

# GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA

TRABAJO FIN DE GRADO



Universidad  
Carlos III de Madrid

## PROYECTO DOMOBOT

---

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT MÓVIL CON IDENTIFICACIÓN POR  
RFID DE ESPACIOS DEL ENTORNO

Autor: Irene Molina Holgado

Tutor: Jonathan Crespo Herrero

Leganés, Septiembre de 2015





## AGRADECIMIENTOS

Este proyecto representa para mí el fin de una etapa importante en mi vida. Parece que fue ayer cuando estaba en el primer cuatrimestre de primero de carrera, en aquellas clases de física y programación que me hicieron preguntarme si de verdad estaba estudiando una ingeniería y no estaba en clases de chino.

Ahora, 5 años después, puedo decir que no me arrepiento. En estos 5 años he vivido grandes experiencias que me han hecho crecer y madurar, no solo como futura ingeniera, sino también como persona.

En este tiempo he conocido a un montón de personas maravillosas que me han acompañado en este gran viaje por la universidad. Si este proyecto representa la meta de ese viaje, a todas esas personas les tengo que agradecer por haberme hecho además disfrutar del camino.

También tengo que agradecer a los profesores que me han dado clase, y en concreto a mi tutor, por todos los conocimientos que me han transmitido a lo largo de la carrera.

Quiero hacer una especial mención a mis compañeros de trabajo, que me han ayudado, aconsejado y animado mucho más de lo que jamás hubiera esperado. Ellos me han acompañado en esta última aventura y sé que lo celebrarán conmigo cuando acabe. ¡Muchas gracias!

Mi más profundo agradecimiento a mi familia y amigos, dos pilares muy importantes en mi vida, sin ellos nada de esto hubiera sido posible.

Por último, quiero dedicar este proyecto a José, por aguantarme los días que ni yo me aguantaba, por su apoyo y su cariño y por saber sacarme una sonrisa siempre.

A todos, ¡GRACIAS!

## RESUMEN

El presente proyecto consiste en el diseño, fabricación y control de un robot móvil autónomo imprimible llamado Domobot cuyas principales funciones son la monitorización e identificación de las habitaciones o entornos de una vivienda. Ha sido realizado como Trabajo de Fin de Grado de la titulación de Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática de la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid.

Este proyecto permite a los usuarios realizar una completa monitorización de una vivienda, con su correspondiente identificación de habitaciones, mediante un sistema RFID que trabaja a 13.56 MHz (HF). El usuario controla todo el sistema mediante una aplicación móvil, también desarrollada en el presente proyecto, que le permite seleccionar tanto el modo de navegación como la visualización de los datos recogidos por el robot en la habitación deseada.

La navegación del robot se puede realizar de forma manual o de forma autónoma. Los modos de navegación autónomos implementados en el robot se basan en una navegación reactiva, es decir, el robot es capaz de guiarse por la vivienda siguiendo una línea con ayuda de sensores de infrarrojos o siguiendo una pared gracias a sensores de ultrasonidos.

Los sensores utilizados para la monitorización de la vivienda han sido de temperatura, de humedad, de luz, de gases y de llama. La visualización de los datos recogidos por los sensores se puede realizar cuando el robot está en modo de control autónomo, y en la aplicación se pueden ver los valores actuales, máximos y mínimos de cada uno de ellos por habitación. Además se ha implementado un sistema de alarma, tanto sonoro como visual mediante un zumbador y un LED, para avisar al usuario en caso de incendio, humo o gases.

El robot Domobot se ha diseñado mediante un programa CAD y se ha fabricado gracias a una impresora 3D. También se ha implementado el sistema electrónico y se ha programado todo el sistema software, tanto de la placa controladora del robot como de la aplicación. La comunicación entre el robot y la aplicación se realiza mediante un módulo Bluetooth que permite una comunicación inalámbrica.

Se puede decir que Domobot es un robot eficiente ya que con pocos recursos se ha conseguido un proyecto con multitud de aplicaciones que abarcan desde monitorización de diversos entornos hasta proyectos educativos. También es un robot asequible ya que cualquiera con una impresora 3D podría fabricarlo y montarlo fácilmente. Además es un proyecto abierto a una gran cantidad de posibilidades de evolución ya que tanto la robótica como la tecnología RFID son áreas de investigación que están en constante desarrollo y crecimiento.



## ABSTRACT

The present project addresses the design, construction and control of a printable autonomous mobile robot called Domobot whose main functions are the monitoring and identification of the different rooms in a house. It has been developed as an end of studies project for the Bachelor in Automation and Industrial Electronics Engineering of the Carlos III University's Polytechnic School in Madrid

This project allows users to perform a full monitoring of a home by the identification of its rooms through a RFID system that works at 13.56 MHz (HF). The user can control the entire system by means of a mobile application, also developed in this project, through which both the navigation mode and the visualization of the data collected by the robot in the desired room can be selected.

The robot can either navigate manually or automatically. The automatic steering systems implemented are based on reactive behavior. In other words, the robot is able to navigate by following a line or a wall by means of infrared or ultrasound sensors, respectively.

The sensors used for monitoring the dwelling are temperature, humidity, light, gas and flame sensitive. When on automatic steering mode, the mobile phone application shows current, maximum and minimum values of these parameters for each room. Moreover, an alarm system has been implemented in order to warn the user by means of a LED light and a buzzer in case of a fire, smoke or the presence of a certain gas.

Domobot has been designed with the use of a CAD program and has been built thanks to a 3D printer. In addition, an electronic system has been implemented and the software, such as the controller board of the robot and mobile application, has been programmed. Communication between Domobot and the application is achieved by a Bluetooth module that allows wireless transmission of information.

In short, Domobot is an efficient robot since with limited resources a project with multiple applications has been accomplished. Furthermore, this robot is attainable since anyone with a 3D printer can easily design and build one. Finally, Domobot is part of a project open to a wide range of possible future applications since both robotics and RFID technology are in constant development and evolution.



---

## ÍNDICE

<b>ÍNDICE .....</b>	<b>V</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>VIII</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>XIII</b>
<b>LISTADO DE ACRÓNIMOS.....</b>	<b>XIV</b>
<b>CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1 MOTIVACIÓN DEL PROYECTO .....	1
1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	2
1.3 FASES DEL PROYECTO .....	3
1.4 RECURSOS UTILIZADOS .....	4
1.5 ESTRUCTURA Y ORGANIZACIÓN DE LA MEMORIA .....	5
<b>CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE .....</b>	<b>6</b>
2.1 TIPOS DE ROBOTS.....	8
2.2 ROBOT MÓVIL.....	9
2.3 ROBOT AUTÓNOMO.....	10
2.4 NAVEGACIÓN EN INTERIORES .....	11
2.5 APLICACIONES RFID EN ROBÓTICA.....	14
2.6 APLICACIONES DE MONITORIZACIÓN DE DATOS EN ROBÓTICA .....	16
<b>CAPÍTULO 3: ELEMENTOS DEL PROYECTO .....</b>	<b>18</b>
3.1 IMPRESORA 3D.....	18
3.2 ARDUINO.....	25
3.3 SENSORES.....	26
3.3.1 <i>Sensor de ultrasonidos</i> .....	26
3.3.2 <i>Sensor de infrarrojos</i> .....	28
3.3.3 <i>Sensor de temperatura y humedad</i> .....	29
3.3.4 <i>Sensor de luz</i> .....	30



---

3.3.5	<i>Sensor de gases</i> .....	31
3.3.6	<i>Sensor de llama</i> .....	32
3.4	ACTUADORES .....	33
3.4.1	<i>Servos de rotación continua</i> .....	33
3.4.2	<i>Zumbador</i> .....	35
3.4.3	<i>LED</i> .....	36
3.5	MÓDULO RFID.....	37
3.6	MÓDULO BLUETOOTH.....	42
3.7	APP INVENTOR.....	44
<b>CAPÍTULO 4: SISTEMA PROPUESTO</b> .....		<b>45</b>
4.1	SISTEMA MECÁNICO .....	45
4.1.1	<i>Consideraciones para el diseño del modelo</i> .....	45
4.1.2	<i>Diseño de las piezas de la estructura imprimible</i> .....	49
4.1.3	<i>Fabricación y montaje</i> .....	54
4.2	SISTEMA ELECTRÓNICO.....	64
4.3	SISTEMA SOFTWARE.....	70
4.3.1	<i>Programación de la aplicación</i> .....	70
4.3.1	<i>Comunicación inalámbrica entre la aplicación móvil y arduino</i> .....	77
4.3.2	<i>Programación en arduino</i> .....	79
<b>CAPÍTULO 5: PRUEBAS Y CAMBIOS</b> .....		<b>88</b>
5.1	PRUEBAS DEL SISTEMA MECÁNICO .....	88
5.2	PRUEBAS DE LOS SENSORES .....	91
5.3	PRUEBAS DEL ROBOT EN CONJUNTO .....	101
<b>CAPÍTULO 6: CONCLUSIÓN</b> .....		<b>107</b>
6.1	TRABAJOS FUTUROS .....	108
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....		<b>110</b>

---



---

<b>ANEXOS .....</b>	<b>113</b>
ANEXO 1: PRESUPUESTO Y TIEMPO EMPLEADO .....	113
TIEMPO EMPLEADO .....	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
PRESUPUESTO DEL PROYECTO DOMOBOT: .....	115





## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. PATO DE VAUCANSON .....	6
FIGURA 2. PRIMER ROBOT INDUSTRIAL.....	7
FIGURA 3. MARS ROVER OPPORTUNITY.....	8
FIGURA 4.ROBOT CON PATAS ALPHADOG .....	9
FIGURA 5.ROBOT ASPIRADOR ROOMBA .....	10
FIGURA 6. NAVIGACIÓN REACTIVA.....	12
FIGURA 7.HOSPITAL NEMOCNICE NA HOMOLCE DE PRAGA .....	12
FIGURA 8. ROBOT MINERVA DEL MUSEO NACIONAL DE HISTORIA, WASHINGTON .....	13
FIGURA 9. TECNOLOGÍAS DE IDENTIFICACIÓN AUTOMÁTICA MÁS IMPORTANTES, ENTRE ELLAS RFID .....	14
FIGURA 10. ROBOT MAGGIE, ROBOT YUMBO Y ROBOT AILA .....	15
FIGURA 11.ROBOT ERLE-SPIDER .....	16
FIGURA 12.ROBOT NUSWAN.....	17
FIGURA 13.EJEMPLOS DE IMPRESIÓN 3D .....	18
FIGURA 14.IMPRESORA 3D PRUSA I3 HEPHESTOS .....	19
FIGURA 15.PASOS A SEGUIR HASTA OBTENER LA PIEZA DESEADA .....	20
FIGURA 16.MOVIMIENTO DE LOS EJES DE LA IMPRESORA 3D .....	21
FIGURA 17. INTERFAZ DE FREECAD EN EL BANCO DE TRABAJO PART.....	22
FIGURA 18. PARÁMETROS DE LAMINACIÓN USADOS EN CURA .....	23
FIGURA 19. INTERFAZ DEL PROGRAMA CURA .....	24
FIGURA 20.ARDUINO MEGA 2560.....	25
FIGURA 21. FUNCIONAMIENTO DEL SENSOR DE ULTRASONIDOS .....	26
FIGURA 22.SENSOR DE ULTRASONIDOS HC-SR04.....	27
FIGURA 23. SENSOR DE INFRARROJOS .....	28



---

FIGURA 24.SENSOR DE TEMPERATURA Y HUMEDAD DHT11 .....	29
FIGURA 25. MÓDULO LDR Y SENSOR LDR .....	30
FIGURA 26.SENSOR DE GAS MQ5.....	31
FIGURA 27.SENSOR DE LLAMA .....	32
FIGURA 28.SEÑAL Y POSICIÓN DE UN SERVO DE ROTACIÓN CONTINUA.....	33
FIGURA 29.SERVO DE ROTACIÓN CONTINUA SM-S4303R Y SUS DIMENSIONES .....	34
FIGURA 30.ZUMBADOR PASIVO.....	35
FIGURA 31.LED .....	36
FIGURA 32.SISTEMA RFID BÁSICO.....	37
FIGURA 33.APLICACIONES DE LA TECNOLOGÍA SEGÚN LA FRECUENCIA DE TRABAJO .....	38
FIGURA 34.MÓDULO RFID MFRC522 Y DIFERENTES TIPOS DE ETIQUETAS RFID .....	40
FIGURA 35.MÓDULO BLUETOOTH BTH-07 .....	42
FIGURA 36.VISTA DE PLANTA DEL ROBOT DOMOBOT .....	46
FIGURA 37. TIPOS DE MODELOS DE ROBOTS MÓVILES CON RUEDAS .....	47
FIGURA 38. PASOS PARA CALCULAR EL CENTRO DE GRAVEDAD.....	48
FIGURA 39.PARTES DEL ROBOT DOMOBOT .....	49
FIGURA 40.DISEÑO DE LA PIEZA BASE SUPERIOR.....	50
FIGURA 41.VISTA DE PLANTA DE LA PIEZA 'BASE SUPERIOR' .....	50
FIGURA 42.DIFERENTES VISTAS DE LA PIEZA 'BASE INFERIOR' .....	51
FIGURA 43. PIEZA 'CUERPO' .....	52
FIGURA 44. VISTA DE PLANTA DE LA PIEZA 'CUERPO' (ARRIBA) Y 'RAÍLES' PARA EL MÓDULO BLUETOOTH (ABAJO) .....	52
FIGURA 45. PORTAPILAS CON RUEDA LOCA.....	53
FIGURA 46. RUEDA CON LA TAPA.....	53
FIGURA 47. MATERIALES USADOS EN EL MONTAJE DEL ROBOT DOMOBOT .....	56
FIGURA 48. MONTAJE DEL CUERPO .....	57

---



---

FIGURA 49.MONTAJE DE LOS SERVOS EN EL CUERPO .....	57
FIGURA 50.MONTAJE DE LA BASE INFERIOR.....	58
FIGURA 51.MONTAJE DEL PORTAPILAS .....	59
FIGURA 52.MONTAJE DE LAS RUEDAS Y LAS TAPAS .....	59
FIGURA 53. ELEMENTOS QUE COMPONEN LA BASE SUPERIOR .....	60
FIGURA 54. MONTAJE DE LA BASE SUPERIOR.....	60
FIGURA 55. FIJACIÓN DE BLU-TACK A LOS SENSORES DE ULTRASONIDOS Y AL MÓDULO RFID.....	60
FIGURA 56.UNIÓN DEL CUERPO A LA BASE INFERIOR.....	61
FIGURA 57.UNIÓN DEL PORTAPILAS .....	62
FIGURA 58.UNIÓN DE LAS RUEDAS Y LAS TAPAS. ....	62
FIGURA 59.UNIÓN DE LA BASE SUPERIOR .....	63
FIGURA 60.MONTAJE FINAL DEL SISTEMA MECÁNICO DE DOMOBOT .....	63
FIGURA 61. ESQUEMA GENERAL DEL SISTEMA ELECTRÓNICO .....	64
FIGURA 62. SENSOR SHIELD PARA ARDUINO MEGA 2560.....	65
FIGURA 63.INSTALACIÓN DEL SENSOR SHIELD EN ARDUINO MEGA 2560 .....	65
FIGURA 64.CABLEADO DE LOS ELEMENTOS DE DOMOBOT .....	66
FIGURA 65.CONEXIONADO DE LA ALIMENTACIÓN .....	66
FIGURA 66. COMUNICACIÓN BLUETOOTH ENTRE EL ROBOT Y LA APLICACIÓN .....	68
FIGURA 67.DOMOBOT CON EL CONEXIONADO ELÉCTRICO.....	69
FIGURA 68.DIAGRAMA DE CASOS DE USO DE LA APLICACIÓN MÓVIL.....	71
FIGURA 69.DIAGRAMA DE SECUENCIA PARA EL MODO MANUAL .....	72
FIGURA 70.DIAGRAMA DE SECUENCIAS PARA EL MODO AUTÓNOMO .....	73
FIGURA 71.DIAGRAMA DE SECUENCIA PARA SELECCIONAR HABITACIÓN .....	74
FIGURA 72.DIAGRAMA DE FLUJO DE LA APLICACIÓN .....	75

---



---

FIGURA 73. INTERFAZ GRÁFICA DE LA APLICACIÓN. PANTALLA DE INICIO (ARRIBA), MODO MANUAL (MEDIO) Y MODO AUTÓNOMO (ABAJO) .....	76
FIGURA 74. DIAGRAMA DE FLUJO DE LA FUNCIÓN LEER BLUETOOTH DE ARDUINO. ....	78
FIGURA 75. DIAGRAMA DE FLUJO DEL FUNCIONAMIENTO GENERAL DEL PROGRAMA EN ARDUINO .....	79
FIGURA 76. MATRIZ DE ALMACENAMIENTO DE IDENTIFICADORES DE ETIQUETAS RFID .....	80
FIGURA 77. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE IDENTIFICACIÓN DE HABITACIONES POR RFID.....	82
FIGURA 78. MATRIZ DE ALMACENAMIENTO DE LOS DATOS RECOGIDOS POR LOS SENSORES SEGÚN HABITACIÓN .....	83
FIGURA 79. DIAGRAMA DE FLUJO DE LA LECTURA DE LOS DATOS DE LOS SENSORES .....	84
FIGURA 80. GIRO DE UN SERVO DE ROTACIÓN CONTINUA.....	85
FIGURA 81. FUNCIONAMIENTO DEL MODO SIGUELÍNEAS.....	86
FIGURA 82. ESTADOS DEL MODO SIGUEPAREDES .....	87
FIGURA 83. JUNTAS TÓRICAS (ARRIBA) Y DETALLE DE RUEDA CON/SIN JUNTA TÓRICA (ABAJO).....	88
FIGURA 84. DIFICULTADES PRESENTADAS POR EL CABLEADO .....	89
FIGURA 85. DETALLE DEL CABLEADO ORGANIZADO .....	89
FIGURA 86. ALGUNAS PIEZAS CON FALLOS DE DISEÑO O IMPRESIÓN .....	90
FIGURA 87. PRUEBA DE EXACTITUD EN TEMPERATURAS FRÍAS .....	92
FIGURA 88. PRUEBAS DE EXACTITUD EN TEMPERATURAS CALIENTES .....	93
FIGURA 89. COMPARACIÓN DE AJUSTE DE TEMPERATURA .....	93
FIGURA 90. PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO DEL SENSOR DE LUZ .....	95
FIGURA 91. PRUEBAS CON EL SENSOR DE GASES .....	96
FIGURA 92. PRUEBAS CON EL SENSOR DE LLAMA.....	97
FIGURA 93. PRUEBA DE EXACTITUD DEL ULTRASONIDOS .....	99
FIGURA 94. OBTENCIÓN DEL ÁNGULO DE REBOTE DEL SENSOR DE ULTRASONIDOS .....	100
FIGURA 95. CAPTURA DEL PROGRAMA DE OBTENCIÓN DE VELOCIDAD DE LECTURA DE ETIQUETAS RFID .....	101
FIGURA 96. CAPTURA DE PROGRAMA DE OBTENCIÓN DE VELOCIDAD DE LECTURA DE LOS SENSORES.....	102

---



---

FIGURA 97. PORTAPILAS ADICIONAL PARA ALIMENTAR A LOS SERVOS.....	103
FIGURA 98. CIRCUITO DE PRUEBA DE LA NAVEGACIÓN SIGUELÍNEAS .....	105
FIGURA 99. ETIQUETA RFID PEGADA AL MARCO DE LA PUERTA .....	106



## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. CLASIFICACIÓN DE ROBOTS SEGÚN SU ARQUITECTURA.....	8
TABLA 2. CLASIFICACIÓN DE ETIQUETAS SEGÚN ACCESO.....	39
TABLA 3. CLASIFICACIÓN DE ETIQUETAS SEGÚN MEMORIA .....	39
TABLA 4. CLASIFICACIÓN DE ETIQUETAS SEGÚN ALIMENTACIÓN.....	39
TABLA 5. COMPARACIÓN ENTRE WI-FI, BLUETOOTH Y ZIGBEE .....	43
TABLA 6. PIEZAS IMPRIMIBLES .....	54
TABLA 7. LISTA DE COMPONENTES ELECTRÓNICOS.....	55
TABLA 8. LISTA DE COMPONENTES DE LA FUENTE DE ALIMENTACIÓN .....	55
TABLA 9. LISTA DE TORNILLERÍA Y CABLES UTILIZADOS .....	55
TABLA 10. LISTA DE HERRAMIENTAS Y OTROS ELEMENTOS .....	56
TABLA 11. CONEXIONADO DE LOS SENSORES EN LOS PINES DIGITALES Y ANALÓGICOS DE ARDUINO .....	67
TABLA 12. CONEXIONADO DE LOS ACTUADORES EN SALIDAS DIGITALES DE ARDUINO.....	67
TABLA 13. CONEXIONADO DE LOS PINES DEL MÓDULO BLUETOOTH .....	68
TABLA 14. CONEXIONADO DE LOS PINES DEL MÓDULO RFID .....	69
TABLA 15. BOTONES DE LA APLICACIÓN Y SUS CORRESPONDIENTES ACCIONES .....	77
TABLA 16. HABITACIONES QUE EL USUARIO PUEDE SELECCIONAR .....	78
TABLA 17. POSICIÓN DE LOS SERVOS SEGÚN EL MOVIMIENTO REALIZADO .....	85
TABLA 18. ESTADOS DEL MODO SIGUELÍNEAS .....	86
TABLA 19. RESULTADOS DEL EXPERIMENTO CON EL SENSOR DE GASES.....	96
TABLA 20. RESULTADOS DEL EXPERIMENTO CON EL SENSOR DE LLAMA.....	97
TABLA 21. RESULTADOS DEL EXPERIMENTO CON EL SENSOR DE INFRARROJOS.....	98
TABLA 22. PRUEBA DE EXACTITUD DEL SENSOR DE ULTRASONIDOS .....	99
TABLA 23. PRUEBA DE DISTANCIA MÁXIMA DE LECTURA DE DIVERSAS ETIQUETAS RFID .....	101
TABLA 24. PRUEBA DE VELOCIDAD DEL ROBOT .....	104



## LISTADO DE ACRÓNIMOS

<b>CAD</b>	Computer-aided design
<b>GND</b>	Ground
<b>HF</b>	High Frequency
<b>LDR</b>	Light Dependant Resistor
<b>LED</b>	Light-emitting diode
<b>LF</b>	Low Frequency
<b>MIT</b>	Massachusetts Institute of Technology
<b>PCB</b>	Printed Circuit Board
<b>PLA</b>	Ácido poliláctico
<b>PWM</b>	Pulse-width modulation
<b>RFID</b>	Radio Frequency Identification
<b>STL</b>	STereo Lithography
<b>TFG</b>	Trabajo Fin de Grado
<b>UC3M</b>	Universidad Carlos III de Madrid
<b>UHF</b>	Ultra High Frequency
<b>Vcc</b>	Power-supply pin

---

## CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

En este capítulo se va a introducir la motivación y objetivos del proyecto, haciendo una breve descripción general. Además se van a exponer las fases en las que fue dividido el proyecto durante su realización así como los recursos utilizados durante el mismo

### 1.1 MOTIVACIÓN DEL PROYECTO

El presente proyecto abarca el diseño, construcción e implementación de un robot móvil autónomo imprimible llamado Domobot cuyas principales funciones son la navegación autónoma por una vivienda con aplicaciones de monitorización sensorial y reconocimiento de entornos mediante RFID.

Estos datos sensoriales se envían vía comunicación inalámbrica mediante un módulo Bluetooth a un dispositivo Android donde se ha instalado una aplicación móvil también desarrollada en el presente proyecto ya que, aprovechando que a día de hoy la mayoría de las personas disponen de un dispositivo Android, se ha querido hacer una aplicación personalizada que se comunicara con el robot Domobot de forma bidireccional dotando a la aplicación de la capacidad de poder enviar y recibir información.

El usuario controla todo el sistema desde esa aplicación móvil con la que se realizan la selección de los diferentes modos de control y navegación del robot como la visualización de los datos recogidos por los sensores del robot según la habitación que el usuario ha seleccionado.

La motivación principal a la hora de realizar este proyecto ha sido la de diseñar y construir un robot que fuera sencillo de usar, totalmente funcional y abierto a trabajos futuros, que abarcan desde monitorización de datos, identificación de diversos espacios por RFID, guiado mediante reconocimiento del entorno por RFID hasta posible uso como herramienta didáctica. Por este último motivo sobretodo se ha intentado que el diseño del robot sea fácilmente reproducible por cualquier persona que tenga acceso a una impresora 3D.

Para finalizar, destacar la tecnología por RFID, que permite la identificación de objetos de forma inalámbrica, sin necesidad de que exista entre el lector y el objeto contacto o línea de visión directa. Se puede decir que esta tecnología es uno de los pilares básicos de la siguiente evolución de las redes de comunicación, ya que representa un gran avance en cuanto a interacción inteligente de dispositivos y su comunicación con sistemas remotos de datos. Sin embargo, para llegar ese nivel de conectividad total, todavía falta mucho camino por recorrer, por lo que es necesaria la investigación de cómo se pueden combinar distintas tecnologías, como RFID, sensores, movilidad, baterías, etc. Por ello, en el presente proyecto se ha querido hacer un robot que combine todos estos elementos.





---

## 1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO

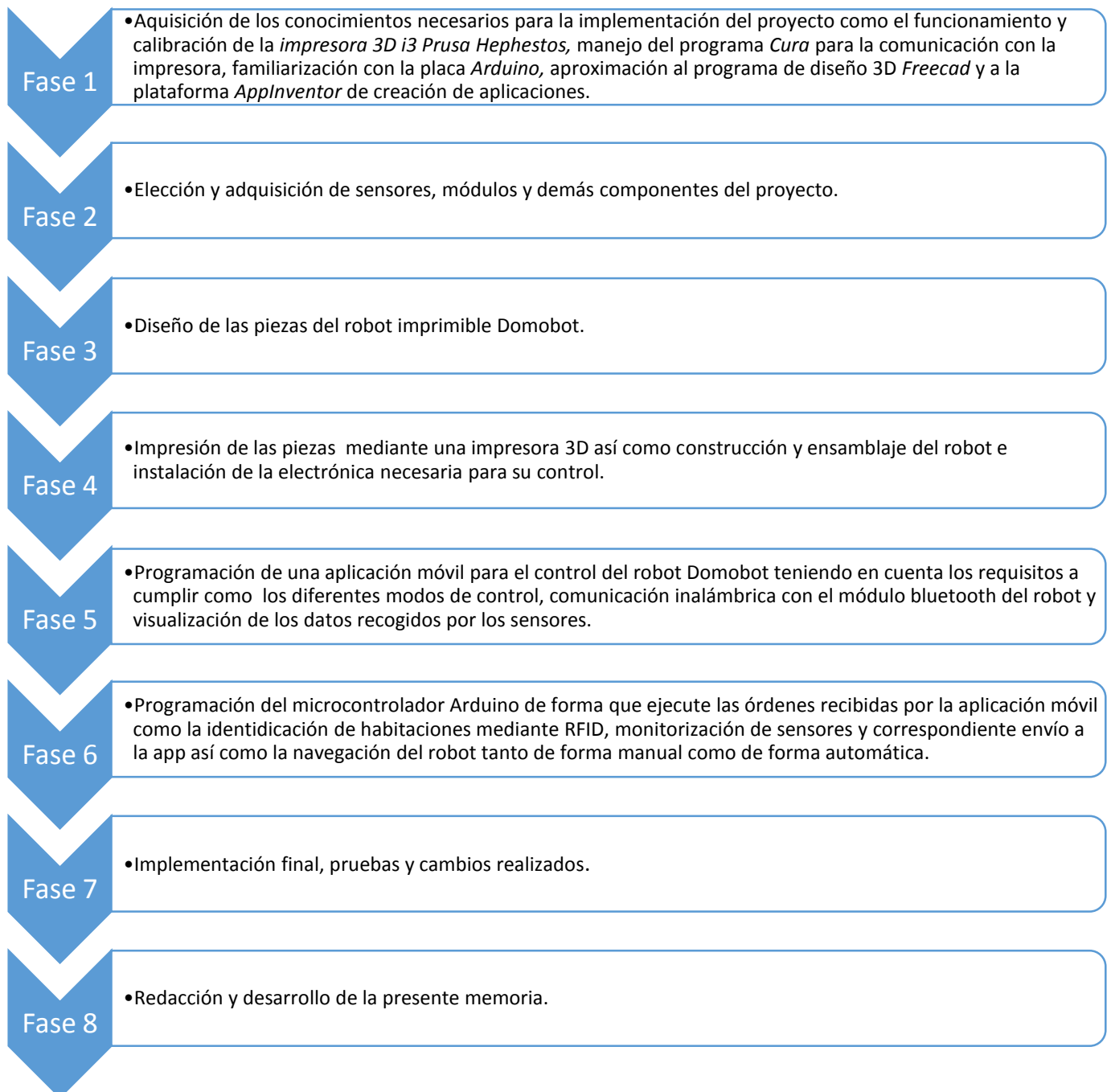
El presente proyecto tiene como meta principal el diseño, fabricación y control de un robot móvil autónomo imprimible y la monitorización e identificación de las habitaciones en una vivienda.

Para cumplir con dicha meta se han definido una serie de objetivos a partir de la metodología que se usará para desarrollar el proyecto. Esta metodología se basa principalmente en la descomposición del proyecto en módulos diferenciados relacionados también con los contenidos específicos de cada una de las fases del proyecto:

- I. **Elección y adquisición de sensores, módulos inalámbricos** y demás componentes del proyecto.
- II. **Diseño mecánico del robot móvil Domobot** adaptado a los sensores y módulos elegidos.
- III. **Impresión de las piezas diseñadas** en plástico PLA mediante impresora 3D.
- IV. **Construcción y ensamblaje del robot** e instalación de la electrónica necesaria para su control.
- V. **Programación de una aplicación móvil para el control del robot.**
- VI. **Comunicación inalámbrica a través de protocolo Bluetooth** entre el robot y la aplicación móvil.
- VII. **Monitorización sensorial** y posterior visualización y almacenamiento en la aplicación móvil.
- VIII. **Navegación y control del robot** tanto de forma manual como de forma autónoma.
- IX. **Identificación de las habitaciones de una vivienda mediante tecnología RFID.**
- X. **Pruebas y evaluación del diseño final.**
- XI. **Redacción de la presente memoria.**

### 1.3 FASES DEL PROYECTO

A continuación se muestran las fases generales seguidas durante la elaboración del proyecto control y construcción del robot Domobot, que como se ha dicho en el apartado anterior, están estrechamente relacionadas con los objetivos propuestos:



---

## 1.4 RECURSOS UTILIZADOS

En el siguiente listado se nombran todos los componentes utilizados para la realización del proyecto de fabricación del robot móvil imprimible Domobot:

- **Impresora 3D Prusa i3 Hephestos** desarrollada por el departamento de Innovación y Robótica de BQ y con la que se imprimieron todas las piezas del robot Domobot en **plástico PLA**.
- **Placa Arduino Mega 2560** basada en el microcontrolador ATmega2560 así como un **Sensor Shield** para realizar el conexionado de todos los componentes electrónicos.
- **Sensores para la monitorización** de temperatura, de humedad, de luz, de gases y de llama.
- **Sensores para la navegación**. Se han usado dos sensores de ultrasonido para el modo de control Sigueparedes y dos sensores de infrarrojos para modo de control Siguelíneas.
- **Servos de rotación continua**, actuadores para la locomoción del robot.
- **Actuadores** tales como zumbador y led que cumplen la función de alarmar al usuario tanto de forma sonora como de forma visual al darse una serie de condiciones.
- **Pilas**: Se necesitan 8 pilas alcalinas 1,5V TIPO AAA para la alimentación del robot así como un **portapilas** para conectarlo a la placa Arduino.
- **Modulo Bluetooth** para la comunicación inalámbrica entre el robot y la aplicación móvil.
- **Módulo RFID** así como etiquetas para la identificación de habitaciones.
- **Ordenador** necesario para la instalación y uso de los programas y librerías utilizados en el diseño, impresión y programación del robot Domobot:
  - ❖ FreeCAD: software libre de diseño para la creación de sólidos en 3D
  - ❖ Cura: necesario para imprimir los diseños desde los archivos en formato '.stl'.
  - ❖ App inventor: plataforma de Google Labs para la creación de aplicaciones de software para el sistema operativo Android.
  - ❖ Sublime text 2: editor de texto y editor de código fuente para la programación de la placa Arduino Mega 2560.
- **Móvil Android** para la instalación de la aplicación creada con el programa App inventor y para el control del robot Domobot.
- **Otros materiales** tales como tornillos, tuercas, tornillos hexagonales separadores, juntas tóricas, destornilladores, masilla adhesiva reutilizable y pegamento instantáneo.

---

## 1.5 ESTRUCTURA Y ORGANIZACIÓN DE LA MEMORIA

El contenido de esta memoria está formado por seis capítulos y varios anexos. A continuación, para facilitar la lectura del documento, se detalla el contenido de cada capítulo.

En presente capítulo, como ya se ha visto, se introducen la motivación, objetivos y fases en las que fue dividido el proyecto Domobot durante su realización así como de los recursos utilizados durante el mismo.

En el capítulo 2 se expone el estado del arte sobre varios temas relacionados con el presente proyecto. Se va a empezar con un breve resumen de la historia de la robótica así como de los tipos de robots que existen. Además, dado que Domobot es un robot móvil y autónomo, se van a desarrollar en concreto las principales características de estos tipos. Seguidamente se va a hablar de algunos tipos de navegación en interiores y para finalizar, se van a explicar diversas aplicaciones sobre RFID en robótica así como monitorización sensorial de datos.

En el capítulo 3 explican con más detalle algunos de los elementos más importantes del presente proyecto anteriormente mencionados en recursos utilizados.

En el capítulo 4 se va a ver la implementación final del robot Domobot de forma dividida en mecánica, electrónica y software. En la parte de mecánica se va a explicar tanto las consideraciones y procedimientos seguidos para el diseño como la fabricación y montaje de la estructura. En la parte de electrónica se van a ver la totalidad de conexiones necesarias entre todos y cada uno de los elementos del presente proyecto y, en la parte de software, se relacionan los diferentes módulos que se han tenido que programar.

En el capítulo 5 se desarrollan todas las pruebas y cambios realizados a lo largo de todo el proceso de implementación del robot.

En el capítulo 6 se explican las principales conclusiones sobre el trabajo realizado así como de propuestas para futuros trabajos.

Adicionalmente, se anexan un conjunto de apéndices donde se detallan algunos aspectos como el tiempo dedicado al proyecto, el presupuesto, los planos de las piezas diseñadas y algunas de las principales hojas de características.

## CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE

El término robot tiene diferentes significados según a quien se pregunte. Los libros y películas de ciencia ficción han influido en la opinión de muchas personas sobre lo que piensan que un robot hace o puede hacer. Sin embargo, por regla general, estas opiniones están lejos del alcance real de la robótica.

Una cosa es cierta, y es que la robótica es el gran avance tecnológico de este siglo. No fue hace mucho cuando se utilizó por primera vez la palabra *robot*, en 1921, por el escritor checo Karen Capek [1] en su obra *Rossum's Universal Robot (R.U.R.)*. Su origen proviene de la palabra eslava *robot*, que se refiere al trabajo forzoso. En su obra, y en muchas otras historias posteriores, los robots eran máquinas andróides que se rebelan contra sus dueños, destruyendo toda vida humana menos a uno de sus creadores, con la frustrada esperanza de que les enseñara a reproducirse. El término hubiera quedado en desuso si no hubiera sido por los escritores del género literario de la ciencia ficción, entre los que destaca Isaac Asimov (1920-1992), quien escribió gran cantidad de obras donde hablaba de la interacción entre humanos y robots y la moralidad que conlleva. Los robots en esas historias estaban provistos de cerebros positrónicos en los que estaban codificadas las tres famosas leyes de la robótica [1].

Sin embargo, mucho antes de que la palabra robot fuera utilizada por primera vez, el hombre ya creaba máquinas y dispositivos capaces de imitar las funciones y los movimientos de los seres vivos. Los griegos, por ejemplo, utilizaban la palabra *automato* de la que deriva la actual palabra autómatas. En el siglo XVIII en Europa estaban fascinados por los autómatas, como por ejemplo el famoso pato de Vaucanson, en la Figura 1, era un autómatas de cobre que representaba un pato capaz de realizar las funciones básicas de alimentación, como deglutir comida, digerirla y defecar, y de interacción con el exterior [2].

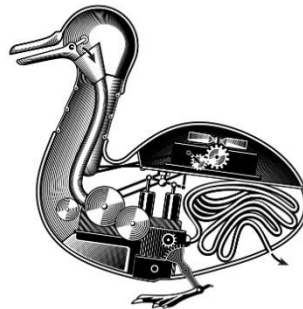


Figura 1. Pato de Vaucanson

A mediados del siglo XX surge el campo de la cibernética, un término no muy conocido a día de hoy pero de gran interés, puesto que se encarga de estudiar los sistemas de comunicación y de regulación automática de los seres vivos y los aplica a sistemas electrónicos y mecánicos que se parecen a ellos [3].

En 1956 se funda la primera empresa de robótica, *Unimation*, fundada por Devol y Joseph Engelberger y su primer robot industrial, mostrado en la Figura 2, fue instalado en 1961. Este sería el primero de muchos brazos robóticos construidos y puestos en funcionamiento que, en la actualidad, hacen tareas de pintura, soldadura, carga y descarga, montaje electrónico o embalaje. El uso de robots ha aumentado la productividad y mejorado la calidad del producto. [4]



Figura 2. Primer robot industrial

Sin embargo a día de hoy, en pleno siglo XXI, todavía existe el debate: *¿Qué es un robot?*

Estas son algunas definiciones de robot [1]:

- Según la RAE: *“Un robot se puede definir como máquina o ingenio electrónico programable, capaz de manipular objetos y realizar operaciones antes reservadas solo a las personas”.*
- Según la enciclopedia británica: *“Un robot es una máquina operada automáticamente que sustituye el esfuerzo de los humanos, aunque no tiene por qué tener apariencia humana o desarrollar sus actividades a la manara de los humanos”.*
- Según el diccionario Merriam Webster: *“Un robot es una máquina que se asemeja a los humanos y desarrolla como ellos tareas complejas como andar o hablar. Un dispositivo que desarrolla de manera automática tareas complicadas, a menudo de manera repetitiva. Un mecanismo guiado por control automático”.*

No obstante, en el estado tecnológico actual de la robótica, incluso estas definiciones resultan insuficientes para abarcar el conjunto de sistemas que son entendidos actualmente por robot. Por eso es frecuente añadir un adjetivo al término robot para definir con mayor detalle sus características o campo de aplicación, como por ejemplo: Robots aéreos, robots asistenciales, robots autónomos, robots caminantes, robots de educación, robots de entretenimiento, robots escaladores, robots espaciales, robots de exteriores, robots de servicio, robots humanoides, robots manipuladores, robots bio-médicos, robots móviles, robots personales o robots submarinos [1].

## 2.1 TIPOS DE ROBOTS

Debido a la enorme cantidad de tipos de robots existentes, resulta difícil realizar una única categorización, por lo que los clasificamos según parámetros como funcionalidad, campo de aplicación o arquitectura. En la tabla siguiente se presenta la clasificación más típica, según su arquitectura:

CLASIFICACION DE ROBOTS SEGÚN SU ARQUITECTURA	
MÓVILES	Terrestres, acuáticos, aéreos, espaciales
POLIARTICULADOS	Robots industriales o manipuladores
ANDROIDES	Robots humanoides de complejo diseño
ZOOMÓRFICOS	Robots que representan los sistemas de locomoción de diversos seres vivos
HÍBRIDOS	Robot formado por combinación de dos o más de las arquitecturas anteriores

Tabla 1. Clasificación de robots según su arquitectura

Teniendo en cuenta otros criterios de clasificación, como por ejemplo la aplicación de éstos, se podría hablar de robots quirúrgicos, capaces de operar con mayor precisión que un cirujano; robots de servicio que se encargan de labores tales como limpiar, asistencia personal o rehabilitación médica; o robots de campo que trabajan en exteriores.

Los robots de campo y de servicio plantean grandes retos. El primer reto es que el robot debe operar y moverse en un entorno complejo, desordenado y cambiante. Por ejemplo un Mars rover, en la Figura 3, debe desplazarse por la superficie de Marte moviéndose por rocas y pequeños cráteres sin tener un mapa del entorno previo a la expedición, siendo capaz de ir obteniendo conocimientos [5].

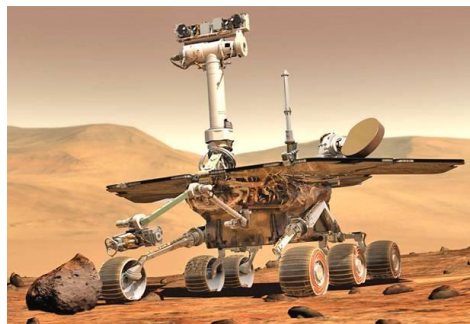


Figura 3. Mars Rover Opportunity

El segundo reto es su correcto funcionamiento de forma totalmente segura en presencia de personas, ya que muchos de ellos tienen una gran interacción con seres humanos como puede ser un dispositivo quirúrgico robótico que opera en el interior de las personas [6].

## 2.2 ROBOT MÓVIL

Ya que el presente proyecto trata sobre un robot móvil se va a tratar más en profundidad esta categoría de robots. Un robot móvil es una máquina capaz de trasladarse en cualquier ambiente dado. Los robots móviles tienen la capacidad de moverse en su entorno y no se fijan a una ubicación física. Existe una gran variedad de modos de desplazarse sobre superficies. Los más empleados en robótica son ruedas, cadenas y patas.

Los vehículos de ruedas son los más usados por varias razones: Son más sencillos, más económicos y pueden transportar una mayor carga. Su desventaja principal es su dificultad para moverse en terreno irregular ya que, normalmente, un vehículo de ruedas no puede superar obstáculos cuya altura sea 0,4 veces el radio de sus ruedas. Una posible solución sería usar ruedas mayores que los posibles obstáculos pero no siempre es viable.

Los vehículos con cadenas se suelen usar para robots que vayan a trabajar en un entorno exterior ya que permiten superar obstáculos mayores y sufren menos daños por el entorno que las ruedas. Su principal inconveniente es el deslizamiento producido al avanzar y girar sobre el terreno. [7]

Los robots con patas superan con mayor facilidad los problemas de los terrenos irregulares. Sin embargo, su construcción plantea una serie de dificultades relacionadas con el gran número de grados de libertad que requieren. Cada pata necesita como mínimo un par de motores lo que produce un mayor coste, así como una mayor complejidad de los algoritmos de control por el gran número de movimientos a coordinar. Por ello los sistemas de patas son un área de investigación muy activa, en la que destaca el robot Alpha Dog [8], diseñado por Boston Dynamics gracias a fondos provenientes de la agencia de Proyectos Avanzados de Investigación de la Defensa de Estados Unidos. Es una versión más grande y potente de BigDog, tiene el tamaño de un caballo y es capaz de cargar 180 kilos, el equivalente a cuatro mochilas de marines cargadas, durante 30 kilómetros al día por terrenos difíciles. Igual que BigDog, Alpha Dog está provisto de cámaras de vídeo en estéreo en la cabeza para identificar obstáculos, hacer un mapa de su entorno y seguir a un soldado que camine hasta 45 metros por delante, identificado por un parche reflector.

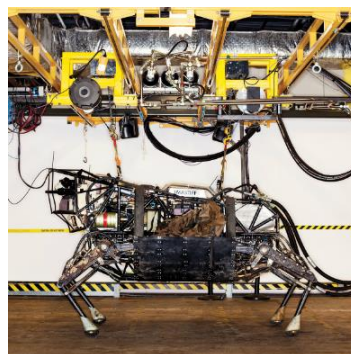


Figura 4. Robot con patas AlphaDog

De entre estos tipos de robots móviles se ha elegido un robot móvil con ruedas para Domobot, puesto que cumple con la funcionalidad requerida para el presente proyecto.



### 2.3 ROBOT AUTÓNOMO

Un robot autónomo es un robot que pueden operar con un alto grado de autonomía, lo que resulta bastante útil en campos como la exploración espacial, limpieza de suelos, tratamiento de aguas residuales y tareas que puedan resultar pesadas o tediosas para las personas.

Un robot completamente autónomo tiene la capacidad de:

- ✓ Obtener información sobre el medio ambiente.
- ✓ Trabajar durante un período prolongado sin intervención humana.
- ✓ Moverse todo o parte de sí mismo a través de su entorno operativo, sin ayuda humana.
- ✓ Evitar situaciones que son perjudiciales para las personas, los bienes o sí mismos, a menos que sean parte de las especificaciones de diseño.

Los robots autónomos todavía requieren un mantenimiento regular, al igual que otras máquinas. Algunos de ellos pueden auto-recargarse, como sucede con Roomba, que se puede ver en la Figura 5. [9]



Figura 5. Robot aspirador Roomba

Domobot es un robot con un grado de autonomía medio puesto que puede trabajar durante un periodo de tiempo sin intervención humana, ejecutando las órdenes que se le van dando.

## 2.4 NAVEGACIÓN EN INTERIORES

Se llama navegación al conjunto de métodos y técnicas usados para dirigir el curso de un robot móvil a medida que éste atraviesa su entorno sin perderse y sin chocar con obstáculos fijos o móviles.

Para efectuar navegación lo más común es disponer de un mapa, aunque no necesariamente. Mapa es cualquier tipo de representación del entorno en la memoria del robot. A partir de un mapa, se puede determinar un camino apropiado entre dos puntos deseados, lo cual será más o menos complejo según haya sido la representación escogida.

Según que parámetros puede haber varios tipos de navegación [10]:

- *Navegación Topológica*: También llamada Navegación Cualitativa, es la aproximación más natural para modelar un sistema de navegación en un robot. Toma como referencia características importantes del entorno o puntos de referencia (landmarks). Por ejemplo: Sigue el pasillo y entra por la primera puerta a la derecha. Generalmente, la representación del conocimiento del entorno es modelado mediante grafos de conectividad. Este es el tipo de navegación que se va a implementar en Domobot.
- *Navegación Geométrica*: También denominada navegación cuantitativa. Este modelo de navegación está basado en medidas geométricas. La posición del robot, los elementos del entorno y la meta se definen por sus coordenadas. El modelo del entorno es representado mediante mapas geométricos y/o mapas de rejillas.
- *Navegación Topo-Geométrica*: O navegación híbrida, combina información geométrica simple e información simbólica. El modelo del entorno representa la conectividad entre elementos geométricos y simbólicos.

Por otro lado, también habrá varios tipos según la planificación del camino [11]:

- *Por guiado*: consiste en pensar en una serie de lugares preestablecidos de antemano, adelantando las impresiones sensoriales que se recibirían programando una respuesta lógica del robot en cuanto a dirección de desplazamiento o velocidad, entre otras. Para alcanzar el punto deseado se pueden implantar lazos de realimentación que operen tomando directamente como entrada las señales sensoriales, y que generen señales de control para los actuadores, evitando el cálculo de la posición absoluta, no útil en este caso.
- *Automáticamente*: consiste en realizar un mapeo y una serie de algoritmos para encontrar el camino de mínima distancia hasta el punto deseado. En mapas que contienen los objetos, los planificadores tratan de encontrar caminos por el espacio libre lo más alejados posible de los objetos. Esto es bueno en pasillos estrechos, pero puede ser ineficiente en zonas anchas, por elegir caminos más largos.

La filosofía usada en el robot Domobot se basa en una **navegación reactiva**, basada en el uso intensivo de sensores de bajo coste (ultrasonidos, sensores infrarrojos) reaccionando de forma dinámica ante el entorno, por lo que el mapeo pierde relevancia. Esta filosofía está basada en la *subsumption architecture*, una arquitectura descompuesta en módulos especializados en realizar tareas individuales, denominados comportamientos. Por tanto, el funcionamiento se basaría en la activación de uno o varios comportamientos simples según la información extraída del entorno local del robot, por lo que el comportamiento final resulta una mezcla de los simples activados. La navegación reactiva basada en comportamientos ha sido implantada en múltiples aplicaciones entre las que predominan los comportamientos de supervivencia, dando lugar a robots errantes que se mueven con libertad por entornos desconocidos e incluso dinámicos, sin colisionar con los obstáculos, pero que raramente obedecen a un plan establecido, imprescindible en misiones reales [12]. A continuación se mencionan varios ejemplos de robots que hacen uso de una navegación reactiva.

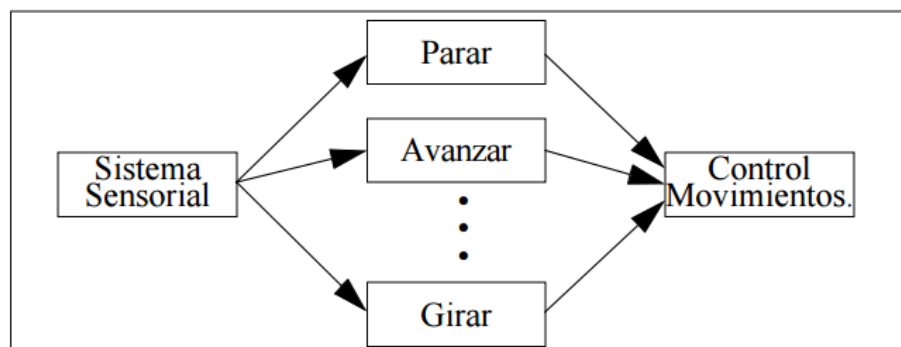


Figura 6. Navegación reactiva

Un ejemplo de robot que funciona según este tipo de navegación es el del hospital Nemocnice Na Homolce de Praga (Figura 7), un robot Siguelíneas que transporta las medicinas a los pacientes, ya que tienen marcados a lo largo de todo el hospital las trayectorias que deben seguir, todo ello controlado desde un ordenador central que organiza a todos los robots [13].



Figura 7. Hospital Nemocnice Na Homolce de Praga

Otro ejemplo de robot con navegación reactiva es el Robot Minerva (Figura 8) que hace de guía para los visitantes del Museo Nacional de Historia, del complejo Smithsonian, en Washington. Sus capacidades van desde encontrar a gente y preguntarles si están interesados en hacer una visita hasta aprender con la experiencia para adaptarse a ciertas situaciones nuevas. Dispone de un ordenador y sensores de infrarrojos para medir las distancias y saber dónde se encuentra en cada momento. Tiene sensores de sonido para evitar las colisiones, similares a los de los murciélagos [14].



Figura 8. Robot Minerva del Museo Nacional de Historia, Washington

Este tipo de navegación también puede tener aplicaciones industriales cuya finalidad es la organización de almacenes, donde se marcan una serie de trayectorias. Estas marcas en el suelo en realidad suelen ser cables conductores enterrados en el suelo por lo que el sistema de detección se basa en sensores inductivos en vez de ópticos. Además, es frecuente que no haya solo un robot por lo que es necesaria una gran sincronización entre ellos por lo que deberán tener sensores para comunicarse con el resto de robots. Todos ellos se controlan mediante un ordenador central supervisado por un operario controla el buen funcionamiento de todo el sistema.

## 2.5 APLICACIONES RFID EN ROBÓTICA

La tecnología RFID permite identificar automáticamente objetos mediante el uso de ondas de radio sin la necesidad de una visión de línea directa y se remonta a la Segunda Guerra Mundial, donde se utilizaron las ondas de radio para diferenciar a los aviones enemigos de los del propio bando. [15].

Desde entonces esta tecnología ha ido desarrollándose lentamente hasta que en los años 90 empezaron a aparecer los primeros estándares, fundándose en 1999 el *Auto-ID Center* en el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), una organización mundial de investigación sobre las tecnologías de Identificación Automática, con el objeto de construir la próxima generación de códigos de barras. [16]

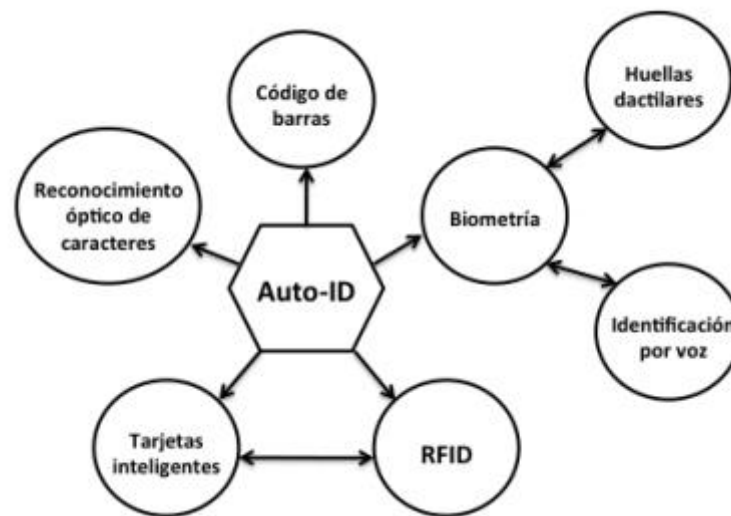


Figura 9. Tecnologías de Identificación Automática más importantes, entre ellas RFID

Hoy en día, esta tecnología está muy extendida, sobretodo en el sector industrial, ya que uno de sus principales usos es el seguimiento de mercancías a lo largo de la cadena de suministros reduciendo de esta forma el tiempo utilizado en la adquisición de datos y además, de forma automática. Otras aplicaciones del RFID son, por ejemplo, acceso controlado a edificios, control de equipaje en aeropuertos, rastreo de animales, sistema de tele-peaje, etiquetado de medicinas en la industria farmacéutica y de libros en bibliotecas.

Otro sector beneficiado por las características de la tecnología RFID es el de la robótica, tanto en el área de la robótica industrial como de la robótica asistencial o de servicios, como en hospitales, centros de ocio y museos ya que con este sistema los robots tienen una nueva forma de percepción de su entorno mejorando su interacción con el mismo [17].

Las principales aplicaciones de esta tecnología en la robótica asistencial son:

- Reconocimiento de objetos.
- Navegación en robots móviles. Se suelen emplear etiquetas activas ya que presentan mayor alcance e inmunidad frente a interferencias. Sin embargo, las pasivas también son muy utilizadas debido a su bajo coste, combinándose su uso con el de otros sensores o tecnologías como los ultrasonidos y los láseres.

En la Figura 10 se muestran algunos ejemplos de robots que usan tecnología RFID para mejorar sus capacidades. Arriba a la izquierda está el robot Maggie de la Universidad Carlos III de Madrid que tiene integrado un sistema RFID que le permite obtener información de su entorno y mejorar la interacción él [17]. Arriba a la derecha está a Yumbo [18], desarrollado por CT Asia y que se utiliza en Tailandia camarero en el restaurante MK que se desplaza siguiendo las líneas del suelo usando un sensor de ultrasonidos para evitar chocarse y además, atiende las peticiones de los clientes registrando sus gustos mediante etiquetas RFID y, por último, abajo se encuentra AILA, una robot humanoide capaz de leer etiquetas RFID que le informan sobre las características de un producto y de esta forma sabe qué hacer él; además, puede localizar la posición de objetos visionándolos con las cámaras de su cabeza, planear autónomamente trayectorias para cogerlos, y ser semiautónoma en entornos desconocidos lo que ser de gran utilidad en entornos logísticos y de producción [19].

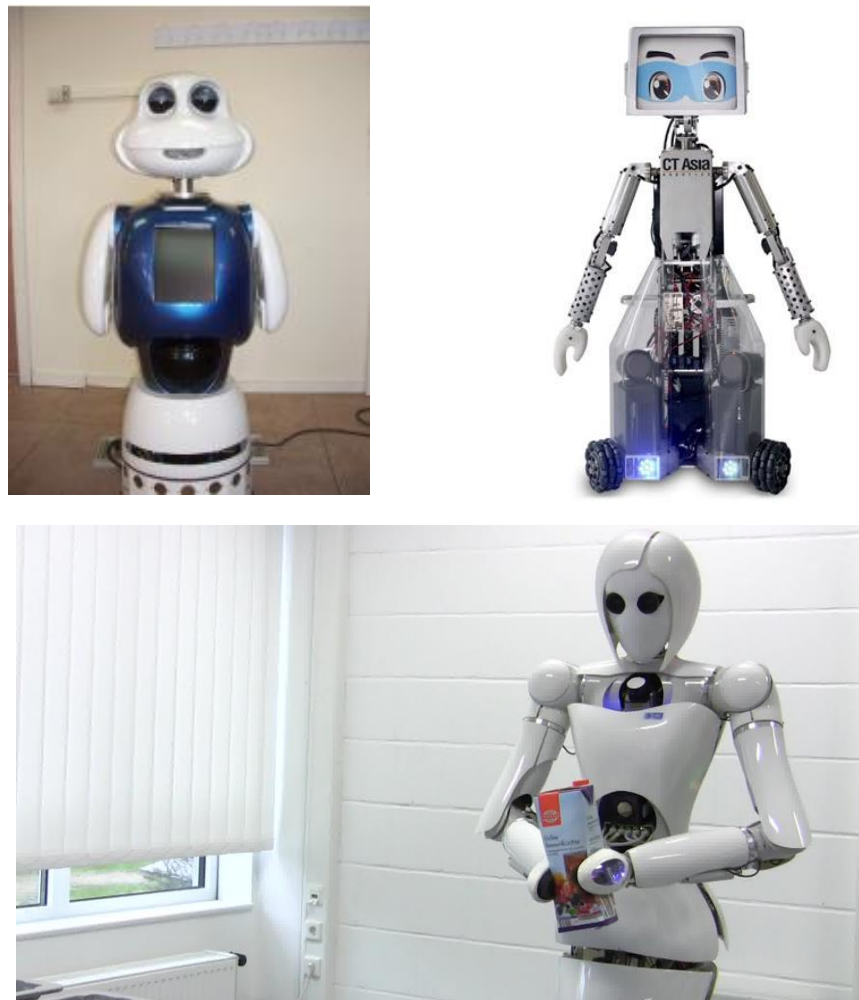


Figura 10. Robot Maggie, robot Yumbo y robot AILA



## 2.6 APLICACIONES DE MONITORIZACIÓN DE DATOS EN ROBÓTICA

La autonomía de un robot es uno de los principales objetivos que los investigadores en robótica se han trazado en las últimas décadas. Lograr esto abarca un abanico muy amplio de sub-objetivos entre los cuales se podría decir que la navegación es una tarea primordial. Numerosas investigaciones están orientadas al estudio de diferentes métodos para lograr una navegación autónoma en un robot móvil, sin embargo muchas de estas técnicas no emulan el procesamiento cognitivo de los humanos, es por esto que se presenta el reto de que un robot móvil pueda emular el comportamiento de los humanos en el momento de diseñar estrategias para la navegación. Para ello, de la misma forma que los humanos debemos enfrentarnos a este tipo de situaciones mediante nuestros sentidos, un robot que tenga que moverse por entornos desconocidos también debe ser capaz de resolver este problema usando los recursos del entorno como es la adquisición de información mediante sensores así como interpretación, procesamiento y finalmente la ejecución de acciones para alcanzar el punto destino.

A continuación, se van a ver varias aplicaciones de monitorización de datos además de las destinadas a servir de ayuda a la navegación autónoma. Muchas de ellas se han implementado en UAV, es decir, vehículo aéreo no tripulado, en vez de robots terrestres móviles ya que la capacidad del robot aéreo para desplazarse en las tres dimensiones y colocar los sensores en cualquier punto supone una gran ventaja.

Un claro ejemplo de ello es el estudio realizado por investigadores del Grupo de Robótica y Cibernética (RobCib) del Centro de Automática y Robótica (CAR), un centro mixto de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) y del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), que ha utilizado un dron para medir la temperatura, humedad, iluminación y concentración de CO<sub>2</sub> de un invernadero con la finalidad de mejorar los sistemas de control del clima y la monitorización de los cultivos [20].

Por otro lado, la empresa alavesa Erle Robotics ha fabricado un robot terrestre con forma de araña que permitirá acceder y monitorizar espacios inaccesibles como tuberías o zonas de desastres. Erle-Spider, en la Figura 11, es el primero que cuenta con sistema operativo Ubuntu (software libre) que se fabrica en España. Tiene seis patas y se le pueden incorporar sensores medioambientales, cámaras de foto y video o equipos de transmisión de telecomunicaciones y telefonía móvil [21].

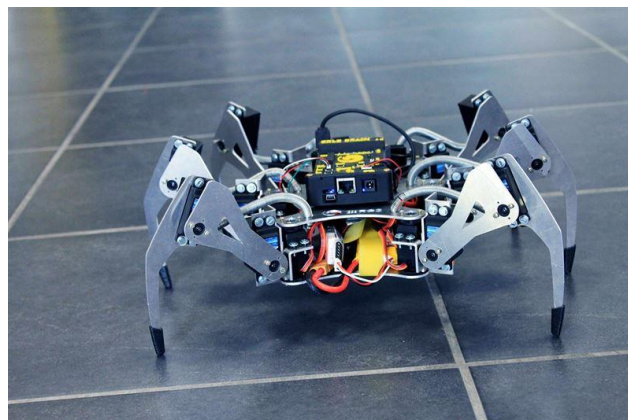


Figura 11. Robot Erle-Spider

Otra aplicación útil de monitorización de datos implementada por los científicos de la Universidad Nacional de Singapur es la del desarrollo de robots en forma de cisnes capaces de realizar estudios de periódica del agua en distintas regiones de lagos o mares. Estos NuSwan, como así los han llamado, equipados con un paquete de baterías recargables, motor eléctrico, un par de propulsores, un módulo además de sensores que son capaces de medir y monitorizar el pH, la turbiedad, el contenido de y el oxígeno disuelto. También, cuenta con un módulo WiFi capaz de enviar los resultados a la nube que puedan ser consultados de forma remota [22].



Figura 12. Robot NuSwan

Para acabar, se va a hablar otra aplicación muy interesante, la robótica asistencial. En concreto de un proyecto desarrollada por el grupo de Robótica de la Universidad de León, donde han implementado robots móviles para la vigilancia y monitorización de personas que requieren asistencia. Este robot es capaz de moverse por las estancias donde se encuentran las personas y emitir una señal de alarma si algo no va bien. Además, han diseñado otras herramientas para facilitar la vida a personas con diferentes grados de discapacidad o dependencia como sistemas de ayuda para la navegación en sillas de rueda o manipuladores que sirven de soporte en tareas cotidianas como alimentarse o coger objetos. Otra aplicación desarrollada en esta universidad es la del robot vigilante, un dispositivo capaz de realizar labores de seguridad privada, como patrullar diversas zonas y comunicarse con un ordenador central [23].



## CAPÍTULO 3: ELEMENTOS DEL PROYECTO

En este capítulo se van a explicar con detalle algunos de los elementos más importantes del presente proyecto anteriormente mencionados en recursos utilizados. Se ha querido ahondar en los temas de impresión 3D y tecnología RFID puesto que son dos elementos clave del proyecto.

### 3.1 IMPRESORA 3D

Una impresora 3D es una máquina capaz de imprimir diseños de piezas en 3D a partir de un diseño hecho por ordenador consiguiendo de esta forma la fabricación de prototipos reales. Además, esta forma es mucho más rápida y sencilla que otras técnicas de producción en las que son necesarias materiales y maquinaria adecuada y específica a lo que se quiere fabricar, por lo que se suele decir que una impresora 3D es una máquina de prototipado rápido.

En el 2005, el matemático e Ingeniero Adrian Boywer, profesor de la Universidad de Bath en Reino Unido comenzó el proyecto *Reprap*, consistente en la construcción de una impresora 3D capaz de auto-replicarse a sí misma de forma que cualquier persona puede ensamblar si cuenta con el tiempo y los materiales. Esto ha desembocado en una disminución del precio de estas máquinas debido a la aparición de empresas dedicadas a la venta de impresoras, ocasionando lo que se ha llamado como *revolución de la fabricación personal*. A raíz de esto miles de personas en el mundo están diseñando, y en muchos casos compartiendo, piezas imprimibles contribuyendo de este modo a proyectos de distribución de hardware de código abierto como es, por ejemplo, *Thingiverse*.

Estas impresoras sirven para imprimir todo tipo de formas, desde objetos con fines industriales a piezas útiles para el día a día. Algunos ejemplos son: juguetes, figuras, carcasas para teléfonos, pequeños robots incluso pistolas o cámaras de fotos. Una aplicación a destacar sobre el uso de impresoras 3D es la capacidad para imprimir partes del cuerpo humano del tamaño y materiales precisos que necesita el paciente como son las prótesis, como piernas plásticas, orejas postizas, cubiertas para la cara en caso de heridas profundas e incluso trozos de huesos que se insertan bajo la piel y tienen un tamaño personalizado según cada necesidad [24].



Figura 13. Ejemplos de impresión 3D

➤ **Características de la impresora utilizada**

La impresora 3D Prusa i3 Hephestos es un proyecto libre diseñado y desarrollado por el departamento de Innovación y Robótica de BQ. Hephestos toma la base de la Prusa i3 y añade varias mejoras extraídas de otras impresoras como la PowerCode, usuarios de la comunidad RepRap, modificaciones de estas piezas y diseños propios del departamento.

Esta impresora se basa en una *impresión por deposición de material fundente* que consiste en que la impresora crea un modelo de la pieza a imprimir por capas que va a ir rellenando de plástico capa a capa.

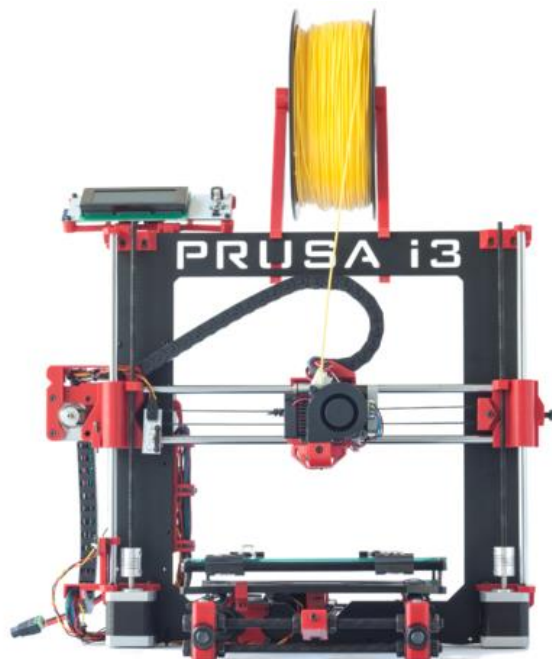


Figura 14. Impresora 3D Prusa i3 Hephestos

Características técnicas:

- ❖ **Modelo:** 3D Prusa i3 Hephestos, del departamento de Innovación y Robótica de bq.
- ❖ **Dimensiones área de impresión:** (x) 215 x (y) 210 x (z) 180 mm.
- ❖ **Resolución:** entre 60 micras (muy alta) y 300 micras (baja).
- ❖ **Mecánica del extrusor:** Boquilla de 0.4mm, disipador de aletas con ventilador axial y tobera de refrigeración de pieza.
- ❖ **Electrónica:** Ramps 1.4, Mega 2560, pantalla de LCD con encoder rotativo y con pulsador para la navegación.
- ❖ **Software:** Firmware derivado de Marlin.
- ❖ **Entorno recomendado:** Cura.
- ❖ **Materiales:** Filamento PLA de 1.75 mm.

➤ **Software utilizado:**

Hay una serie de pasos a seguir hasta tener el prototipo real en los que intervienen varios programas que se van a ver a continuación. En la Figura 15 se ve a grandes rasgos el proceso seguido en este proyecto.

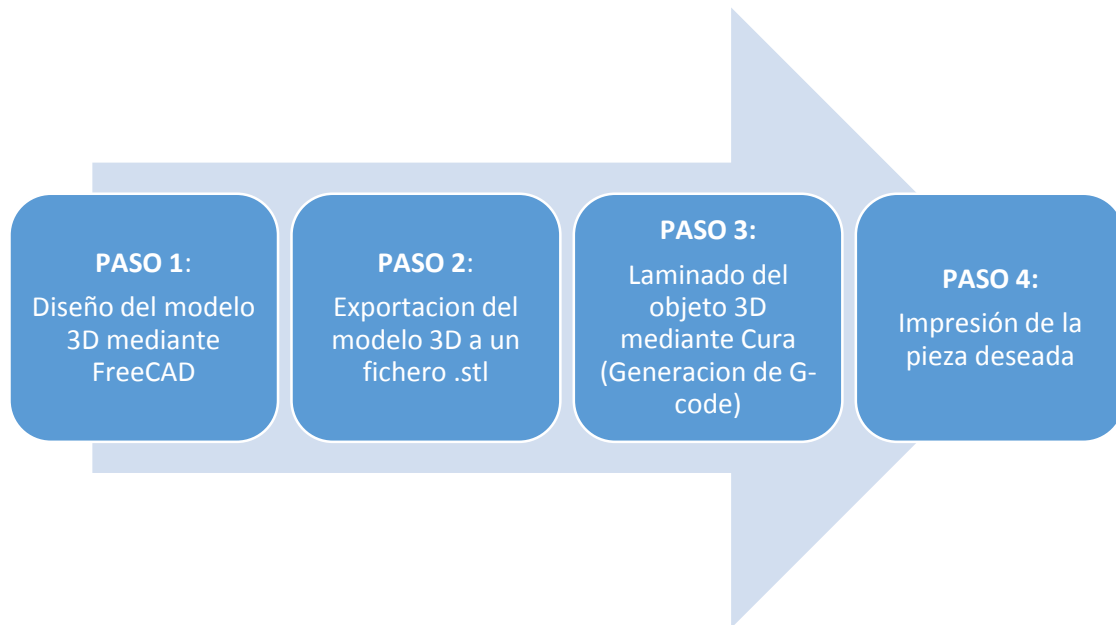


Figura 15. Pasos a seguir hasta obtener la pieza deseada

En primer lugar se diseña el modelo 3D de la pieza deseada mediante un programa de CAD (computer-aided design o, en español, diseño asistido por ordenador). En el presente proyecto se ha elegido el programa *FreeCAD* ya que se ha intentado usar tecnologías libres en la medida de lo posible. El motivo es debido, principalmente, a que la tecnología de impresión 3D se basa en una filosofía open-source que implica facilidad y accesibilidad para reproducir y modificar las piezas diseñadas.

En segundo lugar, desde *FreeCAD* se exporta el objeto creado a un archivo STL ('.stl'), del inglés STereo Lithography, que es un formato de archivo informático de diseño asistido por computadora que define geometría de objetos 3D, excluyendo información como color, texturas o propiedades físicas que serán definidas más adelante. Este formato utiliza una malla de triángulos cerrada para definir la forma del objeto, y cuantos más pequeños sean mayor será la resolución del fichero final.

En tercer lugar se genera el G-code a partir del STL mediante un software especializado. G-code es un lenguaje de programación que se traduce en una lista de instrucciones a ejecutar por la impresora. En este proyecto se ha elegido *Cura* porque es el recomendado por los fabricantes de la impresora utilizada ya que además, se encarga de la comunicación con la impresora.

Por último, se procede a la impresión de la pieza. Durante la creación de la pieza, el extrusor de la impresora va fundiendo el material, en este caso PLA, formando un hilo que va depositando en la base mediante capas. El extrusor se va moviendo por la base mediante motores paso a paso en el plano XZ mientras que la base se desplaza por el eje Y (Ver Figura 16).

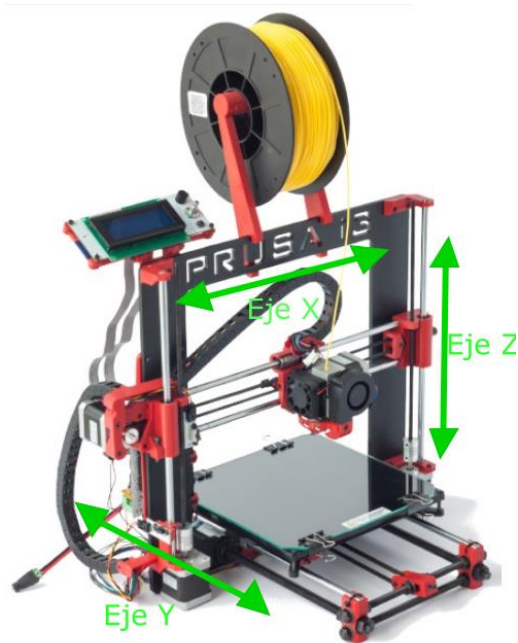


Figura 16. Movimiento de los ejes de la impresora 3D

### ❖ **FreeCAD**

FreeCAD es una herramienta de diseño 3D, para la asistencia en ingeniería mecánica y el diseño de elementos mecánicos. Está basado en Open CASCADE y programado en los lenguajes C++ y Python y está provisto de una arquitectura de software modular, pudiendo añadir de forma sencilla funcionalidades sin tener que cambiar el núcleo del sistema.

Es similar a herramientas comerciales como CATIA, SolidWorks, SolidEdge o Inventor con la principal diferencia de que FreeCAD es una aplicación libre por lo que se tiene acceso al código fuente. A pesar de no tener tanta potencia como los mencionados, hay muchos desarrolladores y usuarios modificando y mejorando este código fuente y compartiendo conocimientos. Además, es multiplataforma por lo que se puede usar tanto en Linux como en Mac y en Windows.

Existen otras herramientas libres para diseño 3D como OpenSCAD. Este entorno es muy bueno para hacer piezas aisladas, recursivas o paramétricas y está basado en programación por lo que las piezas se diseñan mediante código. Sin embargo, para el diseño de sistemas mecánicos más complejos es mejor FreeCAD y es por eso por lo que se ha elegido.

FreeCAD utiliza técnicas de modelado paramétrico en el que cada elemento del dibujo (rueda, base, base, cuerpo, etc.) es tratado como un objeto, el cual no es definido únicamente por sus coordenadas espaciales (x, y, z), sino también por sus parámetros, ya sean estos gráficos o funcionales. Las bases de datos relacionadas con el objeto hacen que este software, y especialmente su banco de trabajo de arquitectura, esté muy relacionado con el enfoque BIM, en el que un modelo BIM contiene el ciclo de vida completo de la construcción, desde el concepto hasta la edificación.

En FreeCAD hay diferentes bancos de trabajo que contienen herramientas según el objeto que se quiera modelar. En el presente proyecto se han utilizado tres bancos de trabajo distintos:

- **Part:** Se basa sobre todo en el uso de una geometría constructiva que consiste en crear objetos sencillos como cubos, cilindros o esferas y combinarlos mediante operaciones booleanas como son la unión, diferencia o intersección obteniendo diferentes formas. Asimismo se pueden cambiar las propiedades del objeto como las dimensiones, orientación, posición o colores (Ver Figura 17).
- **Part Design:** Se centra en el diseño de croquis o de objetos en dos dimensiones a partir de los cuales se genera volumen mediante extrusiones.
- **Draft:** Se ha utilizado para ensamblar las diferentes piezas del robot así como para la acotación de las piezas.



Figura 17. Interfaz de FreeCAD en el banco de trabajo Part

## ❖ Cura

Es un programa "Open Source" desarrollado por ultimaker para la comunicación con la impresora y el laminado de objetos 3D, por lo que desde este programa se pueden realizar todos los pasos necesarios para pasar de un modelo 3D a un objeto real. Este programa permite variar una alta cantidad de parámetros para la configuración del laminado que determinan en gran medida como será el resultado final del objeto impreso.

Algunos de esos parámetros son:

- *Altura de capa:* Este parámetro indica la altura de capa a la que se va a realizar la impresión. Influye directamente en la calidad de la pieza, a menor altura de capa mayor calidad, pero incrementa también los tiempos de impresión.
- *Grosor del borde, de la capa inferior y de la capa superior:* Este parámetro determina la anchura del borde del objeto así como el grosor de las capas superior e inferior.
- *Retracción:* Si se habilita esta opción el extrusor va a retraer un poco el plástico evitando que gotee.
- *Densidad de relleno:* Este valor indica el relleno que va a tener la figura. A mayor relleno se aumenta el tiempo de impresión y el coste de la pieza pero aumenta también la resistencia de la pieza.
- *Velocidad de impresión:* A menor velocidad se consigue una mayor calidad en la impresión.
- *Temperatura de impresión:* Determina la temperatura del extrusor a la que se va a imprimir en función del plástico utilizado. En el caso del presente proyecto se ha utilizado PLA cuya recomendación es de 190-220°.

Además da opción a crear estructuras de soporte o de mejora de la adherencia, que son estructuras frágiles y fácilmente eliminables para la sujeción de voladizos o formas complicadas de la estructura asegurando así una correcta impresión.

Los parámetros de laminado usados en Cura en el presente proyecto han sido:

The image shows a screenshot of the Cura software interface, specifically the 'Layering' section. The settings are organized into several categories:

- Quality:**
  - Layer height (mm): 0.1
  - Shell thickness (mm): 1.2
  - Enable retraction:
- Fill:**
  - Bottom/Top thickness (mm): 0.6
  - Fill Density (%): 20
- Speed and Temperature:**
  - Print speed (mm/s): 50
  - Printing temperature (C): 220
- Support:**
  - Support type: None
  - Platform adhesion type: None
- Filament:**
  - Diameter (mm): 1.75
  - Flow (%): 100.0

Figura 18. Parámetros de laminación usados en Cura

Como se puede observar en la Figura 19 aparte de los parámetros para la configuración del laminado, también se pueden realizar otras opciones:

- *Opciones de visualización* que van a permitir la visualización de la pieza en 5 modos diferentes. Por ejemplo se va a poder observar el diseño por capas que mostrará lo que va a hacer la impresora a la hora de imprimir o las zonas de la pieza que son más problemáticas para así determinar si necesitan soporte o no.
- *Opciones de transformación* que sirven para adaptar la pieza al área de impresión mediante rotaciones y para escalar la pieza redimensionando al tamaño deseado de forma proporcional.

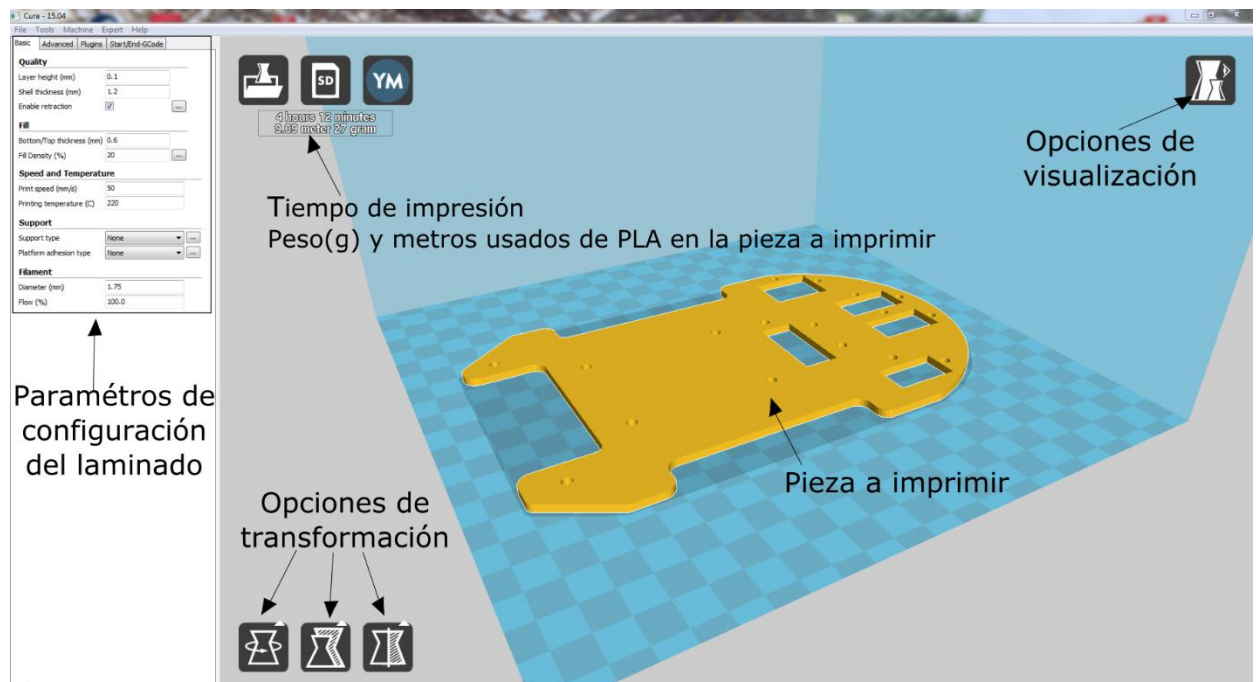


Figura 19. Interfaz del programa Cura



### 3.2 ARDUINO

Las tarjetas Arduino son plataformas electrónicas de hardware libre. Se componen de una sencilla placa con un microcontrolador que permite desarrollar múltiples prototipos y aplicaciones. Son placas potentes y a la vez muy económicas, aptas para todo tipo de usuarios.



Figura 20.Arduino Mega 2560

#### Principales características:

- Tensión de alimentación recomendada: 7-12 V.
- Microprocesador *ATmega2560*.
- Voltaje operativo de 5V.
- 54 Pines Digitales I/O (Entrada/Salida) de las cuales 14 se pueden utilizar como salidas PWM.
- 16 Entradas Analógicas.
- Puertos Serial (UARTs).
- Salida de alimentación de 5V y 3.3V con 50mA.
- Máxima corriente continua para las entradas: 40mA.
- Memoria de programa (*Flash Memory*) de 256kb (el *bootloader* ocupa 8kb).
- Memoria SRAM de 8kb para datos y variables del programa.
- Memoria EEPROM para datos y variables no volátiles de 4Kb.
- Velocidad de trabajo del reloj: 16MHz.
- Dimensiones: 100 x 50 mm.
- Conexión USB.

En este proyecto se eligió la tarjeta del modelo *Arduino Mega 2560* por la cantidad de pines digitales ya que se usan un número total de 18 pines digitales debido a la multitud de sensores y actuadores que componen el proyecto Domobot. Además, de esta forma, se crea la posibilidad de una futura expansión añadiendo más sensores o módulos. Además, esta placa permite la comunicación vía Bluetooth con el ordenador gracias a sus puertos *serial (UART)*.



### 3.3 SENSORES

De la misma forma que los seres vivos usan sus sentidos, los robots se valen de sensores que le facilitan la información que necesitan para adaptarse e interactuar con su entorno y así interpretar el mundo real: dónde están, cómo es el lugar en el que están, a qué condiciones físicas se enfrentan, dónde están los objetos con los que deben interactuar, sus parámetros físicos, etc.

Un sensor consta de un determinado elemento sensible a una magnitud física como, por ejemplo, la intensidad o color de la luz, sonido, temperatura, distancia, humedad, fuego, etc. y debe ser capaz de transformar esa magnitud física en magnitudes eléctricas para que así puedan ser utilizadas para el control del robot.

Pensando en los datos que puede interesar saber sobre una vivienda genérica, se han elegido los siguientes sensores: de *temperatura*, de *humedad*, de *luz*, de *gases* y de *llama*. Y además, para la navegación se eligieron *sensores de ultrasonidos* para una navegación autónoma mediante el seguimiento de paredes y *sensores de infrarrojos* para una navegación siguiendo una trayectoria previamente establecida en el suelo mediante una línea.

A continuación se va a detallar funcionamiento y características de los sensores por los que finalmente se optaron.

#### 3.3.1 SENSOR DE ULTRASONIDOS

Los sensores de ultrasonidos son dispositivos que utilizan ondas sonoras de ultrasonidos para saber a qué distancia está un objeto. Emiten una onda ultrasonido mediante el emisor propagándose hasta que se encuentra con un obstáculo, entonces rebota y es recogida por el receptor. La distancia a dicho obstáculo se puede conocer ya que como la velocidad del sonido es conocida (343,2 metros/segundo) sólo haría faltar medir el tiempo que tarda la onda en ir y volver y, de esta forma, calcular la distancia al obstáculo, sin olvidarse de dividir el tiempo entre dos. Esta característica hace que se utilicen mucho en robots para que detecten los objetos que tienen delante y no choquen contra ellos.

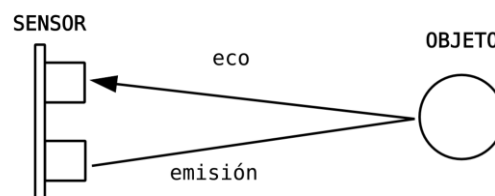


Figura 21. Funcionamiento del Sensor de Ultrasonidos

Su principal ventaja es la detección de objetos sin necesidad de contacto físico y es por esto por lo que se eligió para hacer el seguimiento de paredes evitando chocar con éstas. Su mayor inconveniente es la zona ciega que queda comprendida entre el lado sensible del detector y el alcance mínimo, en el que ningún objeto puede detectarse de forma fiable.

El sensor de ultrasonidos elegido en el presente proyecto es el **HC-SR04** debido, principalmente, a su relación calidad/precio ya que es un módulo barato a la par que eficiente. Consta de 4 hilos: Vcc, Trigger, Echo y GND, a los que se conectará un cable con conector JST de 4 pines.

Se han usado 2 sensores de ultrasonidos para la navegación por control "*Sigueparedes*": Este modo consiste en mantenerse pegado a una distancia fija de la pared y girar a la derecha cuando sea posible, es decir, cuando haya que meterse a una habitación. De este modo se recorrerá la totalidad de la vivienda pasando por todas las habitaciones. Por tanto, uno de los sensores se ha colocado en el lado derecho del robot para controlar la distancia a la pared y el otro se ha situado mirando hacia adelante, cumpliendo la función de esquivar los obstáculos con los que Domobot se vaya encontrando.

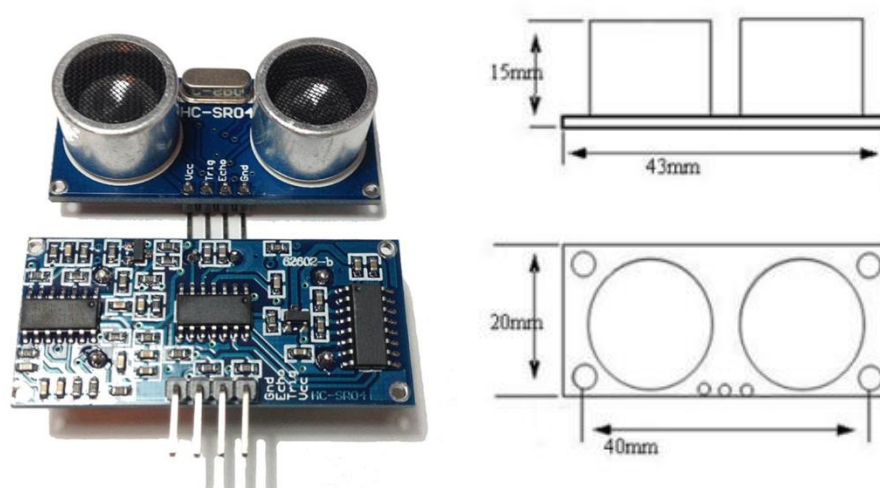


Figura 22. Sensor de Ultrasonidos HC-SR04

#### Características del HC-SR04:

- Alimentación de 5 V.
- Rango de medición: 2 cm a 400 cm
- Corriente de alimentación: 15 mA
- Frecuencia del pulso: 40 KHz
- Apertura del pulso ultrasónico: 15°
- Señal de disparo: 10µs
- Dimensiones del módulo: 45x20x15 mm.

### 3.3.2 SENSOR DE INFRARROJOS

El sensor de infrarrojos es un dispositivo que detecta la luz reflejada por un diodo emisor de infrarrojos que tiene en su interior (Ver Figura 23). Los sensores de infrarrojos están presentes en objetos cotidianos como mandos de la televisión, puertas de garaje, alarmas antirrobo o farolas (se encienden al oscurecer y se apagan cuando se hace de día).

El sensor elegido es de la marca *ElecFreaks*, módulo Octopus, basado en el elemento sensible fotoeléctrico TCRT5000, que detecta el infrarrojo. Es un módulo en el que ya viene integrado todo el circuito de control necesario para usar el sensor de infrarrojos de tal forma que solo hay que conectarlo, alimentarlo, conectarlo a tierra y a un pin de señal digital. Se trata de un componente digital, ya que sólo devuelve dos valores, 0 y 1, por lo que se pueden usar perfectamente para la navegación por “*Siguelíneas*” que se ha implementado en el proyecto, en la que el robot va a seguir la trayectoria de una línea negra por lo que tendrá que distinguir colores oscuros de colores claros. Cuando detecta negro devuelve un 0 ya que el negro absorbe la luz y, por tanto, la luz reflejada por el sensor es 0, o cercana a 0 y cuando detecta blanco o un color claro sucede justo al revés, detectando un valor muy cercano al 1.

Se han utilizado dos sensores de infrarrojos para el modo Siguelíneas, cuyo algoritmo de funcionamiento se explicará más adelante en la sección 4.3.1.

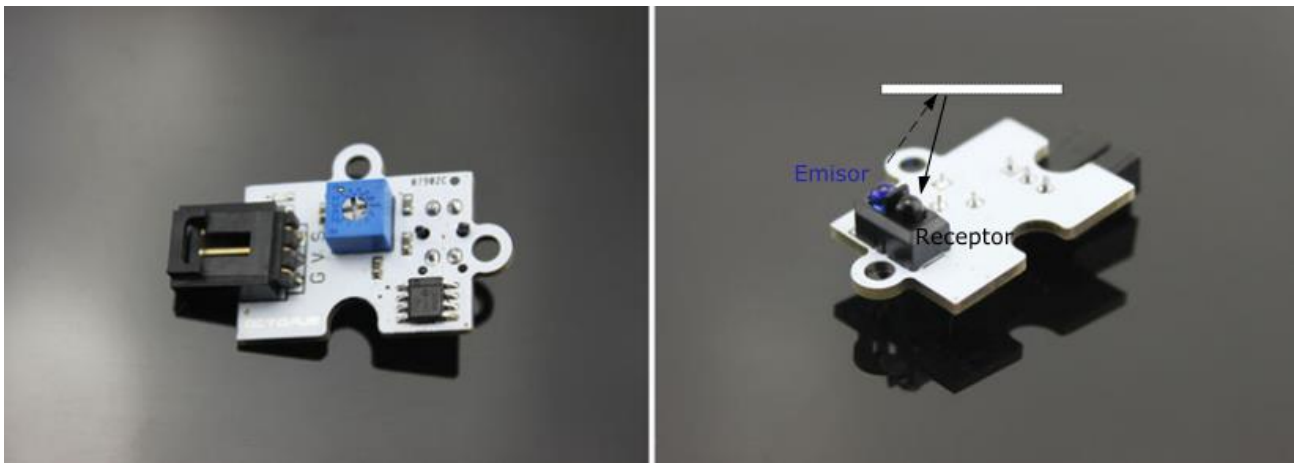


Figura 23. Sensor de Infrarrojos

#### Características:

- Alimentación de 5 V.
- Alta sensibilidad y respuesta rápida.
- Corriente de alimentación para el emisor y el receptor respectivamente: 10 mA y 0,1 mA
- Pines: Vcc, GNG y Señal digital
- Conexión a cable con conector JST de 3 pines

### 3.3.3 SENSOR DE TEMPERATURA Y HUMEDAD

La temperatura y humedad son dos parámetros importantes a la hora de monitorizar cualquier entorno ya que mantener un ambiente confortable en una vivienda es una premisa importante a tener en cuenta.

El sensor elegido de temperatura y humedad es de la marca *ElecFreaks*, módulo Octopus, que es un módulo basado en el elemento sensible DHT11, que se encarga de la detección de temperatura y humedad. Para la medición de la humedad utiliza un elemento de tipo resistivo y para la medición de temperatura usa un NTC, los dos conectados a un microcontrolador de 8 bit. Además, cuenta con una salida de señal digital calibrada por lo que únicamente mediante un pin digital se obtendrán datos de temperatura y humedad. Aunque el diseño es simple, los resultados son potentes ya que es un sensor con una alta sensibilidad a los cambios de temperatura y humedad, por lo que se puede utilizar como alarma de temperatura, de humedad u otras

Otra ventaja de este sensor es la existencia de librerías ya creadas que simplifican la comunicación con los sensores DHT11 y que se han usado en el presente proyecto. En el presente proyecto se ha utilizado la librería "*DHT.h*"

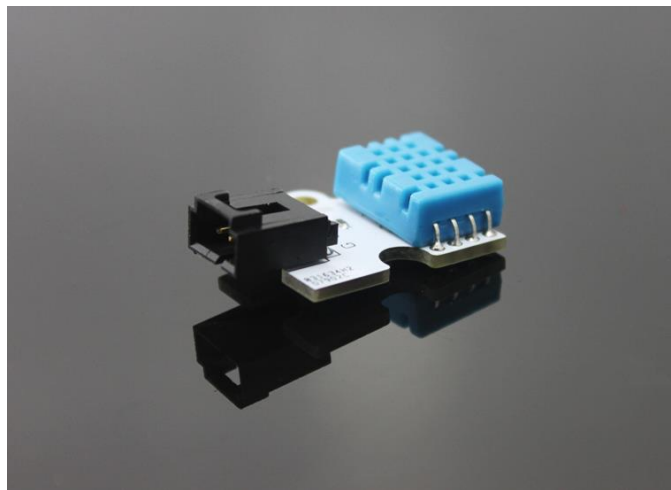


Figura 24. Sensor de temperatura y humedad DHT11

#### Características:

- Alimentación: 5V
- Rango de medición de humedad: 20-90% con una precisión de  $\pm 5\%HR$
- Rango de medición de temperatura: 0 hasta 50°C con una precisión de  $\pm 2^\circ C$
- Interfaz: Digital
- Definición de los pines: 1-Signal 2-VCC 3-GND
- Respuesta rápida y alta sensibilidad
- Circuito de acondicionamiento simple

### 3.3.4 SENSOR DE LUZ

El sensor de luz es un dispositivo electrónico que varía en función de la intensidad de la luz. Constan de un componente emisor que genera la luz, y un componente receptor que percibe la luz generada por el emisor así como de un transductor fotoeléctrico para convertir la luz a una señal eléctrica y puede incluir electrónica para condicionamiento de la señal, compensación y formateo de la señal de salida. Es un componente analógico ya que, a diferencia de los digitales, pueden devolver valores entre 0 y 1023.

Este componente tiene numerosas aplicaciones en aparatos que están presentes en nuestra vida cotidiana como, por ejemplo: Puertas de garaje, alarmas antirrobo, ordenadores, teléfonos y televisiones (para controlar el brillo de la pantalla).

El sensor de luz más común, y el utilizado en el presente proyecto, es el **LDR** (Light Dependant Resistor o Resistor dependiente de la luz en español) que es un resistor que cambia su resistencia cuando cambia la intensidad de la luz. Cuanto mayor sea la intensidad de la luz, más baja será la resistencia al paso de la corriente por lo que el valor será muy alto cuando está a oscuras y bajo cuando hay mucha luz. Su funcionalidad en el proyecto es la de medir la cantidad de luz en una habitación. En concreto se ha elegido el modelo de sensor LDR de la marca *ElecFreaks*, módulo Octopus, que ya viene con su circuito integrado correspondiente:

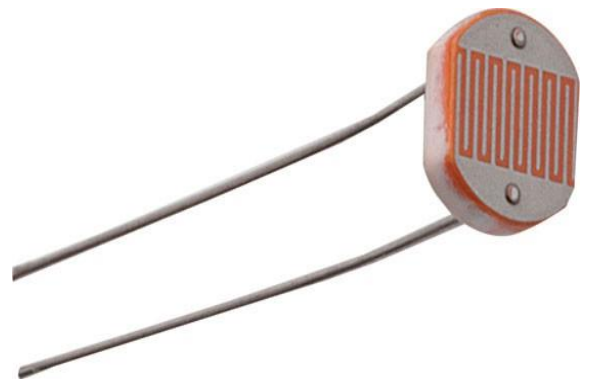


Figura 25. Módulo LDR y sensor LDR

#### Características:

- Alimentación: 3.3V o 5V.
- Pines: Alimentación, GND y señal analógica.
- Conexión a cable con conector JST de 3 pines
- Alta precisión y sensibilidad
- Dimensiones: 19 mm x 27 mm

### 3.3.5 SENSOR DE GASES

Al igual que los sensores de humedad y temperatura, un sensor de gas es muy útil en una vivienda puesto que te avisa ante cualquier fuga de gases así como de la calidad del aire de tu entorno.

El sensor elegido para el presente proyecto ha sido el sensor de gas analógico MQ5, de la marca *ElecFreaks*, módulo Octopus, que se utiliza en la detección de fugas de gas tanto en viviendas particulares como industrias. Son adecuados para la detección de GLP (gas licuado del petróleo), gas natural, butano, propano, metano, hidrogeno así como los vapores del alcohol y humo de cocina o de un cigarrillo. Tiene una alta sensibilidad que puede ser ajustada con un potenciómetro.

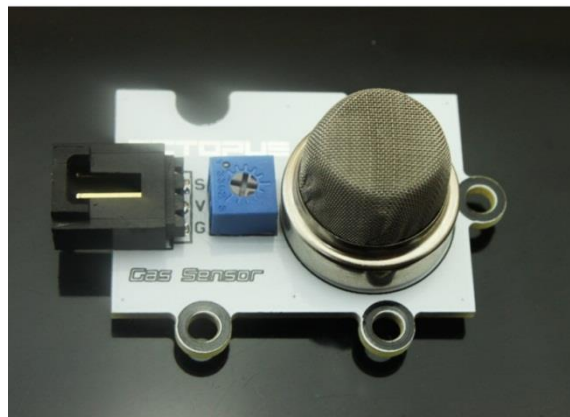


Figura 26.Sensor de Gas MQ5

Estas son algunas de sus características:

- Alimentación: 5V
- Definición de los pines: S- señal; V-Vcc; G-GND
- Alta sensibilidad a GLP, gas natural, butano, propano, metano, hidrogeno
- Pequeña sensibilidad al alcohol, el humo.
- Respuesta rápida.
- Vida estable y de largo \*
- Circuito de acondicionamiento simple
- Dimensiones: 38x27mm

### 3.3.6 SENSOR DE LLAMA

El sensor de llama, como su propio nombre indica, sirve para detectar un incendio, lo cual es útil, sobre todo si en un futuro se implementa que llegue un aviso al usuario en caso de detectar alguna anomalía

El sensor de llama elegido para el presente proyecto de la marca *Elecfreaks*, módulo Octopus, es un módulo basado en el receptor de infrarrojos (sonda IR), con un diseño sencillo, cómodo a la par que sensible. Puede tener multitud de aplicaciones, como detectar el origen del fuego creando una alarma de incendios. La temperatura de funcionamiento del sensor de infrarrojos es generalmente de  $-25$  a  $85^{\circ}\text{C}$ , por lo tanto, con el fin de evitar daños, se recomienda mantener una distancia mínima de la varilla de ionización a la llama, no demasiado cerca.

Consta de tres pines: 5V de entrada, GND para la tierra y S para la salida de la señal.

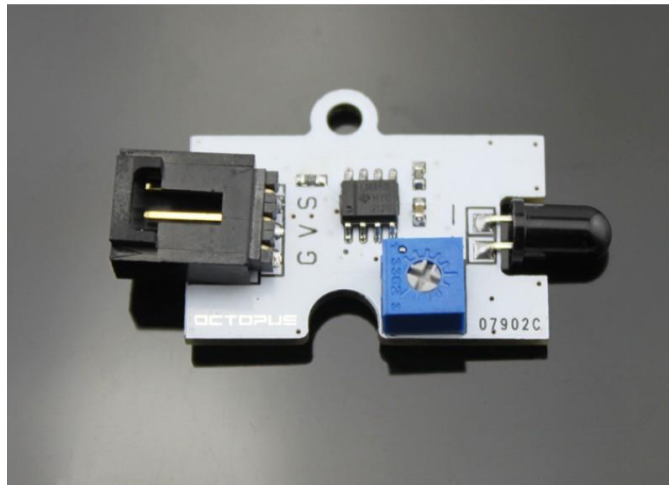


Figura 27. Sensor de llama

#### Características:

- Tensión de trabajo: 5.0 V
- Tipo de salida: Digital
- Respuesta rápida y de alta sensibilidad
- Circuito de accionamiento simple
- Vida estable y de largo
- Sensibilidad ajustable mediante potenciómetro digital.

### 3.4 ACTUADORES

Al igual que los seres humanos tienen extremidades para realizar diversas acciones, los robots disponen de actuadores, que son componentes electrónicos capaces de realizar las órdenes dadas por la unidad de control.

En el presente proyecto se han usado servos de rotación continua para mover las ruedas de Domobot así como led y zumbador, que tienen la función de alarmar al usuario tanto de forma visual como de forma sonora, al darse una serie de condiciones.

#### 3.4.1 SERVOS DE ROTACIÓN CONTINUA

Los servomotores o servos son motores de corriente continua que constan con la capacidad de ser controlados tanto en velocidad como en posición. Esto se debe a que están formados por un motor, una caja reductora y un circuito de control. Éste último está formado por un circuito electrónico y un potenciómetro que indica la posición exacta del servo.

El control de los motores se lleva a cabo mediante la modulación por ancho de pulso o PWM y suelen trabajar con una frecuencia de 50 Hz por lo que las señales PWM tendrán un periodo de 20 ms. En la Figura 28 se puede ver el funcionamiento de la modulación por PWM, que va en función del ancho de la señal modulada: Si el ancho está entre 0,3 y 1,4 ms el motor se moverá en sentido horario, si se encuentra entre 1,6 y 2 ms se moverá en sentido anti horario y si reciben 1,5 ms permanecerán quietos.

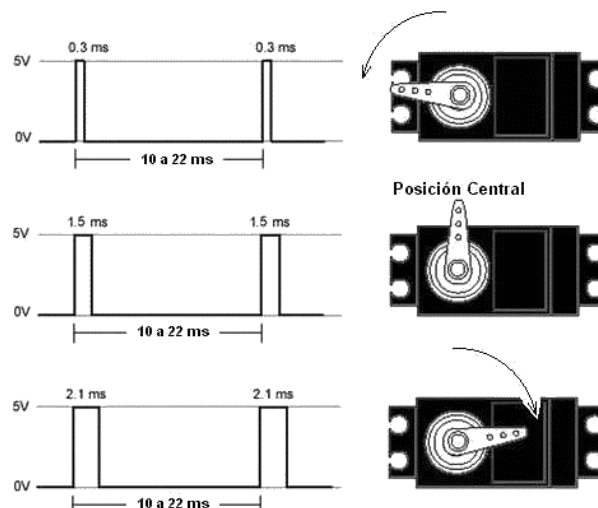


Figura 28. Señal y posición de un servo de rotación continua



Los servos reciben las señales por tres cables: Uno para la alimentación del motor y los componentes de control con valores entre 4.5 y 6 V, otro para la conexión a tierra y un tercero para el envío de la señal de control que determina la posición y movimiento.

En el presente proyecto se ha usado un servomotor de rotación continua **SM-S4303R**. Este servo tiene una gran potencia por lo que es ideal para monitorizar robots de tamaño no muy grande. En concreto se han usado dos servos de rotación continua ya que Domobot consta de dos ruedas por lo que se usará un servo para cada rueda. Se programan mediante la librería “*Servo.h*” de Arduino.

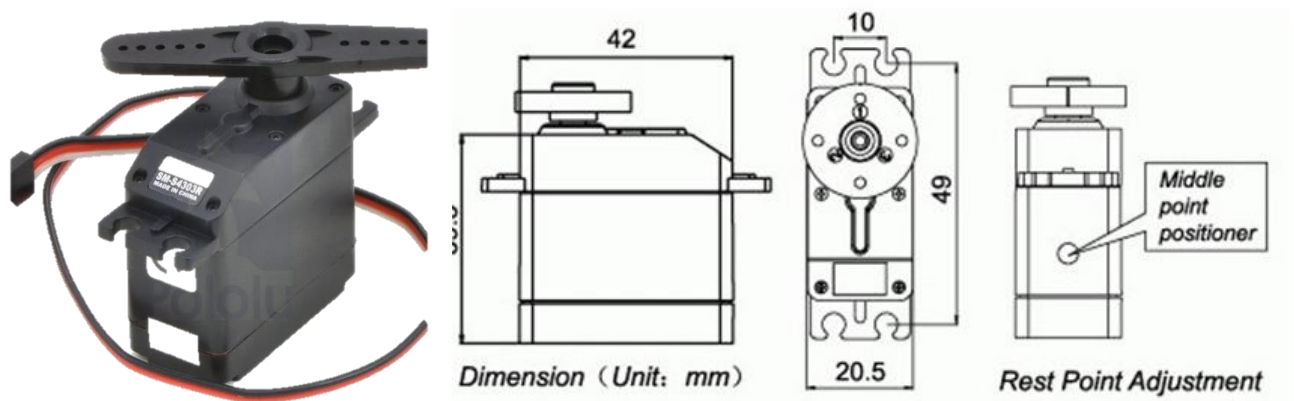


Figura 29. Servo de rotación continua SM-S4303R y sus dimensiones

#### Especificaciones:

- Tamaño: 39.5 x 20.0 x 35.6 mm
- Peso: 42 gramos
- Velocidad de rotación (6V): 0,13 sec / 60°
- Fuerza: 39.2 oz-in
- Incluye varias piezas de hardware para encajar sobre el eje.

### 3.4.2 ZUMBADOR

Un zumbador, también conocido como su traducción inglesa buzzer, es un transductor electroacústico que produce un sonido continuo o intermitente de un mismo tono. Tiene aplicaciones diversas como mecanismo de señalización o aviso y se utiliza en múltiples sistemas como electrodomésticos, automóviles, despertadores

Para el presente proyecto había dos alternativas de zumbador: activo o pasivo. La principal diferencia entre ambos es que el zumbador activo tiene su propia frecuencia de oscilación por lo que se activará siempre a la misma frecuencia. Por otro lado, el zumbador pasivo necesita que la placa Arduino genere una señal PWM que le indicará la frecuencia deseada.

Por tanto, se ha elegido el zumbador pasivo ya que sus ventajas son:

- Barato
- Frecuencia de sonido controlable mediante una PWM.

En concreto se ha elegido el zumbador pasivo de la marca *Elecfrunks*, módulo Octopus, con encapsulado OBPB01, tal y como se muestra en la siguiente figura:



#### Características:

Figura 30.Zumbador pasivo

- Alimentación: 5V
- Pines: S-Señal; V-VCC; G-GND
- Respuesta rápida y de alta sensibilidad
- Circuito de accionamiento simple
- Vida estable y de largo
- Dimensiones: 19x27mm



### 3.5 MÓDULO RFID

La tecnología RFID es un sistema de identificación de objetos de forma inalámbrica sin necesidad de que exista contacto físico o línea de visión directa entre el lector y el objeto, algo indispensable para otras tecnologías como el código de barras. Dichos objetos son dispositivos denominados etiquetas, tarjetas, transpondedores o etiquetas RFID, las cuales tienen una identidad única. Estas etiquetas pueden ser de lectura, o lectura y escritura, como se verá más adelante, y van a transmitir los datos que contienen al lector RFID, cuando este lo solicite, mediante ondas de radio. Las tecnologías RFID se agrupan dentro de las denominadas Auto ID (automatic identification, o identificación automática).

Los últimos avances de la tecnología RFID en aspectos tales como seguridad, almacenamiento, alcance o velocidad de lectura ha provocado que se convierta en una solución preferida a otras alternativas como el código de barras.

Algunas **ventajas** del RFID respecto al código de barras:

- Reducción de costes en las cadenas de producción y logística
- Universalidad
- Unicidad del código identificador de la etiqueta

Los **elementos** de un sistema RFID, básicamente, son los siguientes:

- Sistema software para procesar los datos
- Lector RFID: está formado por un módulo de radiofrecuencia que trabaja como transmisor y receptor, también cuenta con un microcontrolador y una antena, que se encarga de leer los datos contenidos en la tarjeta, y en algunos casos, de alimentarlas.
- Tarjeta RFID, también conocida como tag. Esta etiqueta se inserta o adhiere en un objeto, animal o persona, portando información sobre el mismo. Se compone de un microchip donde se almacena los datos y una antena que se encarga de la comunicación por radiofrecuencia con el lector.

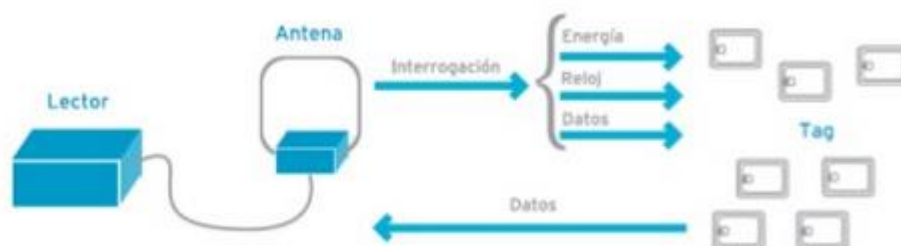


Figura 32. Sistema RFID básico

Algunas **aplicaciones** del sistema RFID son las siguientes:

- Control de acceso: peajes de carretera, aparcamientos, acceso a transporte público, acceso a edificios, acceso a zonas restringidas.
- Identificación, localización y monitorización de personas, animales u objetos, en combinación con sensores (temperatura, humedad), tecnología inalámbrica (wlan) o tecnología de localización (GPS).
- Autenticidad de productos o documentos.

En definitiva, esta tecnología permite la introducción a bajo coste de un código identificativo único y universal en los objetos, que permite a su vez, la interacción con otros sistemas, tanto locales como remotos. Algunos ejemplos de empresas que han adoptado esta tecnología en su procedo industrial son: BMW, Teso, Nokia, Michelin, Metro Group, etc [25].

➤ **Frecuencia de funcionamiento**

A medida que se ha desarrollado las tecnologías de fabricación de circuitos integrados se han ido abaratando los costes de producción y la evolución de la tecnología hacia frecuencias de transmisión más elevadas, lo que ha supuesto una reducción de tamaño y mayor velocidad de transferencia de datos

Por otro lado, la frecuencia de trabajo de la etiqueta y de los lectores condiciona las características físicas de propagación del campo electromagnético y, por tanto, las de transmisión de los datos: distancia máxima de lectura, velocidad de transmisión. Estas características condicionan también las aplicaciones comerciales para las que se puede utilizar la tecnología RFID, como se puede apreciar en la

Figura 33 [25]:

Frecuencia de trabajo	Aplicaciones usuales
LF: 135 KHz	- Control de acceso - Identificación de animales - Control antirrobo en coches
HF: 13.56 MHz	- Control de acceso - Bibliotecas y control de documentación - Pago en medios de transporte - Control de equipaje en aviones
UHF: 860-960Mhz	- Cadenas de suministro - Trazabilidad de objetos de valor - Control antifalsificación - Automatización de las tareas de inventariado - Pago de peaje en autopistas
Microondas: 2.4 GHz, 5.8 GHz	- Pago de peaje en autopistas - Rastreo de vehículos

Figura 33.Aplicaciones de la tecnología según la frecuencia de trabajo

Como se puede observar se pueden clasificar las frecuencias de trabajo en baja frecuencia (LF), alta frecuencia (HF), ultra alta frecuencia (UHF) y microondas. Cuanto mayor sea la frecuencia, mayor puede ser la cantidad de información manejada así como la velocidad de lectura y el rango de lectura. Por ejemplo, para frecuencias LF y HF los rangos de lectura son inferiores a 1 metro y en UHF se pueden alcanzar entre 1-8 metros para etiquetas pasivas y hasta 100 metros.

### ➤ Etiquetas

Una etiqueta [25] consta básicamente de un inductor, en caso de LH y HF, y una antena, en caso de UHF y microondas, y de un circuito integrado (Ver Figura 34).

Las etiquetas RFID pueden presentarse de muchas formas como por ejemplo, pegatinas adhesivas, discos plásticos, chapas PVC, cilindros de plástico, tarjetas plásticas, pulseras, brazaletes, llaveros, etc. por lo que según las distintas características de las etiquetas, se pueden realizar varias clasificaciones, como se puede observar en las siguientes tablas:

---

Clasificación 1: Acceso
Solo lectura
Escritas una vez y múltiples lecturas
Escritura y lectura múltiples

Tabla 2. Clasificación de etiquetas según acceso

---

Clasificación 2: Memoria
Etiqueta solo con identificación de usuario (64/96 bits)
Etiqueta con identificación de usuario (64/96 bits) + Memoria (0-8Kbits, según fabricante)

Tabla 3. Clasificación de etiquetas según memoria

---

Clasificación 3: Alimentación
Pasivas: sin alimentación propia, la obtienen de la señal RF emitida por el lector. Por tanto, tanto la alimentación como la comunicación se realizan con la señal recibida por el lector.
Semi-pasivas: tienen una pequeña batería que las alimenta pero la comunicación de respuesta hacia el lector se hace con la misma señal RF que le llega del lector
Activas: Tienen una batería que les permite tanto alimentarlas como reforzar la señal que le llega del lector permitiéndole alcances mayores.

Tabla 4. Clasificación de etiquetas según alimentación

➤ **Módulo RFID elegido**

El lector RFID elegido para el presente proyecto es el **MFRC522**, que es un lector/escritor altamente integrado que trabaja a una frecuencia de 13,56 MHz (HF).

Como se puede apreciar en la Figura 34 el módulo consta de 8 pines: RST, SDA, MOSI, MISO, SCK, 3V3, 5V y GND. El módulo utiliza 3.3V como voltaje de alimentación y se controla a través del protocolo Serial Peripheral Interface (SPI), por lo que es compatible con casi cualquier micro controlador.



Figura 34. Módulo RFID MFRC522 y diferentes tipos de etiquetas RFID

Se trata de un módulo lector sin contacto que utiliza un sistema avanzado de modulación y demodulación para todo tipo de dispositivos pasivos de 13.56Mhz. Está basado en la MFRC522 de NXP BV y es compatible con la norma ISO / IEC 14443 A. La distancia de funcionamiento en modo lectura/ escritura es de hasta 40 mm. La tarjeta que viene con el módulo RFID cuenta con 64 bloques de memoria donde se hace lectura y/o escritura la cual tiene la capacidad de almacenar hasta 16 Bytes.

Características:

- Fuente de alimentación 3,3 V
- Distancia de funcionamiento en modo de lectura / escritura de hasta 40 mm
- Interfaz SPI
- Consumo en funcionamiento: 13 - 26mA.
- Consumo en reposo: 10 - 13mA.
- Temperatura de trabajo -25 - 85 °C
- Dimensiones: 71.00 mm x 40.90 mm

Como se ha dicho, este módulo se controla a través del **protocolo SPI**, que es un estándar de comunicaciones empleado generalmente en transferencias entre circuitos integrados. Se trata de un bus serie síncrono, es decir, emplea una línea de reloj para sincronizar las transmisiones de datos entre dispositivos. Estas transmisiones se realizan mediante dos líneas, una para la transmisión del sistema maestro al esclavo y otra para la transferencia del esclavo al maestro. Dado que la transmisión es serie, se envía un único bit del contenido del mensaje en cada ciclo del reloj. Para comenzar o finalizar una transmisión el bus incluye una línea de selección de chip que permite identificar con que dispositivo se desea realizar el intercambio de información.

El módulo RFID consta de 4 señales SPI para realiza las comunicaciones:

- **SCK:** Señal de reloj generada que se encarga de sincronizar la comunicación entre dispositivos. Los datos se enviarán de manera secuencial de forma que cada bit del mensaje permanezca en la línea de datos durante un ciclo de este reloj.
- **MOSI:** Línea de datos empleada para la transferencia de información del maestro al esclavo. Esta línea se conectará a todos los esclavos presentes en el bus de manera que el maestro pueda comunicar con todos ellos a través de una única línea.
- **MISO:** Conexión de datos utilizada para el envío de mensajes desde el esclavo hacia el maestro. Todos los dispositivos esclavos se conectan a la misma línea de modo que el maestro pueda recibir información de todos ellos a través de una sola entrada.
- **CS:** Línea de selección de esclavo gestionada por el dispositivo maestro. Cada esclavo posee su propia entrada de selección mientras que el maestro posee una salida para cada uno de los esclavos conectados al bus. El maestro emplea esta línea para indicar al esclavo que se desea realizar con intercambio de información con él.

#### ➤ **Alternativas a la tecnología RFID**

Algunas alternativas que se pensaron para la tarea de identificación de entornos fue el uso de pegatinas de colores, con un color asignado a cada habitación, y mediante un detector de colores ir detectando cada habitación. O, de la misma forma, mediante un sensor de infrarrojos y códigos de barras blancas y negras.

Sin embargo, finalmente se decidió el uso de la tecnología RFID ya que ofrece posibilidades mucho más potentes. Además es un sistema más robusto y tiene más alcance. Por ejemplo, se podrían escribir los datos tomados en las etiquetas e ir comparándolos. O escribir instrucciones precisas en las etiquetas, lo que sería una ayuda para la navegación del robot.



### 3.6 MÓDULO BLUETOOTH

Bluetooth es una red inalámbrica de área personal que permite la transmisión de voz y datos entre diferentes dispositivos mediante un enlace por radiofrecuencia de 2,4 GHz, siendo un protocolo de comunicación diseñado especialmente para dispositivos de bajo consumo.

Los dispositivos son clasificados de la siguiente manera:

- *Clase 1*: Tiene una potencia máxima de 20 dBm (nivel de potencia en decibelios en relación a un nivel de referencia de 1 mW), lo que le permite alcanzar un rango de unos 100 metros.
- *Clase 2*: Potencia máxima de 6 dBm, consiguiendo un alcance de unos 10 m.
- *Clase 3*: Potencia máxima de 1 dBm, teniendo un rango de 1 m.

El módulo *Bluetooth* utilizado en el proyecto es el **modelo BTH-07**. Dispone de 6 pines como vemos en la Figura 35 dos de alimentación (*VCC* y *GND*), otros dos de comunicación (*RXD* y *TXD*) y los otros dos no se conectan.

Se ha elegido este módulo Bluetooth porque uno de los objetivos es conseguir una comunicación inalámbrica entre la aplicación móvil y el robot para conseguir cierto grado de autonomía. Además, este módulo tiene un costo reducido y facilidad de conexión.

Su gran desventaja es la distancia que abarca por lo que a continuación se van a ver alternativas posibles que podrían haberse usado y que facilitarían el control de Domobot en un rango más amplio.

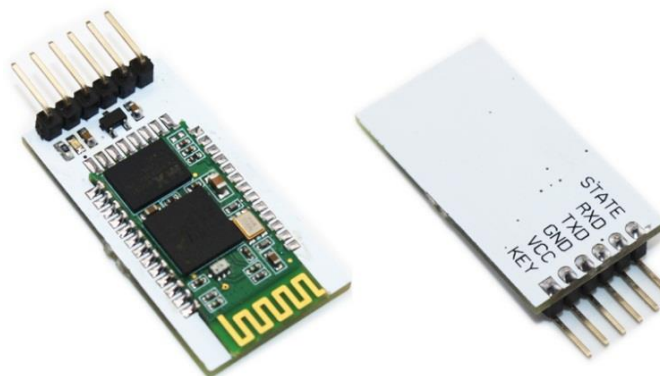


Figura 35. Módulo Bluetooth BTH-07

Características principales:

- Chipset CSR BC417143 (BlueCore4External)
- Protocolo Bluetooth Versión 2.0 +EDR
- Clase 2 (+6dBm)
- Sensibilidad receptora: -85 dBm
- Rango de tensión de alimentación: 3,3 – 6V.
- Rango de temperatura: -40 a +150°C
- Referencia de energía: Buscando dispositivo 35 mA, conectado 8 mA.
- Comunicación con la placa Arduino mediante puerto serie RS232 (nivel TTL).
- Baudios soportados: 9600, 19200, 38400, 57600, 115200, 230400, 460800.
- Banda ISM: 2.40GHz~2.48GHz
- Dimensiones: 15.2x35.7x5.6mm

➤ **Alternativas a la tecnología Bluetooth**

Alternativamente al módulo Bluetooth se pensaron otras dos soluciones de conexión inalámbrica entre el robot y la aplicación móvil: ZigBee y Wi-Fi.

En la siguiente tabla se comparan algunos aspectos importantes de las tres alternativas [26]:

	Wi-Fi	Bluetooth	ZigBee
<b>Standard</b>	IEEE 802.11	IEEE 802.15.1	IEEE 802.15.4
<b>Compañía</b>	Wi-Fi Alliance	Bluetooth SIG	ZigBee Alliance
<b>Frecuencia de funcionamiento</b>	2,4 GHz, 5,8 GHz	2,4 GHz	868/915 MHz, 2,4 GHz
<b>Alcance</b>	10 a 100 m	10 m	10 a 300 m
<b>Velocidad de transmisión</b>	< 50 Mbps	1 Mbps	< 250 kbps
<b>Duración Batería</b>	Horas	Días	Años
<b>Consumo de transmisión</b>	400 mA	40 mA	30 mA
<b>Consumo en reposo</b>	20 mA	0,2 mA	3 $\mu$ A
<b>Precio</b>	Caro	Barato	Medio
<b>Complejidad</b>	Alta	Media	Media
<b>Aplicaciones principales</b>	Internet	Móviles	Domótica

Tabla 5. Comparación entre Wi-Fi, Bluetooth y ZigBee

Cada una de las 3 alternativas tiene unas ventajas y unas desventajas que se tuvieron en consideración. Las ventajas del Wi-Fi son, sobretodo, un mayor rango de alcance y la opción de poder controlar el robot por internet remotamente mediante servidor. Las ventajas del ZigBee son el consumo, la duración de la batería, el rango de alcance y la opción de conectar diversos dispositivos y mandarles órdenes según los datos registrados por los sensores, es decir, la opción de la domotización de la vivienda.

Al final se eligió la tecnología Bluetooth porque cumple con la funcionalidad básica del robot, que es la de eliminar el cableado entre dispositivos a corta distancia y crear una comunicación inalámbrica entre el usuario y la aplicación móvil. Estos requisitos también se cumplen con el uso de Wi-Fi, pero las principales desventajas de éste respecto del Bluetooth son, entre otras, un mayor precio, mayor complejidad, menor velocidad de transmisión, mayor consumo y, por ende, menor duración de la batería.

Sin embargo, se podría decir que estas tres alternativas no son excluyentes, es decir, sería posible para un trabajo futuro el dotar a Domobot de conexión por Wi-Fi lo que permitiría un control remoto mediante internet y de conexión por ZigBee, añadiéndole la funcionalidad de enviar órdenes a dispositivos domóticos de la vivienda.

### 3.7 APP INVENTOR

App Inventor es una plataforma de Google Labs para crear aplicaciones de software para el sistema operativo Android. Es una opción muy buena para programar aplicaciones de forma sencilla ya que es una plataforma muy visual cuyas herramientas permiten al usuario crear una serie de bloques funcionales que darán lugar a la aplicación. Esto ha originado una comunidad mundial de usuarios de casi dos millones de personas de 195 países distintos.

El editor de bloques de la aplicación utiliza la librería Open Blocks de Java para crear un lenguaje visual a partir de bloques. Estas librerías están distribuidas por Massachusetts Institute of Technology (MIT) bajo su licencia libre (MIT License). El compilador que traduce el lenguaje visual de los bloques para la aplicación en Android utiliza Kawa como lenguaje de programación, distribuido como parte del sistema operativo GNU de la Free Software Foundation. Además, el sistema es gratuito y se puede descargar fácilmente de la web.

Se divide en dos secciones diferenciadas:

- *Diseñador*: En esta sección se diseña la interfaz gráfica de la aplicación. Permite añadir tanto elementos gráficos como botones, selector de lista, imágenes, texto, etc. como elementos no gráficos como bluetooth, reloj o archivos. Es la parte que más se simplifica al usar esta plataforma ya que te permite realizar un diseño de forma muy visual.
- *Bloques*: En esta sección se realiza la programación por bloques donde se le asignan funcionalidades a cada uno de los elementos creados en la parte del diseñador.

Se eligió esta plataforma porque ante el desconocimiento sobre la programación de aplicaciones Android, es la mejor interfaz para aprender de forma rápida y no demasiado difícil una forma de implementar aplicaciones.

## CAPÍTULO 4: SISTEMA PROPUESTO

En este capítulo se va a realizar la implementación final del robot Domobot. Para una mejor comprensión se ha dividido dicha implementación en tres partes: Sistema mecánico, donde se explica las consideraciones y procedimientos seguidos para el diseño así como la fabricación y montaje de la estructura; Sistema electrónico, donde se van a exponer las conexiones necesarias entre todos y cada uno de los elementos del proyecto para su correcta funcionalidad; Y, por último, el sistema software, donde se relacionan los diferentes módulos que se han tenido que programar.

### 4.1 SISTEMA MECÁNICO

El sistema mecánico de un robot es un elemento muy importante para que éste pueda llevar a cabo sus funciones de forma efectiva y eficiente. A continuación se describen los pasos seguidos hasta el sistema mecánico final, como las consideraciones tenidas en cuenta antes del diseño, el proceso seguido en el diseño, los materiales utilizados y el método de fabricación y montaje.

#### 4.1.1 CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DEL MODELO

A continuación se van a explicar algunas consideraciones que se tuvieron en cuenta a la hora de diseñar el robot Domobot como, por ejemplo, material elegido, forma, diseño de las ruedas, etc.

##### ➤ **Material elegido**

El 95% del mercado de impresoras personales utiliza dos materiales: ABS y PLA.

- **ABS:** Acrilonitrilo Butadieno Estireno, es el más barato entre los plásticos más utilizados. Produce gases que pueden ser nocivos en concentraciones altas por lo que es recomendable ventilar. Además, es bastante versátil pudiéndose mecanizar, pulir, lijar, limar, agujerear, pintar, pegar etc. con extrema facilidad, y el acabado sigue siendo bueno por lo que se usa extensivamente en los procesos de fabricación actuales como piezas de Lego, carcasas de electrodomésticos, componentes de automóvil, etc.
- **PLA:** Ácido Poliláctico o Poliláctido. Plástico biodegradable procedente de maíz o patata. Esto significa que, con el paso del tiempo y el efecto de los elementos, el plástico pierde las propiedades iniciales hasta su descomposición en elementos químicos simples, aunque esto puede tardar más de cien años. Además es reciclable, por lo que es posible su reutilización después de un proceso adecuado. No necesita plataforma caliente.

Para el presente proyecto se ha elegido PLA ya que no emite gases nocivos y es biodegradable.

### ➤ Forma

La forma de un robot es de gran importancia en muchos aspectos. Uno de ellos es el sorteo de obstáculos. Por ejemplo un robot no cilíndrico corre mayor riesgo de quedar atrapado en una disposición desfavorable de obstáculos o de fallar en encontrar un camino en un espacio estrecho o intrincado. Es decir, si se tienen dos robots del mismo tamaño, uno cuadrado y el otro cilíndrico, ante un paso estrecho el robot cilíndrico será capaz de girar aun estando en contacto con el obstáculo. Por el contrario, el robot cuadrado tendrá que retroceder y girar, lo que requerirá un algoritmo más complejo.

En el presente proyecto se ha intentado hacer un robot lo más cilíndrico posible evitando a su vez, en la medida de lo posible, que se agradaran en exceso sus dimensiones.

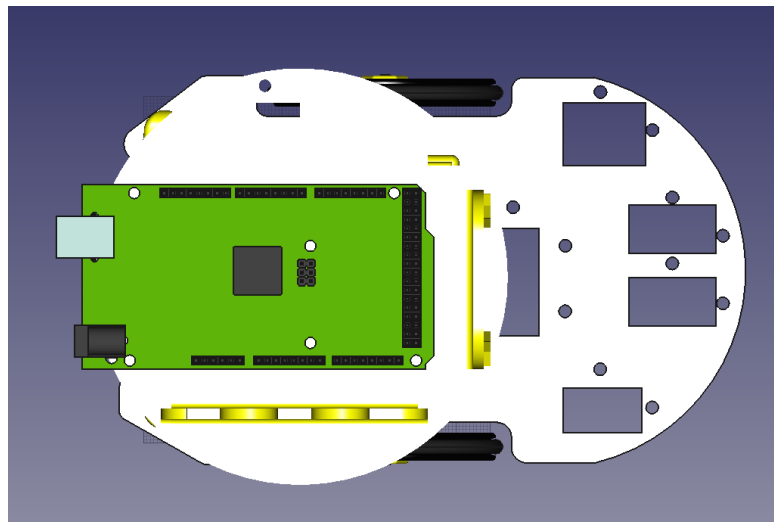


Figura 36. Vista de planta del robot Domobot

### ➤ Coste final

Este factor es muy importante en la gran mayoría de proyectos. En el presente proyecto se cumple sobradamente ya que para la fabricación del robot se ha usado PLA, cuyo precio está en torno a 20 €/kg.

El material de PLA usado en una unidad de Domobot es aproximadamente de 150 g por lo que el coste total sería alrededor de 3€. Por tanto, se puede afirmar que fabricar el chasis de una unidad de Domobot es más barato que si lo hiciéramos con otros medios, como un centro de mecanizado.

El coste total del proyecto Domobot se detalla en el *Anexo 2* de esta memoria.

### ➤ Diseño de ruedas

En la actualidad hay cinco tipos principales de robots móviles con ruedas:

- 1) *Modo diferencial*: presenta uno de los sistemas de locomoción más sencillos. El robot puede ir recto, girar sobre sí mismo y trazar curvas. Está compuesto por dos ruedas paralelas entre sí y una (configuración en triángulo) o dos (configuración diamante) más auxiliares, llamadas coloquialmente ruedas locas, para conseguir estabilidad. El nombre de este tipo de robots viene dado porque la dirección del mismo se debe a la diferencia de velocidades por lo que se debe controlar la velocidad de forma dinámica, es decir, debe existir un medio de monitorizar y cambiar la velocidad del motor mientras el robot avanza.
- 2) *Modo triciclo*: tiene un esquema parecido al anterior porque está compuesto por dos ruedas paralelas entre sí que dan la tracción al robot y una tercera que da la dirección lo que complica la cinemática ya que limita los movimientos a recto y giro en arco.
- 3) *Modo sincrónico*: se basa en que todas las ruedas son tanto de dirección como motrices por lo que las ruedas apuntan todas en la misma dirección. Para cambiar de dirección el robot gira simultáneamente todas sus ruedas alrededor de un eje vertical, de modo que la dirección del robot cambia, pero su chasis sigue apuntando en la misma dirección que tenía. El diseño sincronizado supera muchas de las dificultades que plantean el diseño diferencial, en triciclo y de coche, pero a costa de una mayor complejidad mecánica.
- 4) *Modo automóvil o modelo Ackerman*: es una evolución del modo triciclo puesto que utiliza dos ruedas para la tracción y otras dos para la dirección, aunque tiene mayor complejidad cinemática y mecánica. Este modo destaca por su estabilidad y su capacidad de ir recto.
- 5) *Modo omnidireccional* tiene tres ruedas colocadas con un ángulo de  $120^\circ$  entre sí. Cada rueda tiene la capacidad de girar en ambos sentidos gracias a lo cual se consigue un control lineal más sencillo que el modo diferencial.

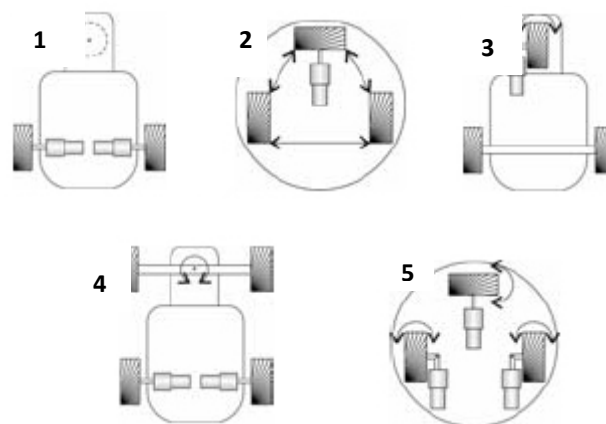


Figura 37. Tipos de modelos de robots móviles con ruedas

El elegido para Domobot es el modo diferencial en configuración en triángulo ya que es el modo más sencillo y cumple sobradamente con los objetivos de éste.

### ➤ Centro de gravedad

El centro de gravedad de un cuerpo es el punto respecto al cual las fuerzas que la gravedad ejerce sobre los diferentes puntos materiales que constituyen el cuerpo producen un momento resultante nulo. El centro de gravedad de un cuerpo no corresponde necesariamente a un punto material del cuerpo. Así, el centro de gravedad de una esfera hueca está situado en el centro de la esfera, la cual no pertenece al cuerpo.

El robot Domobot se ha intentado diseñar de tal forma que el centro de gravedad sea lo más bajo posible lo que implica una mayor estabilidad, seguridad y precisión.

Para calcular el centro de gravedad de cualquier objeto, en este caso de un robot, se siguen una serie de pasos (Ver Figura 38):

- Primero se coge al robot desde un punto marcando la línea vertical con una plomada o cualquier objeto pesado.
- Después se vuelve a suspender el robot desde otro punto no demasiado cercano al primero y la intersección de las dos líneas es el centro de gravedad del robot.

En el caso de Domobot se ha comprobado que tiene un centro de gravedad bajo ya que el grueso del peso se ha situado en la base de abajo, como se verá más adelante.

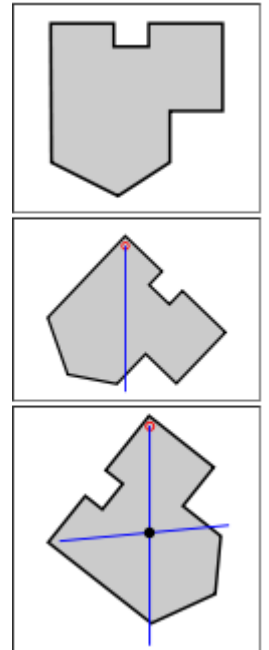


Figura 38. Pasos para calcular el centro de gravedad

#### 4.1.2 DISEÑO DE LAS PIEZAS DE LA ESTRUCTURA IMPRIMIBLE

Con todas las consideraciones anteriores y, tomando como referencia el modelo base, se empezó a diseñar y rediseñar las piezas necesarias para la creación del robot Domobot.

Como se ve en la Figura 39, Domobot está formado por 4 piezas principales más las dos 'Ruedas' y Dos 'Railes'. En la 'Base Inferior' se situarán la mayoría de los sensores y, además, se atornillarán las piezas 'Cuerpo' y 'Portapilas', como se han denominado en el contexto del presente proyecto para facilitar su identificación. Finalmente, la 'Base Superior', que va atornillada al 'Cuerpo' de Domobot, donde se situará la placa controladora Arduino Mega y el resto de sensores así como el módulo RFID. Además, esta pieza se puede agrandar para que, en proyectos futuros, exista la posibilidad de la adición de más sensores o módulos.

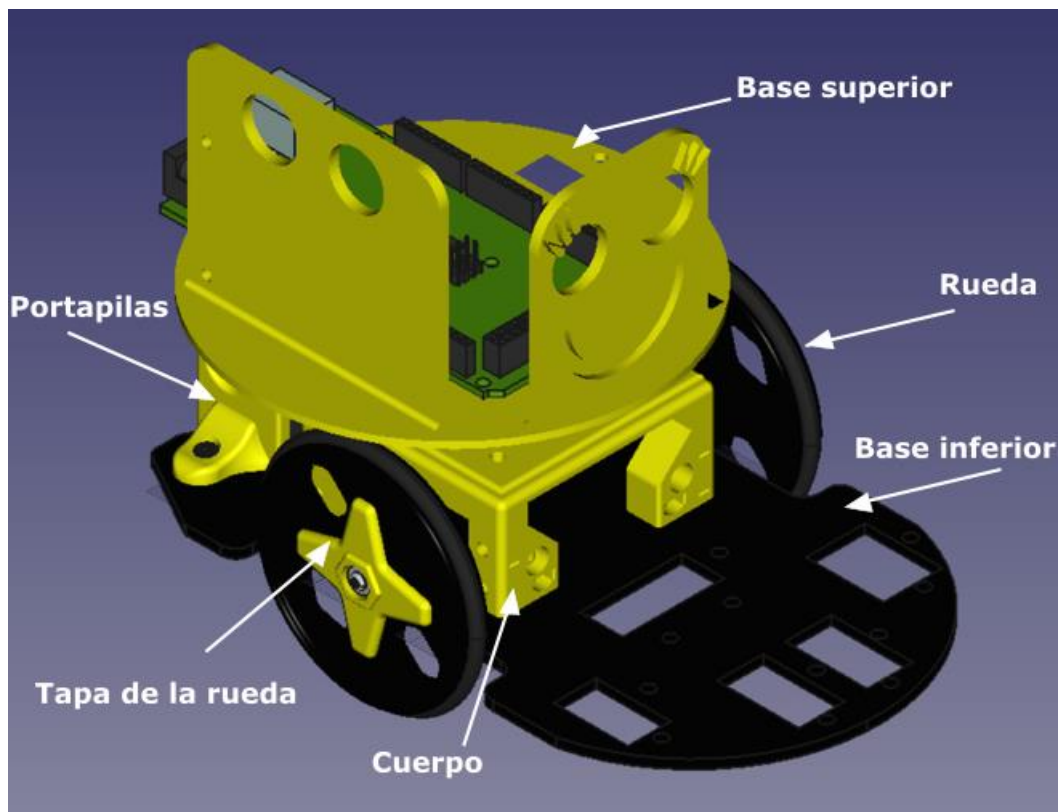


Figura 39. Partes del robot Domobot

A continuación, se explica con más detalle cada una de las piezas diseñadas para el proyecto Domobot.



### ➤ Base superior

Para el diseño de la pieza '*Base superior*' se ha utilizado el programa FreeCAD, en concreto el banco de trabajo *Part*, a partir del cual mediante operaciones booleanas de diferentes objetos sencillos se ha creado la forma final de esta pieza, generando el archivo '*.stl*', tal y como se ha explicado en el apartado 3.1. Impresora 3D.

En Figura 40 se puede observar el diseño creado con los huecos correspondientes para los dos sensores de ultrasonido, el que mira a un lado de la pared y el que está de frente. Debajo del sensor de ultrasonidos que mira a la pared se ha diseñado el hueco para el módulo RFID, que leerá las correspondientes etiquetas situadas a la entrada de cada habitación.

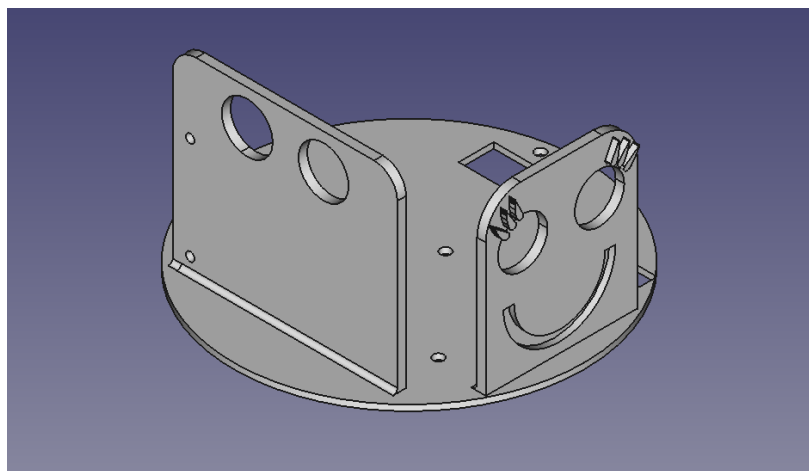


Figura 40. Diseño de la pieza Base Superior

En la Figura 41 se observan los agujeros para atornillar la placa Arduino así como los huecos para el LED y el sensor de llama con sus correspondientes taladros a la distancia correspondiente.

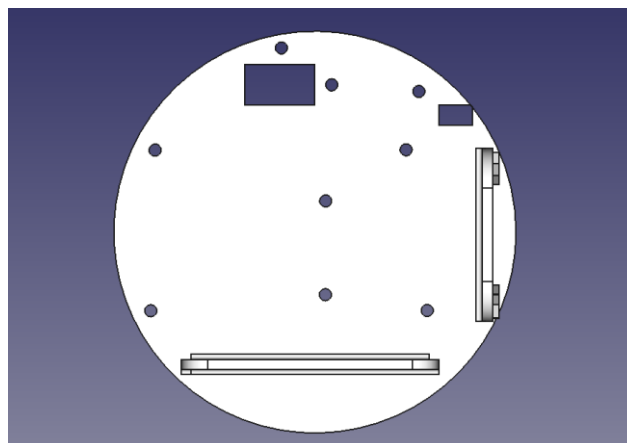


Figura 41. Vista de planta de la pieza 'Base Superior'

➤ **Base inferior**

La pieza '*Base Inferior*' se ha diseñado en el programa FreeCAD, en el banco de trabajo *Part Design*, es decir, se ha diseñado un objeto en dos dimensiones a partir del cual se ha generado volumen mediante una extrusión.

En la Figura 42 se observan los diferentes huecos tanto de los sensores con sus correspondientes taladros en la parte delantera, como de los taladros a los que se atornillarán las piezas '*Cuerpo*' y '*Portapilas*'.

En esta pieza se tuvo que tener en cuenta tanto el hueco para el '*Portapilas*' como para las '*Ruedas*' en los laterales, de tal forma que no chocaran. La parte redondeada de la zona delantera es para facilitar el movimiento en caso de choque con un obstáculo.

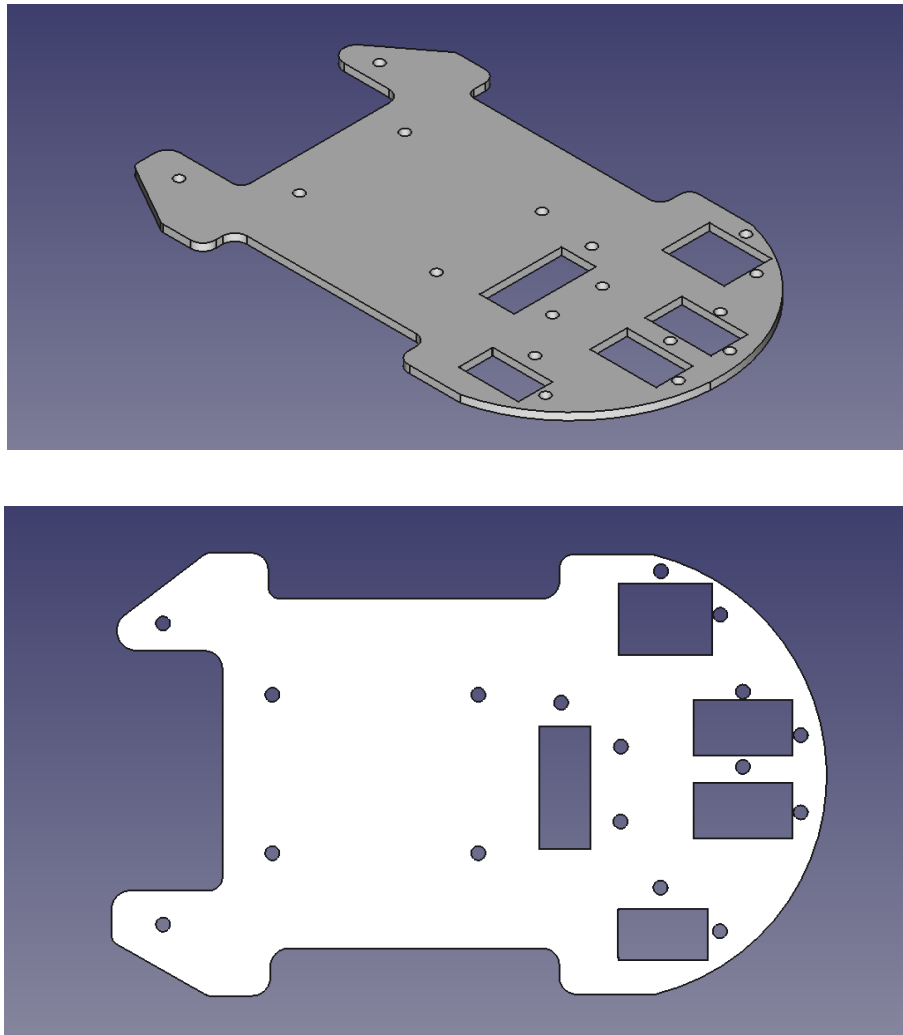


Figura 42. Diferentes vistas de la pieza '*Base Inferior*'

### ➤ Cuerpo y Raíles

La pieza '*Cuerpo*' fue diseñada también con FreeCAD. Tiene una doble funcionalidad, por un lado soportar los servos de rotación continua y, por otro, servir de unión entre las piezas '*Base Superior*' y '*Base Inferior*'. Como se puede apreciar en la Figura 43, la parte de abajo tiene la forma para que encajen perfectamente dos servos de rotación continua, con todos los huecos para los correspondientes tornillos y tuercas. Además, en cada una de las cuatro extremidades por debajo hay un agujero para poder unir la '*Base Inferior*' mediante tornillos.

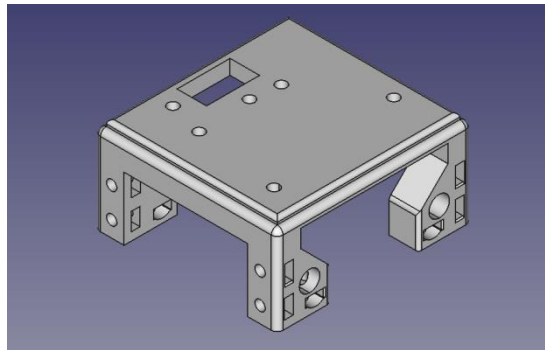


Figura 43. Pieza '*Cuerpo*'

En la Figura 44 observa la vista de planta del '*Cuerpo*', donde se van a situar varios componentes: El hueco más grande junto con sus dos taladros correspondientes corresponde al zumbador, que se encarga de los sonidos emitidos por Domobot. El resto de los taladros sirven para sujetar la pieza '*Base Superior*' mediante unos tornillos separadores de 20 mm de longitud, para dejar espacio para las ruedas. Adicionalmente, se han diseñado unos '*Raíles*' que se imprimirán por separado y se pegarán a la base del '*Cuerpo*' y cuya función es sujetar el módulo Bluetooth.

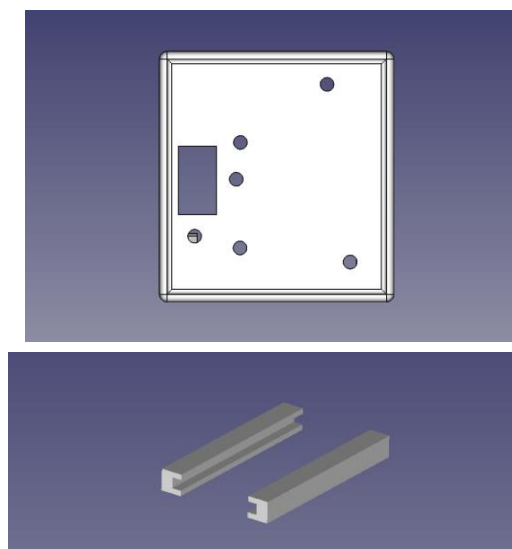


Figura 44. Vista de planta de la pieza '*Cuerpo*' (arriba) y '*Raíles*' para el módulo Bluetooth (abajo)

➤ **Portapilas, ruedas y tapas**

El diseño de las piezas correspondiente al 'Portapilas', las dos 'ruedas' y las dos 'tapas' para las ruedas pertenecen al robot educativo Evolution, desarrollado por el departamento de robótica de BQ. Estas piezas se han sacado de la plataforma de desarrollo colaborativo *GitHub*, que almacena proyectos utilizando el sistema de control de versiones Git [27]. En un principio se iba a hacer un diseño propio pero como estas piezas cumplían con su función, se adoptaron finalmente para facilitar el diseño de Domobot.

En la Figura 45 se puede observar la pieza 'Portapilas', con hueco para el sistema de alimentación de Domobot, basado en pilas alcalinas 1,5V TIPO AAA, y con dos taladros para fijarse a la pieza 'Base Inferior'. También consta de una rueda loca, impresa también como parte de la pieza en plástico PLA, evitando la necesidad de tener que acoplar una posteriormente.

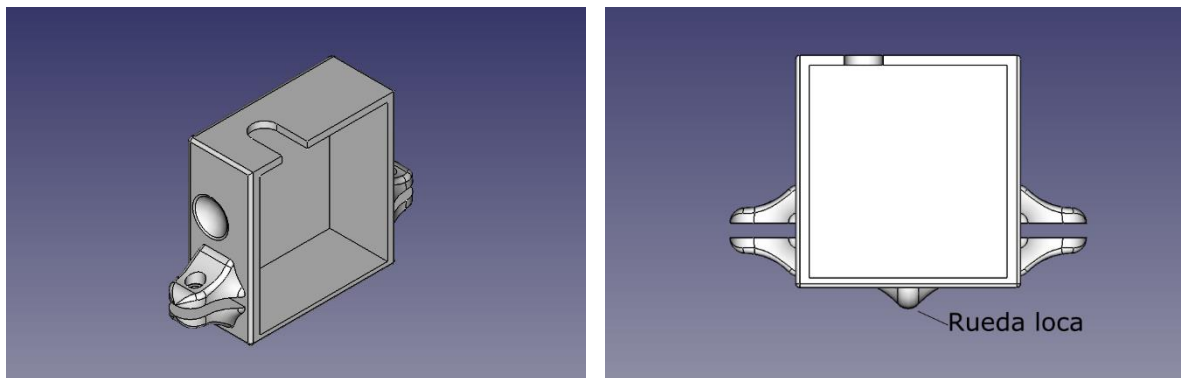


Figura 45. Portapilas con rueda loca

En la Figura 46 se observan las piezas 'Rueda' y 'Tapa'. La 'Rueda' se acopla perfectamente al servo de rotación continua dándole, de esta forma, movilidad a Domobot. La 'Tapa' sirve únicamente como adorno estético, para tapar la parte visible del servo.



Figura 46. Rueda con la tapa

---

#### 4.1.3 FABRICACIÓN Y MONTAJE

Una vez que se han diseñado todas las piezas, tal y como se ha descrito en el apartado anterior, es el momento de montar todos los elementos que componen el robot Domobot, tanto las piezas impresas como los componentes electrónicos.

##### Paso 1: Impresión de las piezas en plástico PLA:

El primer paso después del diseño de todas las piezas es el de imprimir todas en plástico PLA mediante la impresora 3D Prusa i3 Hephastos, tal y como se ha explicado anteriormente en el apartado 3.1 (Impresora 3D).

En la Tabla 6 se enumera la cantidad total de piezas a imprimir, que asciende a 10:

Nombre de la pieza	Cantidad necesaria
Base Superior	1
Base Inferior	1
Cuerpo	1
Portapilas	1
Raíl para Bluetooth	2
Rueda	2
Tapa de la rueda	2
<b>TOTAL</b>	<b>10</b>

Tabla 6. Piezas imprimibles

Algunas de las piezas se tuvieron que rediseñar y reimprimir hasta conseguir la pieza final sin ningún fallo, como se verá más adelante en el capítulo 5 (Pruebas y Cambios).

##### Paso 2: Disposición de todos los materiales a utilizar:

Un paso previo, importante antes de comenzar el montaje de Domobot, es reunir todos los materiales que se vayan a utilizar, tanto de los componentes electrónicos, cables y tornillería como de las herramientas necesarias, como se va a exponer a continuación en las siguientes tablas.

➤ **Componentes electrónicos, fuente de alimentación, tornillería y cables:**

Nombre del componente electrónico	Cantidad necesaria
Arduino Mega 2560	1
Sensor Shield	1
Módulo RFID	1
Etiquetas pasivas	5
Módulo Bluetooth	1
Sensor de Ultrasonido	2
Sensor de Infrarrojos	2
Sensor de Temperatura y Humedad	1
Sensor de luz	1
Sensor de gas	1
Sensor de llama	1
Zumbador	1
Led	1
Servo de rotación continua	2

Tabla 7. Lista de componentes electrónicos

Fuente de alimentación	Cantidad necesaria
Portapilas 8 x AAA con cable	1
Portapilas 3 x AA con cable	1
Pilas alcalinas 1,5V TIPO AAA	8
Pilas alcalinas 1,5V TIPO AA	3

Tabla 8. Lista de componentes de la fuente de alimentación

Tornillería y Cableado	Cantidad necesaria
Tornillo M3 de 8 mm de longitud	28
Tornillo M3 de 12 mm de longitud	5
Tornillo M3 separador metálico de 20 mm de longitud	4
Tuerca M3	25
Cable con conector JST de 3 pines	8
Cable con conector JST de 4 pines	3
Cable con conector JST de 7 pines	1

Tabla 9. Lista de tornillería y cables utilizados

➤ **Herramientas y otros elementos:**

Nombre	Cantidad necesaria
Destornillador estrella 3 mm	1
Alicates	1
Lima	1
Juntas tóricas 56 x 4 mm	2
Pegamento	1
Blu-Tack	1
Bridas y cinta protectora de cables de 3mm	Varias

Tabla 10. Lista de herramientas y otros elementos

- ❖ El destornillador estrella se utiliza para atornillar la totalidad de los tornillos usados puesto que todos son de métrica M3 por lo que el destornillador debe tener una cabeza de unos 3 mm de longitud. Los alicates se usan también durante el proceso de atornillado, sujetando la tuerca.
- ❖ La lima se usa para limar las imperfecciones de las piezas impresas.
- ❖ El pegamento para plásticos se emplea para pegar dos componentes así como el Blu-Tack que es una masilla adhesiva reutilizable y se utiliza para obtener una mejor sujeción de los sensores de ultrasonidos y del módulo RFID.
- ❖ Las juntas tóricas se sitúan en las ruedas impresas para que el robot deslice mejor al moverse.
- ❖ Las bridas y la cinta protectora de cables se utilizan para una mejor organización del cableado de los componentes electrónicos.

En la Figura 47 se muestran todos los materiales utilizados en el montaje del robot Domobot.

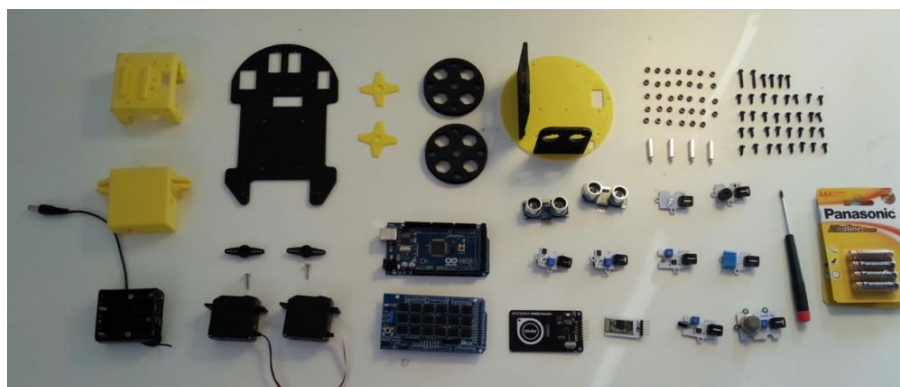


Figura 47. Materiales usados en el montaje del robot Domobot

### Paso 3: Montaje del Cuerpo

Una vez conseguidos todos los componentes, se inicia el montaje de Domobot. Se va a comenzar con el *Cuerpo* de Domobot.

Para empezar se pegan los 4 tornillos separadores metálicos en los agujeros correspondientes así como los *raíles*, con cuidado de que estén a la distancia adecuada para el módulo Bluetooth. Se deja secar unas horas y se monta el resto de los componentes. Es conveniente poner algo pesado encima para que se pegue bien.

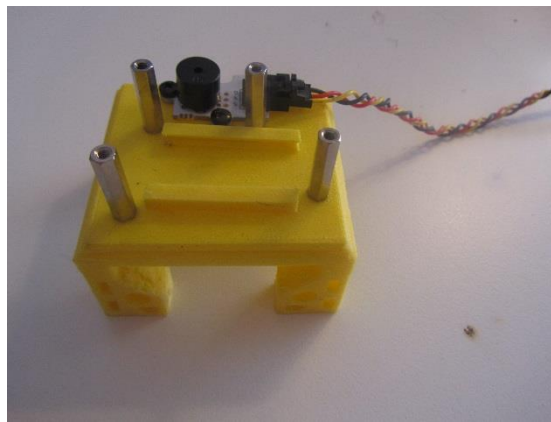


Figura 48. Montaje del Cuerpo

A continuación se atornilla el zumbador mediante dos tornillos M3 de 8 mm de longitud y sus correspondientes tuercas M3, y se monta el módulo Bluetooth.

Por último, se van a ensamblar los servos de rotación continua, para los que hacen falta 8 tornillos M3 de 8 mm con sus tuercas correspondientes, en las posiciones indicadas en la figura 49.



Figura 49. Montaje de los servos en el Cuerpo



#### Paso 4: Montaje de la Base Inferior

El siguiente paso es montar la *Base Inferior*, donde van a ir la mayor parte de los sensores, exactamente 5, los dos sensores de infrarrojos, el sensor de temperatura y humedad, el sensor de luz y el de gases. Todos ellos se fijan a la superficie de la base mediante tornillos M3 de longitud 8 mm mediante el destornillador estrella.

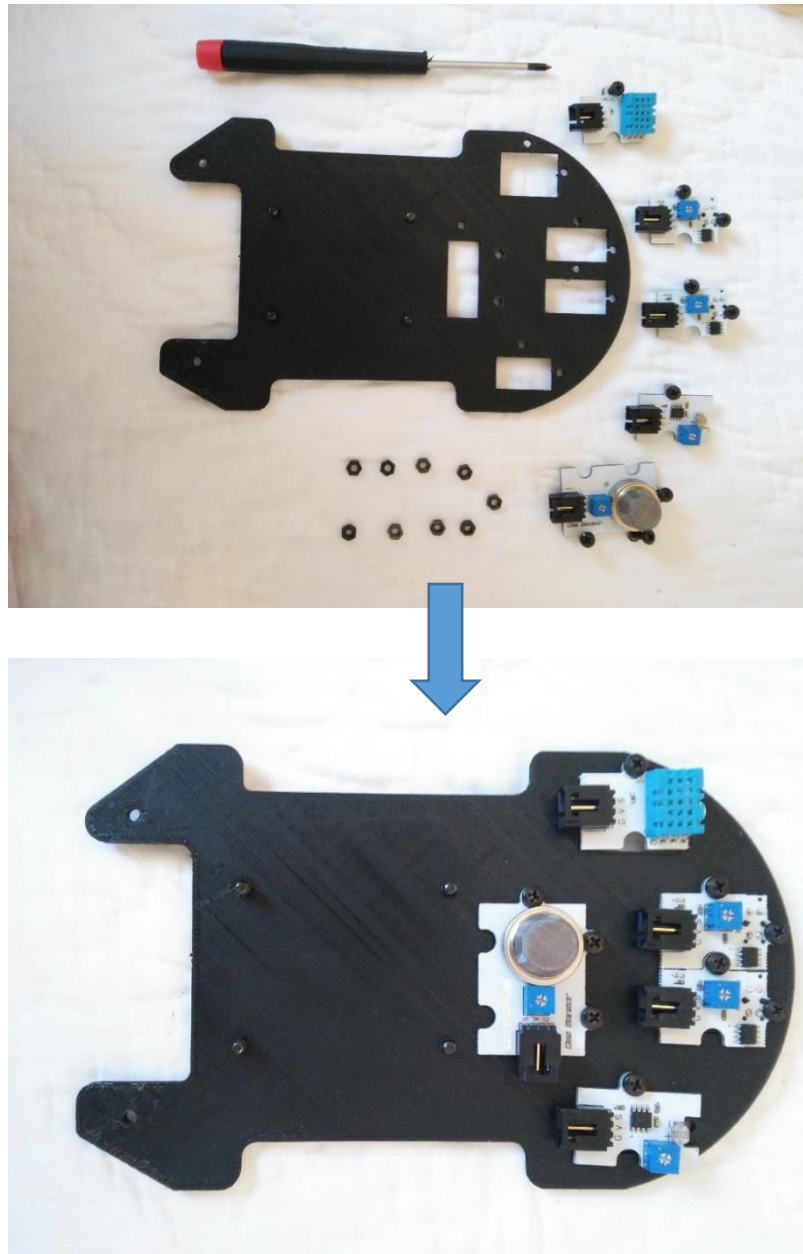


Figura 50. Montaje de la Base Inferior

### Paso 5: Montaje del Portapilas

El siguiente paso es sencillo. Se introducen las pilas en el portapilas y éste a su vez, se monta en la pieza impresa llamada también *Portapilas*. Se preparan, además dos tornillos de métrica M3 y longitud 12 mm con los que luego se unirá el *Portapilas* a la *Base Inferior*.

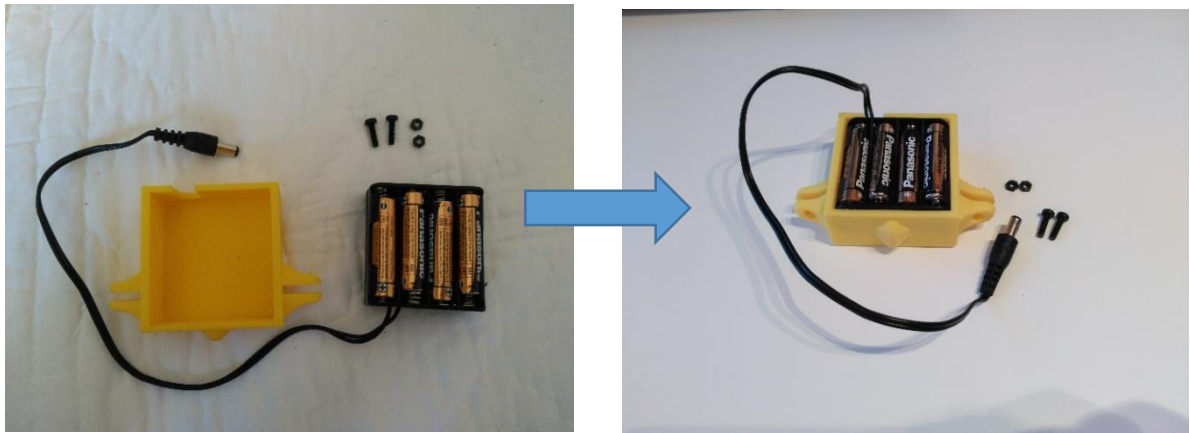


Figura 51. Montaje del Portapilas

### Paso 6: Montaje de las Ruedas y las Tapas

Este paso también es bastante sencillo. Lo primero de todo será limar las posibles imperfecciones de las *Ruedas* tras la impresión. Después, se acoplarán las juntas tóricas, que facilitarán el movimiento a Domobot, de medidas 56 mm de diámetro interior y 4 mm de grosor. Por último, se montarán las aspas de los servos de rotación continua en las ruedas impresas. Encima de éstas se sitúan las *Tapas* de las ruedas.

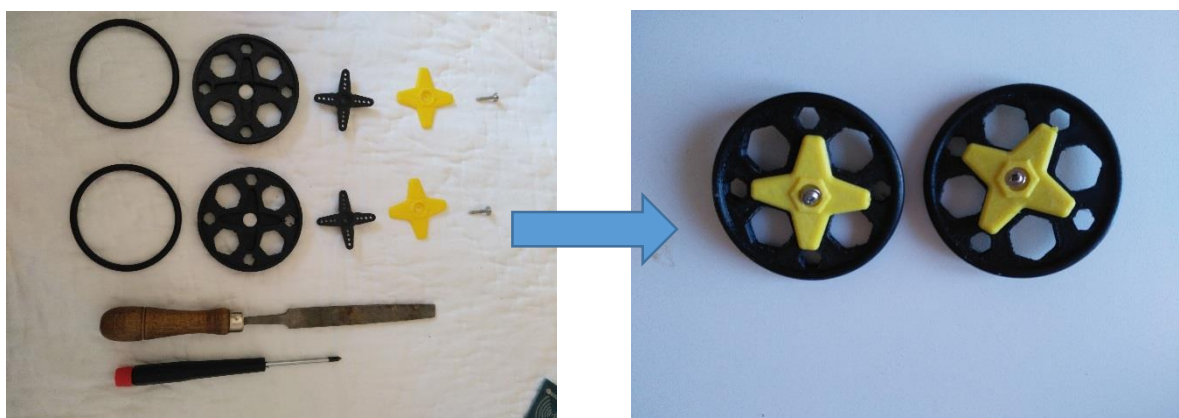


Figura 52. Montaje de las Ruedas y las Tapas

### Paso 7: Montaje de la Base Superior

En este paso se van a montar todos los elementos que componen la *Base Superior*. Como se puede ver en la Figura 53, dichos elementos son la placa controladora Arduino, los dos sensores de ultrasonidos, el módulo RFID, el sensor de llama y el LED. Para obtener una mejor sujeción de los sensores de ultrasonidos y del módulo RFID se ha utilizado Blu-Tack que es una masilla adhesiva reutilizable, que se fijará según se puede observar en la Figura 55. La placa Arduino consta de una serie de agujeros, de los cuales 3 se aprovecharán para fijar tanto a la *Base Superior* como al *Cuerpo*, como se verá más adelante, mediante tornillos M3 de longitud 12 mm y sin necesidad de tuercas, ya que se unirán a los tornillos separadores del *Cuerpo*. A continuación, se atornillarán el resto de componentes, el sensor de llama, el Led y el módulo RFID, mediante tornillos M3 de 8 mm de longitud, y sus correspondientes tuercas M3.

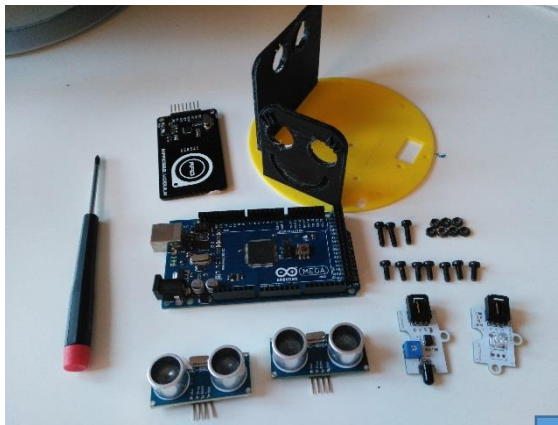


Figura 53. Elementos que componen la Base Superior

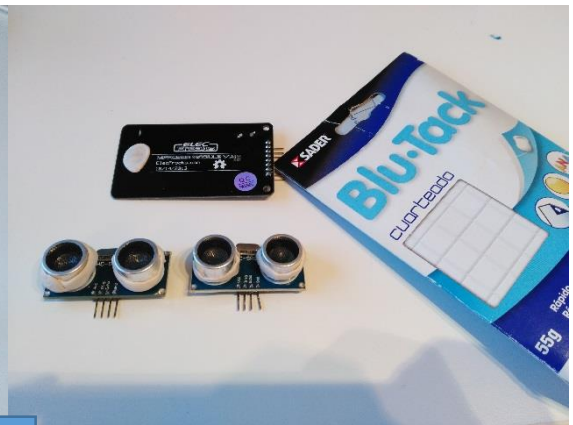


Figura 55. Fijación de Blu-Tack a los sensores de ultrasonidos y al módulo RFID

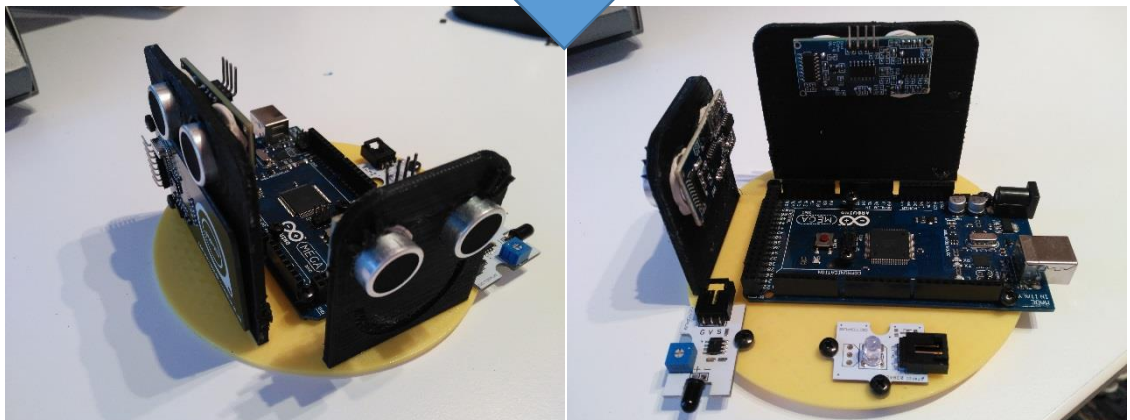


Figura 54. Montaje de la Base Superior

### Paso 8: Unión de la Base Inferior con el Cuerpo

Una vez que se tienen montadas todas las piezas por separado, es el momento de unir las. Se va a comenzar uniendo las piezas *Base Inferior* y *Cuerpo*. Se sitúa el *Cuerpo* encima de la *Base Inferior* de tal forma que coincidan los agujeros, se le da la vuelta con cuidado y se atornilla, tal y como se muestra en la Figura 56. Además, previamente se habrán de introducir las tuercas en los agujeros correspondientes para fijar el tornillo.

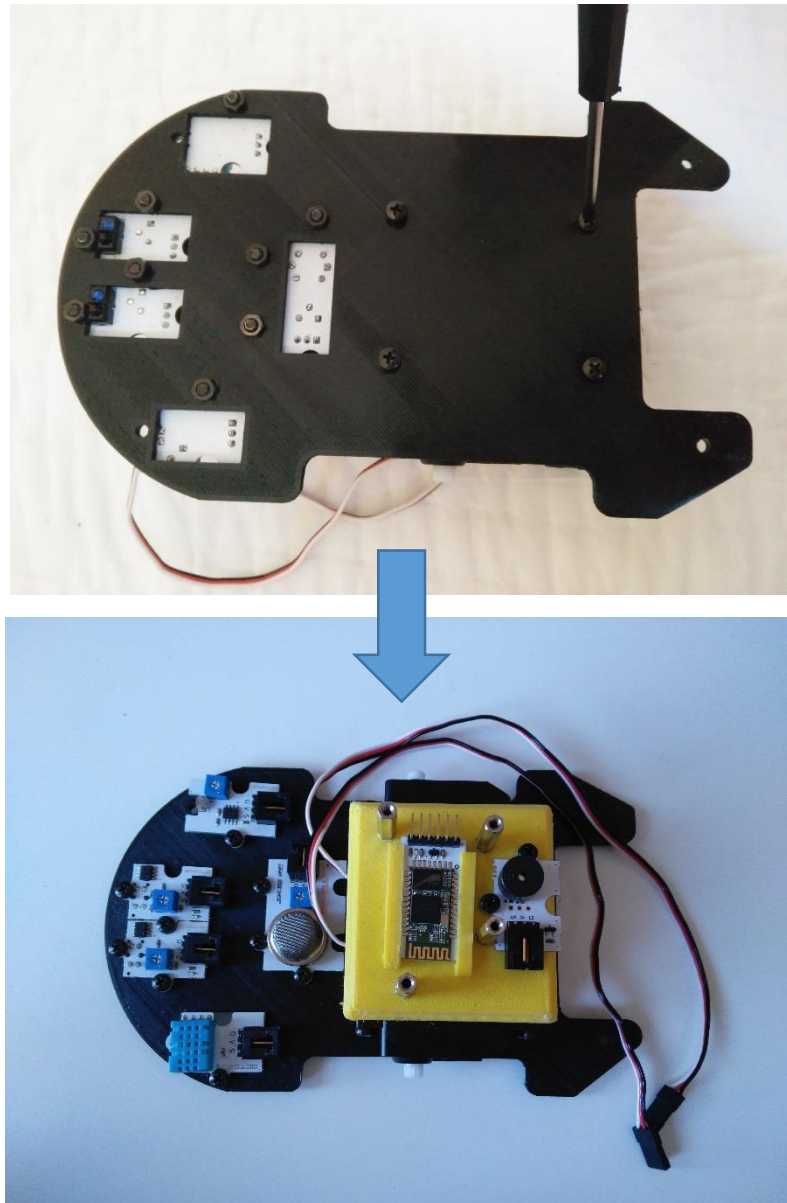


Figura 56. Unión del Cuerpo a la Base Inferior



### Paso 9: Unión del Portapilas y las Ruedas

A la unión anterior se va a añadir el *Portapilas*, mediante dos tornillos M3 de longitud 12 mm y sus correspondientes tuercas, tal y como se señala en la siguiente imagen (Figura 57).

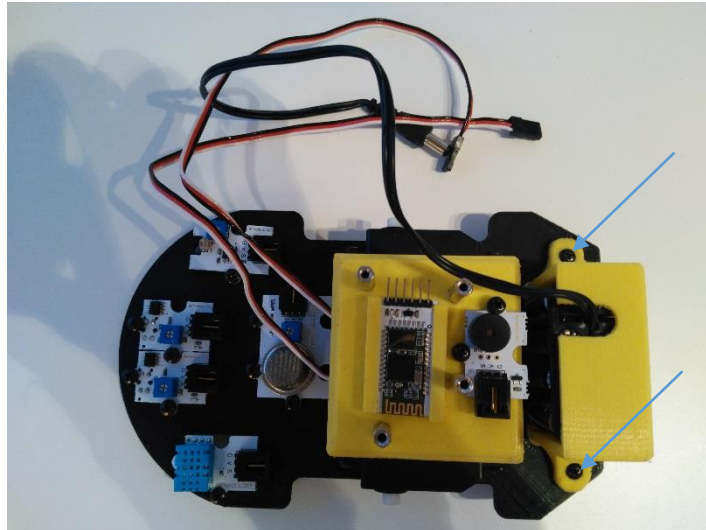


Figura 57. Unión del Portapilas

A continuación se unen las *Ruedas* y las *Tapas* atornillándolas a los servos de rotación continua mediante un destornillador estrella, según se muestra en la Figura 58:

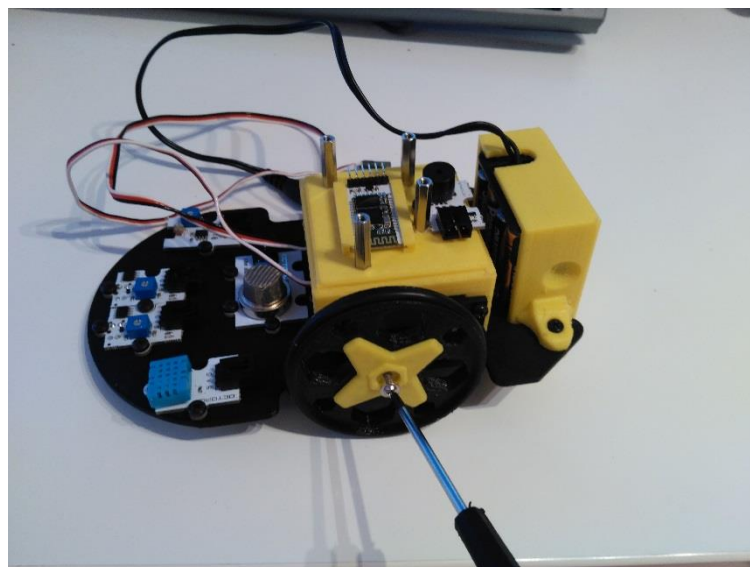


Figura 58. Unión de las ruedas y las tapas.

### Paso 10: Montaje final

Finalmente, sólo quedaría fijar la *Base Superior* al *Cuerpo* de Domobot. Se introducen los tornillos de métrica M3 de 12 mm de longitud en los agujeros de la placa controladora Arduino y, a continuación, tal y como se observa en la Figura 59, se hacen coincidir con cuidado dichos tornillos con los tornillos separadores que fueron previamente fijados al *Cuerpo*. Finalmente, se atornillan con un destornillador estrella.

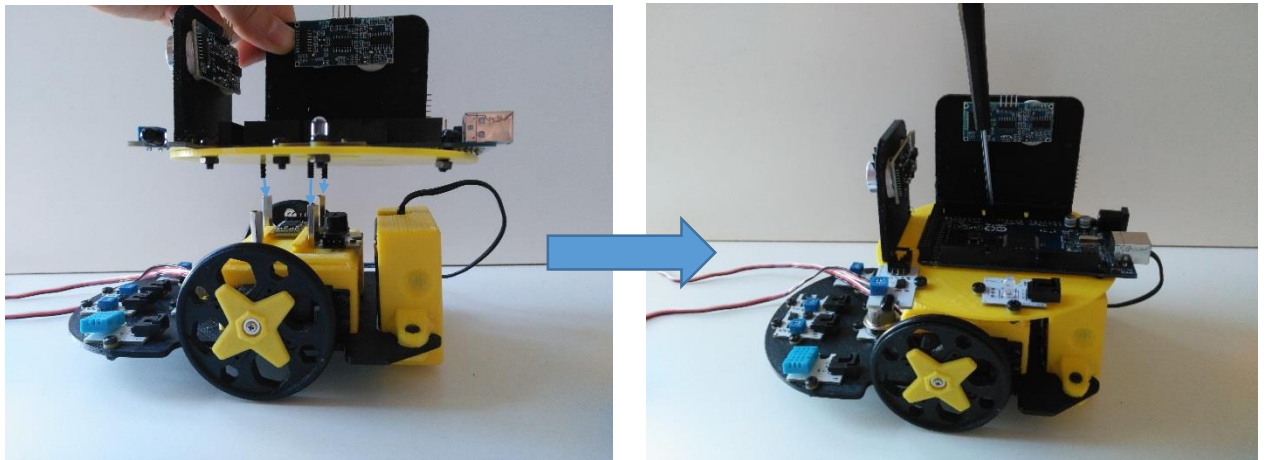


Figura 59. Unión de la Base Superior

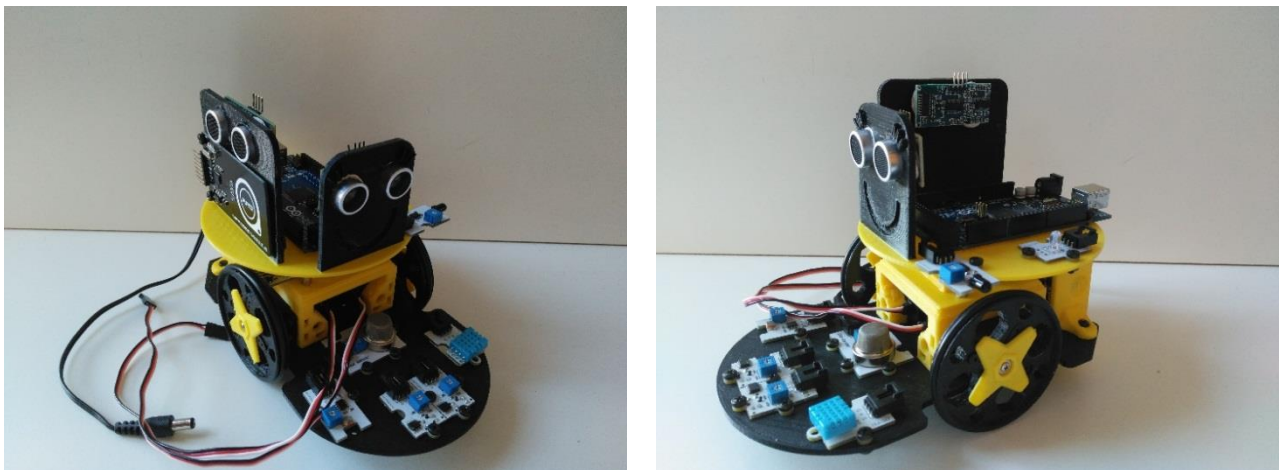


Figura 60. Montaje final del sistema mecánico de Domobot

## 4.2 SISTEMA ELECTRÓNICO

Una vez finalizado el montaje de Domobot se procede a la correcta conexión de todos los componentes electrónicos en la placa Arduino.

El sistema electrónico conecta los sensores, que recopilan información del medio, y el módulo RFID, que transmite la identificación del entorno con el dispositivo de control, la placa controladora Arduino en este caso. El dispositivo de control gestiona esa información y se encarga de la ejecución de las acciones oportunas que son llevadas a cabo por los actuadores así como de la comunicación mediante Bluetooth con una aplicación móvil. Además, todos los componentes están correctamente alimentados para que puedan cumplir su función.

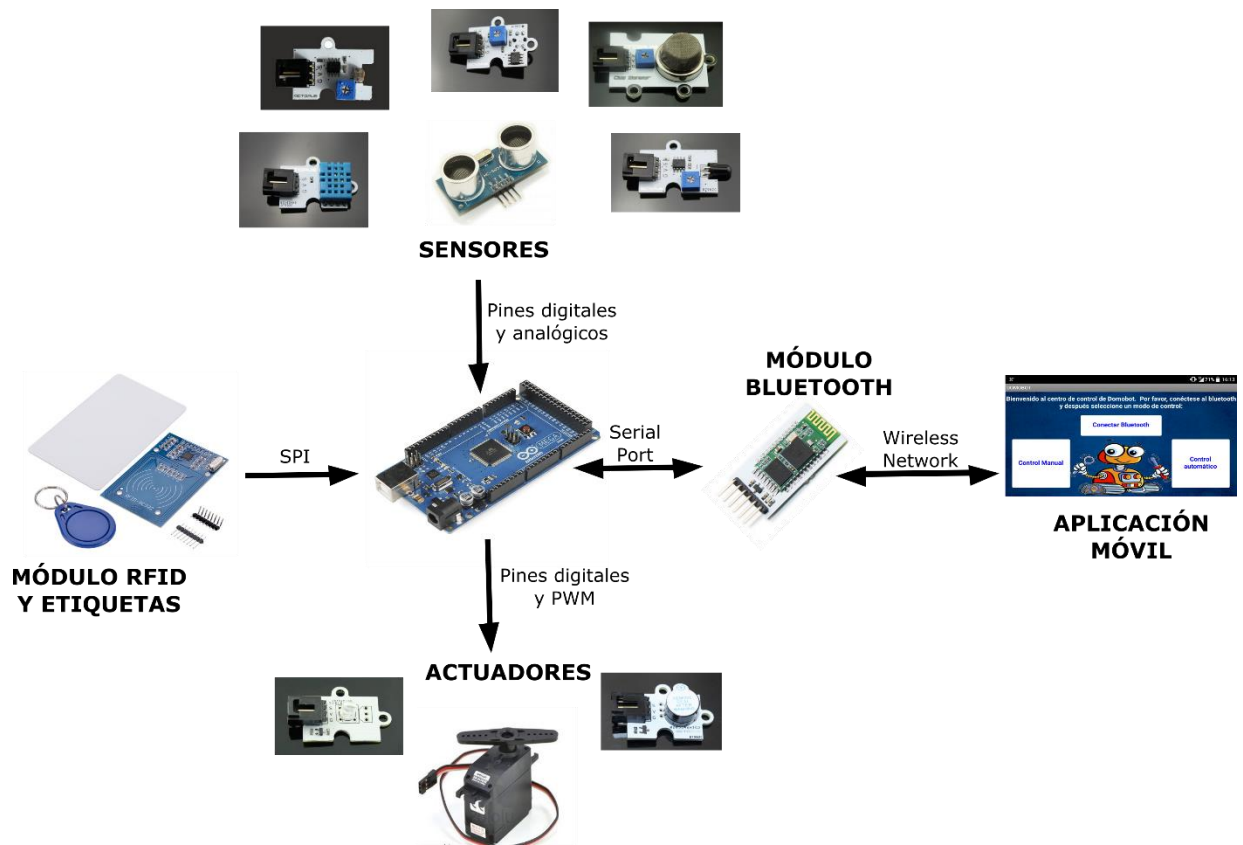


Figura 61. Esquema general del sistema electrónico

A la hora de realizar el conexionado de todos los componentes hubo que decidir entre dos alternativas:

1. Fabricar una **PCB** (en español Placa de Circuito Impreso) para poder conectar todos los elementos, ya que Arduino tiene un único pin de alimentación.
2. Comprar una **Sensor Shield**, que básicamente es un módulo que facilita el conexionado de los cables y componentes a los pines de Arduino, es decir, cumple con la misma función que haría la PCB pero con las ventajas de ahorro en tiempo y facilidad en las conexiones.

Por tanto, se decidió por la segunda opción: la adquisición de una Sensor Shield como la que se ve en la siguiente imagen (Figura 62):

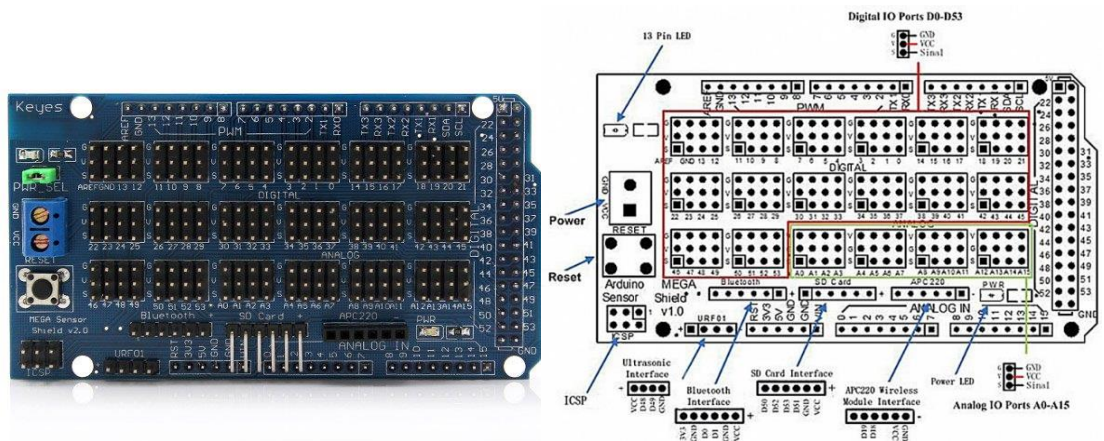


Figura 62. Sensor Shield para Arduino Mega 2560

La instalación del Sensor Shield en la placa controladora Arduino es sencilla, ya que sólo hay una posición en la que se puede adaptar, tal y como se muestra a continuación (Figura 63):

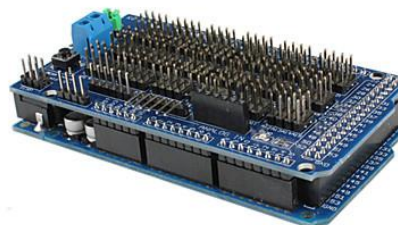


Figura 63. Instalación del Sensor Shield en Arduino Mega 2560



A continuación, para facilitar la explicación del conexionado eléctrico necesario para el correcto funcionamiento de todos los elementos del proyecto, se ha hecho una división en varias secciones: Alimentación, sensores y actuadores, módulo Bluetooth y módulo RFID. Todas las conexiones se han realizado mediante cables con conector JST de 3 pines (sensores y actuadores), 4 pines (sensores de ultrasonido y módulo Bluetooth), y 7 pines (Módulo RFID). Además, se han utilizado bridas y cinta protectora de cables para una mejor organización del cableado de los componentes electrónicos, tal y como se muestran en la siguiente imagen ( Figura 64):



Figura 64. Cableado de los elementos de Domobot

#### ➤ Conexionado de la Alimentación:

La alimentación de todos los componentes eléctricos de Domobot se ha realizado según el esquema de la Figura 65. Como se puede observar, la placa Arduino Mega 2560 va directamente conectada a las 8 pilas alcalinas de 1,5 V de tipo AAA, lo que da un total de 12 V que están alimentando a la placa controladora. A su vez, la Arduino se encarga de alimentar el resto de los componentes ya que dispone de un regulador de tensión que convierte esos 12 V a 5 V o 3,3 V según interese. Tanto los sensores y actuadores como el módulo Bluetooth se alimentan a 5 V mientras que el módulo RFID se alimenta a 3,3 V, por lo que se van a utilizar las salidas de Arduino 5V, 3V3 y GND. Por otro lado, tuvo que alimentarse externamente los servos de rotación continua con una fuente de 5V, como se verá en el capítulo 5 (Pruebas y Cambios).

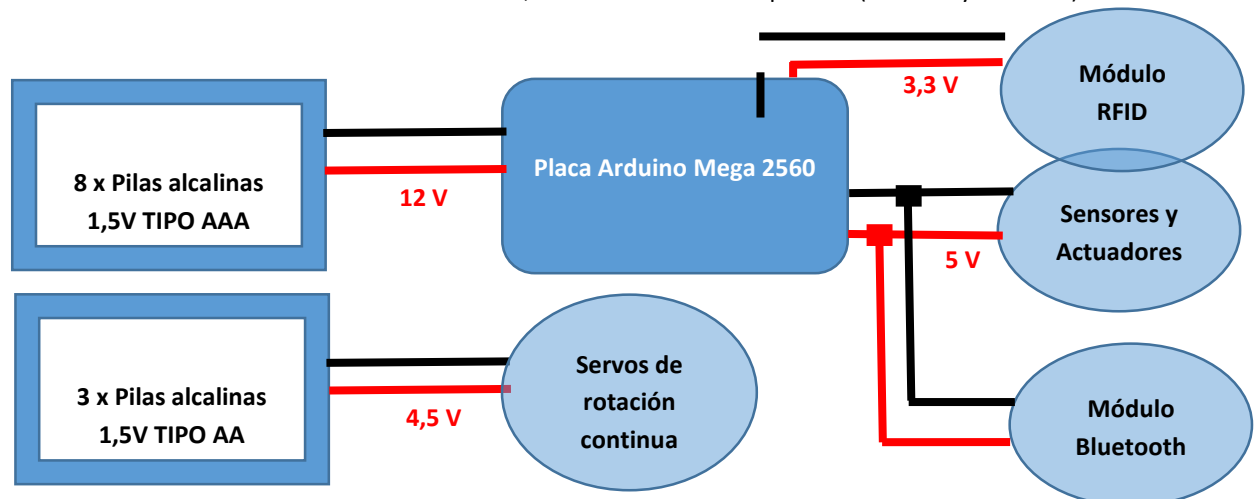


Figura 65. Conexionado de la Alimentación

#### ➤ Conexionado de Sensores y Actuadores:

La conexión de los sensores y actuadores se ha realizado conectando cada uno de los elementos con su pin correspondiente en la placa Arduino, tal y como se muestra en la Tabla 11 y en la Tabla 12. Todos los sensores, a excepción del sensor de luz y el sensor de gas, se han conectado a pines digitales. El sensor de luz y de gas, al ser componentes analógicos, se conectan a pines analógicos de la placa Arduino

SENSORES	PIN ARDUINO
Sensor de Infrarrojos Izquierda	3
Sensor de Infrarrojos Derecha	4
Sensor DHT	5
Sensor de Llama	7
Sensor de Luz	A2
Sensor de Gas	A5
Sensor de Ultrasonidos Trigger Delantero	44
Sensor de Ultrasonidos Echo Delantero	45
Sensor de Ultrasonidos Trigger Derecha	46
Sensor de Ultrasonidos Echo Derecha	47

Tabla 11. Conexión de los sensores en los pines digitales y analógicos de Arduino

Los actuadores también se han conectado todos a pines digitales. Cabe mencionar que tanto los servos de rotación continua como el zumbador deben ir conectados a un pin digital con señal PWM. Dichos pines en la placa Arduino van desde el 2 al 13, así que se cumple el requisito, como se muestra en la siguiente tabla:

ACTUADORES	PIN ARDUINO
Servo de Rotación Continua Izquierda	8
Servo de Rotación Continua Derecha	9
Zumbador	10
LED	11

Tabla 12. Conexión de los actuadores en salidas digitales de Arduino

### ➤ Conexión del Módulo Bluetooth

Para que el módulo Bluetooth no afecte al puerto serie cuando se está subiendo el programa desarrollado a la placa controladora, en vez de usarse los pines donde se suele conectar el módulo Bluetooth, Rx0 y Tx0, encargados de la comunicación con el ordenador, se aprovechó que la placa Arduino cuenta con otros 3 UARTs, así que se conectaron los pines tal y como se muestra en la siguiente tabla:

MÓDULO BLUETOOTH	PIN ARDUINO
RXD	<b>TX1</b>
TXD	<b>RX1</b>
GND	<b>GND</b>
VCC	<b>5 V</b>

Tabla 13. Conexión de los pines del Módulo Bluetooth

Es importante realizar el cruce entre los pines Rx y Tx, como se observa en la Figura 66 ya que sino no se produce la comunicación.

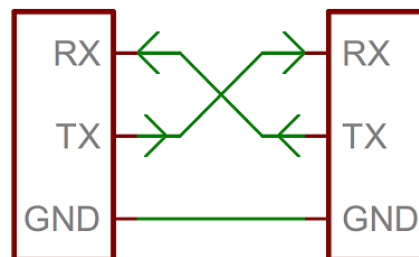


Figura 66. Comunicación Bluetooth entre el robot y la aplicación

### ➤ Conexión del Módulo RFID

La conexión del módulo RFID se realiza tal y como se observa en la Tabla 14. Todos los pines van a señales digitales. Y en este caso, se ha alimentado el módulo a 3,3V por lo que el pin de alimentación de 5 V se deja sin conectar.

MÓDULO RFID	PIN ARDUINO
RST	<b>2</b>
SDA	<b>53</b>
MOSI	<b>52</b>
MISO	<b>51</b>
SCK	<b>50</b>
3V3	<b>3V3</b>
5V	<b>Sin conectar</b>
GND	<b>GND</b>

Tabla 14. Conexionado de los pines del Módulo RFID

En las siguientes imágenes se observa el robot Domobot con el conexionado eléctrico completo:

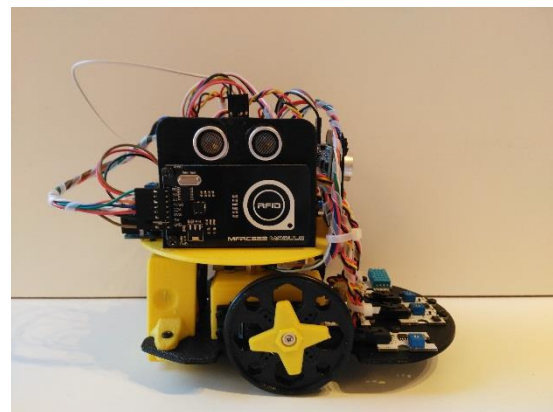
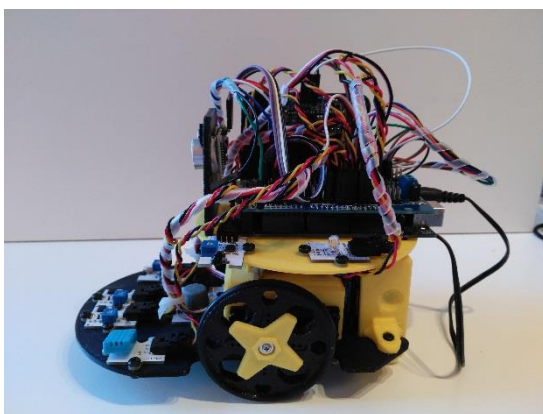
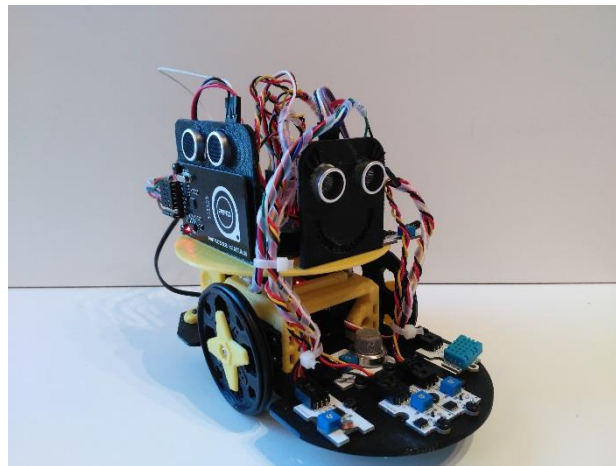


Figura 67. Domobot con el conexionado eléctrico

---

## 4.3 SISTEMA SOFTWARE

Una vez implementado el sistema mecánico junto con los elementos y conexiones correspondientes, se procede a configurar todos los componentes para el control de Domobot. En esta sección se va a explicar la programación de los distintos módulos del proyecto Domobot y como se relacionan entre sí.

Se va a empezar explicando la aplicación móvil, ya que es la herramienta del usuario para manejar al robot, después se detalla cómo se comunican entre sí el robot y la aplicación y, para finalizar, se expone la programación de la placa controladora Arduino de Domobot.

---

### 4.3.1 PROGRAMACIÓN DE LA APLICACIÓN

A la hora de programar la aplicación se han tenido en cuenta todos los requisitos a cumplir para el control y comunicación con Domobot.

Dichos **requisitos** son los siguientes:

- ✓ Comunicación inalámbrica con el módulo Bluetooth de Domobot.
- ✓ Control de navegación manual de Domobot
- ✓ Control de navegación autónoma de Domobot pudiendo seleccionar dos modos: “Siguelíneas” y “Sigueparedes”.
- ✓ Selección de la habitación de la vivienda donde se desea visualizar los datos recogidos por los sensores
- ✓ Correcta recepción de los datos de los sensores enviados desde Arduino así como su posterior visualización

#### ➤ Diagrama de casos de uso

A continuación se va a mostrar el diagrama de casos de uso de la aplicación móvil, que aclara a un nivel de abstracción mayor cuales son los actores que participan en la solución del proyecto y las acciones que pueden realizar en el sistema.

Como se puede observar, cuenta con un solo actor que será el usuario de la aplicación que desea controlar a Domobot.

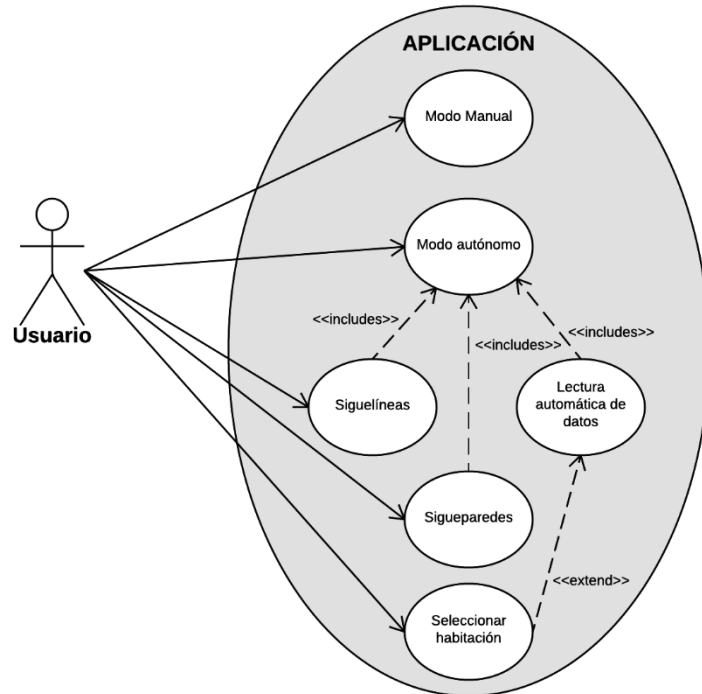


Figura 68. Diagrama de casos de uso de la aplicación móvil

Todos estos casos de uso se llevan a cabo bajo la condición de conexión Bluetooth.

Al abrir la aplicación el usuario va a poder elegir entre dos modos de control del robot: Manual y Autónomo.

En el momento que el usuario pulsa el modo autónomo, se va a iniciar la orden de lectura automática de datos, por lo que ésta podría realizarse con el robot parado. Además, dentro del modo autónomo, el usuario puede elegir entre dos modos de navegación, en caso de que desee realizar una monitorización mientras el robot se mueve. Estos dos modos de navegación son Sigueparedes y Siguelíneas.

Por último, el usuario puede seleccionar la habitación donde se quieren visualizar los datos que el robot está enviando.

### ➤ Diagrama de secuencia

El diagrama de secuencia sirve para explicar el orden seguido en las interacciones entre los diferentes elementos del sistema. Se exponen los diagramas de secuencia de los principales casos de uso vistos en la sección anterior: *Modo Manual*, *Modo Autónomo* y *Seleccionar Habitación*.

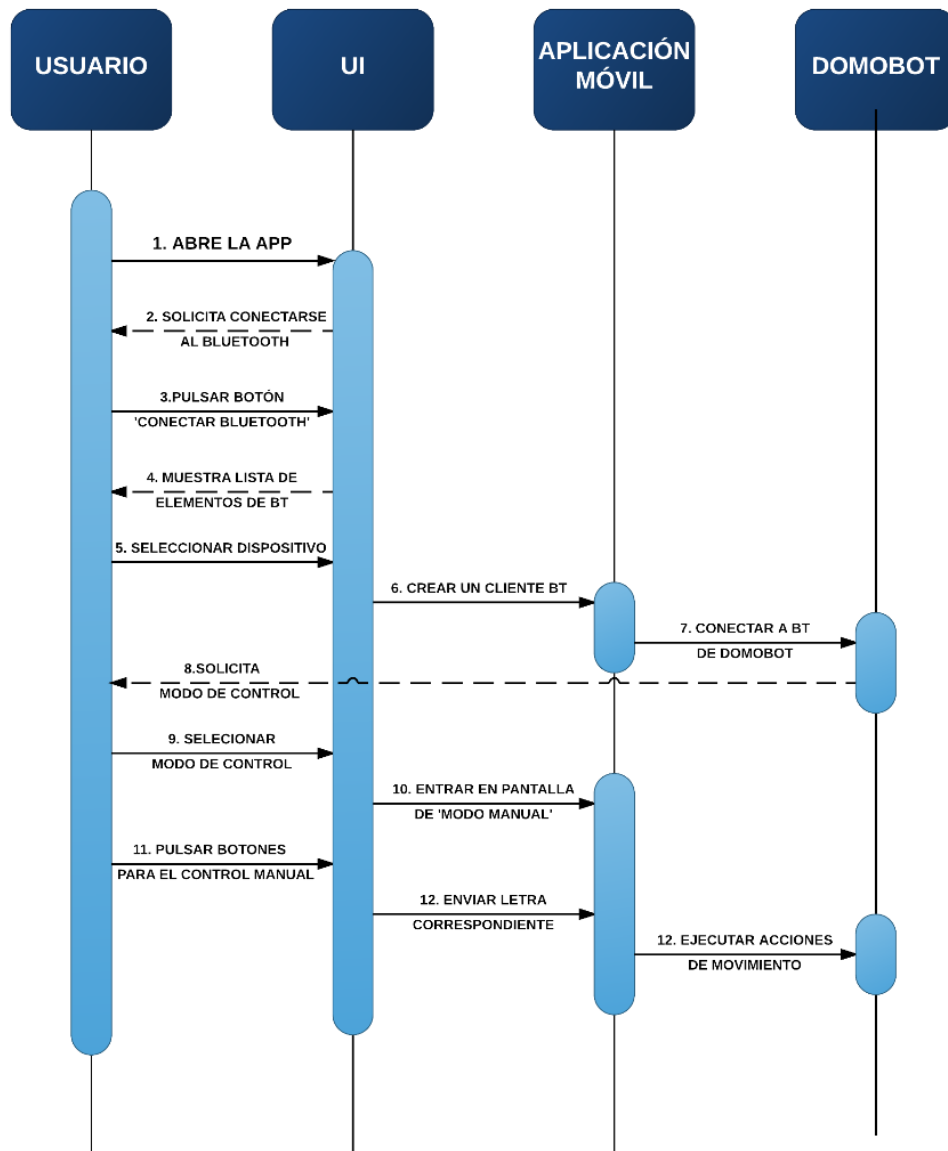


Figura 69. Diagrama de secuencia para el Modo Manual

En el momento que se pulsa el modo autónomo (Ver Figura 70), la aplicación va a enviar la orden de envío de datos cada segundo de forma automática, mediante una letra 'E'. Aparte, el usuario selecciona el modo de navegación autónoma: Siguelíneas o Sigueparedes.

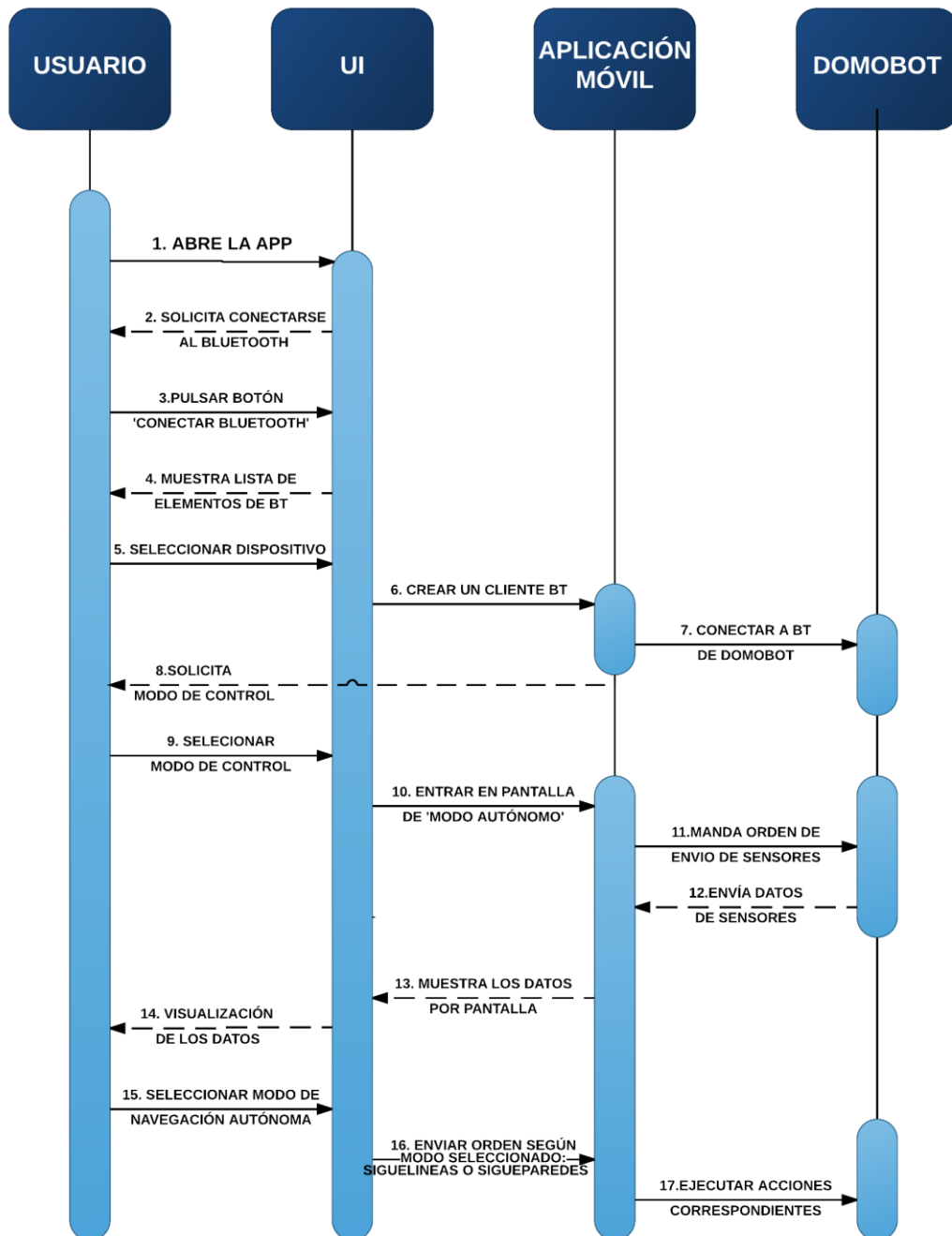


Figura 70. Diagrama de secuencias para el Modo Autónomo



Cada habitación está asociada a un número en relación al orden en que se visualizan en la pantalla. Al seleccionar una habitación determinada (ver diagrama de secuencias de la Figura 71), la aplicación actualiza el número de habitación seleccionada, que a su vez se actualiza en la orden de envío de datos mediante Bluetooth a 'E' + 'índice de habitación'. A esta orden, Arduino responde enviando un vector donde están almacenados los datos de la habitación seleccionada. Este protocolo de envío de datos se explica más adelante en el siguiente apartado: comunicación inalámbrica entre la aplicación móvil y Arduino.

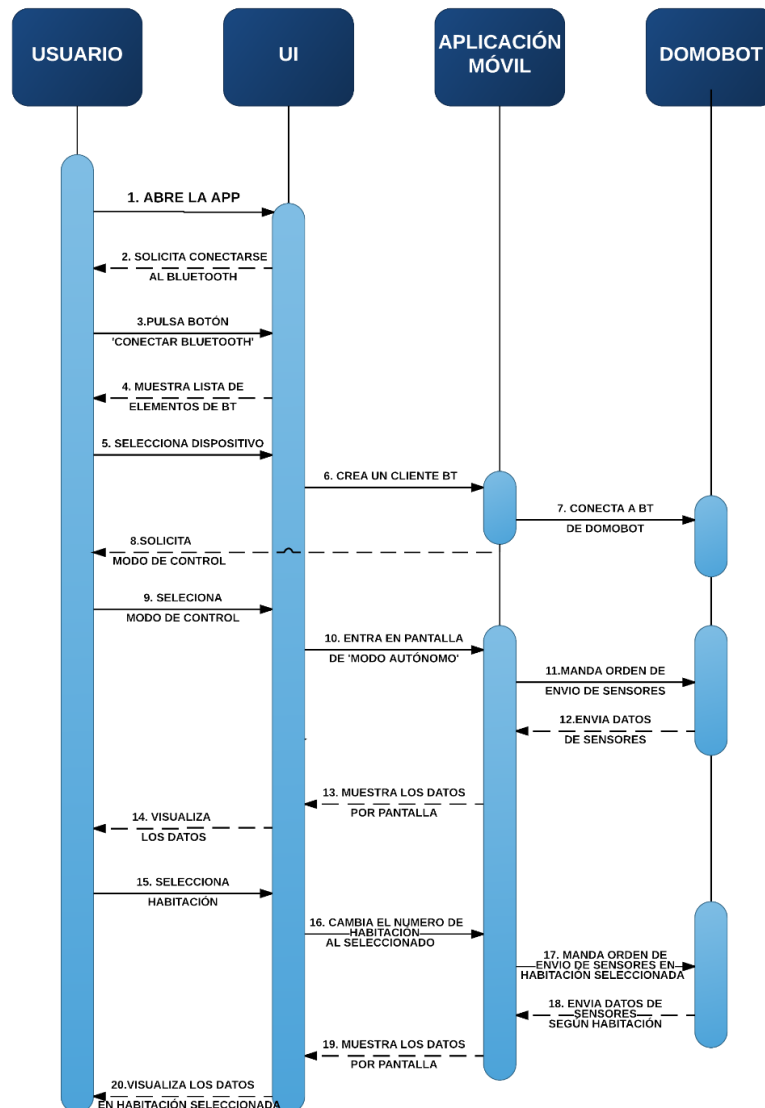


Figura 71. Diagrama de secuencia para Seleccionar habitación

➤ Diagrama de flujo

En la siguiente imagen se expone el diagrama de flujo de la aplicación móvil en el que se muestra el flujo de trabajo de la aplicación según las acciones y decisiones que toma el usuario.

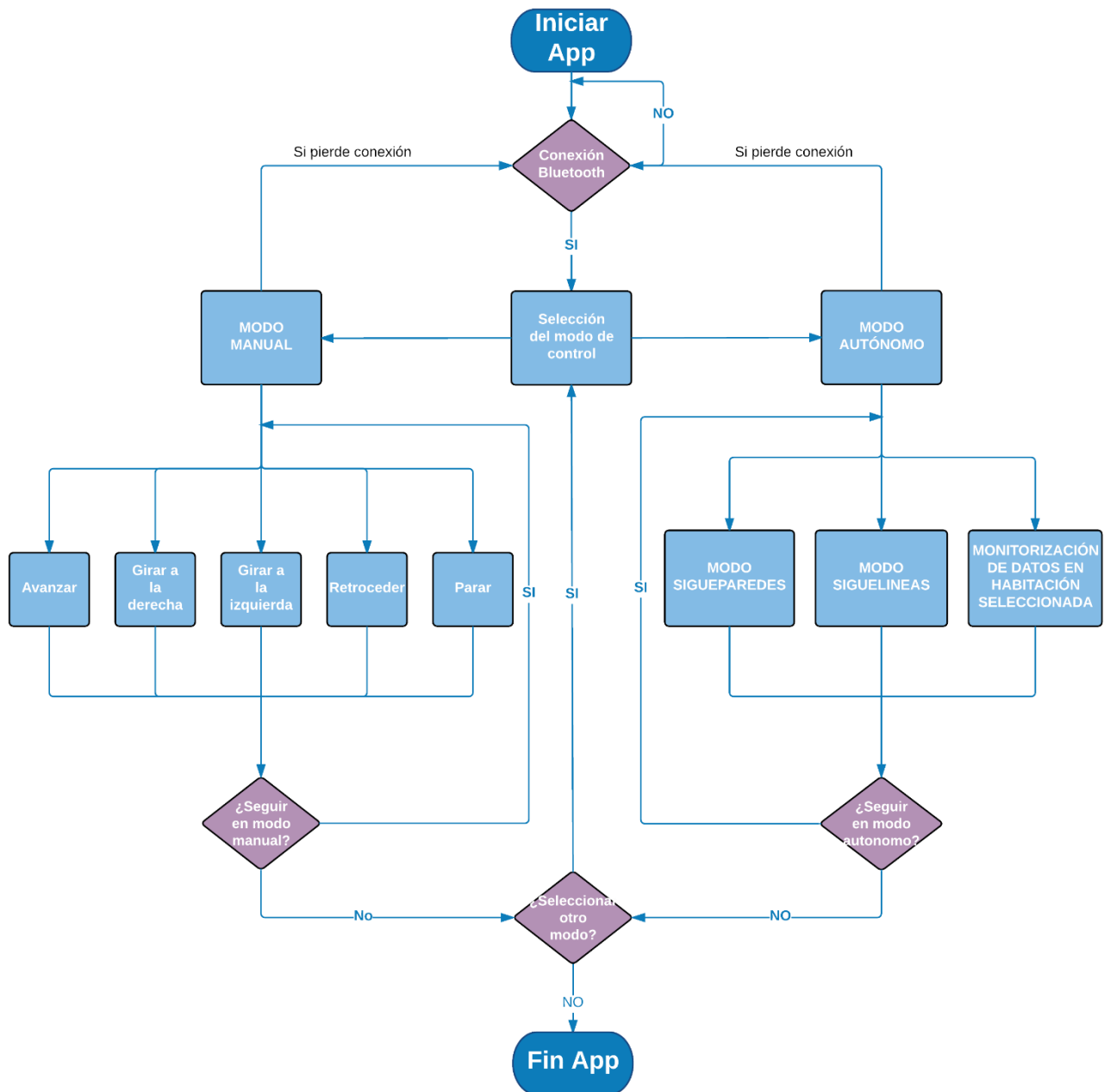


Figura 72. Diagrama de flujo de la aplicación

### ➤ Interfaz de usuario

A continuación, en las siguientes imágenes, se muestra la interfaz de usuario de la aplicación móvil, correspondiente a las tres pantallas que se han programado: Pantalla inicial, pantalla de modo manual y pantalla de modo autónomo.

En la pantalla de bienvenida, según se inicia la aplicación se pide al usuario que se conecte al Bluetooth. Una vez que está conectado aparecen en la pantalla los botones de 'Modo Manual' y 'Modo Autónomo'.

Si el usuario selecciona 'Modo Manual' aparece una notificación que avisa al usuario de la pérdida del sistema de referencia que pueda tener en modo autónomo. Al darle a aceptar, se entra en la pantalla de modo de control manual, que permite al usuario el manejo manual de Domobot.

Si el usuario selecciona el 'Modo Autónomo' se abre dicha pantalla, y se comienza con la monitorización de los datos. En esta pantalla, el usuario puede elegir el modo de control de navegación autónoma de Domobot, ya sea 'Siguelíneas' o 'Sigueparedes'. Además, se puede seleccionar la habitación donde se deseen visualizar los datos de los sensores. Para cada habitación se verán los valores máximos, mínimos y actuales de temperatura, humedad y luz así como el aviso de presencia de gases o fuego.

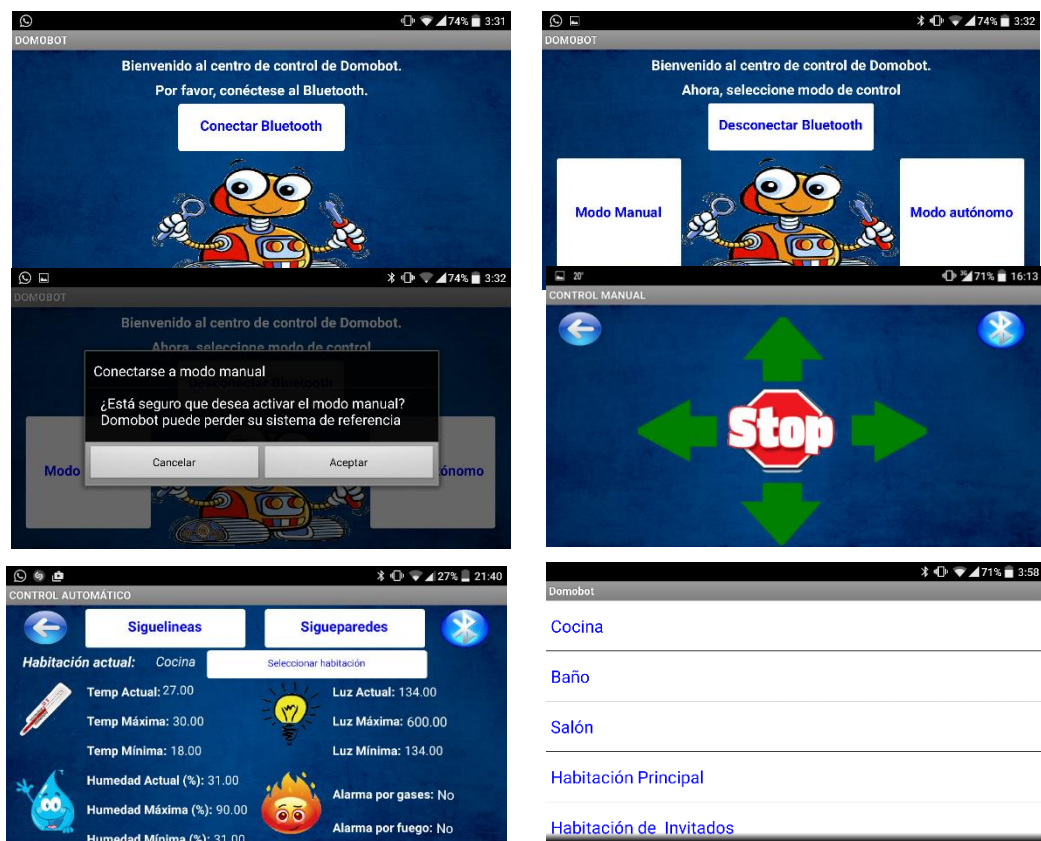


Figura 73. Interfaz gráfica de la aplicación. Pantalla de inicio (Arriba), Modo Manual (Medio) y Modo Autónomo (Abajo)

#### 4.3.1 COMUNICACIÓN INALÁMBRICA ENTRE LA APLICACIÓN MÓVIL Y ARDUINO

En esta sección se va a explicar con más detalle cómo se produce la comunicación entre la aplicación móvil y Arduino.

Cada botón que se pulsa en la aplicación va a mandar una ‘orden’ en forma de letra a la placa controladora Arduino mediante Bluetooth. A su vez, cuando Arduino reciba esa letra va a realizar una de acciones correspondientes a dicha letra. En la Tabla 15 se detallan los botones de la aplicación, la enviada a Domobot y las acciones correspondientes que realiza Domobot. Cabe mencionar dos hechos importantes:

Uno de ellos es que al pulsar el botón de modo autónomo, se envía una ‘T’, que le indica a Domobot que está en modo autónomo. Además se activa el envío de la letra ‘E’ cada segundo, iniciando el protocolo de comunicación de los datos de los sensores.

El otro es que al pulsar el botón ‘*Seleccionar habitación*’, que hace aparecer una lista de 5 habitaciones entre las que el usuario selecciona la que le interesa (Ver Tabla 16), no se envía ninguna orden o letra como tal a Arduino, sino que cambia el número de habitación al seleccionado, lo que hará que el envío automático de la letra E cambie a ‘E’ + ‘índice seleccionado’, correspondiente a la habitación seleccionada.

BOTÓN APP	LETRA ENVIADA A DOMOBOT	ACCIÓN DE DOMOBOT
<b>Modo Manual</b>	M	-Desactiva el envío de datos de sensores -Robot se para, esperando órdenes -Sonido
<b>Flecha hacia arriba</b>	A	-Robot avanza
<b>Flecha hacia la derecha</b>	D	-Robot gira a la derecha
<b>Flecha hacia la izquierda</b>	I	-Robot gira a la izquierda
<b>Flecha hacia abajo</b>	R	-Robot retrocede
<b>Stop</b>	S	-Robot se para
<b>Modo autónomo</b>	T E (Cada segundo)	-Activa el envío de sensores -Sonido
<b>Siguelíneas</b>	L	-Robot en modo Siguelíneas -Sonido
<b>Sigueparedes</b>	P	-Robot en modo Sigueparedes -Sonido
<b>*Seleccionar habitación</b>	Cambia el número de habitación	-Robot envía una E seguido de los datos de los sensores de la habitación seleccionada

Tabla 15. Botones de la aplicación y sus correspondientes acciones

Así por ejemplo, si el usuario selecciona la visualización de los datos recogidos por los sensores en el baño, se envía a Arduino la siguiente orden: 'E1'. Más adelante se detalla cómo almacena Arduino los valores de los datos de los sensores.

Habitación a seleccionar	Índice de habitación
Cocina	0
Baño	1
Salón	2
Habitación principal	3
Habitación de invitados	4

Tabla 16. Habitaciones que el usuario puede seleccionar

En el siguiente diagrama de flujo se expone las diferentes acciones internas de la placa Arduino, ya que cada letra que recibe a través del puerto serie supone un cambio de estado en el programa general de Arduino. Es importante vaciar el buffer del puerto serie cada vez que se lee una orden, ya que sino un fallo de lectura puede suponer el nulo funcionamiento de Domobot.

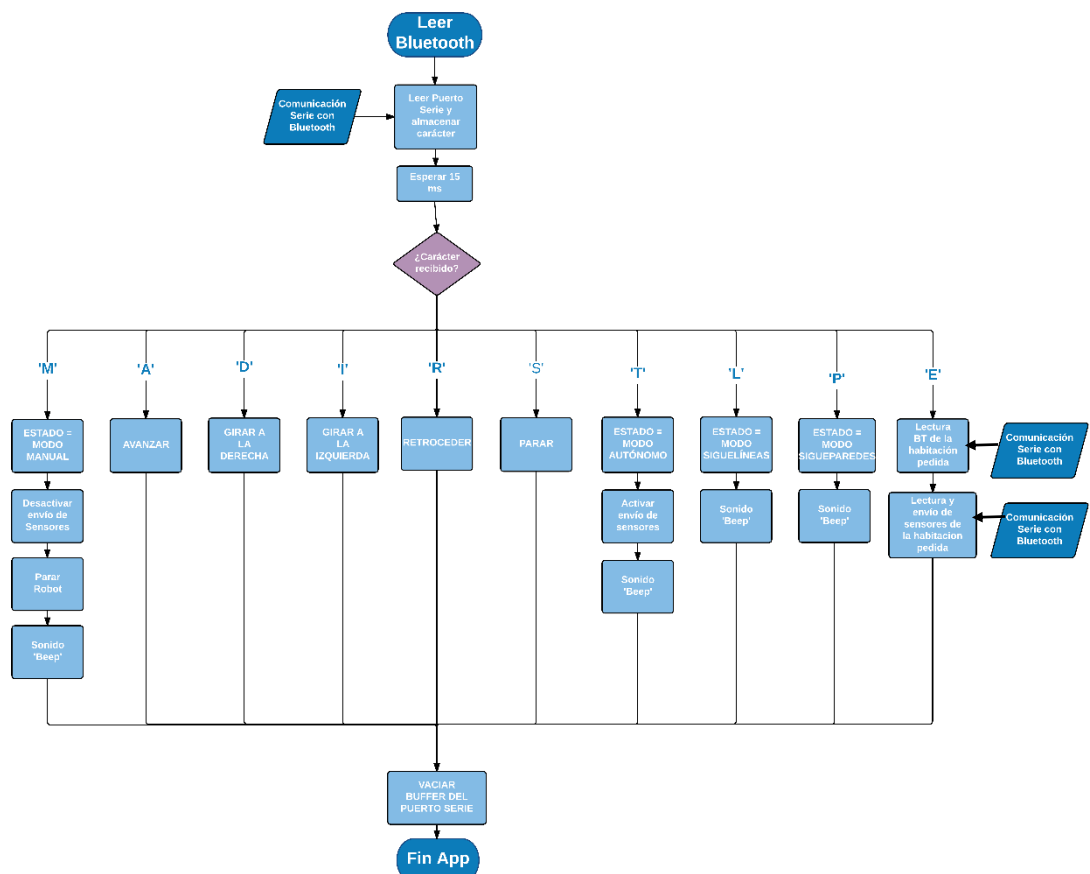


Figura 74. Diagrama de flujo de la función leer Bluetooth de Arduino.

#### 4.3.2 PROGRAMACIÓN EN ARDUINO

A continuación se presenta el diagrama de flujo del programa Arduino. Los dos primeros bloques corresponden al *setup()* del programa, es decir, acciones que se van a realizar una única vez al iniciarse el programa. El bucle que viene a continuación corresponde al *loop()*, que es la parte del programa que se va a ejecutar una y otra vez.

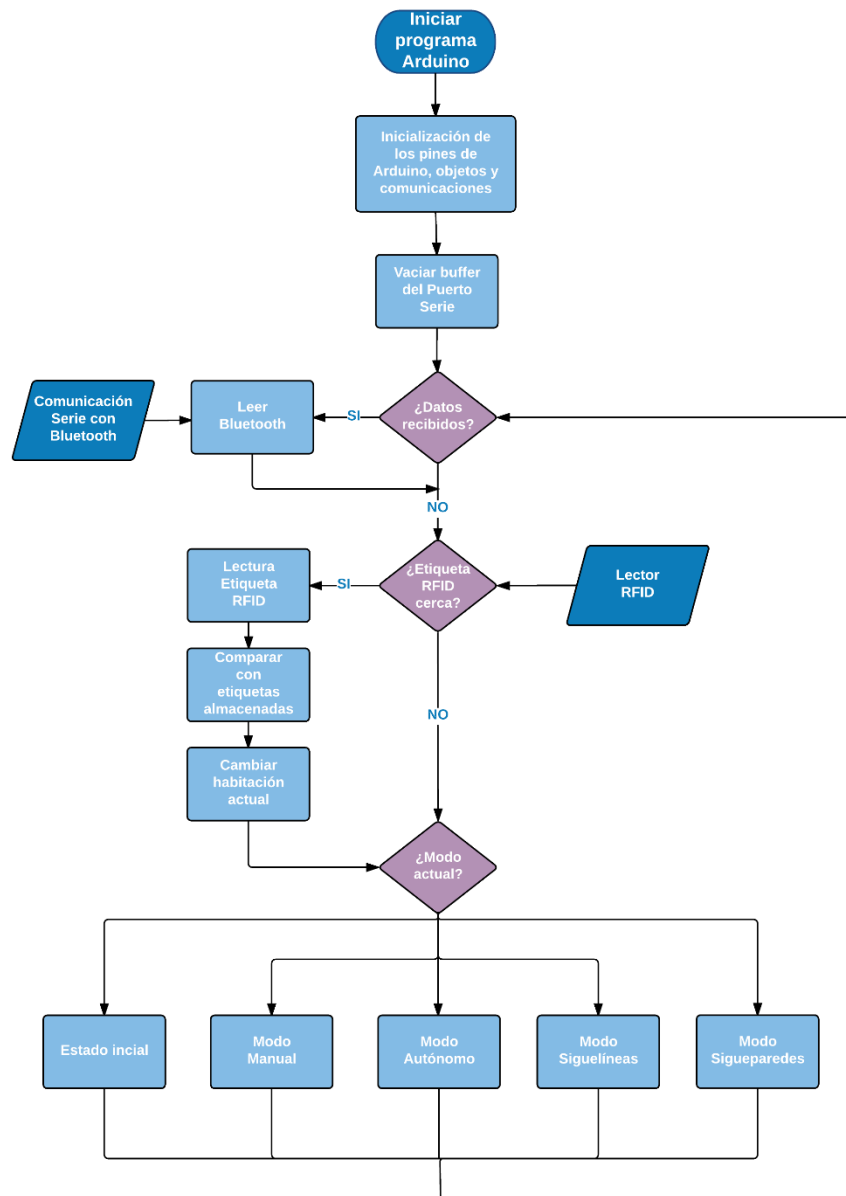


Figura 75. Diagrama de flujo del funcionamiento general del programa en Arduino

Explicándolo con más detalle:

1. Se inicia el programa en Arduino, con sus correspondientes inicializaciones de los pines a los que están asociados los elementos electrónicos, los objetos creados por las librerías referentes al sensor DHT de temperatura y humedad y al lector RFID y las comunicaciones correspondientes al monitor serial, a la comunicación SPI con el lector RFID y a la comunicación por puerto serie con el Bluetooth.
2. Antes del *loop()* se vacía el buffer del puerto serie, “limpiándolo” antes de empezar a recibir las ordenes provenientes de la aplicación.
3. A continuación, se lee el puerto serie y si hay algún dato se procede a ejecutar las órdenes correspondientes a la letra recibida mediante la función *leerBluetooth()*, según se vio en la sección anterior.
4. Después, se realiza un chequeo buscando etiquetas RFID cercanas. Si encuentra una, se procede a su lectura y comparación con la lista de etiquetas almacenadas en su base de datos. Si se produce alguna coincidencia, se actualiza la variable *habitación actual*, la cual indica donde se almacenan los datos recogidos por los sensores, como se verá más adelante con más detalle.
5. Finalmente, se comprueba el estado actual de Domobot y se vuelve a comenzar el bucle.

---

## PROGRAMACIÓN DEL MÓDULO RFID

La programación del módulo RFID se explica mediante el diagrama de flujo de la Figura 77. Diagrama de flujo del proceso de identificación de habitaciones por RFID Figura 77.

Tal y como se ha explicado en el apartado anterior, el programa Arduino busca etiquetas cercanas con el lector RFID. Si encuentra una, va a leer su identificación de tarjeta y la va a comparar con una matriz creada en Arduino con los identificadores de tarjeta usados, cada uno de ellos correspondiente a una habitación, tal y como se muestra en la siguiente imagen:

```
{0xA9, 0xDD, 0x59, 0x9E}, //Tarjeta Cocina
{0x31, 0x5B, 0x13, 0x3B}, //Tarjeta Baño
{0x04, 0x83, 0xE2, 0xFA}, //Tarjeta Salon
{0x7B, 0x6C, 0x6B, 0x9C}, //Tarjeta Habitación principal
{0x5D, 0x61, 0x9A, 0x76} //Tarjeta Habitación de invitados
```

Figura 76. Matriz de almacenamiento de identificadores de etiquetas RFID

De tal forma, que si el ID leído por el lector RFID coincide con alguno de los almacenados, se la variable '*habitación actual*', la cual indica donde se almacenan los datos recogidos por los sensores.

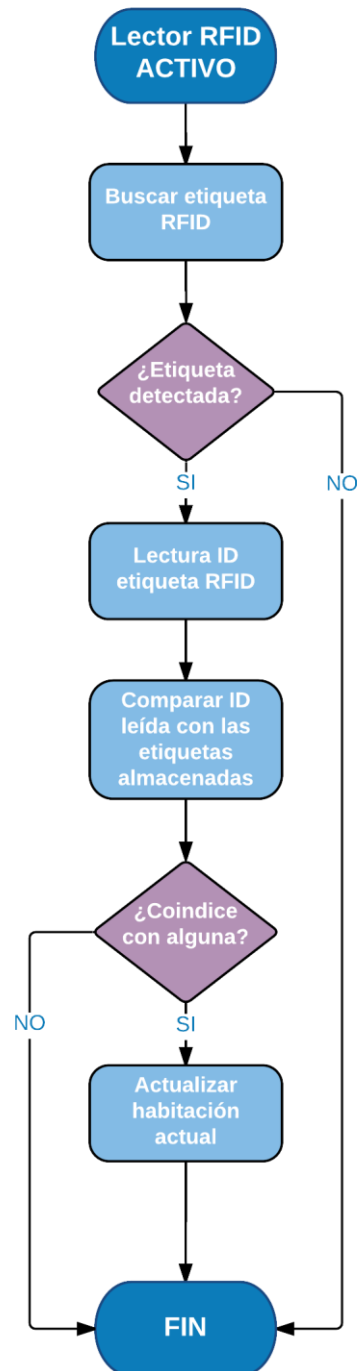






Figura 77. Diagrama de flujo del proceso de identificación de habitaciones por RFID

---

## PROGRAMACIÓN DE LOS SENSORES

Como ya se ha visto anteriormente, cuando la aplicación está en *Modo Autónomo* manda cada una letra 'E' seguido de la habitación donde se quieren visualizar los datos de los sensores. A su vez, Arduino recibe esta orden, actualiza la variable '*habitación pedida*' con el valor recibido. A activa la lectura de todos los sensores (temperatura, humedad, luz, gases y llama) que va a almacenar una matriz, tal y como se muestra en la Figura 78. Las filas de dicha matriz representan las habitaciones, antes mencionadas, y cada columna almacena el valor correspondiente de los datos recogidos por los sensores según este orden:

*{Temperatura Actual, Temperatura Máxima, Temperatura Mínima, Humedad Actual, Humedad Máxima, Humedad Mínima, Luz Actual, Luz Máxima, Luz Mínima, Gas, Llama}*

Además, la matriz se inicializa con unos determinados valores según si la variable es actual, máxima o mínima. Las variables mínimas se inicializan al valor máximo del sensor, ya que sino al hacer la comparación con '0' no cambiaría nunca su valor.

```
{0, 0, 1000, 0, 0, 1000, 0, 0, 1023, 0, 0},  
{0, 0, 1000, 0, 0, 1000, 0, 0, 1023, 0, 0},  
{0, 0, 1000, 0, 0, 1000, 0, 0, 1023, 0, 0},  
{0, 0, 1000, 0, 0, 1000, 0, 0, 1023, 0, 0},  
{0, 0, 1000, 0, 0, 1000, 0, 0, 1023, 0, 0};
```

Figura 78. Matriz de almacenamiento de los datos recogidos por los sensores según habitación

Después de obtener los datos de todos los sensores, Arduino los almacena en la fila de la matriz correspondiente a la habitación donde se encuentra Domobot, según la variable '*habitación actual*'. Tras esto Arduino procede a enviar los datos almacenados según la variable '*habitación pedida*' de la siguiente forma: primero envía otra 'E' a modo de respuesta, seguida de los datos de los sensores de la habitación pedida. Como sólo se envían los datos de una habitación, Arduino solo manda el *vector de datos* correspondiente a la fila de la habitación pedida, logrando un menor tiempo de transmisión.

Cabe mencionar que mientras Arduino manda el vector de datos de la habitación pedida, sigue haciendo la monitorización de datos de la habitación actual. En caso de que ambas variables coincidan, es decir, en caso de que el usuario seleccione la habitación donde se encuentra el robot, el usuario verá el cambio de los datos a tiempo real, ya que se actualizan cada segundo.

Además se ha programado un sistema de alarma, tanto de forma visual como sonora, mediante un zumbador y un LED, para avisar al usuario en caso de detección de incendio, humo o gases, tales como H<sub>2</sub>, LPG, CH<sub>4</sub>, CO o alcohol. Los sensores encargados de dicha detección los sensores de llama y de gases.

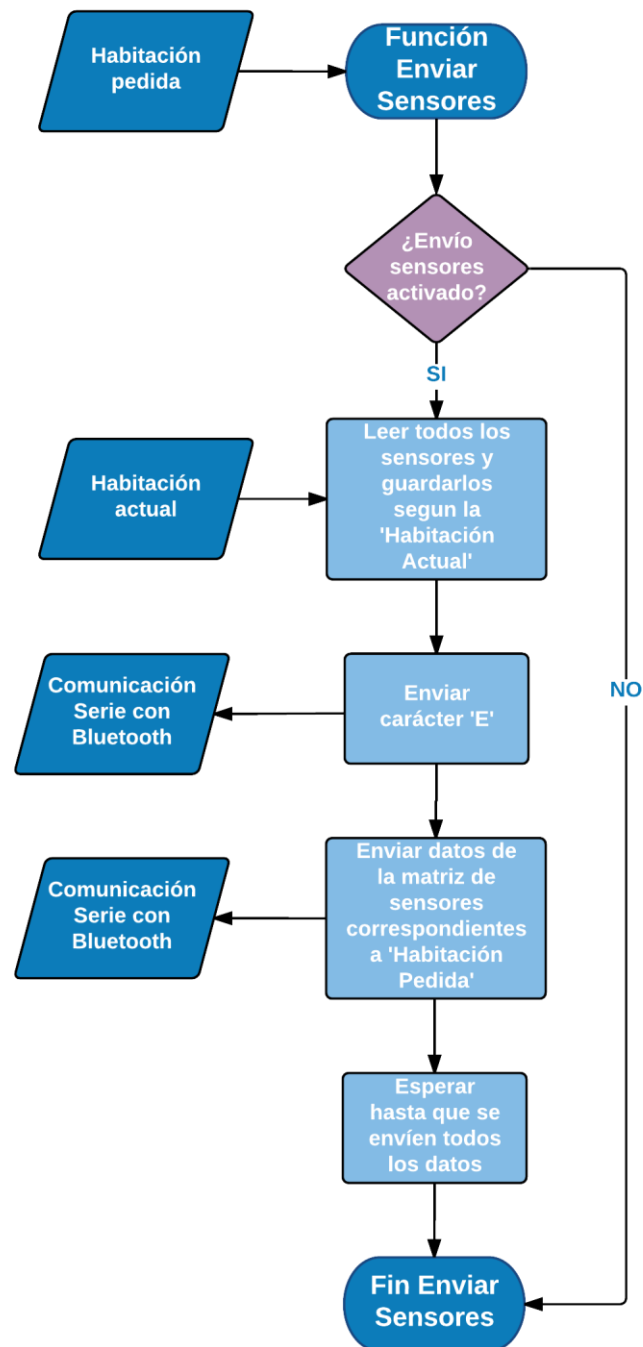


Figura 79. Diagrama de flujo de la lectura de los datos de los sensores

---

## PROGRAMACIÓN DEL SISTEMA DE NAVEGACIÓN

Por último, en esta sección se exponen los modos de navegación de Domobot. La navegación del robot se puede realizar de forma manual o de forma autónoma.

Los modos de navegación autónomos implementados en el robot se basan en una navegación reactiva, es decir, el robot es capaz de guiarse por la vivienda siguiendo una línea (Siguelíneas) con ayuda de sensores de infrarrojos o siguiendo una pared (Sigueparedes) gracias a sensores de ultrasonidos. Además, la navegación autónoma sirve para que Domobot se mueva mientras ejecuta su función de monitorización sensorial.

### ➤ Control manual

En el modo de control manual no se puede realizar la monitorización de la vivienda, pero se podría efectuar como futura mejora del proyecto. Su principal función en el presente proyecto es la de hacer pruebas de locomoción para comprobar el correcto funcionamiento de todo el sistema.

Básicamente este modo de control consta de 5 botones con los que se realiza el control del robot: Ir hacia delante, girar a la derecha, girar a la izquierda, ir hacia atrás y parar. Según se haga uno de esos movimientos los servos adoptan una posición determinada, tal y como se muestra en la siguiente tabla:

Movimiento	Servo izquierda	Servo derecha
Adelante	<b>0° (Avanzar)</b>	<b>180° (Avanzar)</b>
Derecha	<b>0° (Avanzar)</b>	<b>90° (Parar)</b>
Izquierda	<b>90° (Parar)</b>	<b>180° (Avanzar)</b>
Atrás	<b>180° (Retroceder)</b>	<b>0° (Retroceder)</b>
Parar	<b>90° (Parar)</b>	<b>90° (Parar)</b>

Tabla 17. Posición de los servos según el movimiento realizado

Hay que tener en cuenta la posición de los servos. Un servo está parado si está a 90°, gira en un sentido si está a 0° y en otro sentido si está a 180°. Como en Domobot ambos servos están enfrentados, para que, por ejemplo, avance el robot, el servo de la derecha tendrá el valor contrario al servo de la izquierda. Por ejemplo, el servo de la Figura 80, tal y como se muestra, gira en sentido horario, lo que se traduce en “avanzar” si se sitúa a la derecha y “retroceder” si se sitúa a la izquierda.



Figura 80. Giro de un servo de rotación continua

### ➤ Siguelíneas

El modo de navegación Siguelíneas consiste en el seguimiento de una línea mediante sensores de infrarrojos. Dichos sensores de infrarrojos dan un valor de 0 o 1 según el color que se detecte, por lo que tenemos 4 estados en función de las combinaciones de los valores detectados por los sensores infrarrojos, tal y como se muestra en la siguiente tabla:

Sensor IR Izquierda	Sensor IR Derecha	Estado	Acción	Servo Izquierdo	Servo Derecho
BLANCO	BLANCO	ESTADO 0	STOP	PARAR	PARAR
BLANCO	NEGRO	ESTADO 1	GIRAR A LA DERECHA	MOVERSE	PARAR
NEGRO	BLANCO	ESTADO 2	GIRAR A LA IZQUIERDA	PARAR	MOVERSE
NEGRO	NEGRO	ESTADO 3	AVANZAR	MOVERSE	MOVERSE

Tabla 18.Estados del modo Siguelíneas

Como se ha visto, el sensor de infrarrojos detecta el color por donde va Domobot, blanco o negro, o en su defecto un color claro frente a uno oscuro, por lo que es capaz de saber si está encima de la línea o no.

Cuando ambos sensores están sobre la línea, es decir, cuando ambos sensores detectan negro, Domobot avanza.

Cuando el sensor de infrarrojos de la derecha detecta blanco, Domobot gira a la izquierda para volver a la línea. Por el contrario, si el sensor de infrarrojos de la izquierda detecta blanco, Domobot gira a la derecha.

Si por algún motivo se acaba la línea o Domobot se sale de la línea, ambos sensores de infrarrojos detectarán blanco y Domobot se parará.

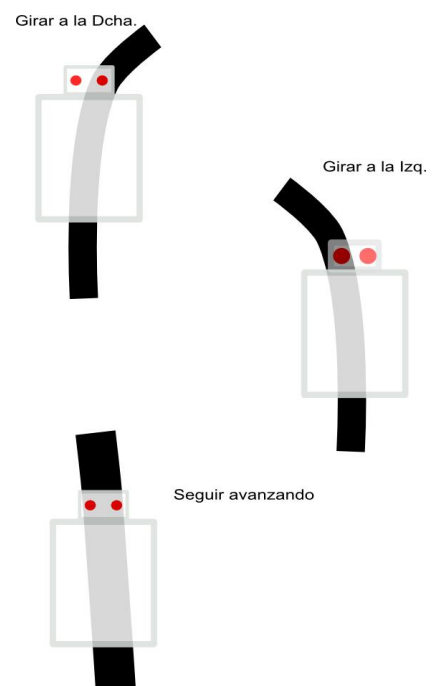


Figura 81.Funcionamiento del modo Siguelíneas

### ➤ Sigueparedes

El modo de navegación Sigueparedes consiste en el seguimiento de una pared mediante sensores de ultrasonidos.

El sistema que se ha implementado utiliza dos sensores de ultrasonidos, uno situado a la derecha, que se encarga de seguir la pared, a una distancia fija determinada y otro situado delante, que detecta los obstáculos y los evita.

Para la programación del modo Sigueparedes se han determinado una serie de casos en los que puede estar Domobot:

Sensor de Ultrasonidos de la derecha	Sensor de Ultrasonidos delantero	
	0 – 10 cm	10 - ∞cm
0 – 3 cm	Estado 1: Sensor derecha demasiado cerca -> Girar a la izquierda Estado 2: Sensor de delante detecta obstáculo -> Girar a la izquierda	Estado 1: Sensor derecha demasiado cerca -> Girar a la izquierda
3 – 5cm	Estado 2: Sensor de delante detecta obstáculo -> Girar a la izquierda	Estado 3 : Avanzar
5 - ∞cm	Estado 2: Sensor de delante detecta obstáculo -> Girar a la izquierda	Estado 4: Sensor derecha demasiado lejos -> Girar a la derecha

Figura 82.Estados del modo Sigueparedes

El sensor de ultrasonidos de la derecha puede estar en 3 casos: demasiado cerca (0 – 3 cm), demasiado lejos (5 - ∞cm) o a la distancia correcta (3 – 5cm). La distancia correcta se ha establecido teniendo en cuenta el rango de lectura del módulo RFID. El sensor de ultrasonidos delantero puede tener dos estados: demasiado cerca (0 – 10 cm) lo que indica que hay un obstáculo y hay que sortearlo, o vía libre de movimiento (10 - ∞cm), lo que significa que Domobot puede avanzar perfectamente. Haciendo combinaciones de ambos sensores se ha implementado un código que contempla todos los casos posibles.

De esta forma el problema que tiene es la gran fluctuación del robot, por lo que es conveniente el uso de un PID para regular la navegación, consiguiendo así que los movimientos sean más fluidos.

## CAPÍTULO 5: PRUEBAS Y CAMBIOS

En este capítulo se desarrollan todas las pruebas y cambios realizados a lo largo de todo el proceso de implementación del robot. Para facilitar la organización dichas pruebas, se han dividido del mismo modo que en el capítulo de sistema propuesto: mecánica, electrónica y software:

### 5.1 PRUEBAS DEL SISTEMA MECÁNICO

A continuación se exponen las pruebas realizadas para asegurar el correcto funcionamiento del ámbito mecánico del robot. Estas pruebas son las que aseguran la integridad del robot y un movimiento correcto de las ruedas, ya que Domobot no dispone de más articulaciones.

- **Juntas tóricas**

En la primera prueba de locomoción realizada al tener el conjunto completo de Domobot, se observó que las ruedas impresas deslizaban demasiado, por lo que el robot no avanzaba. Se probó a poner varias gomas alrededor de la rueda pero no dio buenos resultados ya que se salían y se enredaban en el eje del servo. Tras plantearse varias alternativas, se decidió por el uso de juntas tóricas de 56 mm de diámetro interior y 4 mm de grosor, tal y como se aprecia en la siguiente figura:

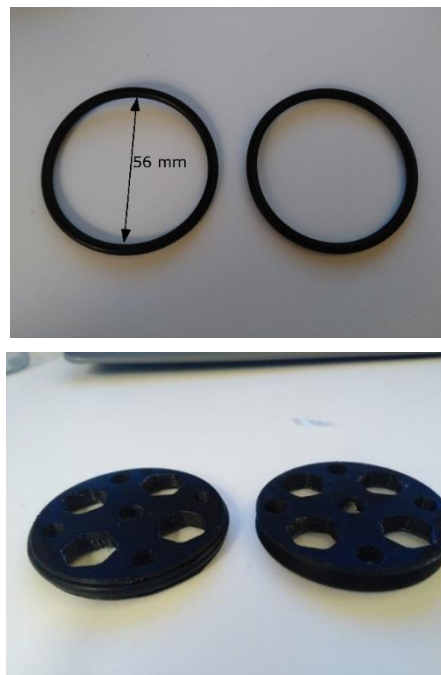


Figura 83. Juntas tóricas (Arriba) y detalle de rueda con/sin junta tórica (Abajo)

- **Bridas y cinta protectora**

Al realizar el conexionado eléctrico de todos los elementos se observó que el cableado dificultaba la navegación, puesto que chocaba con las ruedas, como la visión de los sensores de ultrasonidos, tal y como se observa en la siguiente figura:

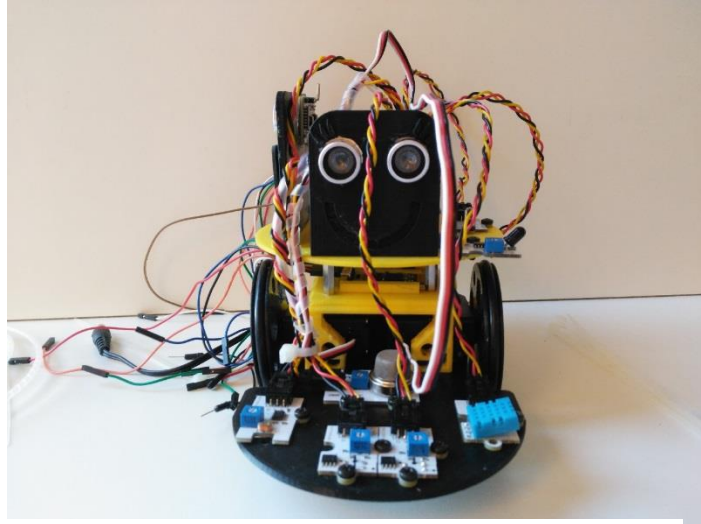


Figura 84. Dificultades presentadas por el cableado

Por ello, se pensó en el uso de bridas y cinta protectora de cables, para tener una mejor de los cables, no solo desde el punto de vista estético sino como solución a los problemas de navegación visión que se habían planteado. A continuación, en la siguiente imagen, se ve el detalle de los cables respecto de la rueda de Domobot que, como se puede observar, están perfectamente distanciados:

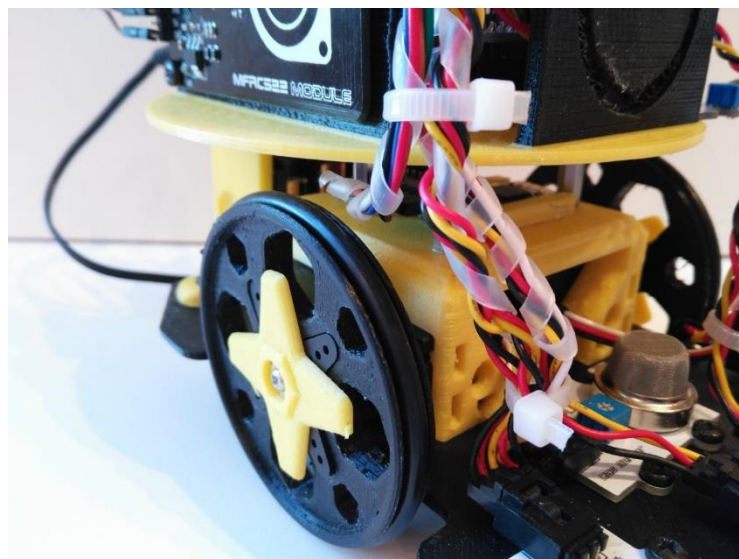


Figura 85. Detalle del cableado organizado



- **Iteraciones en el diseño del robot**

Las piezas 'Base Superior' y 'Base Inferior' tuvieron que imprimirse una totalidad de 3 y 5 veces respectivamente antes de llegar a su aspecto actual. Esto fue debido a que cada vez que se acababan de imprimir se encontraba algún defecto que no se había previsto durante el diseño, por lo que había que volver a rediseñar e imprimir. Una de las veces, tal y como se puede observar en la pieza de la izquierda izquierda de la Figura 86, fue debido al entorno Cura, que imprimió la pieza sin uno de los huecos para el sensor de infrarrojos.

La pieza 'Cuerpo' en un primer momento fue diseñada con los raíles para el Bluetooth, por lo que al imprimirse apoyándose solo en los cuatro puntos de apoyo quedaba muy mal la pieza. Por tanto, se decidió diseñar e imprimir los raíles por separado e imprimir la pieza 'Cuerpo' apoyada sobre la base superior, de tal forma que quedaba un acabado mucho más definido.

Las piezas de las ruedas y las tapas también se imprimieron varias veces, ya que al ser las piezas más pequeñas se realizaron pruebas de impresión con diferentes parámetros del Cura, hasta conseguir resultados de aceptable calidad.

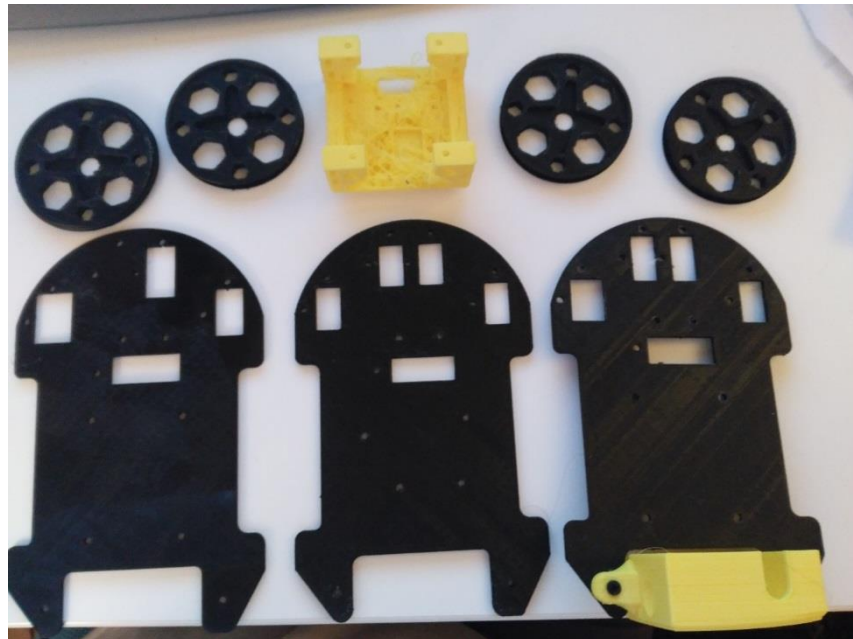


Figura 86. Algunas piezas con fallos de diseño o impresión

## 5.2 PRUEBAS DE LOS SENSORES

En este apartado se van a exponer las diversas pruebas realizadas para investigar el funcionamiento de cada componente electrónico del robot. A continuación, se exponen todas las pruebas hechas relacionadas con los sensores, como el rango de funcionamiento, precisión, valores máximo/mínimos alcanzados, funcionamiento del sistema de alarmas.

### SENSOR DE TEMPERATURA Y HUMEDAD DHT11

A continuación se exponen las pruebas realizadas con el sensor de temperatura y humedad DHT11:

#### **Pruebas relacionadas con la temperatura**

Tal y como se ha visto en el apartado de elementos, el rango teórico del sensor de temperatura es de 0 a 50°C con una precisión de  $\pm 2$  °C. Para comprobar dicho rango se realizaron pruebas experimentales tanto a temperatura ambiente como a temperaturas extremas, metiendo a Domobot horno y en el frigorífico.

- **Prueba de exactitud en temperaturas frías:**

Para esta prueba se introdujo a Domobot en la nevera a 6°C junto a dos termómetros de mercurio. Pasados 20 minutos las temperaturas observadas fueron las siguientes:

Nevera	Domobot	Termómetro 1	Termómetro 2
Aprox. 6°C	7°C	7°C	8°C

En las siguientes imágenes (Ver Figura 87) se observa como la temperatura alcanzó los 7°C en la aplicación así como la del termómetro, que en la imagen marca 9°C debido la alta sensibilidad de éste, que empezó a subir la temperatura nada más sacarlo de la nevera.

Por tanto se deduce que el sensor DHT11 es preciso a bajas temperaturas.

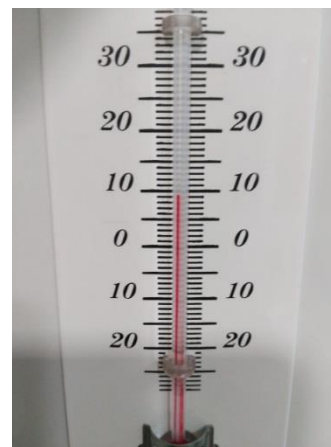
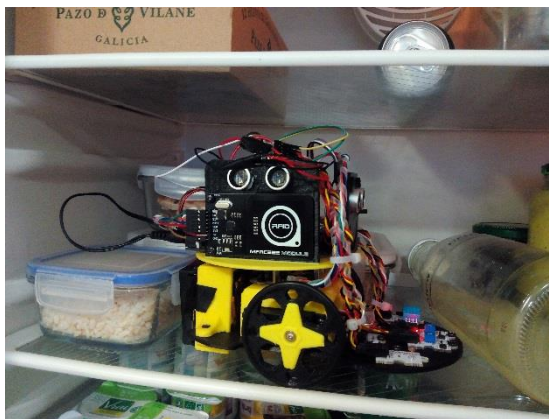


Figura 87. Prueba de exactitud en temperaturas frías

- **Prueba de exactitud en temperaturas calientes:**

Para esta prueba, se introdujo a Domobot en el horno a 50°C junto a dos termómetros de mercurio (cuya temperatura máxima es 50°C). Tras 5 minutos, las temperaturas observadas fueron las siguientes:

Horno	Domobot	Termómetro 1	Termómetro 2
Aprox. 50°C	45°C	48°C	46°C

Al meter a Domobot en el horno, se observó que la temperatura subió hasta los 45°C, llegando casi al valor máximo del rango de medición del sensor. Se puede deducir como el sensor no es tan eficaz a altas temperaturas. Esto puede deberse a que, como se verá a continuación, el sensor tarda más que un termómetro en llegar al valor correcto, y el robot pasó solo 5 minutos en el horno. En la Figura 88 se se pueden observar las imágenes del experimento.

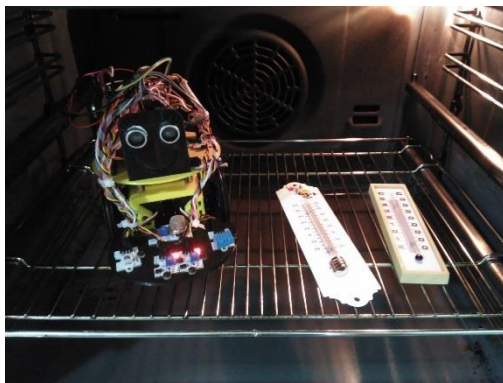


Figura 88. Pruebas de exactitud en temperaturas calientes

- Prueba de velocidad de ajuste a la temperatura.

En esta prueba se pretende analizar el tiempo que tarda el sensor DHT11 en detectar la de un sistema cuando viene de otro muy distinto. Para ello, se volvió a enfriar al robot y los en la nevera. Posteriormente, se dejaron en una mesa cercana y se empezó a analizar, minuto a minuto, temperatura dada por los tres elementos. A continuación se puede observar una gráfica que refleja el experimento.

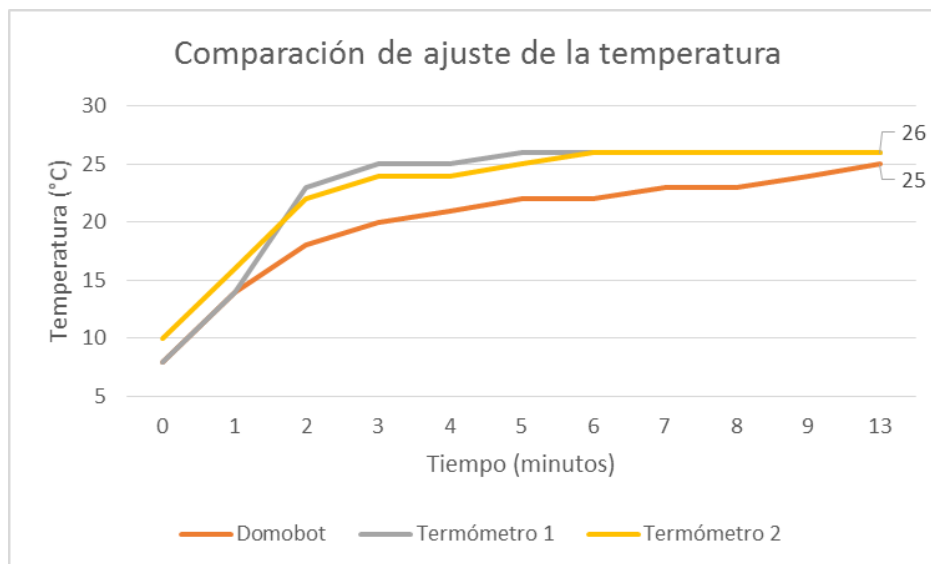


Figura 89. Comparación de ajuste de temperatura

Se puede observar como la velocidad de adecuación del sensor DHT11 es bastante más lenta que un termómetro de mercurio convencional. En principio, no debería suponer un grave problema, pues robot está diseñado para que pase largos ratos en entornos donde la temperatura no varía mucho.

### **Pruebas relacionadas con la humedad:**

Tal y como se ha visto en el apartado de elementos, el rango teórico de medición del sensor de humedad es de entre 20 y 90% con una precisión de  $\pm 5\%HR$ . Para comprobar dicho rango, debido a que no se cuenta con instrumentos de medida de la humedad relativa en el ambiente, como un higrómetro, no se pudieron hacer pruebas de exactitud, pero se realizaron pruebas experimentales para investigar el funcionamiento del sensor.

- **Prueba de funcionamiento esperado ante alta humedad relativa.**

Para esta prueba se va a introducir al robot en un cuarto de baño con mucha humedad relativa, generada por la evaporación de agua caliente. La lectura de los datos del sensor, obtenida cada minuto, es:

Tiempo (minutos)	Datos de humedad relativa (%)
0	35
1	45
2	51
3	56
4	59
5	60
6	62
7	65
8	67
9	70
13	71

Tabla 19. Valores de humedad relativa

De lo que se deduce que el sensor de humedad se comporta de forma correcta, pues se observó cómo la medida se elevó a un valor del doble de lo habitual al pasar 13 minutos en un sistema con alta humedad relativa.

- **Comparación del valor de humedad en reposo con uno teórico.**

El valor medio para una casa en verano es aproximadamente 40% [28] La lectura del sensor en funcionamiento normal se encuentra en 35%.

De lo que se deduce que el sensor funciona correctamente.

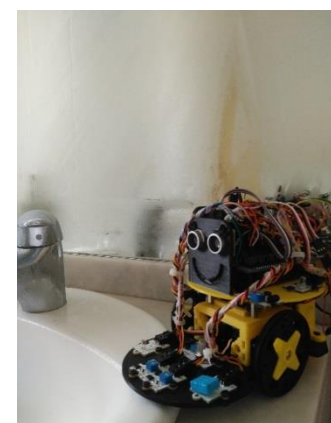


Figura 90. Prueba de humedad relativa alta



## SENSOR DE LUZ

El sensor de luz obtiene un valor proporcional a la luz que hay. Debido a la naturaleza de los LDR, los cuales no están hechos para medir niveles exactos de LUX sino niveles “cualitativos” de luz, como poca luz, mucha luz o niveles intermedios, es suficiente con hacer pruebas del buen funcionamiento de la lectura del sensor.

- **Prueba de funcionamiento del sensor de luz.**

En las siguientes figuras, se puede observar como la lectura de luz en la habitación cambia correctamente si se bloquea el paso de luz al sensor:

En la primera imagen, como se puede observar, se tapa el sensor de luz, dando un nivel analógico de luz de **13**. A su derecha está el sensor sin tapar a una intensidad de luz normal, dando un valor de **308**. Por último en la imagen de abajo, apuntando el sensor con una linterna da un valor de **705**. Se puede deducir, por tanto, que el sensor LDR funciona correctamente.

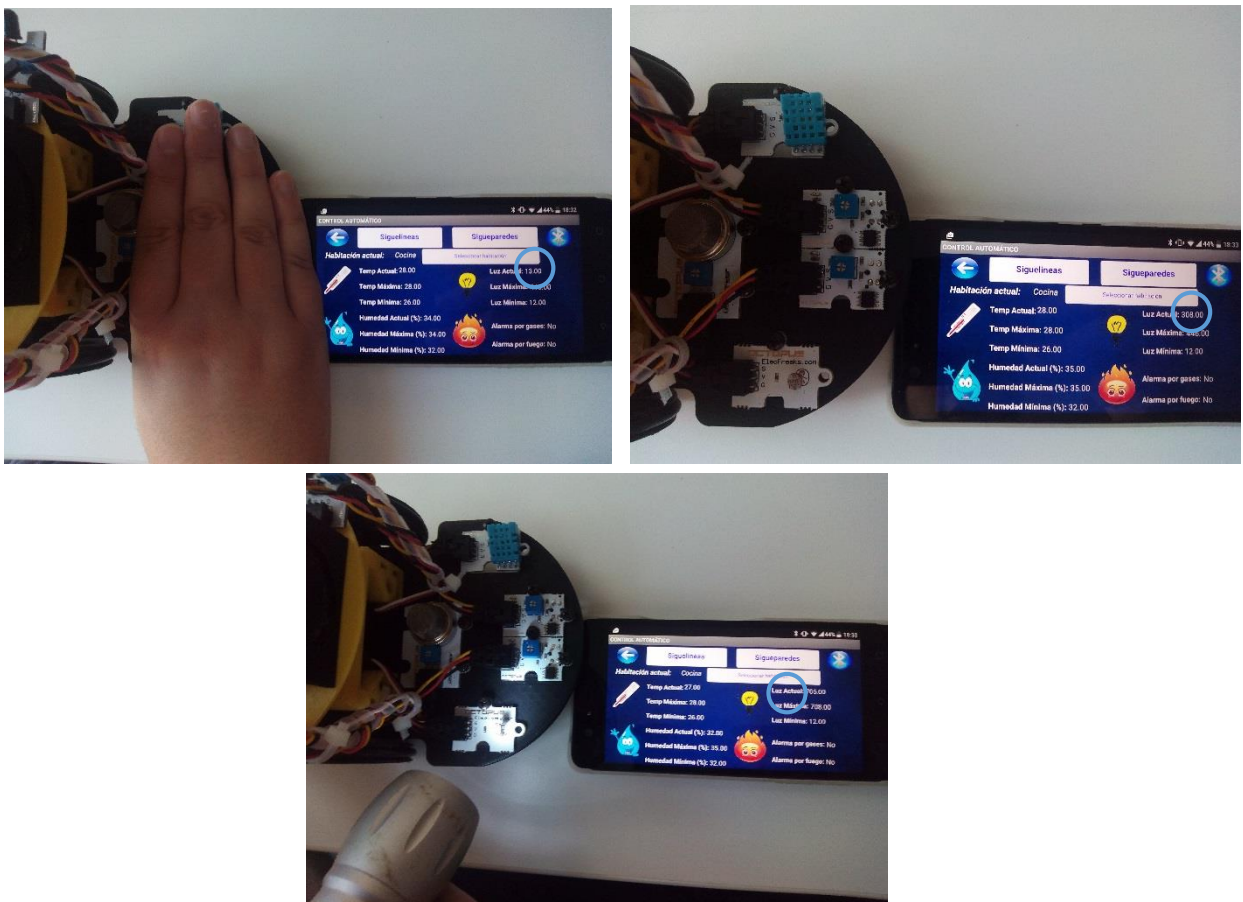


Figura 91. Prueba de funcionamiento del sensor de luz

---

## SENSOR DE GASES

Este sensor proporciona un valor analógico proporcional al nivel de gases “peligrosos” que capta. Para hacer las pruebas, se probaron los datos del sensor ante diferentes gases.

- **Prueba de comportamiento del sensor ante diferentes gases.**

En la siguiente tabla se puede observar el valor obtenido en la lectura analógica (de 0 a 1023) exponiendo el sensor a diferentes gases:

Tipo de gas	Distancia del foco de gas	Valor analógico
Aire normal	-	Entre 180-200
Aliento	2 cm.	Entre 470-490
Mechero	10 cm.	800
Gas natural (cocina)	10 cm.	Entre 550-680

Tabla 20. Resultados del experimento con el sensor de gases

Se observa como el sensor de gases funcionó de forma correcta, reaccionando a diversos gases nocivos que se encuentran en un hogar.



Figura 92. Pruebas con el sensor de gases

---

## SENSOR DE LLAMA

El sensor de llama debe captar la presencia de fuego en sus inmediaciones. Para probar esto, se realizó un experimento donde se acercaba una llama a diferentes distancias y ángulos al sensor. A continuación, se expone la lectura digital obtenida del sensor.

- **Prueba de funcionamiento del sensor de llama.**

En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos en el experimento de acercar la llama de una cerilla a distintos ángulos y distancias, como se observa en la Figura 93. Un 1 significa detección de llama y un 0 no detección.

Distancia	Altura correcta	Altura baja	Altura alta
3 cm.	1	0	0
10 cm.	1	1	0
20 cm.	0	0	0

Tabla 21. Resultados del experimento con el sensor de llama

Se puede observar que la detección de llama no es todo lo buena que podría esperarse. A 10 cm. funciona razonablemente bien, pero ni muy cerca ni muy lejos toma valores correctos.

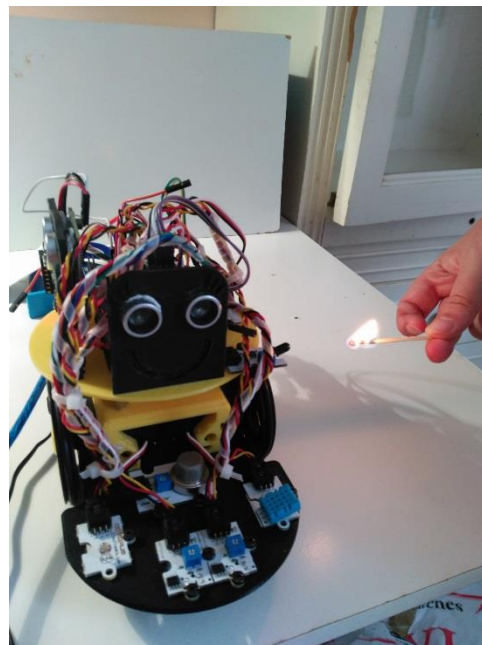


Figura 93. Pruebas con el sensor de llama



---

## SENSOR DE INFRARROJOS

En el siguiente apartado se muestran los resultados obtenidos tras probar el funcionamiento de este sensor digital. Para ello se hicieron varias pruebas comprobando si el LED integrado en la placa del sensor se encendía al detectar negro ante una superficie negra.

✓ **Prueba del funcionamiento del sensor IR**

En esta prueba se probó en sensor de infrarrojos previa calibración manual del sensor y posteriormente. En la siguiente tabla se muestran los resultados de dicho experimento, los valores corresponden a las medidas correctas de cada 10 valores antes y después de calibrar:

Antes de calibrar	Después de calibrar
1	10

Tabla 22. Resultados del experimento con el sensor de infrarrojos

De lo que se deduce que, tras el correcto calibrado del sensor, el sensor de infrarrojos muestra un funcionamiento óptimo.

---

## SENSOR DE ULTRASONIDOS

---

Para probar el sensor de ultrasonidos se hicieron pruebas de exactitud de la medida con la ayuda de una regla. Además, se realizaron pruebas del ángulo máximo al que puede estar la superficie de rebote para que la onda de ultrasonidos sea recogida de vuelta por el sensor.

✓ **Prueba de exactitud del sensor de ultrasonidos**

Se realizaron varias mediciones con ayuda de una regla, a una distancia conocida, y se observó la lectura del sensor de ultrasonidos, como se puede ver en la siguiente tabla:

<b>Medida del ultrasonidos (cm)</b>	30	25	20	16	11	6	3
<b>Medida real (cm)</b>	30	25	20	15	10	5	2

Tabla 23. Prueba de exactitud del sensor de ultrasonidos

Se deduce que las medidas del ultrasonido son más precisas a partir de los 15 cm, ya que a menos distancia se puede observar un error de 1 cm.

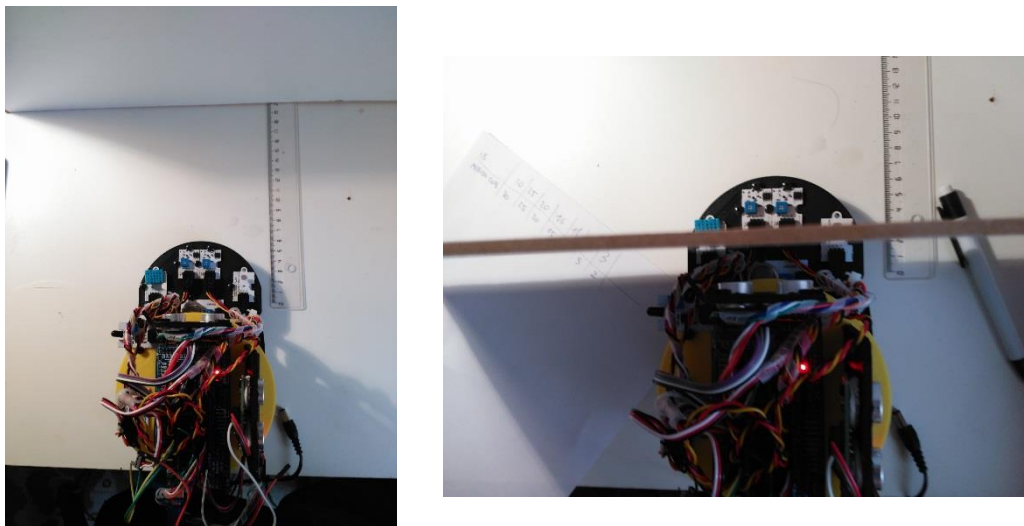


Figura 94. Prueba de exactitud del ultrasonidos

✓ **Angulo máximo de rebote**

En esta prueba se pretendió averiguar el ángulo máximo al que podía verse reflejado la onda de ultrasonidos que emite el emisor del sensor. Si el ángulo es demasiado grande, esta onda no vuelve al receptor del sensor, sino que rebota y efectúa otro camino antes de volver. Se ha buscado por tanto ese ángulo en el cual la medida deja de ser correcta. El procedimiento fue ir girando el tablón observado en la Figura 95 hasta que la medida dejase de ser correcta.

*Ángulo máximo de rebote: 28°*

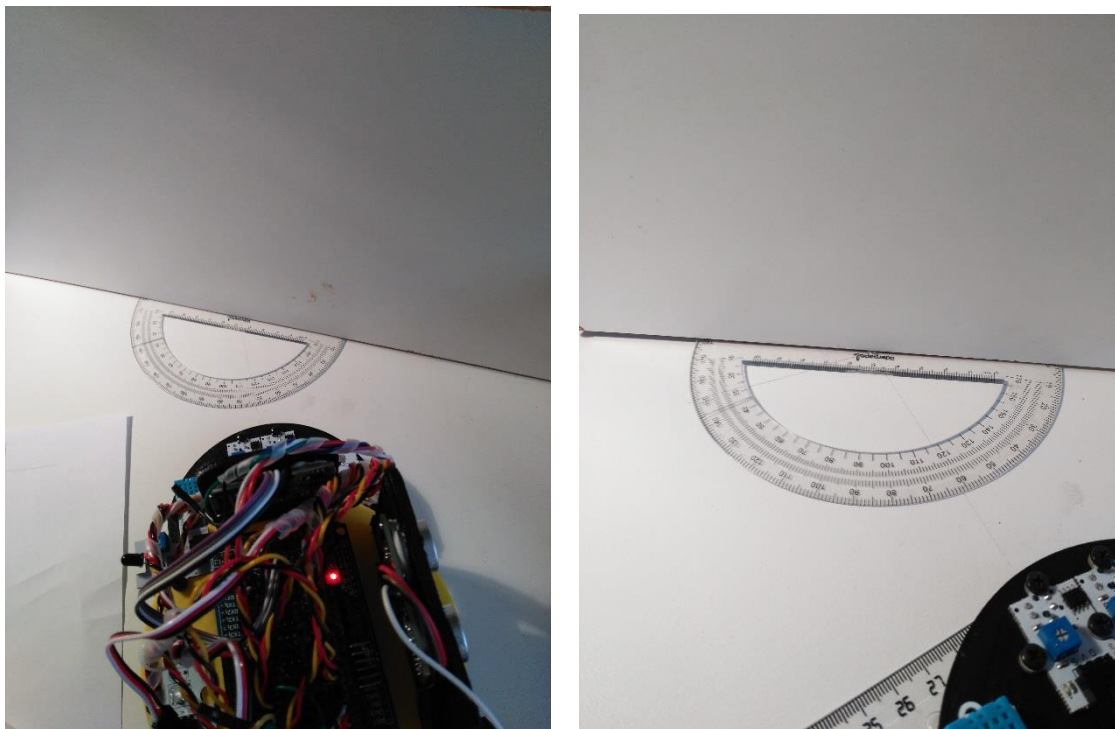


Figura 95. Obtención del ángulo de rebote del sensor de ultrasonidos

En este apartado se expone los resultados de la investigación de la velocidad de obtención del ID de la tarjeta y la distancia máxima a la que se puede leer cada etiqueta.

✓ **Velocidad de lectura de una ID de tarjeta**

La prueba se ha realizado midiendo el tiempo mediante un programa de Arduino realizado expresamente para ello, en el cual se imprima el tiempo que tarda medido en milisegundos gracias a la función nativa de Arduino *micros()*.

Se realizó esta prueba para diferentes tipos de etiquetas y el tiempo que se tardó en leer fue el mismo para todos los tipos, siendo este normalmente de 8  $\mu$ s y en algún caso puntual de 12  $\mu$ s.

*Velocidad de lectura: 8  $\mu$ s.*

```
Tiempo de lectura RFID: 8
Tiempo de lectura RFID: 8
Tiempo de lectura RFID: 8
Tiempo de lectura RFID: 8
Tiempo de lectura RFID: 8
Tiempo de lectura RFID: 8
Tiempo de lectura RFID: 8
Tiempo de lectura RFID: 8
Tiempo de lectura RFID: 8
Tiempo de lectura RFID: 8
Tiempo de lectura RFID: 8
Tiempo de lectura RFID: 8
Tiempo de lectura RFID: 8
Tiempo de lectura RFID: 8
Tiempo de lectura RFID: 8
Tiempo de lectura RFID: 12
```

Figura 96. Captura del programa de obtención de velocidad de lectura de etiquetas RFID

✓ **Distancia máxima de lectura de las etiquetas RFID**

En esta prueba se ha analizado la distancia máxima de lectura de cada tipo de etiqueta RFID utilizada el proyecto. Los resultados se pueden ver en la siguiente tabla:

Tipo de etiqueta	Distancia máxima de lectura
Llavero RFID	35 mm.
Tarjeta RFID	35 mm.
Pegatina RFID	40 mm.
Pulsera de control de acceso con etiqueta	15 mm.

Tabla 24. Prueba de distancia máxima de lectura de diversas etiquetas RFID

### 5.3 PRUEBAS DEL ROBOT EN CONJUNTO

En este apartado se van a exponer las diversas pruebas realizadas con el conjunto del robot

---

## INTEGRACIÓN DE LOS SENSORES

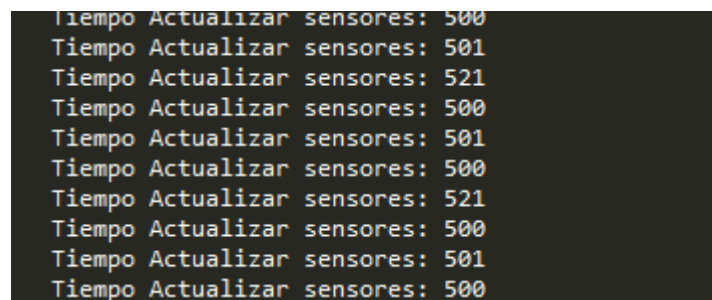
En estas pruebas se ha verificado si los componentes funcionan estando todos en funcionamiento a la vez.

✓ **Lectura de todos los componentes simultáneamente.**

Mediante una función en el código Arduino, se observó el correcto funcionamiento de todos los sensores simultáneamente, leyéndose el valor que devolvían mediante el monitor Serie.

✓ **Tiempo de lectura de todos los sensores.**

Se ha usado un programa específico para obtener el tiempo de lectura de todos los sensores, como ya se hizo con el tiempo de lectura de las etiquetas RFID, mediante funciones nativas del lenguaje Arduino. En este caso, se ha usado la función *millis()* para medir cuantitativamente este tiempo de lectura. En la siguiente figura se puede observar una captura de pantalla de los valores medidos:



```
Tiempo Actualizar sensores: 500
Tiempo Actualizar sensores: 501
Tiempo Actualizar sensores: 521
Tiempo Actualizar sensores: 500
Tiempo Actualizar sensores: 501
Tiempo Actualizar sensores: 500
Tiempo Actualizar sensores: 521
Tiempo Actualizar sensores: 500
Tiempo Actualizar sensores: 501
Tiempo Actualizar sensores: 500
```

Figura 97. Captura de programa de obtención de velocidad de lectura de los sensores

Se observa, por tanto, que la velocidad de lectura de todos los sensores tarda aproximadamente medio segundo.

*Velocidad de lectura de los sensores: 500ms.*

---

## ALCANCE DEL BLUETOOTH

---

En esta prueba se ha pretendido calcular la distancia máxima a la cual el Bluetooth deja de funcionar correctamente y la aplicación y el robot empiezan a mandar mensajes erróneos.

Se ha realizado de forma práctica, dejándose el robot fijo y moviéndose el dispositivo móvil.

Finalmente, la distancia a partir de la cual se empezaba a notar un incorrecto funcionamiento es aproximadamente 12 metros.

Esta medida se ha realizado con paredes entre el robot y el móvil.

*Alcance máximo del Bluetooth: 12 m.*

---

## ALIMENTACIÓN

### ✓ **Uso de fuente de alimentación adicional**

Quando se realizó el montaje completo de Domobot, al conectar todos los elementos electrónicos se observó que la placa Arduino no funcionaba correctamente puesto que se apagaba y encendía, reiniciándose cada vez que se le mandaba alguna orden. Se supuso que era debido a una falta de alimentación puesto que al desconectar los servos de rotación continua sí que funcionaba el sistema. Por tanto, se decidió alimentar los servos de forma independiente, por lo que se compró un portapilas, como el que se muestra en la figura. Además para poder conectarlo a ambos servos hubo que soldar dos cables a la entrada de alimentación del portapilas y otros dos al de tierra. Al alimentar los servos externamente se solucionó el problema, ya que la placa Arduino dejó de reiniciarse.

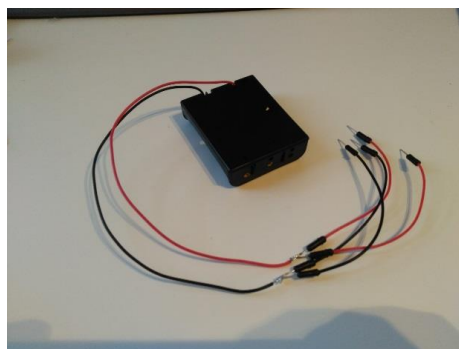


Figura 98. Portapilas adicional para alimentar a los servos

### ✓ **Duración de la batería**

La duración de la batería ha sido observada de forma empírica, dejándose el robot en marcha durante el tiempo necesario hasta que se le acabasen las pilas. Estas pilas eran pilas Panasonic AAA Alcalinas no recargables.

Solo se ha hecho una prueba, la cual dio una duración de la batería de aproximadamente 1h y 30 min en funcionamiento completo.

*Duración de la batería en funcionamiento completo: 1h y 30min.*

---

## NAVEGACIÓN

### ✓ Velocidad de movimiento de Domobot

La velocidad de movimiento del robot ha sido medida en una línea recta de 1m. La siguiente tabla refleja lo que el robot tarda en recorrer este segmento:

Medida	Tiempo en recorrer un metro (s)
1	10
2	9
3	9,5
4	9,4
5	9
6	9
Media	9,31

Tabla 25. Prueba de velocidad del robot

Haciendo la media se obtuvo un valor de 9,31 seg, obteniéndose por tanto un valor de velocidad de 10,7 cm/s

*Velocidad del robot: 10,7 cm/s*

### ✓ Navegación Siguelíneas

Para probar este método de navegación se ha realizado un pequeño circuito que simula una curva cerrada como las que puede enfrentarse el robot en su normal funcionamiento. Este circuito se puede observar en la Figura 99.

La prueba realizada ha consistido en observar la tasa de éxito en 5 experimentos.

Tras realizar los 5 experimentos se ha comprobado que la tasa de éxito es del 100%, habiendo circulado correctamente en todos los casos.

*Tasa de éxito de la navegación Siguelíneas: 100%*

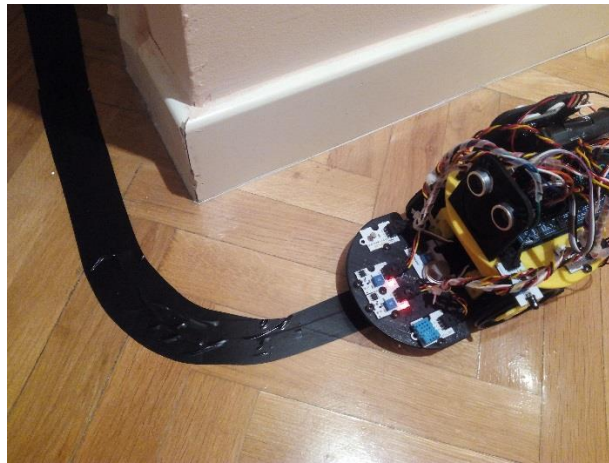


Figura 99. Circuito de prueba de la navegación Siguelíneas

#### ✓ **Navegación Sigueparedes**

Para el método de navegación Sigueparedes se han probado dos métodos. El primero, que ha sido explicado en el apartado “Programación del sistema de navegación,” ha demostrado no funcionar como se espera, debido posiblemente a fluctuaciones puntuales.

Posteriormente se intentó añadir un control PID para controlar la distancia a la pared, pero tampoco funcionó, en este caso debido al poco rango de control de los servos utilizados en el proyecto.



✓ **Lectura de etiquetas RFID mientras navega de forma autónoma**

Para comprobar la correcta lectura de las etiquetas mientras el robot circula, se decidió probarlo de forma práctica, colocando una etiqueta en el marco de una puerta (ver Figura 100) y, aprovechando el circuito de la prueba del Siguelíneas, se ha buscado de nuevo la tasa de éxito en la lectura de etiquetas.

Tras 5 experimentos, se ha comprobado con satisfacción que la tasa de éxito es del 100%.

*Tasa de éxito leyendo etiquetas RFID en movimiento: 100%*



**Figura 100. Etiqueta RFID pegada al marco de la puerta**

## CAPÍTULO 6: CONCLUSIÓN

Finalmente, después de todo el conjunto de pruebas realizadas, se puede concluir que el presente proyecto consistente en el diseño, fabricación y control de un robot móvil autónomo imprimible con funciones de monitorización e identificación de las habitaciones o entornos de una vivienda ha cumplido de forma satisfactoria con los objetivos propuestos.

Se ha realizado el diseño de las piezas que componen Domobot, se han impreso mediante impresora 3D y se ha realizado el ensamblaje de las mismas. También se han elegido y adquirido los componentes electrónicos del proyecto así como su correspondiente instalación. Se ha implementado la navegación autónoma del robot a la vez que se realiza una monitorización sensorial de luz, humedad, gases y llama por habitaciones, las cuales se identifican mediante tecnología RFID. Se ha implementado un sistema de alarma, tanto sonoro como visual mediante un zumbador y un LED, para avisar al usuario en caso de incendio, humo o gases. Asimismo se ha programado una aplicación móvil para el control del robot mediante una interfaz de usuario y, por ende, su correspondiente comunicación inalámbrica a través de Bluetooth con Domobot. Se ha conseguido visualizar los datos recogidos por sensores en dicha aplicación, en la que además se puede seleccionar la habitación donde se desee ver datos. Por último, se ha evaluado el diseño mediante una serie de pruebas, explicadas en la presente memoria.

En definitiva, se puede decir que Domobot es un robot eficiente, asequible y flexible:

- ✓ **Robot eficiente** ya que con pocos recursos técnicos y económicos se ha conseguido un robot totalmente funcional.
- ✓ **Robot asequible**, ya que cualquiera con acceso a una impresora 3D podría fabricarlo y montarlo fácilmente.
- ✓ **Robot flexible**, puesto que se ha conseguido una base útil a partir de la cual se pueden realizar futuros proyectos con diversas aplicaciones como se expone a continuación en el apartado 6.1 Trabajos Futuros.

A título personal puedo decir que este trabajo fin de grado me ha servido para ampliar considerablemente mis conocimientos, tanto de robótica como de la realización de proyectos complejos. Ha implicado un arduo trabajo ya que en muchas ocasiones me he enfrentado a la aparición de problemas que no eran fáciles de resolver, pero la motivación de superar y resolver dichos problemas hace que merezca la pena el esfuerzo. Espero además que este proyecto sirva en un futuro a otros proyectos ya que la robótica es un área de investigación en crecimiento y, en mi opinión, muy interesante y nunca está de más hacer pequeñas aportaciones como ésta.

---

## 6.1 TRABAJOS FUTUROS

En este apartado se exponen algunos posibles trabajos futuros, que implicarían una notable mejora en Domobot si se adoptasen.

- **Almacenamiento de los datos y comparación entre ellos en las etiquetas RFID**

Como ya se mencionó anteriormente (3.5 Módulo RFID), una aplicación muy potente del sistema RFID es la posibilidad de lectura/escritura en las etiquetas RFID. De esta forma, una buena mejora para el proyecto Domobot sería la de escribir los datos recogidos por los sensores en las etiquetas correspondientes a cada habitación e ir comparando cada vez que pasa en busca de alguna anomalía. Además, de esta forma, se podrían almacenar los valores de, por ejemplo, todo el día y hacer las medias.

- **Adición de sensores**

La gran cantidad de salidas/ entradas analógicas y digitales que tiene la placa Arduino Mega 2560 la hacen capaz de soportar una adicción de sensores como, por ejemplo, sensores acústicos, de presencia, visión artificial o de captura de movimiento, con lo que se mejoraría la interacción con las personas, ya que se podrían hacer aplicaciones de reconocimiento de personas, con ayuda de una Raspberry Pi.

- **Mejora de la navegación**

Aunque la navegación en Domobot se ha planteado como algo secundario, un importante cambio a realizar en el futuro sería la mejora de la navegación autónoma del robot. Como se ha visto en las pruebas realizadas, no se ha conseguido una perfecta navegación mediante el modo *Sigueparedes* por lo que sería importante el perfeccionamiento del algoritmo añadiendo algún sistema de control por PID.

Otra mejora para la navegación del robot sería la del mapeo de la vivienda, lo que le permitiría una mejor orientación e interacción con su entorno. Además de esta forma, el robot podría orientarse de forma mucho más eficaz en entornos desconocidos.

- **Adición de módulo Wi-Fi**

La comunicación por Wi-Fi supondría un mayor rango de alcance, por lo que el usuario podría controlar a Domobot desde más lejos. Además, con la ayuda de un servidor online, sería posible también el manejo de Domobot sin necesidad de estar en la vivienda.

Otra posible aplicación con Wi-Fi sería la de aviso al usuario en caso de alarma o anomalía en los datos, pudiendo incluso realizar una llamada telefónica automática en caso de emergencia.

- **Adición de módulo ZigBee**

Mediante el uso de módulos ZigBee se podría convertir a Domobot en un auténtico robot domótico, ya que se le podría añadir la funcionalidad de enviar órdenes a dispositivos domóticos de la vivienda o incluso la comunicación con otros robots mediante redes de protocolo ZigBee (redes mesh).

- **Mejora de la interfaz d usuario pudiendo añadir habitaciones**

Un futuro trabajo posible sería el de la mejora de la interfaz de usuario de la aplicación, añadiéndole más funcionalidades. Una gran aplicación sería que el usuario pueda añadir nuevas habitaciones mediante la aplicación, y por ende, poder guardar etiquetas RFID en Arduino mediante la aplicación sin necesidad de cambiar el código. Otra mejora posible sería la de añadir gráficos comparativos de los datos recibidos de los sensores.

- **Proyectos educativos**

El proyecto Domobot es un proyecto muy completo puesto que abarca desde el diseño del robot hasta la implementación final, incluyendo el desarrollo de la aplicación móvil que controla al robot así como la comunicación entre ambos. Además se trabaja con bastantes sensores, actuadores y diferentes módulos, por lo que sería un buen proyecto educativo para enseñar a personas interesadas en aprender sobre robótica.

---

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. Barrientos, Fundamentos de Robótica, S.A. MCGRAW-HILL, 2007.
- [2] J. Ruiz de Gariba y Pascual, «ACADEMIA,» [En línea]. Available: [http://www.academia.edu/913608/Rob%C3%B3tica\\_Estado\\_del\\_arte](http://www.academia.edu/913608/Rob%C3%B3tica_Estado_del_arte). [Último acceso: 28 08 2015].
- [3] «Wikipedia,» [En línea]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/Cibern%C3%A9tica>. [Último acceso: 25 08 2015].
- [4] U. D. GUADALAJARA, «Proton,» CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS EXACTAS E INGENIERIAS, [En línea]. Available: <http://proton.ucting.udg.mx/materias/robotica/>. [Último acceso: 11 09 2015].
- [5] «Mars Exploration,» [En línea]. Available: <http://mars.nasa.gov/mer/home/>. [Último acceso: 2015 08 25].
- [6] «<http://aztecasonora.com/2015/01/cirugia-robotica-avanza-en-mexico/>,» *AztecaSonora*, 31 enero 2015.
- [7] «Platea,» [En línea]. Available: [http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr\\_0204/cyr\\_01/robotica/movil.htm](http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr_0204/cyr_01/robotica/movil.htm). [Último acceso: 25 08 2015].
- [8] W. Knight, «Technology Review,» 18 Junio 2014. [En línea]. Available: [http://www.technologyreview.es/printer\\_friendly\\_article.aspx?id=45379](http://www.technologyreview.es/printer_friendly_article.aspx?id=45379). [Último acceso: 28 08 2015].
- [9] K. Narendran, «Tech.mit.edu,» 7 Febrero 2003. [En línea]. Available: [http://tech.mit.edu/V123/N2/gadget\\_review\\_2.2f.html](http://tech.mit.edu/V123/N2/gadget_review_2.2f.html). [Último acceso: 29 08 2015].
- [10] J. Alonso y S. B. A, «Programación y control de procesos,» de *Tecnologías de la Información y de la Comunicación*, Ra-Ma, 2004.
- [11] R. Brooks, «A robust layered control system for a mobile robot,» de *Robotics and Automation*, 1986.

- 
- [12] «Navegación en robots móviles,» [En línea]. Available: <http://webpersonal.uma.es/~VFMM/PDF/cap2.pdf>. [Último acceso: 03 09 2015].
- [13] «Homolka,» [En línea]. Available: <http://www.homolka.cz/en-CZ/home.html>. [Último acceso: 05 09 2015].
- [14] «Un robot con guía,» *El País*, 29 08 1995.
- [15] J. Landt, « Shrouds of Time: The history of RFID,» [En línea]. Available: <https://www.transcore.com/literature>. [Último acceso: 28 08 2015].
- [16] «MIT News,» 2 November 2012. [En línea]. Available: <http://news.mit.edu/2012/auto-id-cloud-of-things-big-data>. [Último acceso: 29 08 2015].
- [17] A. Corrales, «Sistema de identificación de objetos mediante RFID para un robot personal,» *Roboticslab Universidad Carlos III de Madrid*.
- [18] «FayerWayer,» 21 enero 2011. [En línea]. Available: <https://www.fayerwayer.com/2011/01/desarrollan-robots-camareros-en-tailandia/>. [Último acceso: 29 08 2015].
- [19] «Actualidad Gadget,» [En línea]. Available: <http://www.actualidadgadget.com/aila-una-humanoide-que-reconoce-objetos/>. [Último acceso: 29 08 2009].
- [20] J. J. Roldán, D. S. Guillaume Joossen, J. del Cerro y A. Barrientos, «MDPI,» 2 Febrero 2015. [En línea]. Available: <http://www.mdpi.com/1424-8220/15/2/3334>. [Último acceso: 10 9 2015].
- [21] E. Martínez, «La verdad,» [En línea]. Available: <http://m.laverdad.es/tecnologia/emprendedores/201509/08/isenan-primera-arana-robotica-20150908113545-rc.html>. [Último acceso: 2015 09 11].
- [22] R. Álvarez, «Xataka,» 23 Julio 2015. [En línea]. Available: <http://www.xataka.com/robotica-e-ia/parece-cisne-pero-en-realidad-es-un-avanzado-robot-que-busca-medir-la-calidad-del-agua>. [Último acceso: 12 09 2015].
- [23] A. Martín, «dicyt (Agencia de difusión de ciencia y tecnología),» 23 Febrero 2011. [En línea]. Available: <http://www.dicyt.com/noticias/robots-moviles-para-la-vigilancia-y-monitorizacion-de-personas-que-requieren-asistencia>. [Último acceso: 09 09 2015].
-



- [24] J. P. Oyanedel, «FayerWayer,» 26 julio 2013. [En línea]. Available: <https://www.fayerwayer.com/2013/07/los-7-usos-mas-innovadores-de-las-impresoras-3d/>. [Último acceso: 11 07 2015].
- [25] «LIBERA NETWORKS,» 2010. [En línea]. Available: [http://www.libera.net/uploads/documents/whitepaper\\_rfid.pdf](http://www.libera.net/uploads/documents/whitepaper_rfid.pdf). [Último acceso: 15 09 2015].
- [26] «Kanda,» 29 05 2012. [En línea]. Available: <http://www.kanda.com/blog/wireless/wifi-bluetooth-zigbee-wireless/>. [Último acceso: 15 09 2015].
- [27] P. De Oro Martín, «GITHUB,» [En línea]. Available: <https://github.com/bq/printbots/tree/master/Evolution> . [Último acceso: 20 05 2015].
- [28] H. Fredrick, «Niveles normales de humedad y temperatura para una casa,» *eHow*.

## ANEXOS

## ANEXO 1: TIEMPO EMPLEADO

El tiempo total empleado en la realización del proyecto Domobot ha sido de un total de 8 meses, 3 de los cuales han sido usados para el aprendizaje de las materias y programas necesarios para la impresión 3D y los 5 restantes para el diseño y programación del robot Domobot.

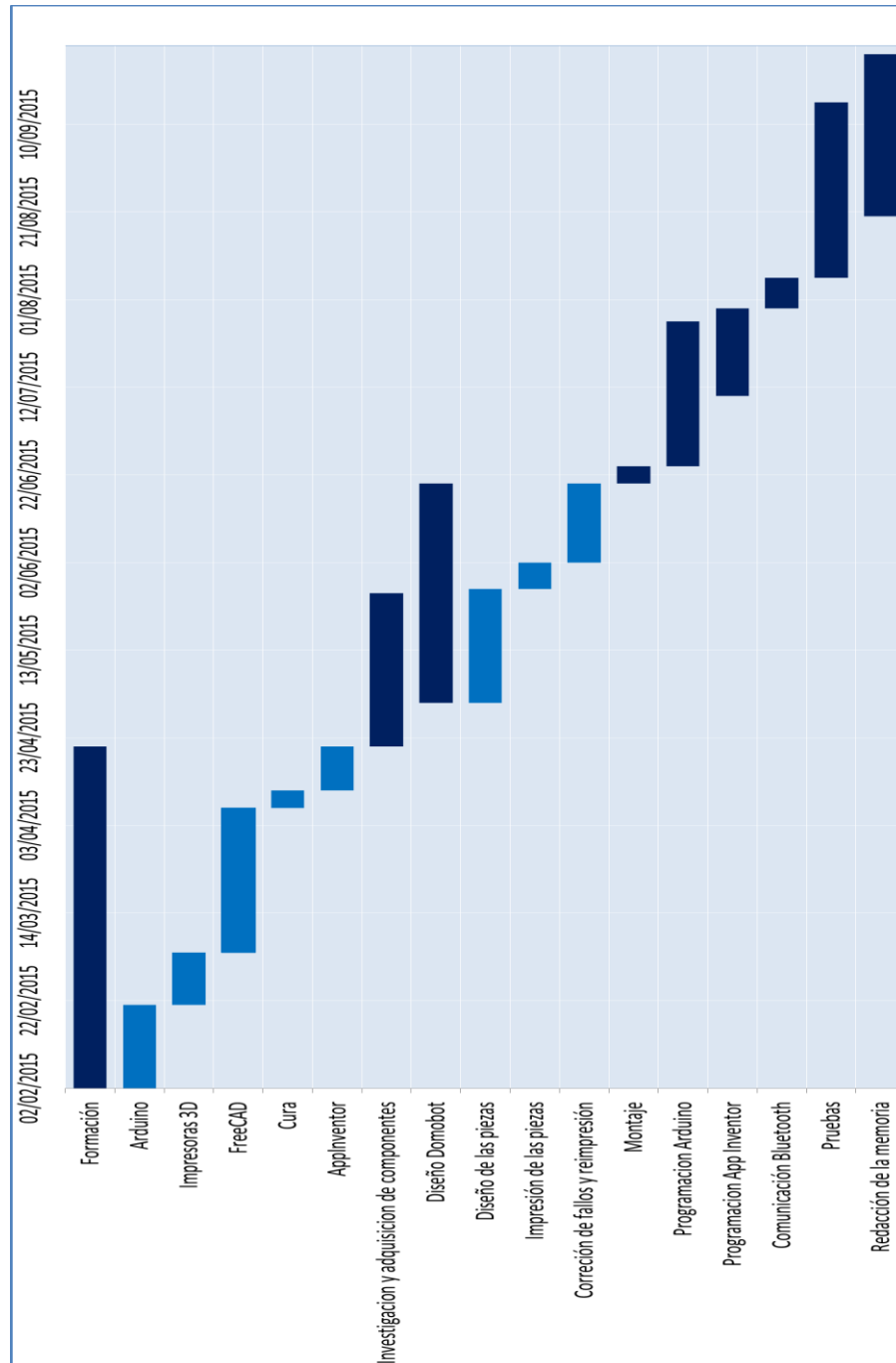
A continuación se muestra una tabla con las tareas principales que han tenido lugar a lo largo de esos 8 meses de proyecto, con las fechas de inicio y finalización de las mismas:

Tarea	Duración (Días)	Inicio	Finalización
<b>A. Formación</b>	<b>79</b>	01/02/2015	20/04/2015
<i>Arduino</i>	20	01/02/2015	20/02/2015
<i>Impresoras 3D</i>	12	21/02/2015	04/03/2015
<i>FreeCAD</i>	33	05/03/2015	06/04/2015
<i>Cura</i>	4	07/04/2015	10/04/2015
<i>App Inventor</i>	10	11/04/2015	20/04/2015
<b>B. Investigación y adquisición de componentes</b>	<b>35</b>	21/04/2015	25/05/2015
<b>C. Diseño Domobot</b>	<b>50</b>	01/05/2015	19/06/2015
<i>Diseño de las piezas</i>	26	01/05/2015	26/05/2015
<i>Impresión de las piezas</i>	6	27/05/2015	01/06/2015
<i>Corrección de fallos y reimpresión</i>	18	02/06/2015	19/06/2015
<b>D. Montaje</b>	<b>4</b>	20/06/2015	23/06/2015
<b>E. Programación Arduino</b>	<b>33</b>	24/06/2015	25/07/2015
<i>Sensores</i>	9	24/06/2015	02/07/2015
<i>Servos</i>	4	03/07/2015	06/07/2015
<i>RFID</i>	9	07/07/2015	15/07/2015
<i>Otros</i>	11	15/07/2015	25/07/2015
<b>F. Programación App Inventor</b>	<b>20</b>	10/07/2015	29/07/2015
<b>G. Comunicación Bluetooth</b>	<b>7</b>	30/07/2015	05/08/2015
<b>H. Pruebas</b>	<b>40</b>	06/08/2015	20/09/2015
<b>I. Redacción de la memoria</b>	<b>37</b>	20/08/2015	25/09/2015
<b>TOTAL</b>	<b>305</b>		



Además se expone el diagrama de Gantt relativo al tiempo de dedicación correspondiente a cada una de las tareas realizadas lo largo de los 8 meses de proyecto:

## DIAGRAMA DE GANTT

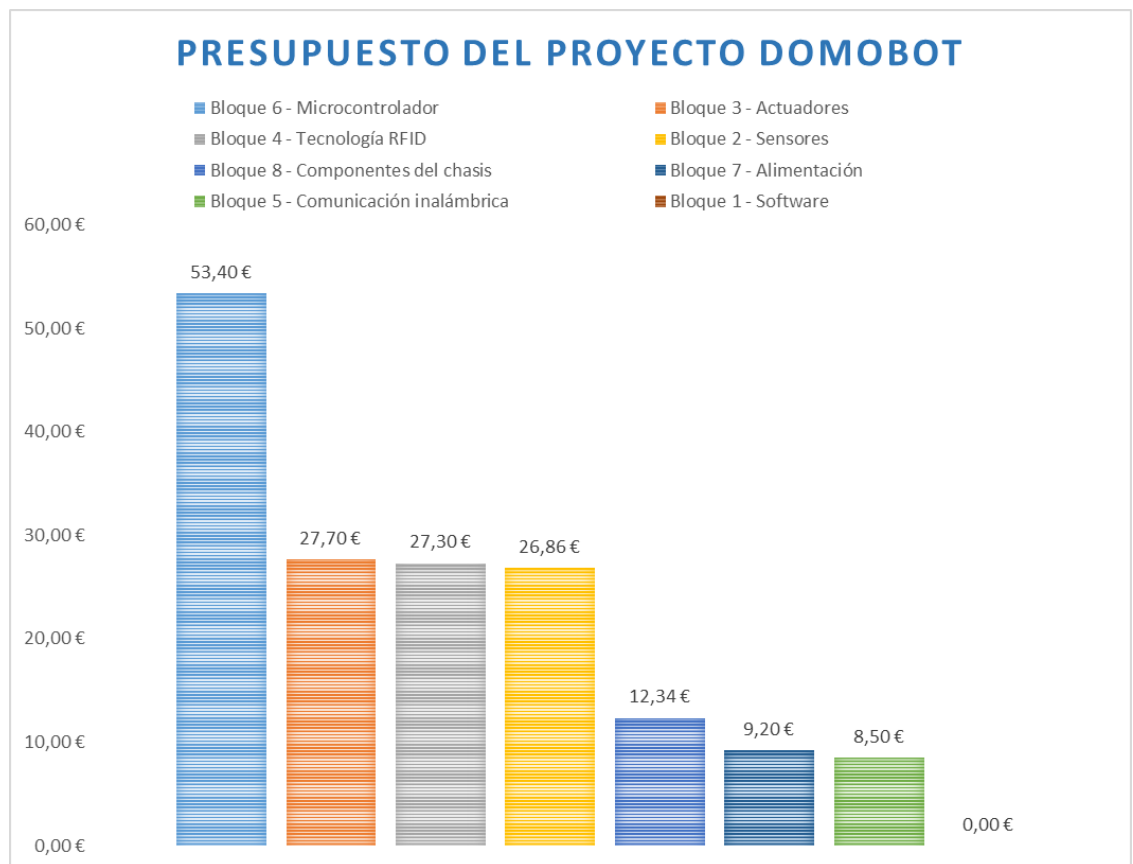


## ANEXO 2: PRESUPUESTO DEL PROYECTO DOMOBOT

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
<b>01</b>	<b>BLOQUE 1 – Software</b>			<b>0,00 €</b>
01.01	FreeCAD	1	0,00 €	0,00 €
01.02	Cura	1	0,00 €	0,00 €
01.03	App Inventor	1	0,00 €	0,00 €
01.04	Sublime Text 2	1	0,00 €	0,00 €
01.05	Inkscape 0.91	1	0,00 €	0,00 €
<b>02</b>	<b>BLOQUE 2 – Sensores</b>			<b>26,86 €</b>
02.01	Sensor de ultrasonidos HC-SR04	2	3,15 €	6,30 €
02.02	Sensor de Infrarrojos TCRT5000	2	4,03 €	8,06 €
02.03	Sensor de temperatura y humedad DHT11	1	3,50 €	3,50 €
02.04	Sensor de luz LDR	1	1,70 €	1,70 €
02.05	Sensor de gas MQ-5	1	4,40 €	4,40 €
02.06	Sensor de llama	1	2,90 €	2,90 €
<b>03</b>	<b>BLOQUE 3 – Actuadores</b>			<b>27,70 €</b>
03.01	Servos de rotación continua	2	12,00 €	24,00 €
03.02	Led	1	1,40 €	1,40 €
03.03	Zumbador	1	2,30 €	2,30 €
<b>04</b>	<b>BLOQUE 4 - Tecnología RFID</b>			<b>27,30 €</b>
04.01	Módulo RFID	1	20,50 €	20,50 €
04.02	Etiquetas	5	6,80 €	6,80 €
<b>05</b>	<b>BLOQUE 5 – Comunicación inalámbrica</b>			<b>8,50 €</b>
05.01	Módulo Bluetooth BTH-07	1	8,50 €	8,50 €
<b>06</b>	<b>BLOQUE 6 – Microcontrolador</b>			<b>53,40 €</b>
06.01	Arduino Mega 2560	1	39,00 €	39,00 €
06.02	Sensor Shield	1	14,40 €	14,40 €
<b>07</b>	<b>BLOQUE 7 – Alimentación</b>			<b>9,20 €</b>
07.01	Portapilas 8 x AAA con cable	1	2,5 €	2,5 €
07.02	Portapilas 3 x AA con cable	1	0,90 €	0,90 €
07.03	Pilas alcalinas 1,5V TIPO AAA	8	-	3,90 €
07.04	Pilas alcalinas 1,5V TIPO AA	3	-	1,90 €
<b>08</b>	<b>BLOQUE 8 - Componentes del chasis</b>			<b>12,34 €</b>
08.01	Piezas impresas en PLA	8	-	2,84 €
08.02	Tornillos, bridas, juntas tóricas, pegamento, portapilas y otros elementos	-	-	9,50 €
<b>TOTAL PROYECTO DOMOBOT</b>				<b>165,30 €</b>

El presupuesto total del proyecto Domobot asciende a **165,30 €** por lo que se puede decir que es *un robot barato* si se tiene en cuenta la cantidad de recursos utilizados respecto al precio.

A continuación se muestra una gráfica de comparativa de bloques en función del coste donde se observa que el bloque del microcontrolador es el de mayor coste con diferencia. A continuación, bastante igualados están los bloques de actuadores, sensores y módulo RFID seguidos de los componentes del chasis. Los bloques más baratos serían los relativos a la alimentación y la comunicación inalámbrica entre la aplicación y el robot Domobot.



Además del coste del robot habría que añadirle el valor del tiempo de desarrollo relativo al trabajo de ingeniería. Ya que la duración del presente proyecto desde que se empezó a implementar a Domobot asciende a 5 meses, podría decirse que el presupuesto total ascendería en unos 5000 €.

