

Introducción a la robótica móvil

Gonzalo Perez Paina – Diego Gonzalez Dondo



Centro de Investigación en
Informática para la Ingeniería



**X Congreso de Matemática
Aplicada, Computacional e
Industrial**

12 al 15 de Mayo



Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Córdoba

Locomoción de robots móviles

Un robot móvil necesita formas de locomoción que le permita moverse de forma ilimitada en todo su entorno de trabajo.

- ▶ ¿Qué mecanismos de locomoción conoce?

Locomoción de robots móviles

Un robot móvil necesita formas de locomoción que le permita moverse de forma ilimitada en todo su entorno de trabajo.

- ▶ ¿Qué mecanismos de locomoción conoce? caminar, saltar, correr, deslizarse, patinar, nadar, volar y, por supuesto, rodar.

Locomoción de robots móviles

Un robot móvil necesita formas de locomoción que le permita moverse de forma ilimitada en todo su entorno de trabajo.

- ▶ ¿Qué mecanismos de locomoción conoce? caminar, saltar, correr, deslizarse, patinar, nadar, volar y, por supuesto, rodar.
- ▶ La mayoría de estos mecanismos de locomoción se han inspirado en sus contrapartes biológicas.
- ▶ Hay una excepción: la rueda con motor activo.
Es una invención humana que logra una eficiencia extremadamente alta en terreno plano.

Locomoción de robots móviles

Type of motion	Resistance to motion	Basic kinematics of motion
Flow in a Channel	Hydrodynamic forces	Eddies
Crawl	Friction forces	Longitudinal vibration
Sliding	Friction forces	Transverse vibration
Running	Loss of kinetic energy	Periodic bouncing on a spring
Walking	Loss of kinetic energy	Rolling of a polygon (see figure 2.2)

Figura: Locomotion mechanisms used in biological systems.
(Figure 2.1 – “Introduction to Autonomous Mobile Robots” 2nd Ed.)

Robots móviles con ruedas

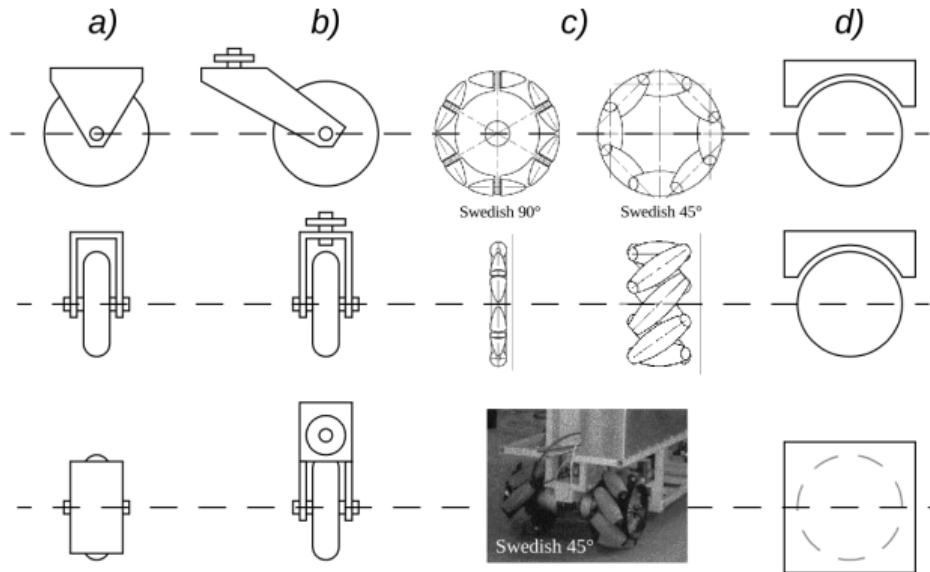


Figure 2.25

The four basic wheel types. (a) **Standard wheel**: two degrees of freedom; rotation around the (motorized) wheel axle and the contact point. (b) **castor wheel**: two degrees of freedom; rotation around an offset steering joint. (c) **Swedish wheel**: three degrees of freedom; rotation around the (motorized) wheel axle, around the rollers, and around the contact point. (d) **Ball or spherical wheel**: realization technically difficult.

Robots móviles con ruedas

Icons for the each wheel type are as follows:

	unpowered omnidirectional wheel (spherical, castor, Swedish)
	motorized Swedish wheel (Stanford wheel)
	unpowered standard wheel
	motorized standard wheel
	motorized and steered castor wheel
	steered standard wheel
	connected wheels

Cuadro: Wheel configurations for rolling vehicles.
(Table 2.1 – ItAMR 2nd Ed.)

# of wheels	Arrangement	Description	Typical examples
2		One steering wheel in the front, one traction wheel in the rear	Bicycle, motorcycle
		Two-wheel differential drive with the center of mass (COM) below the axle	Cye personal robot
3		Two-wheel centered differential drive with a third point of contact	Nomad Scout, smartRob EPFL
		Two independently driven wheels in the rear/front, one unpowered omnidirectional wheel in the front/rear	Many indoor robots, including the EPFL robots Pygmalion and Alice
		Two connected traction wheels (differential) in rear, one steered free wheel in front	Piaggio minitucks
		Two free wheels in rear, one steered traction wheel in front	Neptune (Carnegie Mellon University), Hero-1
		Three motorized Swedish or spherical wheels arranged in a triangle; omnidirectional movement is possible	Stanford wheel, Tribolo EPFL, Palm Pilot Robot Kit (CMU)
		Three synchronously motorized and steered wheels; the orientation is not controllable	"Synchro drive" Denning MRV-2, Georgia Institute of Technology, i-Robot B24, Nomad 200

Robots móviles con ruedas

Icons for the each wheel type are as follows:

	unpowered omnidirectional wheel (spherical, castor, Swedish)
	motorized Swedish wheel (Stanford wheel)
	unpowered standard wheel
	motorized standard wheel
	motorized and steered castor wheel
	steered standard wheel
	connected wheels

Cuadro: Wheel configurations for rolling vehicles.
(Table 2.1 – ItAMR 2nd Ed.)

# of wheels	Arrangement	Description	Typical examples
4		Two motorized wheels in the rear, two steered wheels in the front; steering has to be different for the two wheels to avoid slipping/skidding.	Car with rear-wheel drive
		Two motorized and steered wheels in the front, two free wheels in the rear; steering has to be different for the two wheels to avoid slipping/skidding.	Car with front-wheel drive
		Four steered and motorized wheels	Four-wheel drive, four-wheel steering Hyperion (CMU)
		Two traction wheels (differential) in rear/front, two omnidirectional wheels in the front/rear	Charlie (DMT-EPFL)
		Four omnidirectional wheels	Carnegie Mellon Uranus
		Two-wheel differential drive with two additional points of contact	EPFL Khepera, Hyperbot Chip
		Four motorized and steered castor wheels	Nomad XR4000

Sensores para robots móviles

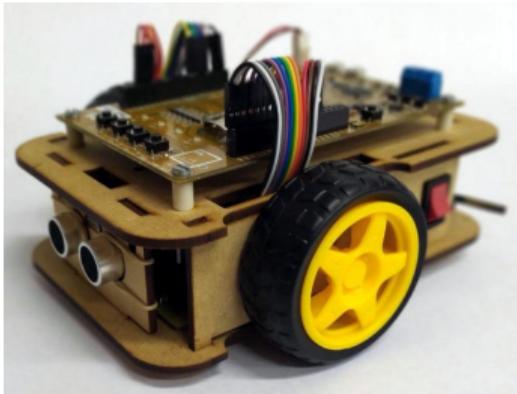
- ▶ Un robot móvil necesita adquirir algún conocimiento sobre su entorno de trabajo (extraer información relevante)
- ▶ Utilizan mediciones de los sensores que generalmente se encuentran a bordo del robot

Sensores para robots móviles

- ▶ Un robot móvil necesita adquirir algún conocimiento sobre su entorno de trabajo (extraer información relevante)
- ▶ Utilizan mediciones de los sensores que generalmente se encuentran a bordo del robot

Clasificación de sensores

1. Propioceptivos vs. exteroceptivos
2. Activos vs. pasivos



Clasificación de sensores

Propioceptivos: Miden valores internos del sistema (robot).

Ejemplos: velocidad del motor, carga de la rueda, ángulo de articulación, voltaje de batería, etc.



Clasificación de sensores

Propioceptivos: Miden valores internos del sistema (robot).

Ejemplos: velocidad del motor, carga de la rueda, ángulo de articulación, voltaje de batería, etc.

Exteroceptivos: Adquieren información del entorno del robot.

Ejemplos: medición de distancia, intensidad de luz, nivel de sonido, etc. Es necesario que estas mediciones sean interpretadas por el robot.



Clasificación de sensores

Pasivos: Miden la energía emitida por el entorno.

Ejemplos: micrófono, cámaras (CCD, CMOS), etc.



Clasificación de sensores

Pasivos: Miden la energía emitida por el entorno.

Ejemplos: micrófono, cámaras (CCD, CMOS), etc.

Activos: Emiten energía y miden la interacción de la misma con el entorno.

Ejemplos: escaner de barrido láser, ultrasonido, etc.



Clasificación de sensores (cont.)

General classification (typical use)	Sensor Sensor System	PC or EC	A or P
Tactile sensors (detection of physical contact or closeness; security switches)	Contact switches, bumpers Optical barriers Noncontact proximity sensors	EC EC EC	P A A
Wheel/motor sensors (wheel/motor speed and position)	Brush encoders Potentiometers Synchros, resolvers Optical encoders Magnetic encoders Inductive encoders Capacitive encoders	PC PC PC PC PC PC PC	P P A A A A A
Heading sensors (orientation of the robot in relation to a fixed reference frame)	Compass Gyroscopes Inclinometers	EC PC EC	P P A/P
Acceleration sensor	Accelerometer	PC	P

Figura: Classification of sensors used in mobile robotics applications.
(Table 4.1 – ItAMR 2nd Ed.)

Clasificación de sensores (cont.)

Ground beacons (localization in a fixed reference frame)	GPS Active optical or RF beacons Active ultrasonic beacons Reflective beacons	EC EC EC EC	A A A A
Active ranging (reflectivity, time-of-flight, and geometric triangulation)	Reflectivity sensors Ultrasonic sensor Laser rangefinder Optical triangulation (1D) Structured light (2D)	EC EC EC EC EC	A A A A A
Motion/speed sensors (speed relative to fixed or moving objects)	Doppler radar Doppler sound	EC EC	A A
Vision sensors (visual ranging, whole-image analysis, segmentation, object recognition)	CCD/CMOS camera(s) Visual ranging packages Object tracking packages	EC	P

A, active; P, passive; P/A, passive/active; PC, proprioceptive; EC, exteroceptive.

Figura: Classification of sensors used in mobile robotics applications (cont).
(Table 4.1 – ItAMR 2nd Ed.)

Robot móvil de Arquitectura Abierta– RoMAA-II

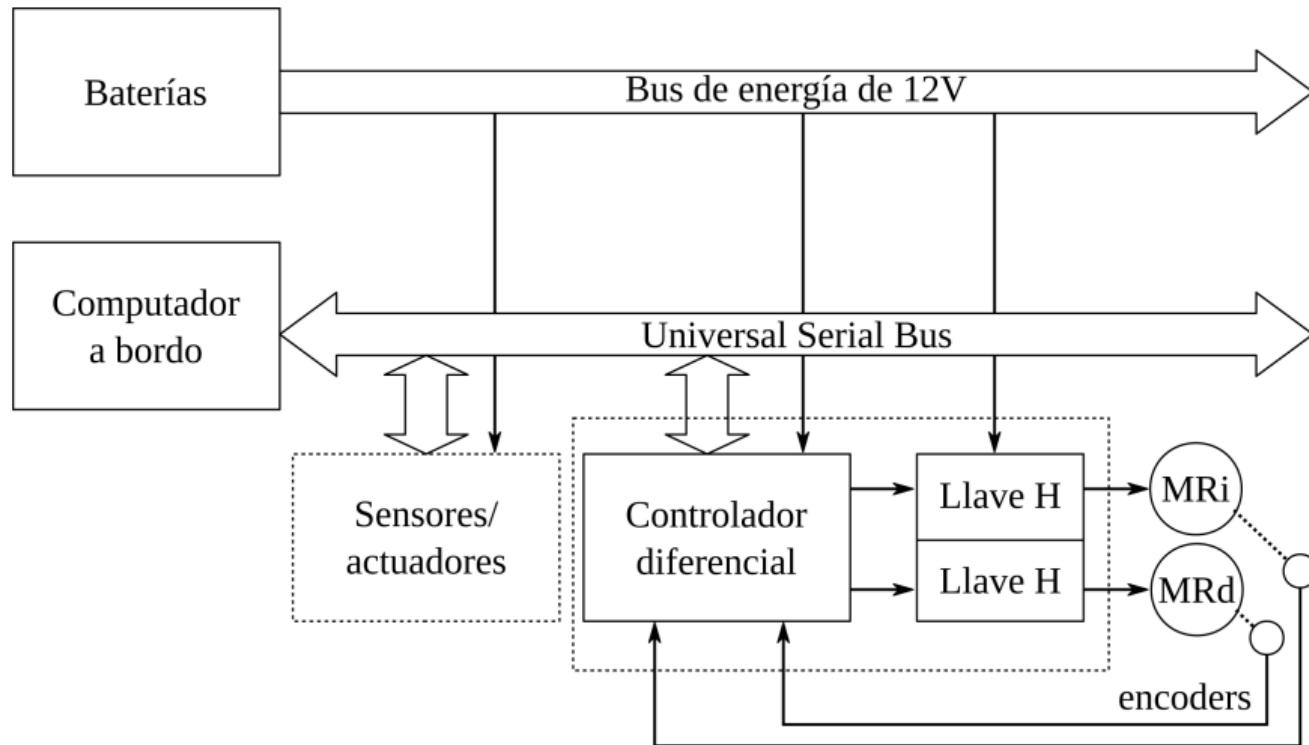


- ▶ Robot experimental construido íntegramente en el CIII
- ▶ Robot móvil con tracción diferencial
- ▶ Sistema de control de bajo nivel (Sistema Embebido)
- ▶ Sistema de cómputo de alto nivel (Notebook, raspi, etc.)
- ▶ Se comanda mediante velocidad lineal (v) y angular (ω).
- ▶ Permite leer la odometría (x, y, θ).

Robot móvil de Arquitectura Abierta– RoMAA-II



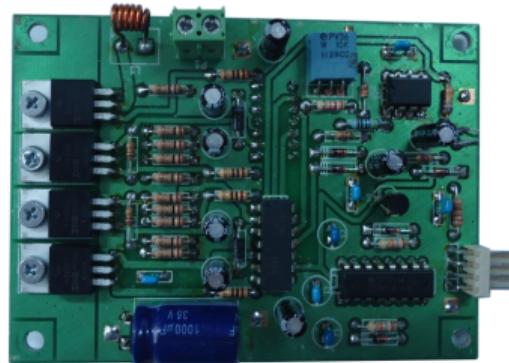
RoMAA-II - Diagrama en bloques



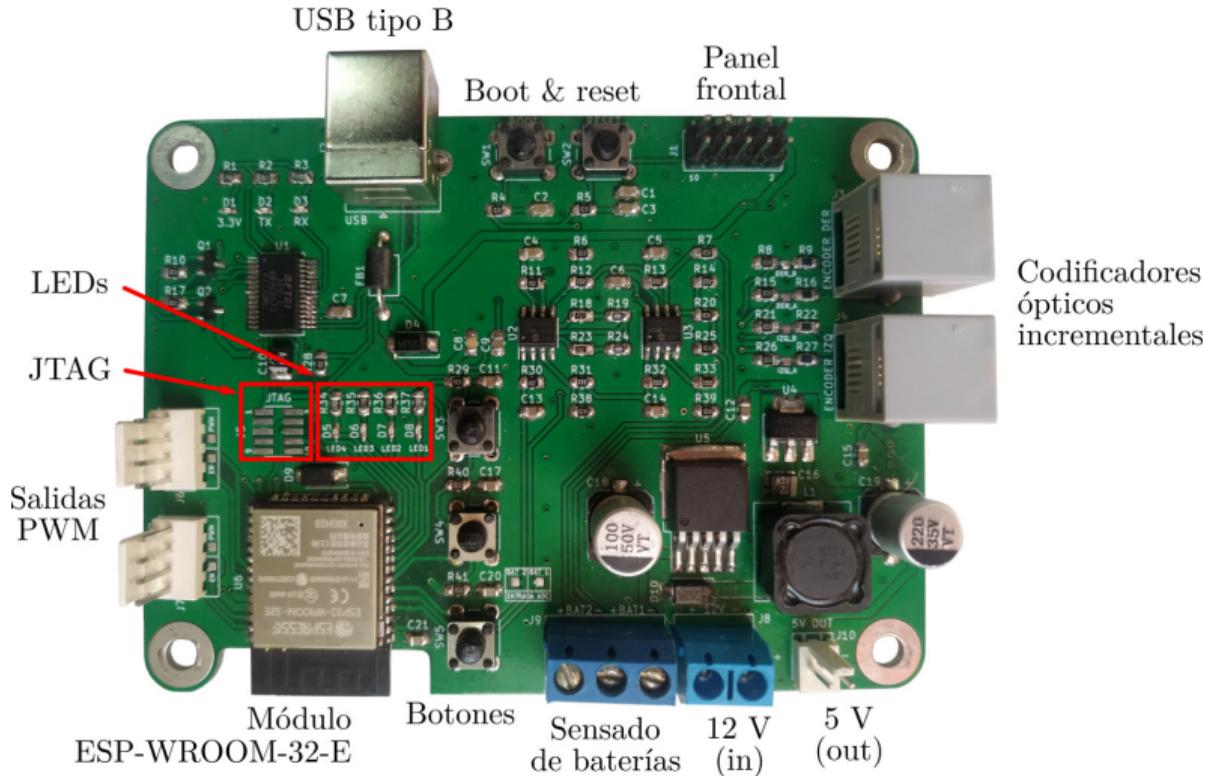
RoMAA-II - Sistema embebido

Electrónica de control de bajo nivel:

- ▶ 1 placa con μ C → controlador diferencial.
- ▶ 2 placas drivers de potencia en configuración llave H



RoMAA-II - Sistema embebido



https://github.com/ciiutnfrc/ddrc_esp32

Robot de tracción diferencial

¿Cómo hacer que un robot de tracción diferencial se mueva en línea recta?

Robot de tracción diferencial

¿Cómo hacer que un robot de tracción diferencial se mueva en línea recta?

¿Cómo hacer que describa un camino circular?

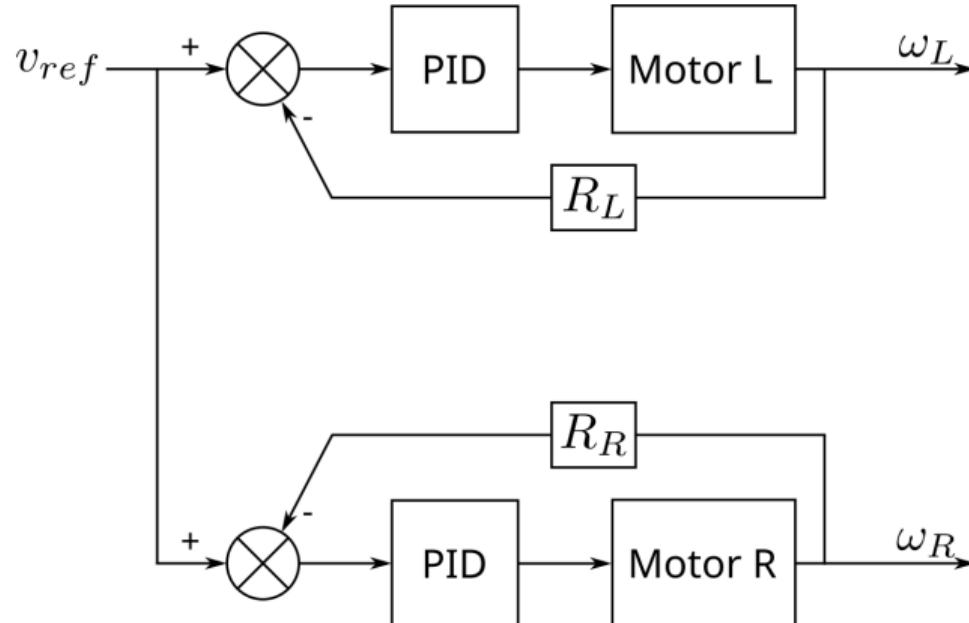
Robot de tracción diferencial

¿Cómo hacer que un robot de tracción diferencial se mueva en línea recta?

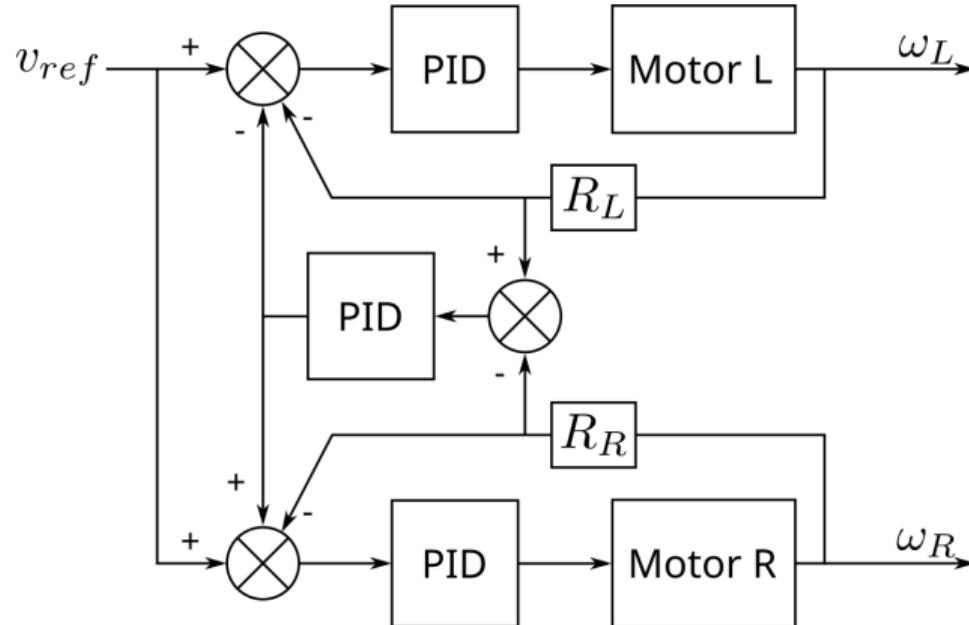
¿Cómo hacer que describa un camino circular?

¿Cuál es el radio mínimo (camino circular) que puede generar?

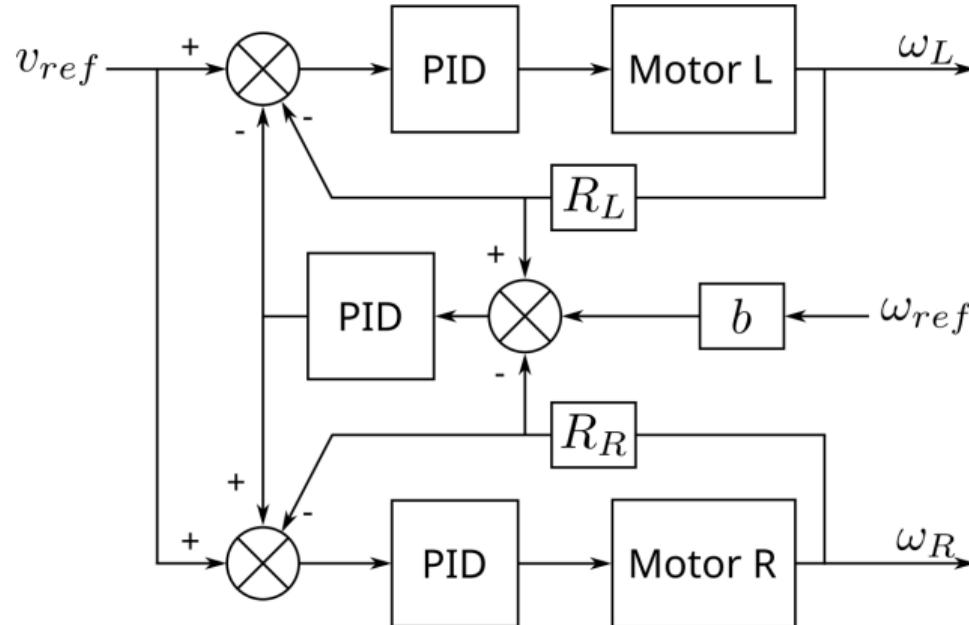
Robot de tracción diferencial



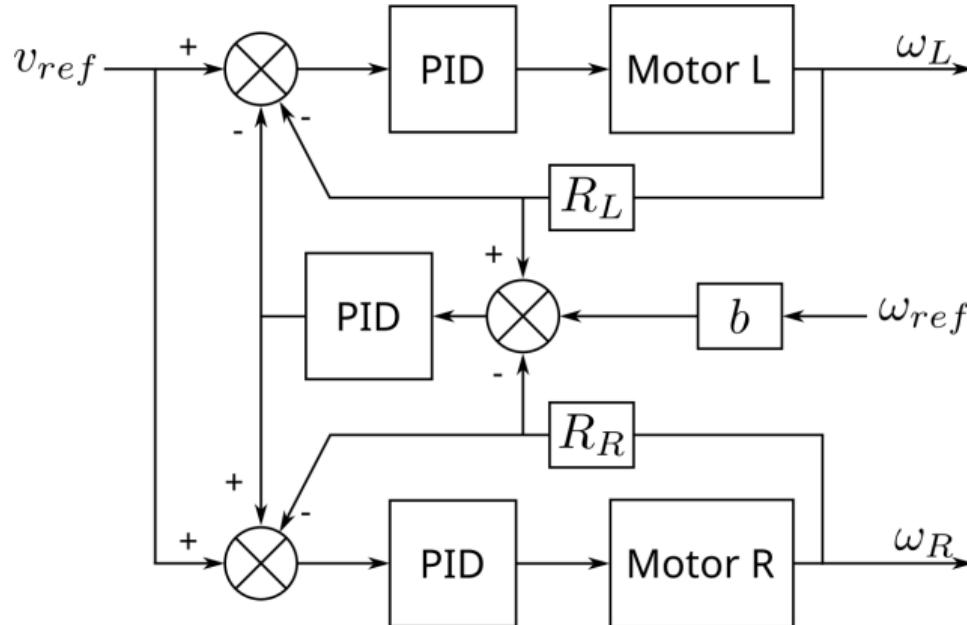
Robot de tracción diferencial



Robot de tracción diferencial



Robot de tracción diferencial

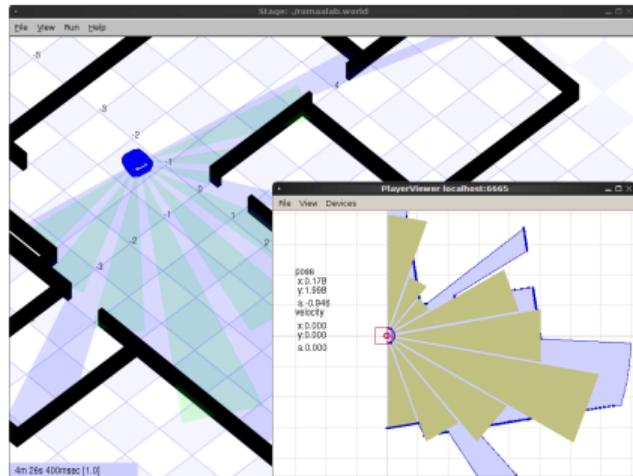


Libro: *Embedded Robotics. Mobile Robot Design and Applications with Embedded Systems*. Thomas Bräunl.
Third Edition. Springer. 2008.

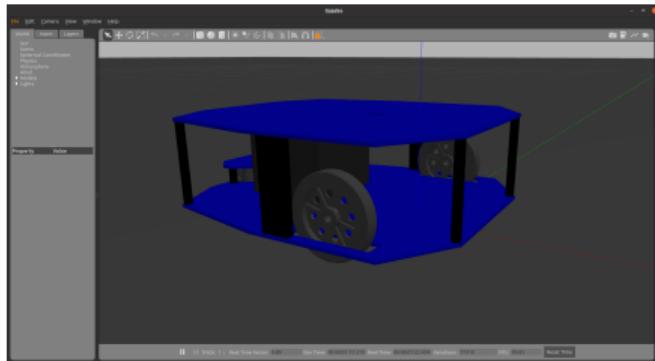
$$v = R \left(\frac{\omega_R + \omega_L}{2} \right), \quad \omega = R \left(\frac{\omega_R - \omega_L}{b} \right)$$

Robot de tracción diferencial

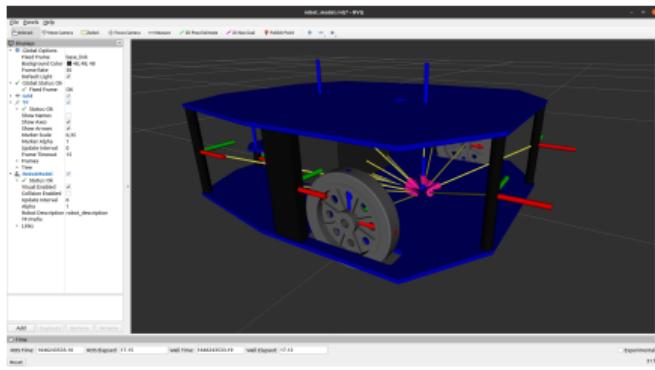
- ▶ ROS (Robot Operating System)
- ▶ Simulador Stage y Gazebo
- ▶ Bibliotecas OpenCV



Simulador Stage



Simulador Gazebo



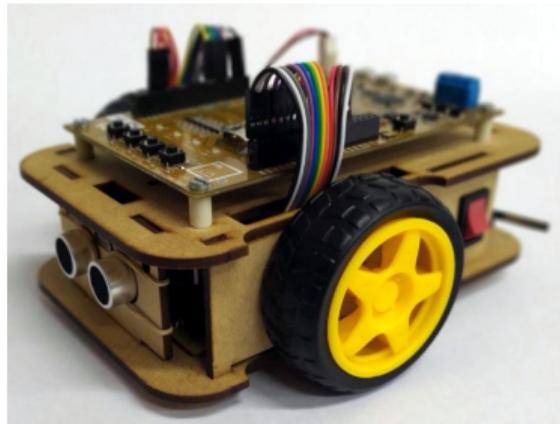
Visualización c/RViz

Robot EduRoMAA – Contexto y objetivo

Trabajo presentado en las X Jornadas Argentinas de Robótica

Robot móvil de diseño abierto y bajo costo con fines didácticos basado en la EduCIAA

Autores: Gonzalo Perez-Paina Martín, Baudino,
Diego Gonzalez-Dondo,
Facundo Navarro, Patricio Reus Merlo.

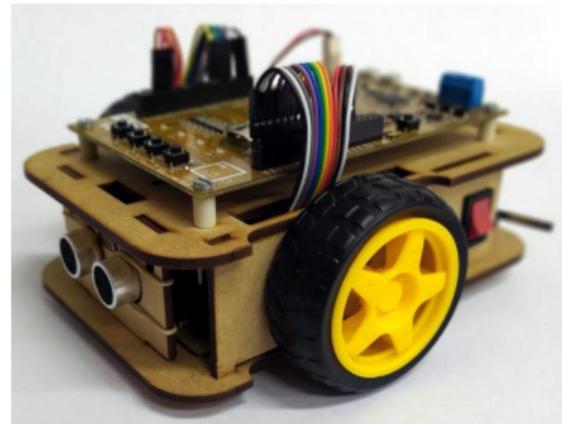


Robot EduRoMAA – Contexto y objetivo

Trabajo presentado en las X Jornadas Argentinas de Robótica

Robot móvil de diseño abierto y bajo costo con fines didácticos basado en la EduCIAA

Autores: Gonzalo Perez-Paina Martín, Baudino,
Diego Gonzalez-Dondo,
Facundo Navarro, Patricio Reus Merlo.

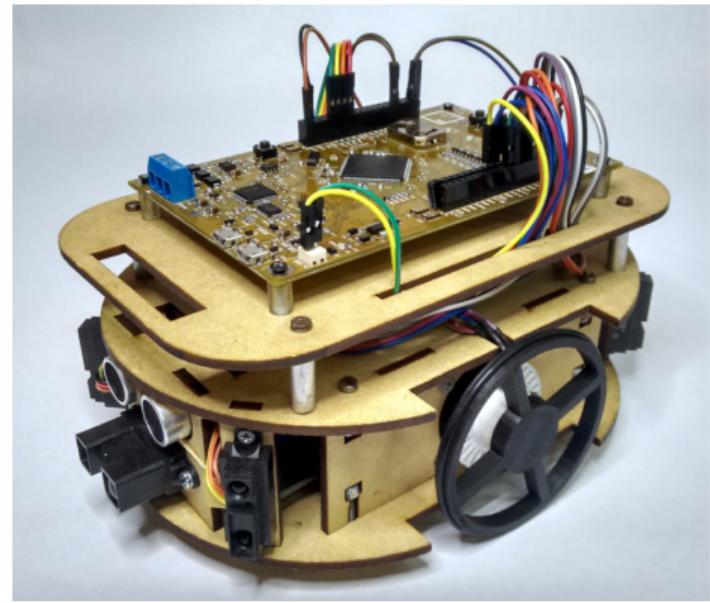
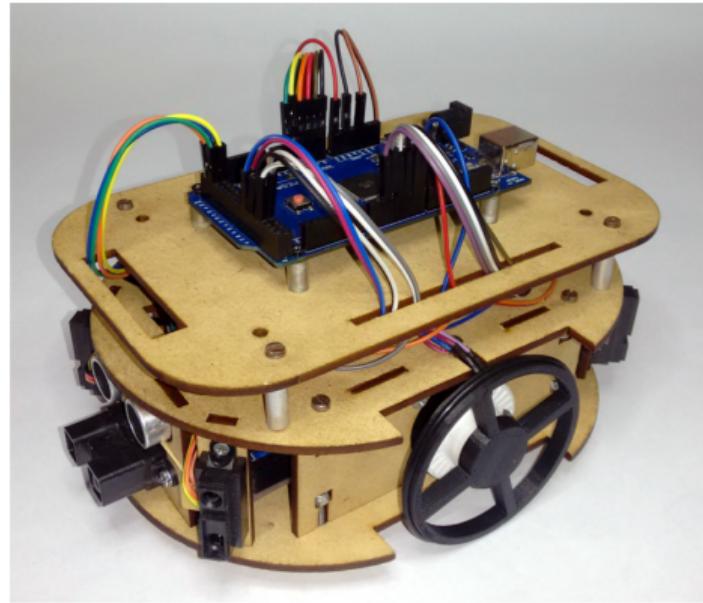


Objetivo

Diseñar y construir un robot móvil de bajo costo de hardware y software abierto con fines didácticos, con el propósito de ser utilizado en cursos de programación de sistemas embebidos utilizando la versión educativa de la Computadora Industrial Abierta Argentina (CIAA).

<https://github.com/ciiutnfc/eduromaa/>

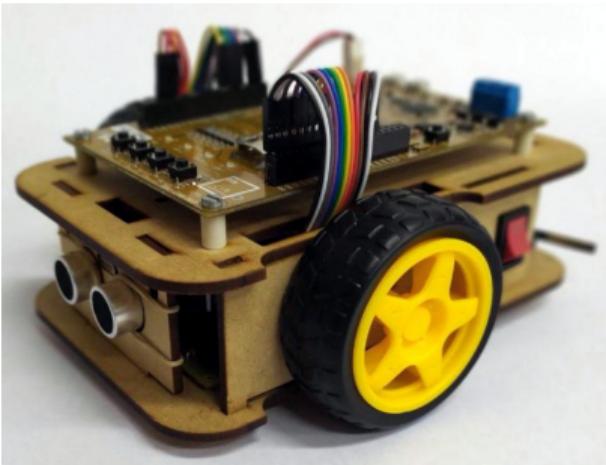
Robot EduRoMAA – Prototipos



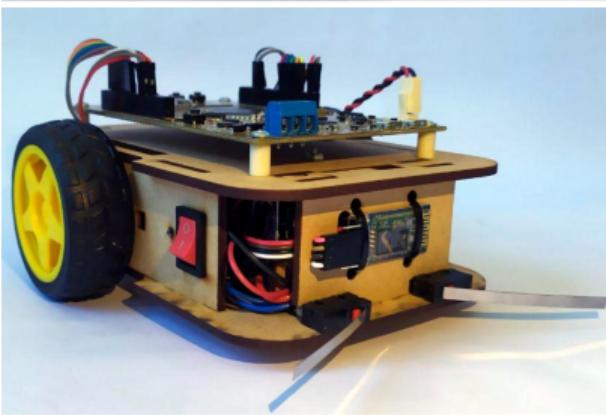
La versión prototipo permitió evaluar:

- ▶ Las características de sensores, actuadores y módulos de electrónica que conforman el robot
- ▶ Los costos y beneficios de los materiales utilizados y los procesos de fabricación

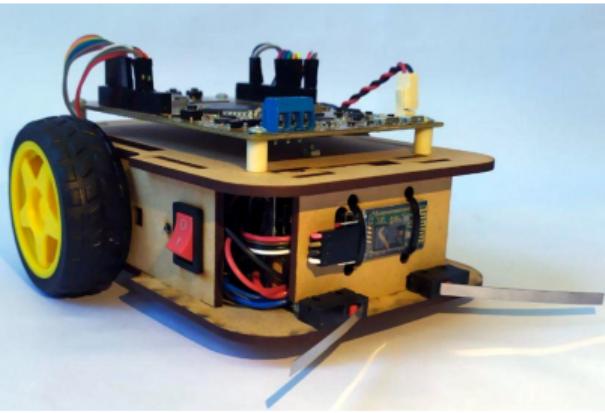
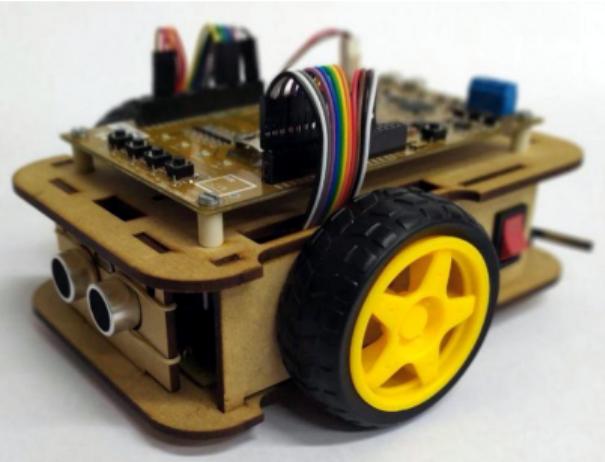
Robot EduRoMAA – Descripción general



Robot de tracción diferencia fabricado mediante corte láser e impresión 3D.



Robot EduRoMAA – Descripción general

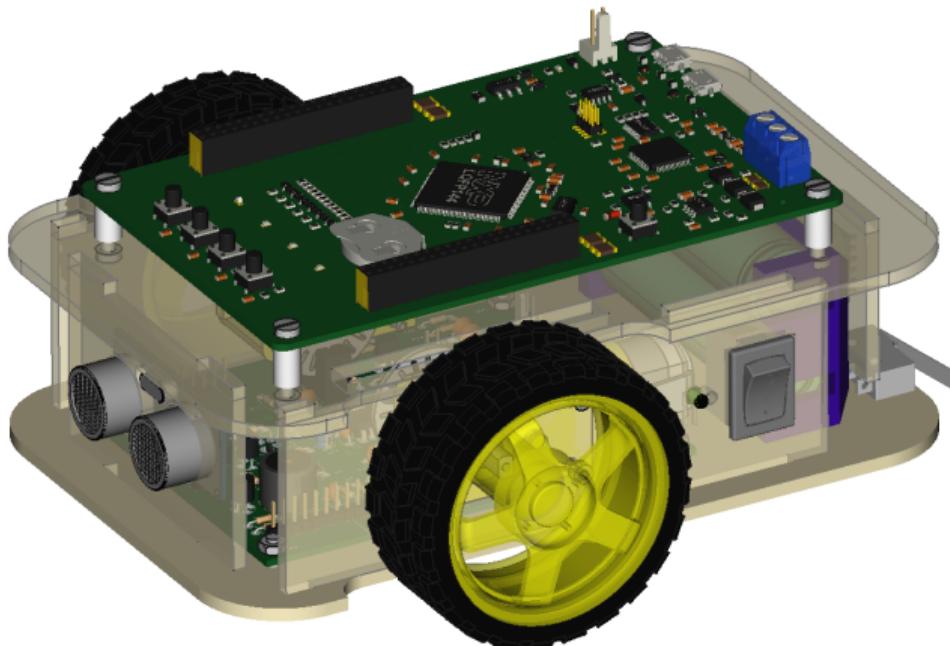


Robot de tracción diferencia fabricado mediante corte láser e impresión 3D.

Cuenta con:

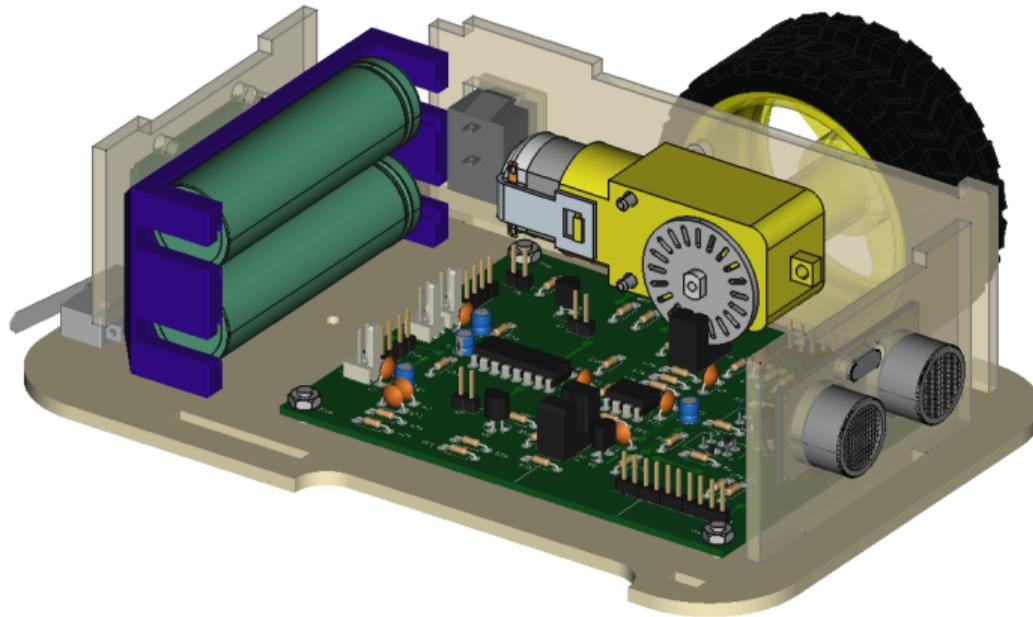
1. Bocina
2. Paragolpes para detección de colisiones
3. Tacómetros en las ruedas para lazo de control y cálculo de odometría
4. Sensor de distancia por ultrasonido
5. Sensores infrarrojo para detección de línea
6. Comunicación inalámbrica Bluetooth
7. Baterías y cargador microUSB

Robot EduRoMAA – Diseño mecánico



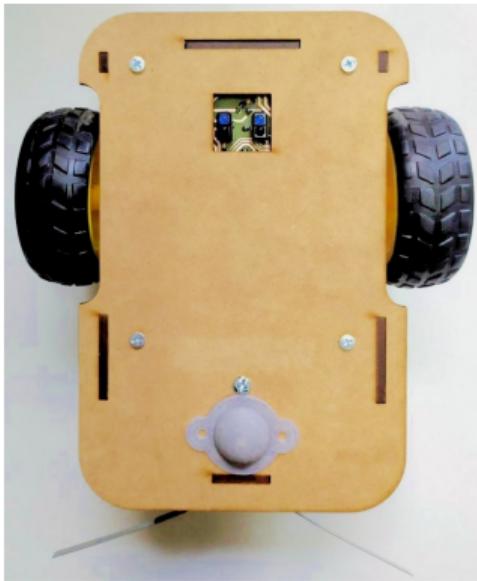
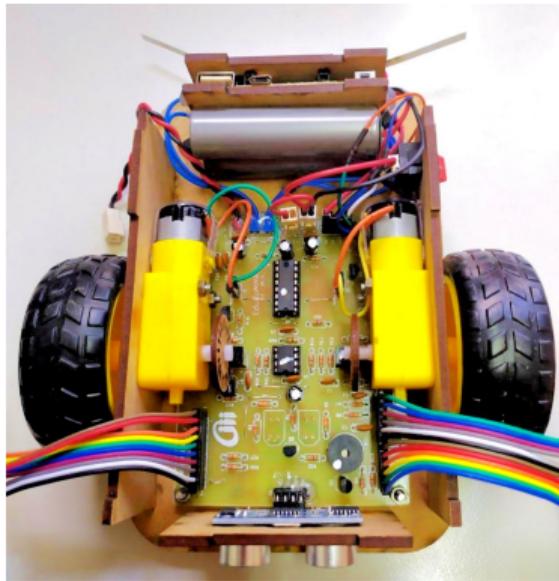
- ▶ Diseñado utilizando el software libre FreeCAD
- ▶ Fabricado mediante corte láser en material MDF (Medium Density Fibreboard) de 3mm de espesor

Robot EduRoMAA – Diseño mecánico



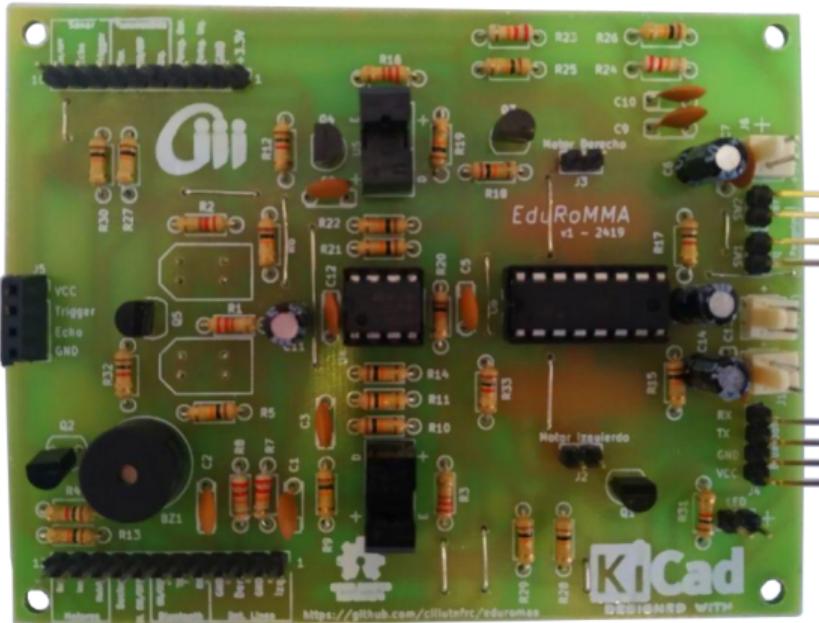
- ▶ Diseñado utilizando el software libre FreeCAD
- ▶ Fabricado mediante corte láser en material MDF (Medium Density Fibreboard) de 3mm de espesor

Robot EduRoMAA – Diseño mecánico



Dimensiones	Largo: 175 mm Ancho: 115 mm Altura: 55 mm
Diámetro de las ruedas:	65 mm
Distancia entre ruedas	128 mm
Despeje del suelo:	10 mm

Robot EduRoMAA – Diseño electrónico

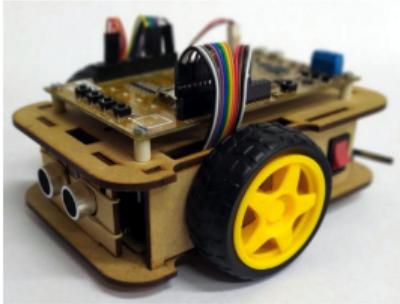


- ▶ Placa de acondicionamiento para los sensores y actuadores del robot
- ▶ Diseñado utilizando el software libre KiCAD

EduRomAA con BluePill

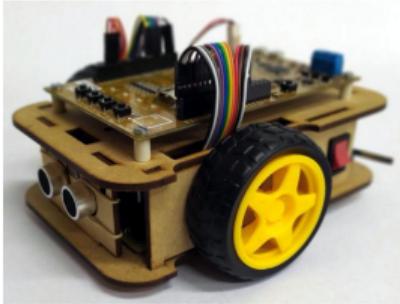


Clasificación de sensores ¿Pc/Ec — Ac/Pa?



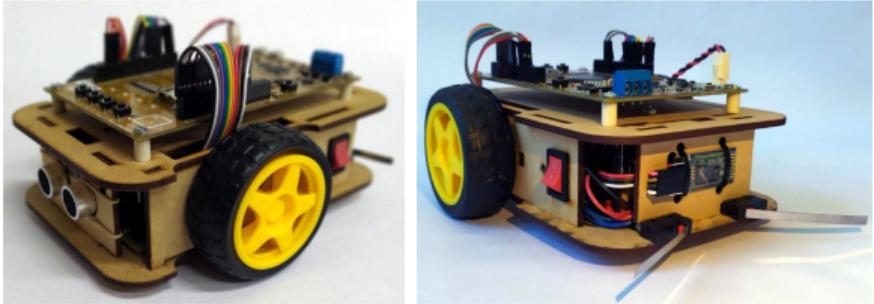
- ▶ Decodificador óptico incremental

Clasificación de sensores ¿Pc/Ec — Ac/Pa?



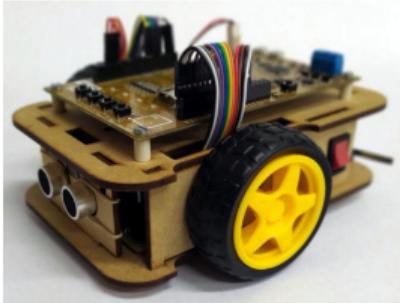
- ▶ Decodificador óptico incremental
- ▶ Sensor de distancia por ultrasonido

Clasificación de sensores ¿Pc/Ec — Ac/Pa?



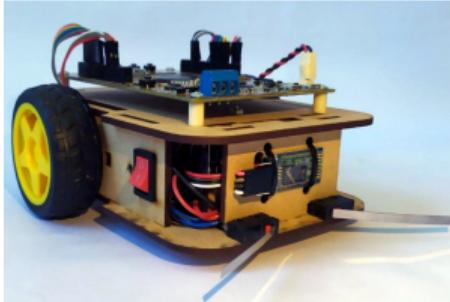
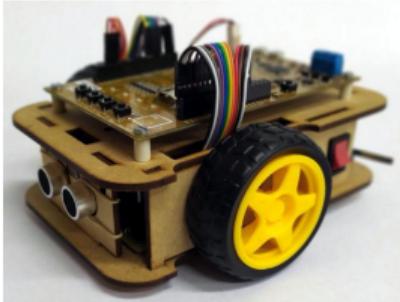
- ▶ Decodificador óptico incremental
- ▶ Sensor de distancia por ultrasonido
- ▶ Interruptor bumper

Clasificación de sensores ¿Pc/Ec — Ac/Pa?



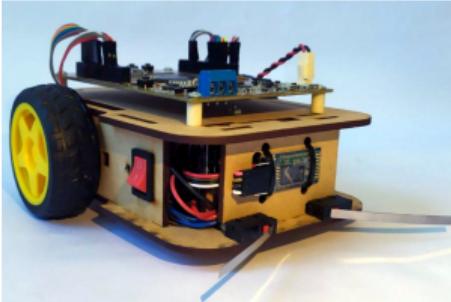
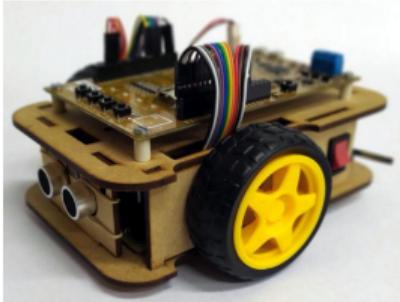
- ▶ Decodificador óptico incremental
- ▶ Sensor de distancia por ultrasonido
- ▶ Interruptor bumper
- ▶ Sensor infrarrojo para detección de línea

Clasificación de sensores ¿Pc/Ec — Ac/Pa?



- ▶ Decodificador óptico incremental
- ▶ Sensor de distancia por ultrasonido
- ▶ Interruptor bumper
- ▶ Sensor infrarrojo para detección de línea
- ▶ Cámara monocular

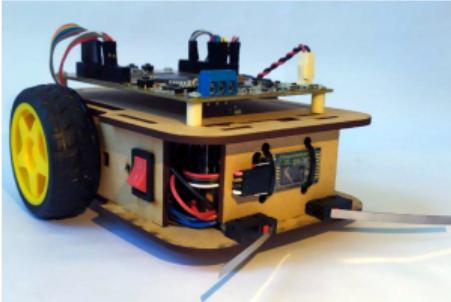
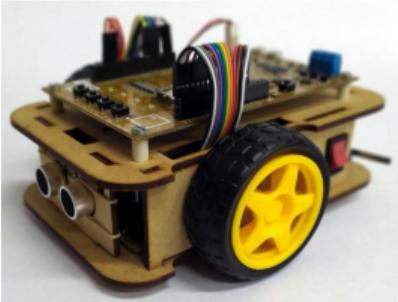
Clasificación de sensores ¿Pc/Ec — Ac/Pa?



- ▶ Decodificador óptico incremental
- ▶ Sensor de distancia por ultrasonido
- ▶ Interruptor bumper
- ▶ Sensor infrarrojo para detección de línea
- ▶ Cámara monocular
- ▶ Sensores iniciales (acelerómetros y giróscopos)



Clasificación de sensores ¿Pc/Ec — Ac/Pa?



- ▶ Decodificador óptico incremental
- ▶ Sensor de distancia por ultrasonido
- ▶ Interruptor bumper
- ▶ Sensor infrarrojo para detección de línea
- ▶ Cámara monocular
- ▶ Sensores iniciales (acelerómetros y giróscopos)
- ▶ Compás magnético (orientación)



