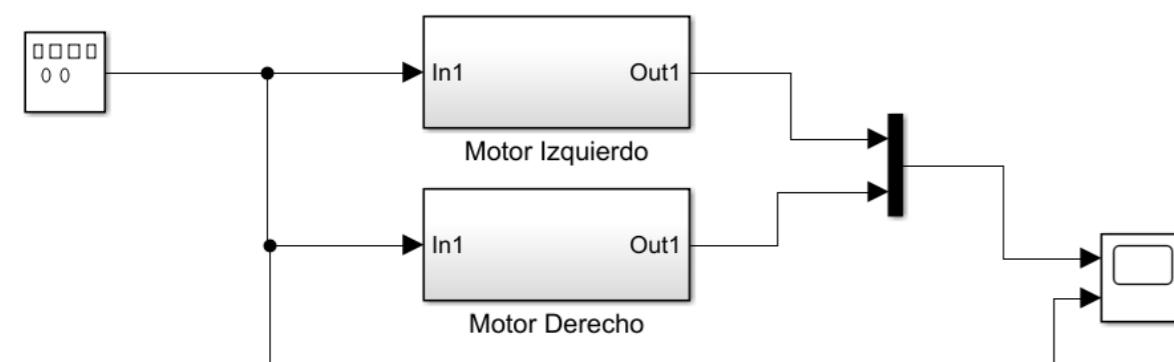
Motor Izquierdo

$$CLz(s) = \frac{(0.3163 s^2 + 6.677 s + 28.65)}{s}$$

FT del controlador
en S

Desarrollo

💻 Capa de software



Implementación de control de velocidad

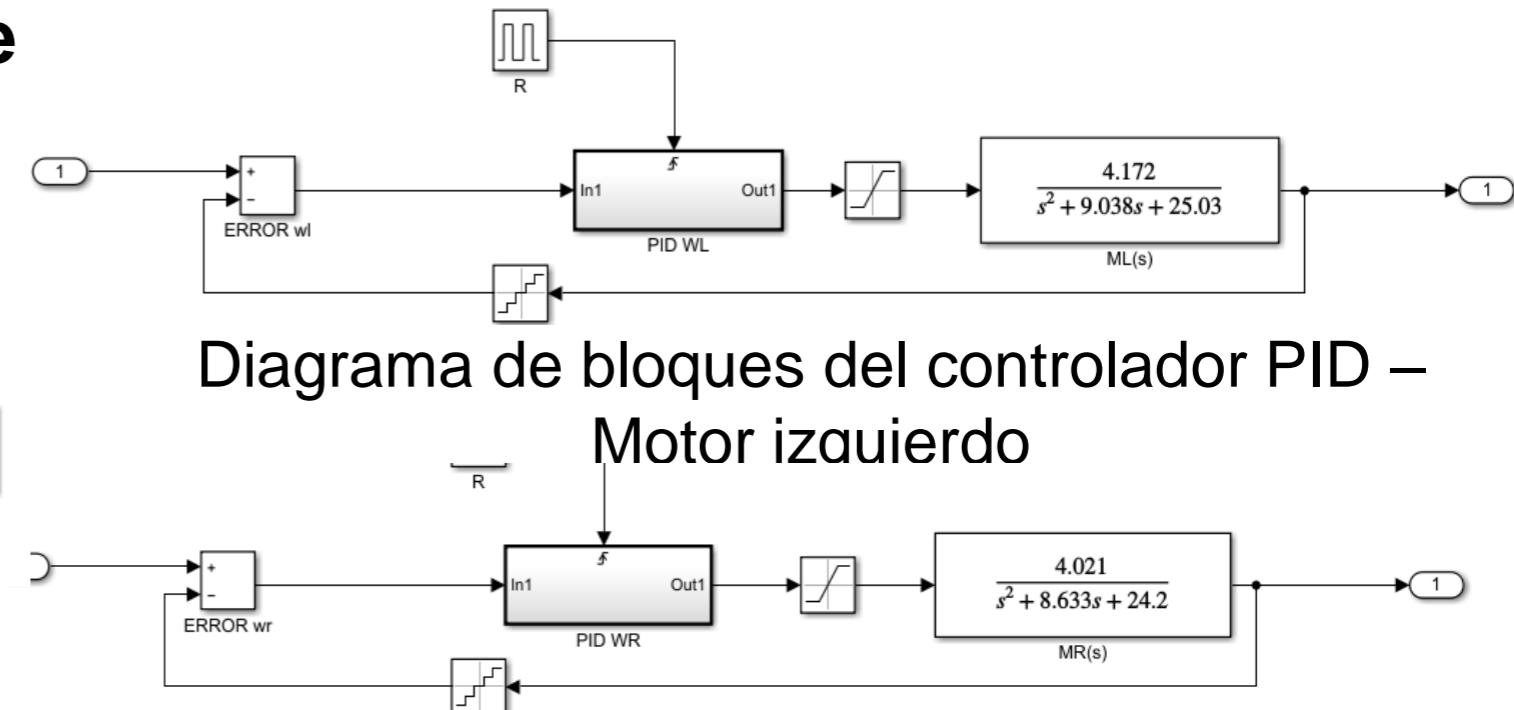
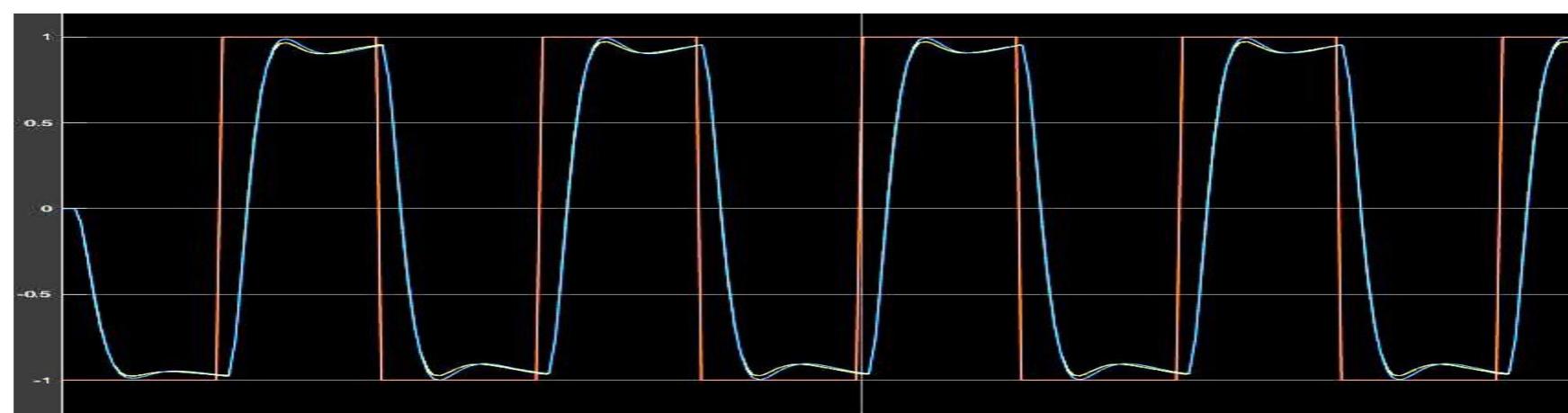


Diagrama de bloques del controlador PID – Motor izquierdo

Diagrama de bloques del controlador PID –Motor izquierdo



Señal de salida simulada

Desarrollo

💻 Capa de software

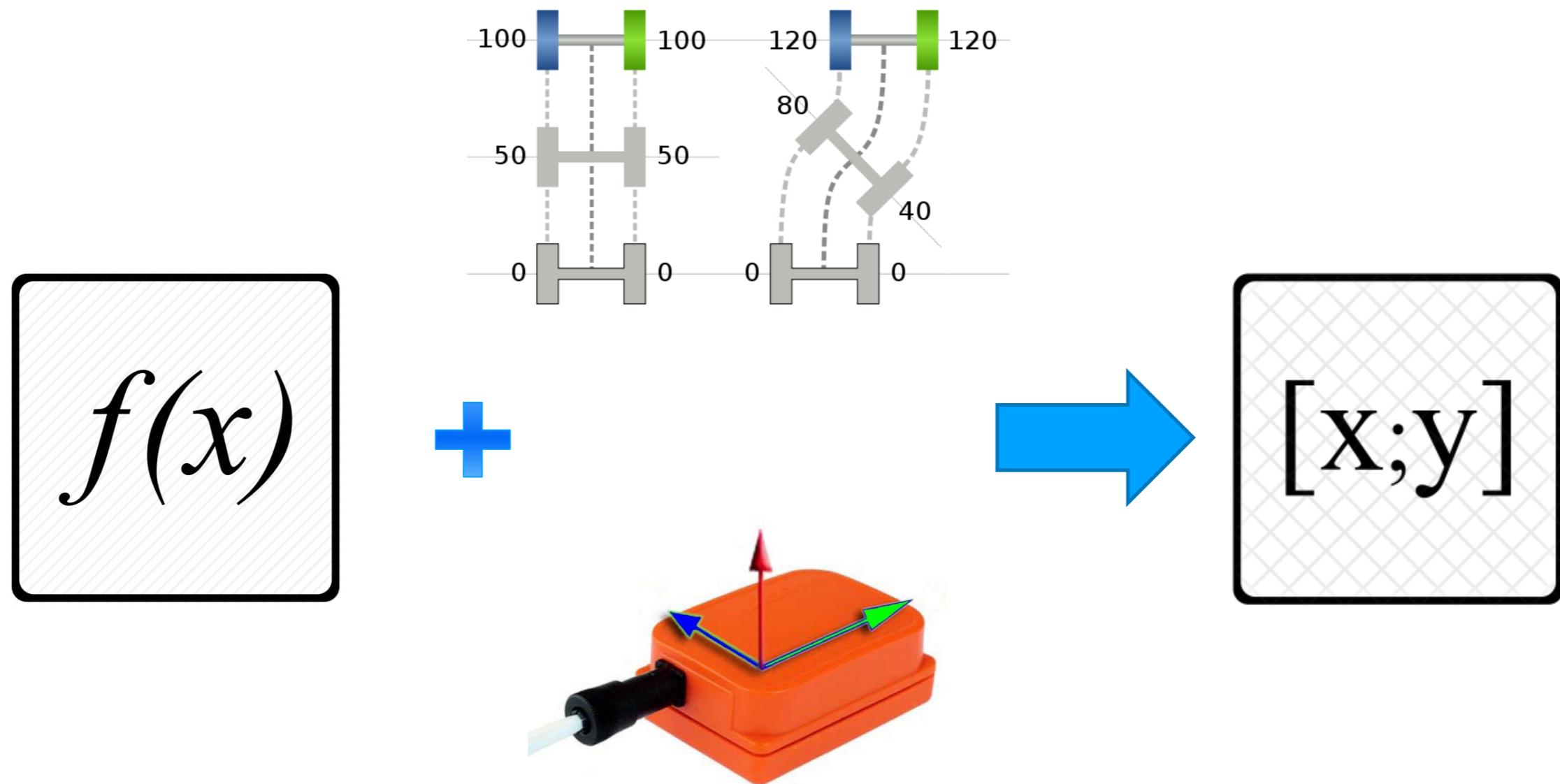


Fig. 18. Elementos para la estimación de trayectoria recorrida.

Fuente: Autores

Desarrollo

Capa de software

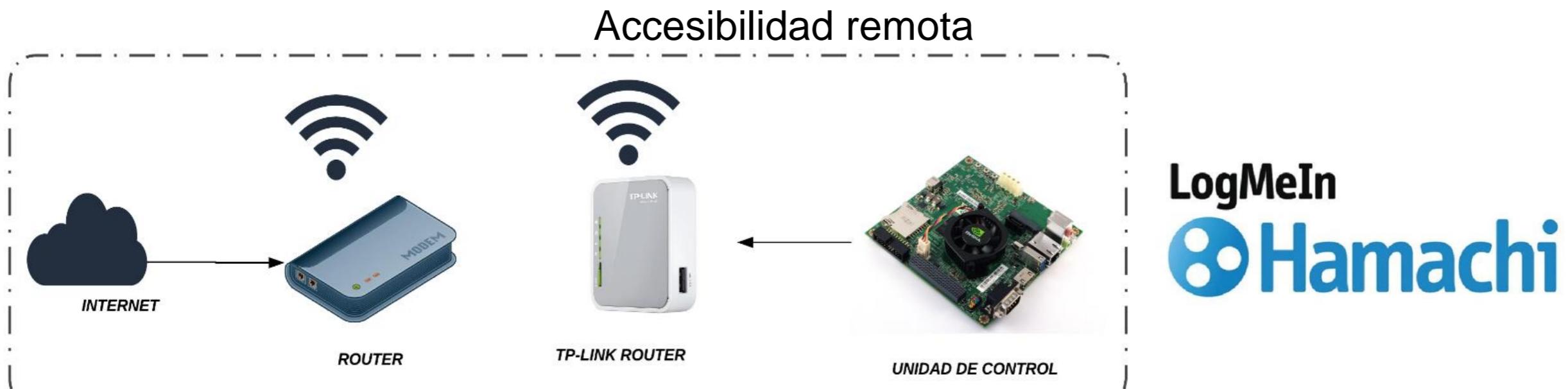


Fig. 19. Diagrama para la conexión remota. Fuente: Autores

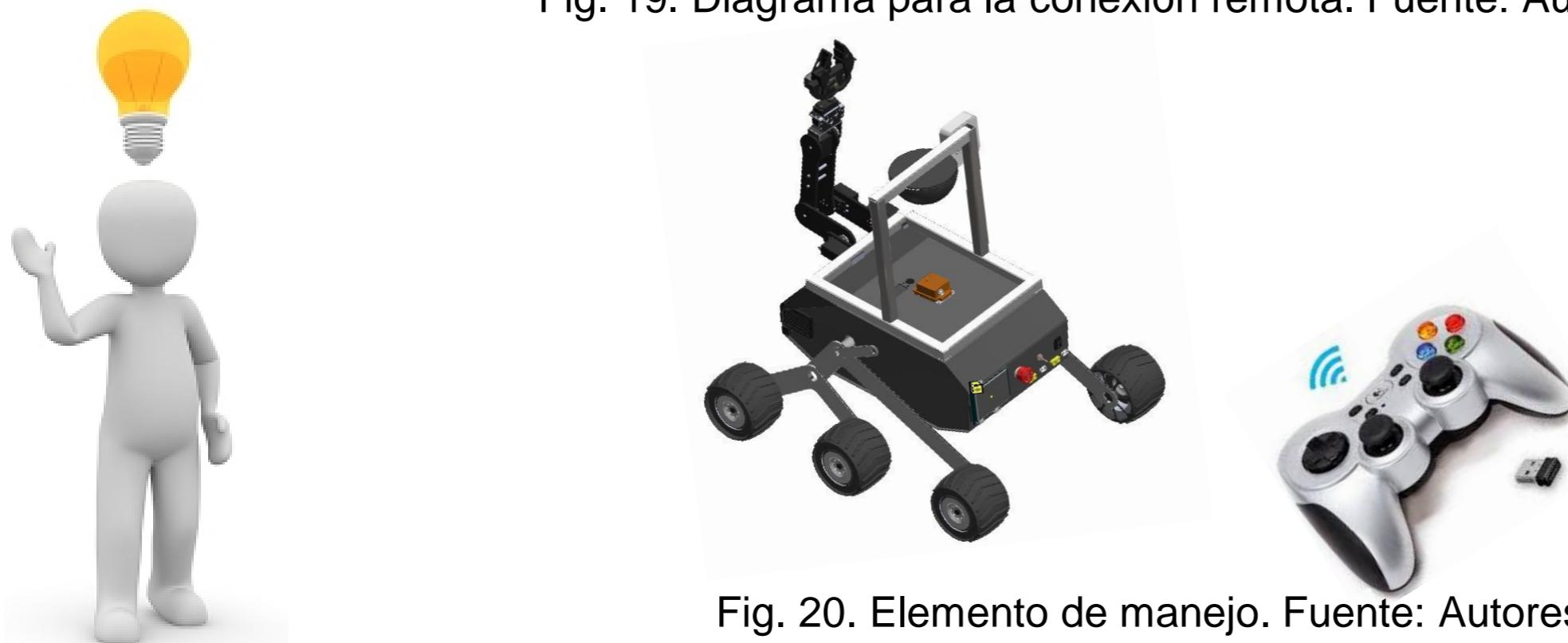
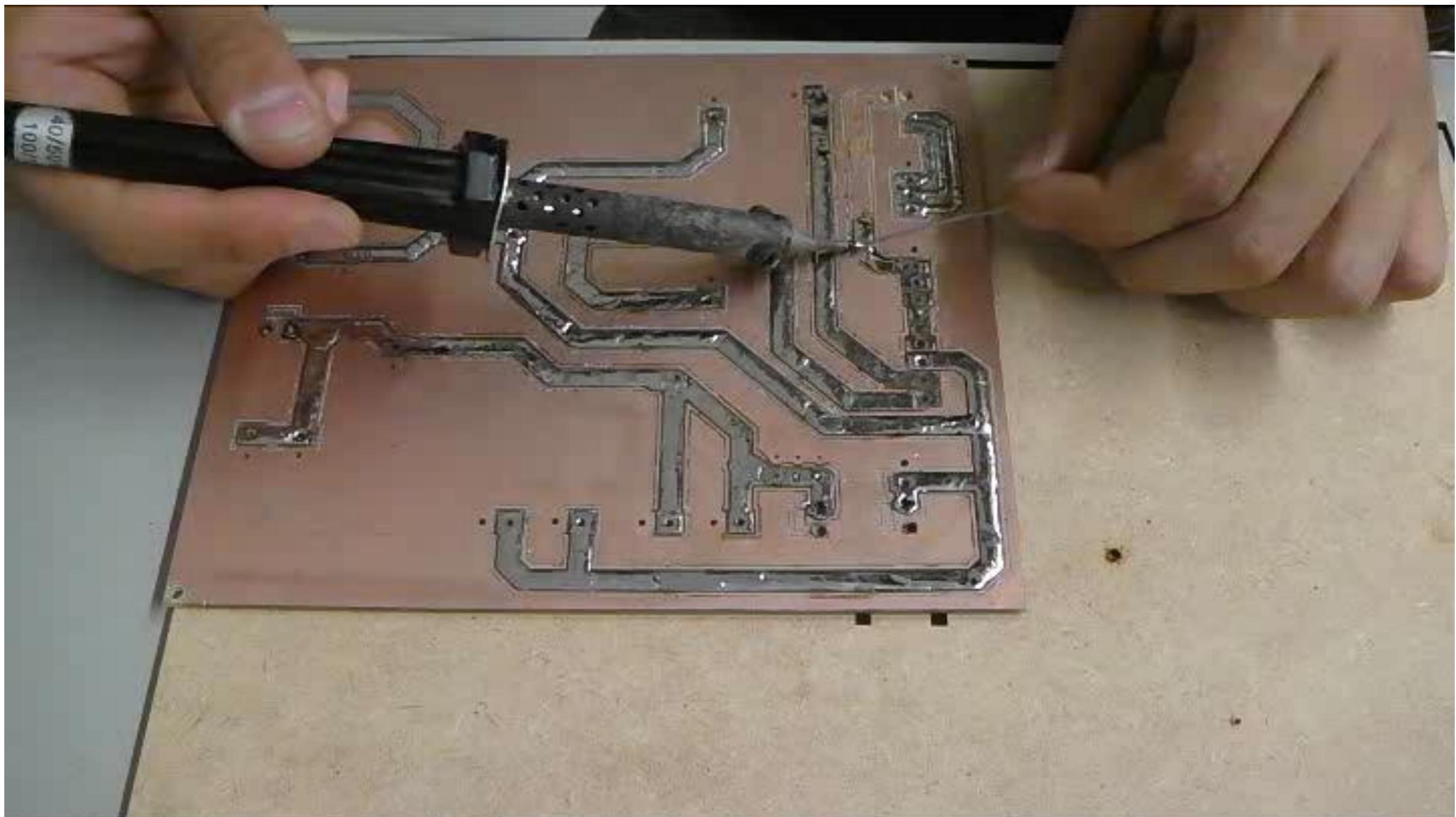


Fig. 20. Elemento de manejo. Fuente: Autores

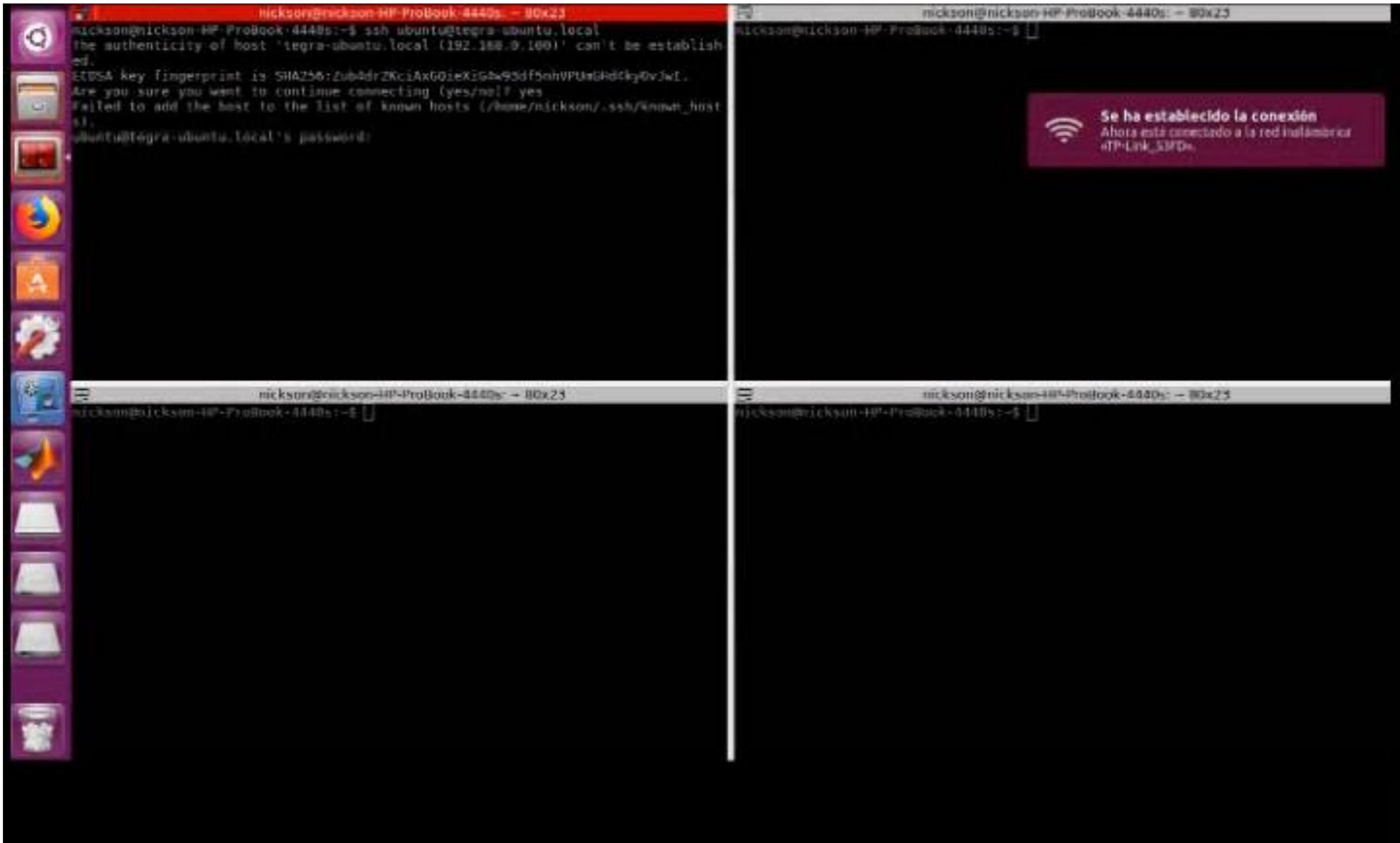
Resultados

Plataforma robótica construida ✓



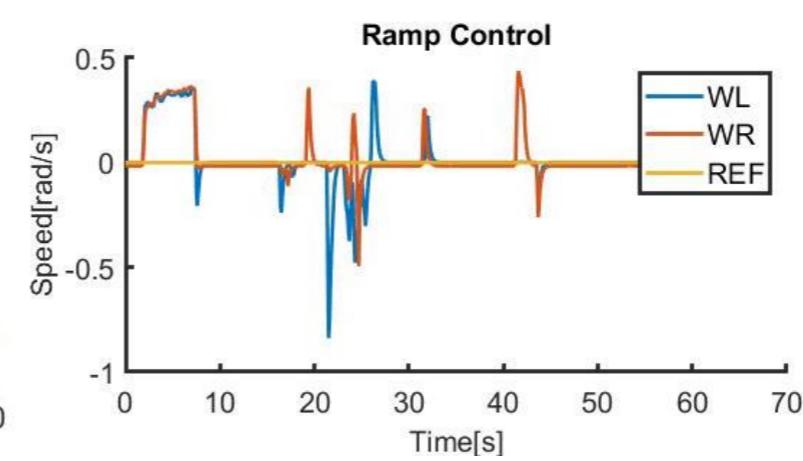
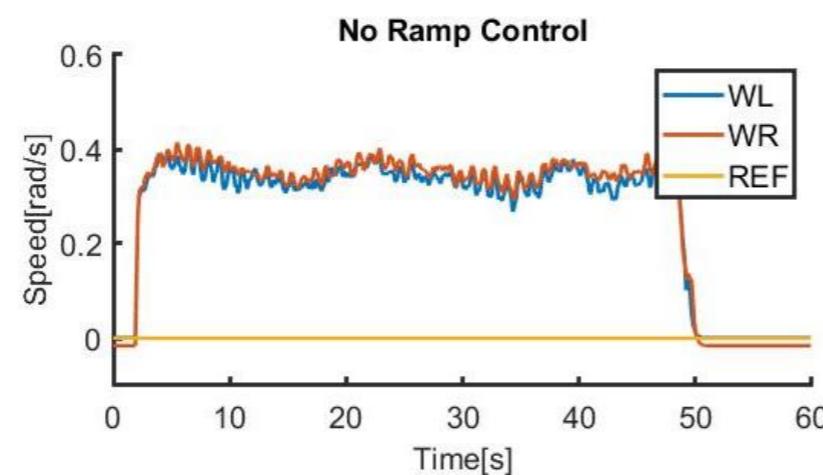
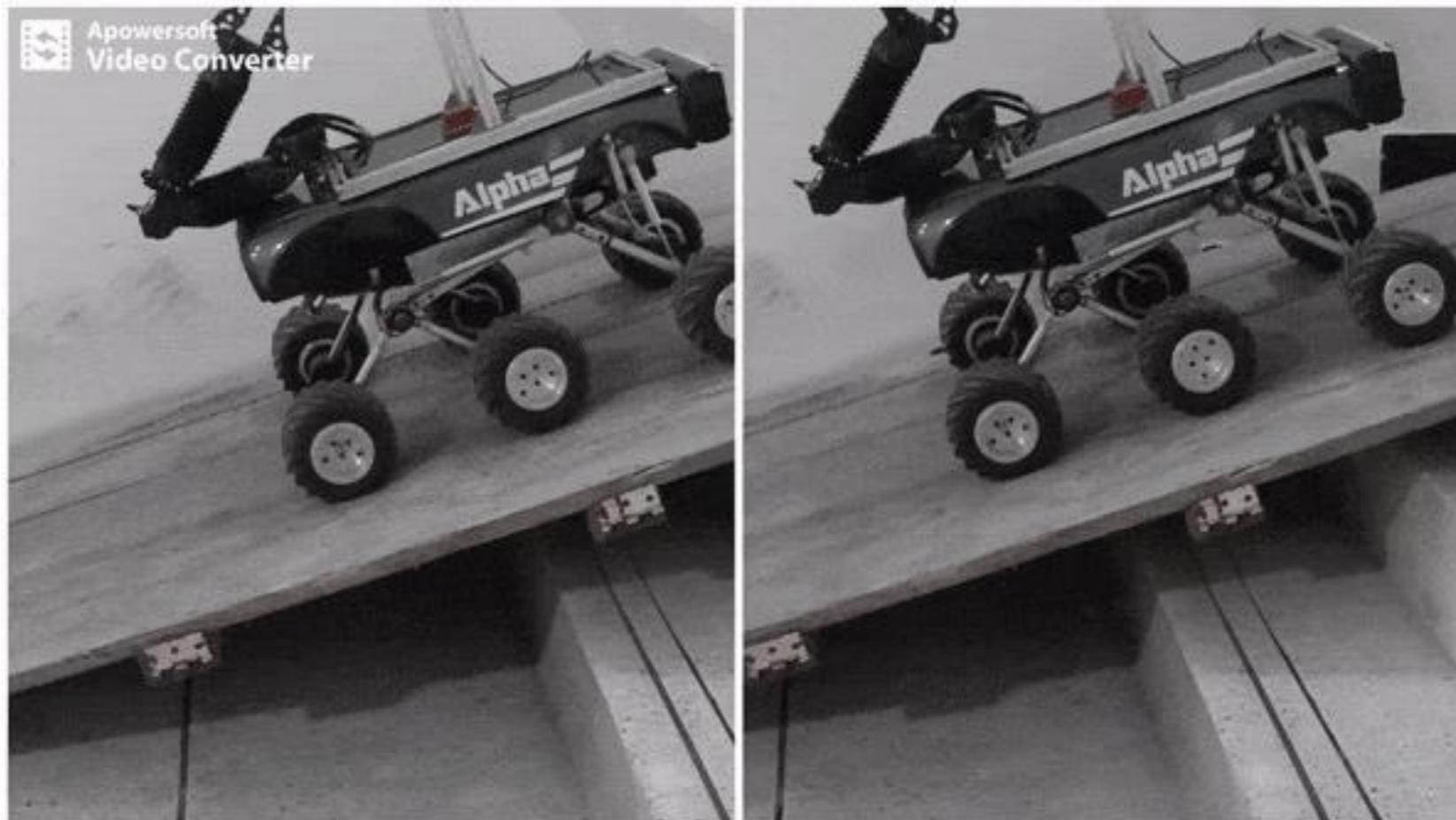
Resultados

Software de percepción, manipulación y comunicación ✓



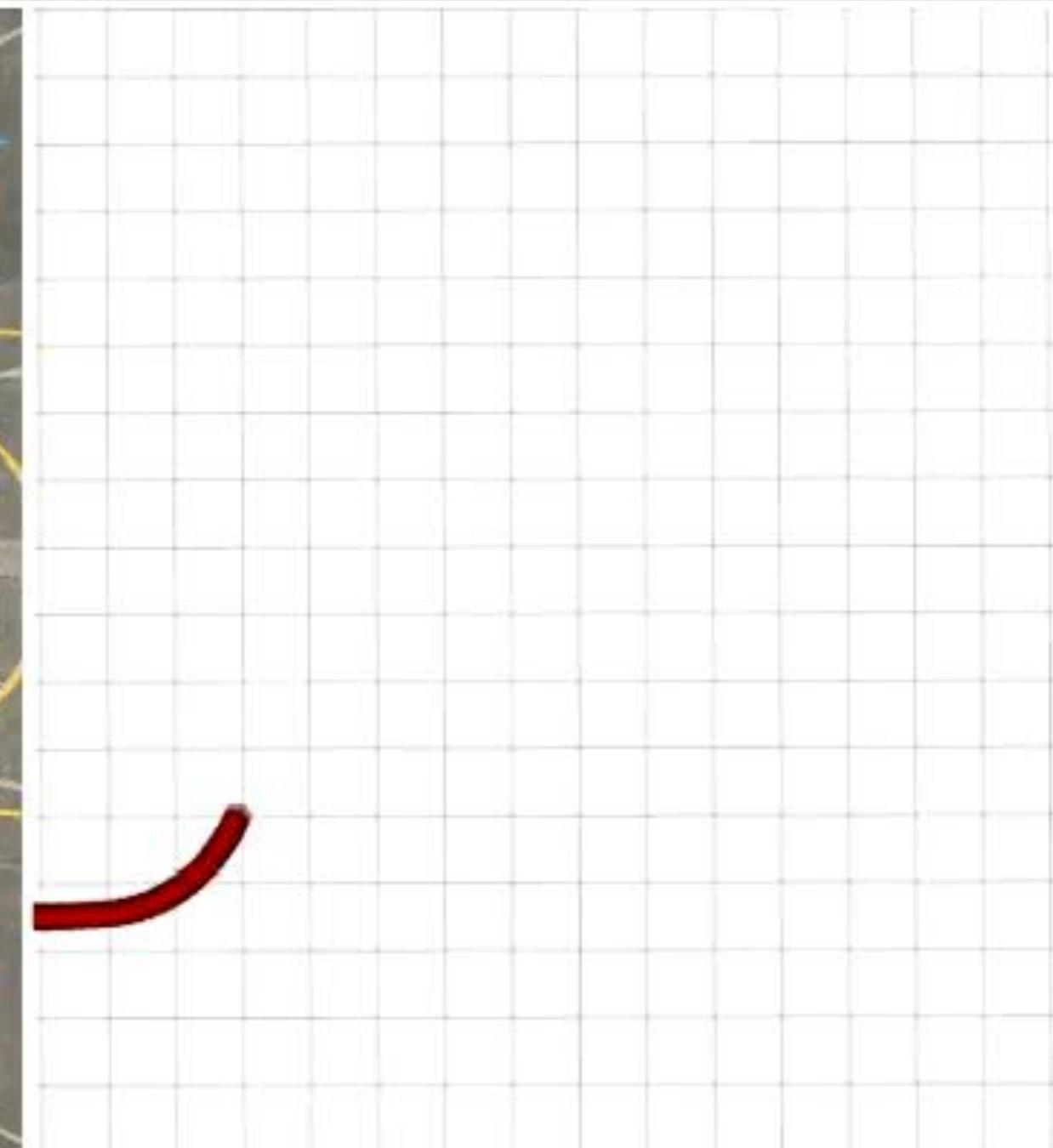
Resultados

X Control de velocidad automático ✓



Resultados

Trazado de trayectoria en tiempo real ✓



Resultados

Plataforma totalmente funcional ✓



Fig. 21. Test Desierto de la Tatacoa. Fuente: Autores



Fig. 22. Test Cañón del Combeima. Fuente: Autores

Conclusiones



- Se diseñó y fabricó un robot móvil en arquitectura rocker bogie de 6 ruedas cumpliendo con todos los requerimientos de diseño expuestos, con la capacidad de navegar por terrenos irregulares y superar los obstáculos o inclinaciones que puedan llegar a presentarse en la ruta.
- Se realizó la integración del hardware y las conexiones necesarias para el correcto funcionamiento del robot, seleccionando e implementando de manera compatible los elementos de las diferentes capas electrónicas.
- Se desarrolló un sistema de software flexible y robusto basado en el sistema empleado profesionalmente para operar robots, *Robotic Operating System ROS*, lo cual proporciona una serie de características que mejoran el desempeño del software, además de la flexibilidad para migrar el código fuente a otras áreas de aplicación.

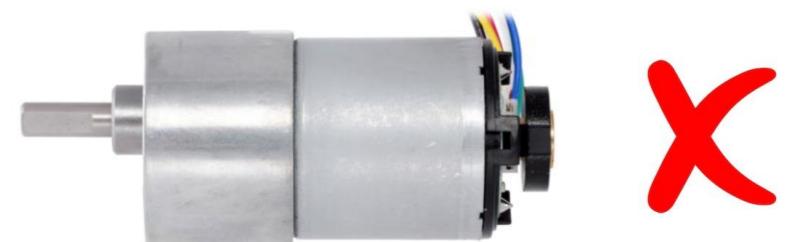
Conclusiones

- Se diseñó e implementó un control digital de velocidad a partir de la lectura de los encoders de las ruedas traseras, permitiendo generar un modo de operación semi-autónomo, así como un algoritmo capaz de estimar la trayectoria recorrida por el robot.
- La unión de todas estas etapas mencionadas, generan como resultado una plataforma totalmente operativa con la posibilidad de ser utilizada en misiones de exploración de entornos o como prototipo de investigación mediante la implementación de los sensores deseados sobre su estructura modular.



Recomendaciones

- Las herramientas que ofrece ROS son muy amplias y potentes, por lo que en futuros proyectos se aconseja dedicarle especial interés a esta área, ya que se pueden llegar a conseguir mejores aplicaciones y resultados.
- Los motores podrían ser sustituidos por unos de mayor gama que presenten mejores características mecánicas.



Referencias

- [1] O. Barrero Mendoza, H. Murcia, and J. Valenciano Claros, “Modeling and parameter estimation of a 4-wheel Mobile Robot,” no. October, pp. 3–8, 2016.
- [2] C. Jiménez Jiménez, “Desarrollo de un sistema de control de un robot móvil,” 2017.
- [3] G. A. S. López and C. A. S. López, “Análisis y Diseño Mecánico de un Robot de Exploración Rocker-Bogie,” *Rev. Teckne*, vol. 9, no. 2, Jul. 2016.
- [4] L. Almeida and J. A. Ochoa, “Diseño y Construcción de un Robot Explorador de Terreno,” 2013.
- [5] O. Barrero, S. Tilaguy, and Y. Nova, “Outdoors Trajectory Tracking Control for a Four Wheel Skid-Steering Vehicle,” 2018.

Aportes

Los aportes destacados de este proyecto son:

- El prototipo del robot explorador, en proceso de obtención de registro de prototipo ante Dirección de Investigaciones de la Universidad de Ibagué.
- El software que permite la manipulación del robot, en proceso de obtención de registro por Dirección Nacional de Derechos de Autor.
- Repositorio de software en GitHub.

Alpha ROVER

A repository for a 6-wheel rocker bogie rover, based on Robotic Operative System ROS and python to control its perception and action systems.

This repository contents:

- Source codes
- Dev scripts

```
/your_root      - path
|--Readme          / Instructions to use the AlphaROVER
|--src              / scripts for the system
|   |--roboclaw_node    /scripts to launch the control of the system
|   |--src
|   |--config
|   |--launch with hierarchical scheme
|   |--nodes
|   |--CMakeLists.txt
|   |--LICENCE.md
|   |--package.xml
|   |--README.md
|   |--arm.py
|   |--maestro.py
|   |--com.py
|   |--control_mode.py
|   |--ipmailer.py
|   |--laser_on.py
|   |--leds_on.py
|   |--lights_off.py
|   |--manual_mode.py
```

Fig. 23. Repositorio GitHub. Fuente: Autores



Desarrollo de un Robot Móvil Terrestre Semi-Autónomo con Acceso Remoto

Ingeniería
Electrónica
SNIES: 20181

Universidad
de Ibagué
FACULTAD DE INGENIERÍA

Aportes



Fig. 24. Mercury Challenge 2018. Fuente: Autores



Fig. 25. Muestra de Proyectos de Electrónica 2019.
Fuente: Autores

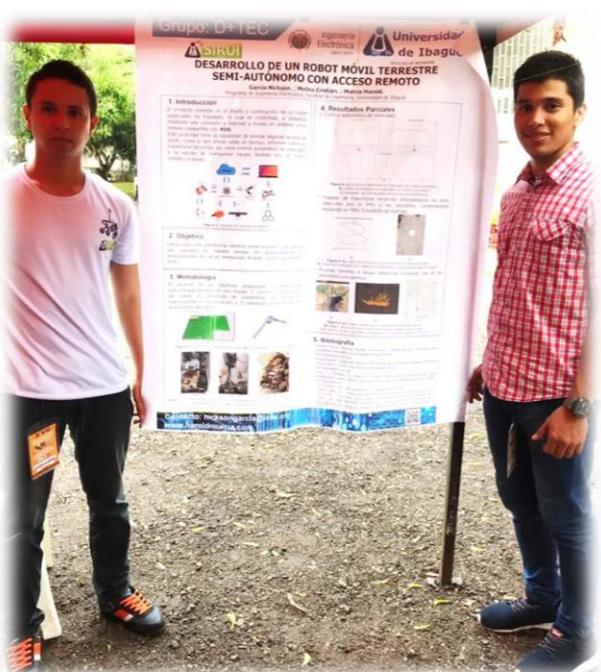


Fig. 26. Encuentro Regional de Semilleros de Investigación Red Colsi nodo Tolima en sus versiones 2018 y 2019.
Fuente: Autores





Desierto de la Tatacoa. Abril 2019

EROS LIMA · BODCASTER · DESIERTO DE LA TATACOA

Muchas Gracias

Preguntas y Respuestas

Comparación de características

Dispositivos / %	Jetson TK1		BeagleBone Blue		Raspberry Pi 3 B	
Alimentación (5%)	12 V	Nota	5 V	Nota	5 V	Nota
		5.0		3.5		3.5
Número Cores (10%)	4	5.0	4	5.0	4	5.0
RAM (10%)	2 GB	4.0	512 MB	2	1 GB	3.5
Memoria (15%)	16 GB	4.5	4GB	3.5	Micro SD	0.0
CPU (10%)	2.32 GHz	5.0	1 GHz	3.0	1.2 GHz	3.5
Dimensiones (5%)	12.7 x 12.7 x2.5 cm	2.0	9.5 x 5.3 x 1.5 cm	4.0	8.6 x 5.6 x 1.7 cm	4.5
GPIOS (15%)	8	4.0	8	4.0	17	5.0
Consumo (5%)	900 mA	5.0	1350 mA	3.5	1400 mA	1.0
Masa (5%)	499 gr	1.0	110 gr	4.0	45 gr	5.0
Costo USD (20%)	\$ 199	3.5	\$148	4.0	\$35	5.0
TOTAL	4.0		3.5		3.6	

Tabla 1. Matriz de selección de la tarjeta de control principal. Fuente: Autores

Comparación de características

Elemento	Precio Unitario USD [\$]	Cantidad	Subtotal USD [\$]
Mecánica			
100:1 Metal Gearmotor 37Dx73L mm with 64 CPR Encoder	. \$39,95	2	\$79.9
100:1 Metal Gearmotor 37Dx57L mm	\$24,95	4	\$99.8
Rin fabricado en aluminio	\$33.33	6	\$200
Soporte fabricado para motores	\$8	6	\$48
Buje fabricado para eje 6mm	\$8	6	\$48
Par de ruedas de goma negra	\$42,96	3	\$128.9
Piezas 3D Rocker Bogie	\$90	4	\$90
Chasis en aluminio	\$10	1	\$10
Armazón o carrocería	\$35	1	\$35
Piezas en metacrilato	\$17	7	\$119
Amortiguadores a gas	\$5	4	\$20
Perfil de Aluminio 20X20 mm - 1 Metro	\$13	2	\$26

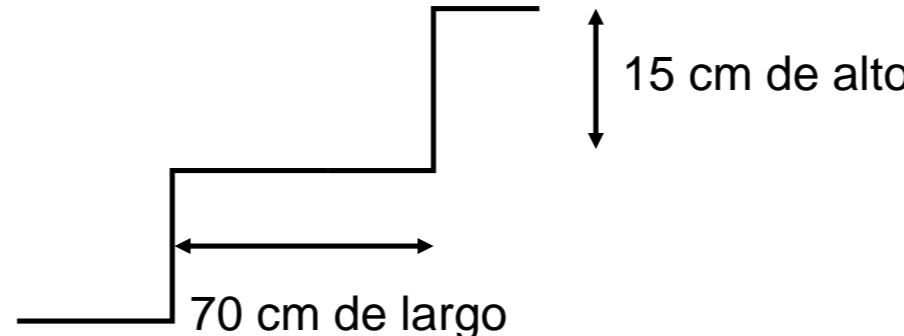
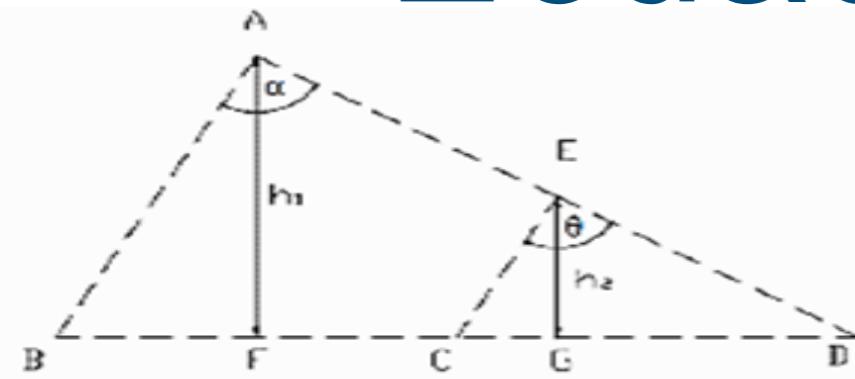
Tabla 2.Tabla de costos de componentes mecánicos . Fuente: Autores

Comparación de características

Electrónica			
Jetson TK1	\$199	1	\$199
RoboClaw 2X15A	\$155	1	\$155
HRB 6000mah 3S 50~100C Lipo Pack	\$75	2	\$150
IMU Xsens MTI-30	\$1500	1	\$1500
Kinect Xbox 360	\$ 25	1	\$25
Cámara Logitech QuickCam Orbit AF	\$100	1	\$100
Router TP-LINK TL-MR3020	\$45	1	\$45
Control Gamepad Logitech f710	\$45	1	\$45
Interruptor codo 3P 40 amp	\$11.99	1	\$11.99
Botón de paro de emergencia	\$10	1	\$10
Hub Usb 7 puertos	\$30	1	\$30
TOTAL			\$3329.98

Tabla 3. Tabla de costos de componentes electrónicos . Fuente: Autores

Ecuaciones de diseño



$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{y}{x} \right)$$



$$BD = 70 \text{ cm} - (7.5 \text{ cm} + 7.5 \text{ cm})$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{15}{70} \right)$$

$$BD = 55 \text{ cm}$$

$$\theta = 12.09^\circ$$

$$\theta = \alpha = 90^\circ$$

$$ABC = 90^\circ$$

$$AB^2 = CA^2 + CB^2$$

$$AB^2 = 2 * CA^2$$

$$AB = (2 * 28^2)^{1/2}$$

$$AB = 37.29 \text{ cm} \approx 40 \text{ cm}$$

$$40^2 = 2CA^2$$

$$CA = CB = 30 \text{ cm}$$

$$ECD = 90^\circ$$

$$CD^2 = EC^2 + ED^2$$

$$CD^2 = 2 * EC^2$$

$$30^2 = 2 * EC^2$$

$$EC = 21 \text{ cm}$$

$$ED = EC = 21 \text{ cm}$$

$$AE = AD - ED = 30 \text{ cm}$$

$$AE = 30 - 21 = 9 \text{ cm}$$

$$h^2 = AB^2 - CB^2$$

$$h = (40^2 - 30^2)^{1/2}$$

$$h = 26,45^1 + R$$

$$h = 26,45 + 7 = 33,4 \text{ cm}$$

Figura . Cálculos para diseño de rocker-bogie

Ecuaciones de diseño

- Velocidad esperada (V): se ha decidido establecerla en $0.8 \frac{m}{s}$
- Aceleración esperada (a): fijada en $0.5 \frac{m}{s^2}$
- Posible pendiente a superar (α): de unos 30°

- Eficiencia de las reductoras:

$$\eta = 0.8$$

- Número de ruedas motrices:

$$n = 6$$

- Radio de ruedas motrices:

$$r = 0.0725m$$

$$w = \frac{Vl}{r}$$

$$w = 11 \frac{\text{rad}}{\text{s}} * \frac{60}{2 * \pi}$$

$$w = 105 \text{ RPM}$$

$$F = \frac{(Mt * g * \sin(\alpha) + Mt * a)}{FS}$$

$$F = \frac{108 \text{ N}}{0.7} = 154 \text{ N}$$

$$T = 0.0725 \text{ m} * 154 \text{ N}$$

$$T = \frac{7.569 \text{ N.m}}{6} = 1.267 \text{ N.m} \approx 1.3 \text{ N.m}$$

$$P = \frac{T * w}{\eta}$$

$$P = \frac{1.8 * \frac{6.8 \text{ rad}}{\text{s}}}{0.8}$$

$$P = 16.1 \text{ W}$$

Figura . Cálculos para selección de motor 100:1

Ecuaciones de diseño

$$P_c = I_c * V_c$$

$$P_c = 0.15 * 5 = 0.75 \text{ W}$$

$$P_J = I_J * V_J$$

$$P_J = 0.8 * 12 = 9.6 \text{ W}$$

$$P_H = I_H * V_H$$

$$P_H = 0.6 * 12 = 7.2 \text{ W}$$

$$P_{RW} = I_{RW} * V_{RW}$$

$$P_{RW} = 6 * 12 = 72 \text{ W}$$

$$P_{BATT} = \frac{P_c}{\eta_{dec-dec}} + P_J + P_H = 17.58 \text{ W}$$

$$I_{BATT} = \frac{P_{BATT}}{12} = 1.46 \text{ A}$$

$$C_{Ah} = \frac{I_{BATT} * A}{FS} = 6.2 \text{ AH}$$

$$P_c = I_c * V_c$$

$$P_c = 0.15 * 5 = 0.75 \text{ W}$$

Figura . Cálculos para la capacidad en Ah de la batería