



**ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA
DE LA ALMUNIA DE DOÑA GODINA (ZARAGOZA)**

MEMORIA

**DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE ROBOT
FRIEGASUELOS AUTOMÁTICO
(CLEANERBOT)**

Autor: Jorge Otaí Fernández

Director: Mónica Remacha Andrés

Fecha: 08/09/2015

INDICE DE CONTENIDO

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 1. | RESUMEN | 1 |
| 2. | ABSTRACT | 2 |
| 3. | INTRODUCCIÓN | 3 |
| 4. | MARCO TEÓRICO | 5 |
| 4.1. | MICROCONTROLADORES | 5 |
| 4.2. | MOTORES | 11 |
| 4.3. | ENCODERS | 20 |
| 4.4. | SISTEMAS DE NAVEGACIÓN | 22 |
| 4.4.1. | <i>Algoritmos</i> | 25 |
| 4.4.2. | <i>Odometría</i> | 27 |
| 4.5. | MICRO BOMBAS | 31 |
| 4.6. | BATERÍAS | 37 |
| 4.6.1. | <i>Características</i> | 37 |
| 4.6.2. | <i>Tipos de baterías</i> | 39 |
| 4.7. | FUENTES DE ALIMENTACIÓN | 48 |
| 4.7.1. | <i>Fuente de alimentación Buck</i> | 53 |
| 4.8. | ATOMIZADORES | 56 |
| 4.9. | SENSORES | 62 |
| 4.10. | SISTEMAS DE LIMPIEZA | 75 |
| 5. | DESARROLLO | 88 |
| 5.1. | ESTADO DE LA CUESTIÓN | 88 |
| 5.1.1. | <i>Antecedentes</i> | 88 |
| 5.1.2. | <i>Robots capaces de fregar el suelo</i> | 88 |
| 5.1.3. | <i>Robots aspiradores</i> | 93 |
| 5.1.4. | <i>Robots diferenciales</i> | 97 |
| 5.2. | DIAGRAMAS | 99 |
| 5.2.1. | <i>Diagramas de alto nivel</i> | 99 |
| 5.2.2. | <i>Diagrama de bajo nivel</i> | 101 |
| 5.2.3. | <i>Diagrama de actividad</i> | 102 |

INDICES

| | | |
|--------|---|------------|
| 5.2.4. | <i>Diagrama de casos de uso</i> | 106 |
| 5.3. | CÁLCULOS | 108 |
| 5.3.1. | <i>Cálculo del consumo del atomizador</i> | 108 |
| 5.3.2. | <i>Potencia de los motores de tracción</i> | 109 |
| 5.3.3. | <i>Cálculo de los transistores de control</i> | 112 |
| 5.3.4. | <i>Cálculo de la batería</i> | 113 |
| 5.3.5. | <i>Cálculo de la sección de cable</i> | 115 |
| 5.3.6. | <i>Cálculo del indicador de batería</i> | 116 |
| 6. | PRESUPUESTO | 117 |
| 7. | RESULTADOS | 120 |
| 8. | CONCLUSIONES | 132 |
| 9. | BIBLIOGRAFÍA | 137 |

INDICE DE ILUSTRACIONES

| | |
|---|----|
| Ilustración 1 Ramas integrantes de la Mecatrónica ("Ingeniería Mecatrónica," 2015) .. | 3 |
| Ilustración 2 Diagrama de un microcontrolador ("El Microcontrolador y los componentes electrónicos," 15:45:44 UTC)..... | 5 |
| Ilustración 3 ("Arquitectura von Neumann y arquitectura Harvard," n.d.) | 6 |
| Ilustración 4 ("Arquitectura von Neumann y arquitectura Harvard," n.d.) | 7 |
| Ilustración 5 ("Microcontrolador," 2015) | 10 |
| Ilustración 6 ("Tipos de Encapsulado," n.d.)..... | 10 |
| Ilustración 7 Motor Brushless ("Motores Brushless - Quadruino," n.d.) | 11 |
| Ilustración 8 ("Motores Brushless RC," n.d.)..... | 12 |
| Ilustración 9 Despiece motor brushed, ("Sesión 6 motor dc," 18:40:14 UTC) | 13 |
| Ilustración 10 Tipos de scobillas (Cepрей, 2014)..... | 14 |
| Ilustración 11 Motor Brushed, ("Much More brushed Motor series» Red RC – RC Car News," n.d.)..... | 15 |
| Ilustración 12 Motor paso a paso bipolar, (Garcia, n.d.)..... | 16 |
| Ilustración 13 Funcionamiento de un motor paso a paso, ("Tutorial sobre Motores Paso a Paso (Stepper motors)," n.d.-b)..... | 17 |
| Ilustración 14 ("Motor Paso A Paso Nema 17 68 Oz-in 400 Pasos/vuelta," n.d.)..... | 17 |
| Ilustración 15 ("Servomotores - Monografias.com," n.d.)..... | 18 |
| Ilustración 16 Funcionamiento de un servomotor (Salas, 2013)..... | 18 |
| Ilustración 17 Servo motor ("Interfacing Servo Motor with PIC Microcontroller - MikroC," n.d.) | 19 |
| Ilustración 18 Encoder absoluto (Querol, 2012)..... | 20 |
| Ilustración 19 Encoder incremental (Querol, 2012) | 21 |
| Ilustración 20 Encoder para acoplar a un motor (Coa, n.d.) | 21 |
| Ilustración 21 Robot con disposición de triciclo | 22 |

INDICES

Ilustración 22 Funcionamiento de un algoritmo SLAM.....26

Ilustración 23 *Modelo de bucle cerrado con cinemática diferencial (David Pellicer Martín, 2010)*27

Ilustración 24 *Cambio de posición (Cristiany & Antonio, 2012)*28

Ilustración 25 *Geometría de un desplazamiento (Cristiany & Antonio, 2012)*29

Ilustración 26 *Recorrido del robot (Cristiany & Antonio, 2012)*30

Ilustración 27 Funcionamiento de una bomba radial (“Bomba centrífuga,” 2014)31

Ilustración 28 Tipos de rodetes (“tutorial_05 — ocwus,” n.d.)32

Ilustración 29 Tipos de micro bomba radial (“MICRO DC WATER PUMP | Fizzible.com,” n.d.)32

Ilustración 30 Vista interior de una bomba de engranajes (“3.1.Bombas de engranajes - hidraulica11marcdavid,” n.d.)33

Ilustración 31 Bomba de engranajes de la marca MRD.33

Ilustración 32 Funcionamiento simplificado de una bomba de pistón (“Bombas y sus aplicaciones,” n.d.)34

Ilustración 33 Micro bomba de pistones real (Rodriguez, n.d.).....34

Ilustración 34 Funcionamiento de una micro bomba piezoeléctrica (*Micro pump mp6 - a short overview, 2012*)35

Ilustración 35 Tipos de micro bombas piezoeléctricas (GmbH, 2009).....35

Ilustración 36 Funcionamiento de una bomba peristáltica (*Características de funcionamiento Bomba peristáltica Ragazzini - Vallair do Brasil, 2014*)36

Ilustración 37 Tipos de micro bombas peristálticas (“Mini - de tamaño micro bomba peristáltica de kas-Bombas-Identificación del producto,” n.d.)36

Ilustración 38 Tipos de pilas alcalinas (“Pila alcalina,” 2015)39

Ilustración 39 (“Batería de plomo ácido industrial | Venta Baterías Industriales | Baterías Usadas | Reciclaje de baterías | Batería Plomo,” n.d.)40

Ilustración 40 Batería de gel (Sudpol, 2014)41

Ilustración 41 Batería Ni-Cd de 8 celdas, (“De ni-cd aa800mah 9.6v recargable de la batería-Batería recargable-Identificación del producto,” n.d.)42

| | |
|--|----|
| Ilustración 42 Batería Ni-Mh de 6 celdas (“[EUR € 9.69] Ni-MH 8.4V 800mAh batería recargable (Ni-MH (8.4v800)),” n.d.) | 43 |
| Ilustración 43 Batería Li-Po de un elemento (“Todo sobre las baterías LiPo,” n.d.) | 44 |
| Ilustración 44 Batería Li-Po de más de un elemento (Evilsun, 2011) | 45 |
| Ilustración 45 Batería LiFe-Po de 2 celdas (“BATERIA LIFE 6,4V-1600mAh LiFePo RX RECTA - RcMaxModelismo,” n.d.)..... | 45 |
| Ilustración 46 Batería de Li-Ion (“Bateria Li-ión Bz1 P/ Celular Niivo Zb-1 - R\$ 29,99,” n.d.) | 47 |
| Ilustración 47 Esquema de una fuente de alimentación lineal (“FUENTE DE PODER,” n.d.) | 48 |
| Ilustración 48 Puente de onda completa (Derecha) y puente de media onda (Izquierda) (“Practica 3,” n.d.) | 49 |
| Ilustración 49 Fuente de alimentación lineal (“Netzteil-Bausteine ELV-Elektronik,” n.d.) | 49 |
| Ilustración 50 Regulador de voltaje 7805 (“Phone Charger Using A 7805 Voltage Regualtor Bohack,” n.d.) | 50 |
| Ilustración 51 Esquema genérico de una fuente de alimentación conmutada (Jonathan, 2014)..... | 51 |
| Ilustración 52 Esquema y funcionamiento de una fuente Buck (“Convertidor Buck,” 2014)..... | 53 |
| Ilustración 53 Cronograma 1 (“Convertidor Buck,” 2014)..... | 54 |
| Ilustración 54 Cronograma 2 (“Convertidor Buck,” 2014)..... | 55 |
| Ilustración 55 Partes de un cigarrillo electrónico (admin, n.d.) | 56 |
| Ilustración 56 Estructura básica de un atomizador (“Partes del cigarrillo electrónico,” n.d.) | 56 |
| Ilustración 57 Cartomizador (“Partes del cigarrillo electronico,” n.d.) | 57 |
| Ilustración 58 Partes de un cartomizador (“Partes del cigarrillo electronico,” n.d.) | 57 |
| Ilustración 59 Mecha y resistencia de un claromizador (“Partes del cigarrillo electronico,” n.d.) | 58 |
| Ilustración 60 Vista interior y exterior (“Partes del cigarrillo electronico,” n.d.) | 58 |

INDICES

| | |
|--|----|
| Ilustración 61 Sistema de drenado ("Partes del cigarrillo electrónico," n.d.) | 59 |
| Ilustración 62 Dual-coil y triple-coil ("Partes del cigarrillo electrónico," n.d.) | 60 |
| Ilustración 63 Capacidad de los atomizadores ("Partes del cigarrillo electrónico," n.d.) | 60 |
| Ilustración 64 Tipos de consumibles ("Partes del cigarrillo electrónico," n.d.) | 61 |
| Ilustración 65 ("Espectro electromagnético," 2015)..... | 62 |
| Ilustración 66 Sensor infrarrojo reflexivo (Zambrano Escobar & Pinto Mindiola, 2009) | 63 |
| Ilustración 67 Funcionamiento de un micro conmutador ("Resultados de la Búsqueda de imágenes de Google de http," n.d.) | 64 |
| Ilustración 68 Tipos de micro interruptores ("Gikoka/micro interruptor z-15g- Interruptores micro-Identificación del producto," n.d.) | 64 |
| Ilustración 69 Sensores de vibraciones (Flor, 2013) | 65 |
| Ilustración 70 ("Termopar," 2014) | 66 |
| Ilustración 71 ("Termopar," 2014) | 66 |
| Ilustración 72 Tipos de termistores ("Termistor PTC chroniący przedprzeciążeniem," n.d.) | 67 |
| Ilustración 73 Curva de funcionamiento de un termistor (Johnny_4electronica3, 2011) | 67 |
| Ilustración 74 Tipos de RTD ("RTD," 2014) | 68 |
| Ilustración 75 Tipos de sensores ópticos ("de fibra óptica de nivel de líquido del sensor de nivel de agua del sensor lle101000-Sensores-Identificación del producto," n.d.) | 69 |
| Ilustración 76 Funcionamiento de un sensor óptico ("de fibra óptica de nivel de líquido del sensor de nivel de agua del sensor lle101000-Sensores-Identificación del producto," n.d.)..... | 69 |
| Ilustración 77 ("1 Sensor Nivel Agua Angulo Recto Flotador Liquidos Tanques - \$ 27.000," n.d.) | 70 |
| Ilustración 78 Funcionamiento de un sensor de flotador ("1 Sensor Nivel Agua Angulo Recto Flotador Liquidos Tanques - \$ 27.000," n.d.)..... | 70 |

| | |
|---|----|
| Ilustración 79 Funcionamiento de un sensor capacitivo (<i>Sensores de Nivel de Líquido Capacitivo · Introducción</i> , 2014)..... | 71 |
| Ilustración 80 Tipos de sensores capacitivos (<i>Sensores de Nivel de Líquido Capacitivo · Introducción</i> , 2014) | 71 |
| Ilustración 81 Tipos de sensores ultrasónicos (Barbus, 2014)..... | 72 |
| Ilustración 82 Funcionamiento de un sensor de nivel ultrasónico (Coa, n.d.) | 72 |
| Ilustración 83 ("Giroscopio de tres ejes," n.d.) | 73 |
| Ilustración 84 Ejes de rotación de una aeronave ("Ejes del avión," 2014) | 73 |
| Ilustración 85 IMU de 9 grados de libertad ("FMT-600 2.2" LCD Digital Chromatic Metronome Tuner for Guitar / Bass + More - Black (2 x AAA)," n.d.)..... | 74 |
| Ilustración 86 Motor de aspiración de Roomba 800 ("¿Qué hace ideal para mascotas a una Roomba 800?," n.d.)..... | 75 |
| Ilustración 87 Flujo de aire canalizado ("¿Qué hace ideal para mascotas a una Roomba 800?," 2015)..... | 75 |
| Ilustración 88 Tipos de filtros HEPA ("¿Qué tipo de filtro usa mi Roomba?," n.d.)..... | 76 |
| Ilustración 89 Sistema de aspirado Cyclón (<i>Dyson DC42 Multi Floor Upright Vacuum at Sears</i> , 2012)..... | 76 |
| Ilustración 90 Motor digital Dyson ("Aspiradoras Dyson.es," n.d.)..... | 77 |
| Ilustración 91 Comparativa de tamaño de un motor Dyson con un motor de aspiradora sin cables convencional (<i>Dyson DC34 - 5 times faster than a Formula 1 engine- Official Dyson video</i> , 2010) | 77 |
| Ilustración 92 Micro bomba de agua ("DC línea de velocidad de motores más frías de agua de la bomba 12V No sin escobillas en Tienda Especial de Electrónica de Consumo en AliExpress.com Alibaba Group," n.d.)..... | 78 |
| Ilustración 93 Principio de funcionamiento de un pulverizador ("Atomizador," 2013) . | 79 |
| Ilustración 94 Desinfección con vapor ("Desinfección por vapor es muy útil para la limpieza del equipo o utensilios y consiste en un chorro de vapor a presión sobre el artefacto.," n.d.) | 80 |

INDICES

| | |
|--|----|
| Ilustración 95 Vaporeta de mano (<i>Solac Ecogenic Pro 15 LV1450 - Limpiavapor ergonómico, 1400 W, apertura sin rosca, listo en 2 min, 35 g/min, radio acción 8 m, n.d.</i>) | 81 |
| Ilustración 96 Espectro de luz ultravioleta ("La radiación ultravioleta Tecnología ultravioleta," n.d.) | 82 |
| Ilustración 97 Lámparas de luz negra usadas para proporcionar luz ultravioleta de onda larga ("Radiación ultravioleta," 2015) | 83 |
| Ilustración 98 Cepillo para superficies lisas (Ivana, n.d.) | 85 |
| Ilustración 99 Cepillo de rascado ("iRobot Scooba 450 - Review completa - Robots al Detalle," n.d.) | 85 |
| Ilustración 100 Cepillo para superficies irregulares ("Cepillos centrales de Roomba," n.d.) | 86 |
| Ilustración 101 Cepillo secundario ("Cepillos centrales de Roomba," n.d.) | 86 |
| Ilustración 102 Cepillo 2 en 1 ("Electrodomesticos Cid - Recambio cepillo Robot Aspirador Samsung VCR8845T3," n.d.) | 87 |
| Ilustración 103 Restos dejados por el cepillo 2 en 1 (<i>Guerra de aspiradoras robóticas, 2010</i>) | 87 |
| Ilustración 104 Comparativa gama Scooba (tecnología & Artificial, n.d.) | 89 |
| Ilustración 105 ("iRobot Scooba 230 - Review completa - Robots al Detalle," n.d.) ... | 89 |
| Ilustración 106 (<i>iRobot Scooba 230 Floor Scrubbing Robot, n.d.</i>) | 90 |
| Ilustración 107 Primera fase ("Lavadora tanque cheque de Scooba enfoque para lograr el sueño @ ing," n.d.) | 90 |
| Ilustración 108 Segunda y tercera fase ("Lavadora tanque cheque de Scooba enfoque para lograr el sueño @ ing," n.d.) | 91 |
| Ilustración 109 Cuarta fase ("Lavadora tanque cheque de Scooba enfoque para lograr el sueño @ ing," n.d.) | 91 |
| Ilustración 110 ("iRobot Braava 320," n.d.) | 92 |
| Ilustración 111 ("Suelta el mango y pásate a Roomba," n.d.) | 92 |
| Ilustración 112 Funcionamiento del BRAAVA ("Robot Friegasuelos Archives - ¿Qué robot aspirador necesitas?," n.d.) | 93 |

| | |
|---|-----|
| Ilustración 113 (<i>iRobot Roomba 760 - Robot aspirador, n.d.</i>) | 94 |
| Ilustración 114 ("Comparativa modelos robot aspirador Samsung Navibot," n.d.) | 95 |
| Ilustración 115 ("Samsung Navibot SR8855 - Review completa - Robots al Detalle," n.d.) | 96 |
| Ilustración 116 Sistema de navegación ("SR8F51 (NaviBot Fresh) SAMSUNG Australia," n.d.)..... | 96 |
| Ilustración 117 (Israel et al., n.d.)..... | 98 |
| Ilustración 118 Robot Virobi (<i>LIMPIEZA.COM, ViRobi , robot de limpieza de Vileda, 2011</i>)..... | 98 |
| Ilustración 119 Diagrama de la parte inferior | 99 |
| Ilustración 120 Diagrama de la parte superior | 100 |
| Ilustración 121 Diagrama de bajo nivel | 101 |
| Ilustración 122 Diagrama general | 102 |
| Ilustración 123 Diagrama general de movimiento | 103 |
| Ilustración 124 Rutina de movimiento | 104 |
| Ilustración 125 Rutina de mapeo | 104 |
| Ilustración 126 Rutina de escape | 105 |
| Ilustración 127 Diagrama de casos de uso general..... | 106 |
| Ilustración 128 Diagrama de casos de uso del arranque del robot..... | 106 |
| Ilustración 129 Diagrama de casos de usos de funcionamiento..... | 107 |
| Ilustración 130 Motor pololu 25D52L ("Pololu - 34," n.d.) | 110 |
| Ilustración 131 Batería LiFePo4 26650: 6,4V 13,2Ah("Custom LiFePO4 26650 Battery," n.d.) | 114 |
| Ilustración 132 Montaje divisor de tensión ("Elektronika LSB," n.d.)..... | 116 |
| Ilustración 133 Simulación de la placa de control..... | 120 |
| Ilustración 134 Pistas de la capa superior | 121 |
| Ilustración 135 Pistas de la capa inferior..... | 121 |
| Ilustración 136 Vista superior..... | 122 |

INDICES

| | |
|--|-----|
| Ilustración 137 Vista inferior | 123 |
| Ilustración 138 Vista lateral sin carcasa y sin cubierta del depósito de agua limpia . | 124 |
| Ilustración 139 Vista isométrica sin parachoques ni cubierta del depósito de agua limpia..... | 124 |
| Ilustración 140 Vista isométrica del interior | 125 |
| Ilustración 141 Resistencia de hilo de titanio..... | 126 |
| Ilustración 142 Comprobación de consumos energéticos..... | 126 |
| Ilustración 143 Prueba de los evaporadores (Instantes iniciales) | 127 |
| Ilustración 144 Cámara de almacenamiento de vapor I | 128 |
| Ilustración 145 Cámara de almacenamiento de vapor II | 129 |
| Ilustración 146 Piezas impresas del sistema de aspiración/impulsión..... | 130 |
| Ilustración 147 Tubería de aspiración de residuos | 131 |
| Ilustración 148 Tubería de absorción de líquidos..... | 131 |
| Ilustración 149 Depósito de agua limpia | 134 |
| Ilustración 150 Vista seccionada del depósito de agua limpia | 135 |
| Ilustración 151 Sensor infrarrojo de retorno a la base de carga (“¿Por qué mi Roomba no vuelve a la base de carga?,” n.d.) | 135 |
| Ilustración 152 Vista superior del robot | 136 |

1. RESUMEN

Actualmente son muchas las personas que empiezan a interesarse por los robots domésticos. Dichos robots están ideados para facilitar y en algunos casos sustituir al ser humano a la hora de hacer ciertas tareas domésticas. La limpieza del hogar es una tarea de las que más se están demandando a día de hoy por los usuarios de estos robots domésticos. Las empresas han visto en este sector un mercado creciente y es por eso que cada vez son más los robots dedicados a la limpieza del hogar.

Actualmente existen dos tipos de robots bien diferenciados, los robots de limpieza en seco (aspiradores automáticos) y los robots más modernos, capaces de fregar el suelo a la vez que aspiran una pequeña cantidad de residuos.

En vista de esta situación el planteamiento de este proyecto se centra en el diseño de un robot de limpieza automático capaz de aspirar y fregar el suelo. Para ello se ha seguido una metodología de diseño en V obteniendo los siguientes resultados:

- El diseño 3D en este proyecto ha sido vital para la realización del prototipo sin tener que gastar una suma considerable de dinero en su realización.
- Los evaporadores producen una cantidad de vapor demasiado pequeña para un uso prolongado.
- El motor del sistema de aspiración/impulsión se queda corto de potencia y es necesario sustituirlo por uno de mayor potencia.
- El algoritmo de navegación es tremendamente complicado de obtener incluso para gente con conocimientos de programación.
- El prototipo se ajusta bastante a los precios reales de mercado.

Como conclusión cabe destacar que la realización de un prototipo requiere de muchas horas de trabajo y que aun así, los resultados pueden no ser los esperados, pero con la ayuda de los programas de ingeniería y con la inventiva ingenieril, se puede llegar a resolver los problemas.

Palabras clave: **Robot, limpieza, aspirar, fregar, automático.**

2. ABSTRACT

Today there are many people who become interested in domestic robots. These robots are designed to facilitate and in some cases replace humans when doing certain chores. Household cleaning is a task of which more are being sued today by the users of these domestic robots. Companies in this sector have seen a growing market and that is why more and more robots dedicated to household cleaning.

Currently there are two distinct types of robots, robots Dry Cleaning (automatic vacuum) and the most modern, capable of mopping the floor while aiming a small amount of waste robots.

In view of this situation, the approach of this project focuses on designing an automatic cleaning robot capable of vacuuming and mopping the floor. For this it has followed a V design methodology with the following results:

- The 3D design in this project has been vital to the realization of the prototype without having to spend a considerable sum of money in its realization.
- The evaporators produce a too small amount of steam for prolonged use.
- The engine intake system/drive falls short of power and needs to be replaced with a higher power.
- The navigation algorithm is extremely difficult to obtain even for people with programming skills.
- The prototype follows more closely to actual market prices.

In conclusion it should be noted that the realization of a prototype requires many hours of work and that even so, the results may not be as expected, but with the help of engineering programs and the engineering ingenuity, you can get to solve problems.

Keywords: **Robot, cleaning, aspire, scrub, automatic.**

3. INTRODUCCIÓN

Este proyecto viene marcado por la idea de poner en práctica los conocimientos adquiridos de las diferentes ramas que componen la Ingeniería Mecatrónica:

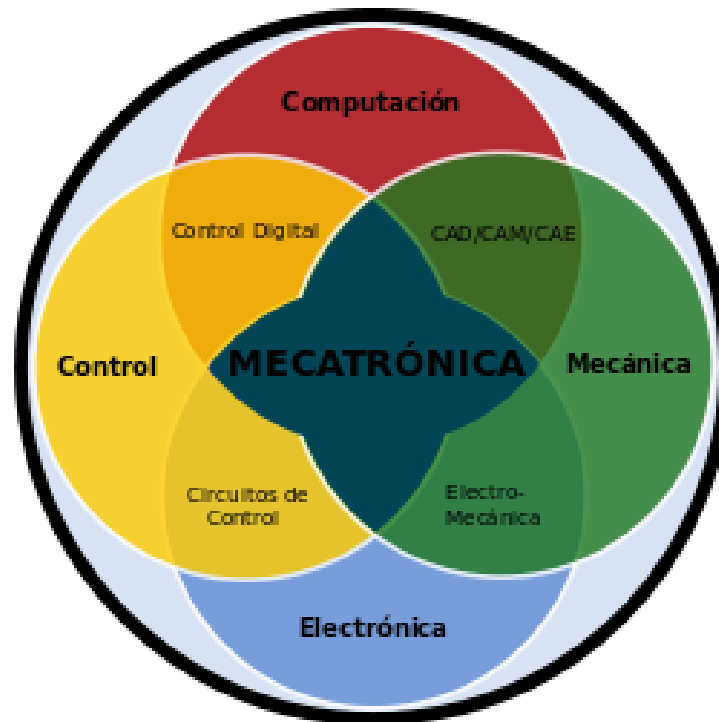


Ilustración 1 Ramas integrantes de la Mecatrónica (“Ingeniería Mecatrónica,” 2015)

La motivación que ha llevado a realizar este proyecto es el de probar los conocimientos adquiridos durante el transcurso de dicha carrera y la expectativa de ser capaz de crear el diseño de un sistema Mecatrónico completo, así como poder probar la capacidad de resolver los problemas que puedan ir surgiendo en la realización del mismo usando para ello metodologías aplicadas a la ingeniería.

Teniendo esto en cuenta se ha decidido estructurar el proyecto de la siguiente forma:

- **MARCO TEÓRICO:** Apartado dedicado a reunir información sobre todos los componentes y sistemas de control que puedan llegar a usarse en el diseño o que puedan dar alguna idea para futuras mejoras.
- **DESARROLLO:** Este apartado contiene la resolución paso a paso del diseño incluyendo todas las partes necesarias (cálculos, selección de material, bocetos, diagramas...) para llevar a cabo el diseño del robot.
- **PRESUPUESTO:** Es muy recomendable a la hora de realizar un proyecto de prototipado el contar con una sección para los costes materiales. De eso se encarga este apartado.
- **RESULTADOS:** Como su propio nombre indica, este apartado es el encargado de recoger los resultados obtenidos en todas las pruebas realizadas, simulaciones, etc.
- **COCLUSIONES:** Para poder determinar si el proyecto ha llegado a los objetivos marcados o para sugerir posibles mejoras que puedan o deban hacerse, tenemos este apartado.
- **BIBLIOGRAFÍA:** Pese a ser el último apartado no es el menos importante. En él, se recogen todas las fuentes bibliográficas consultadas durante la realización de todo el proyecto.

4. MARCO TEÓRICO

Este apartado trata de dar la suficiente información técnica para poder tomar las decisiones pertinentes a la hora de realizar el posterior desarrollo del robot.

4.1. MICROCONTROLADORES

Se puede definir un microcontrolador (abreviado μC , UC o MCU) como un circuito integrado programable, capaz de ejecutar las órdenes grabadas en su memoria (**“Microcontrolador,” 2015**). El microcontrolador está compuesto de varios bloques funcionales, los cuales cumplen una tarea específica. Un microcontrolador incluye en su interior las siguientes unidades funcionales:

- Unidad central de procesamiento (Microprocesador).
- Memoria (RAM, ROM, EEPROM,...).
- Puertos de entrada/salida (Convertor A/D).
- Oscilador (Reloj a distintas frecuencias según los diferentes modelos).

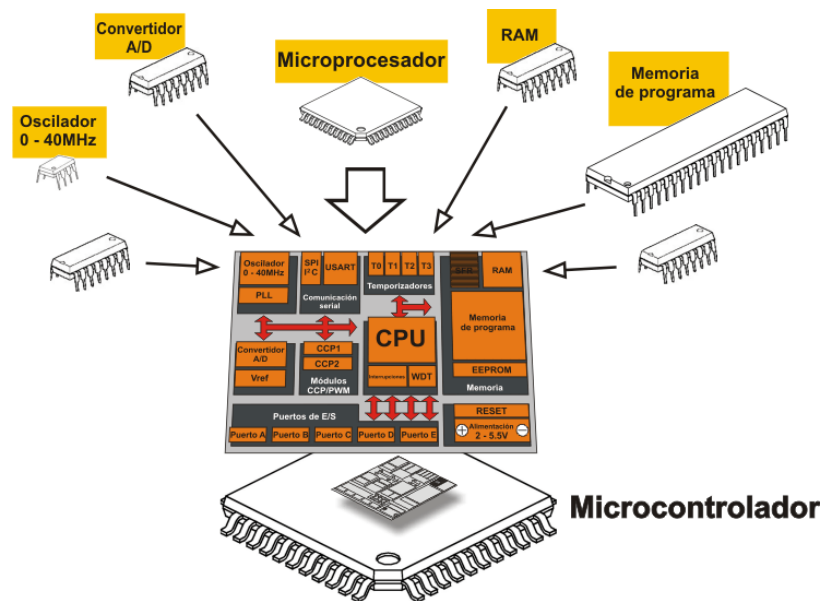


Ilustración 2 Diagrama de un microcontrolador (**“El Microcontrolador y los componentes electrónicos,” 15:45:44 UTC**)

Existen dos tipos de estructura interna en los microcontroladores:

- La arquitectura Von Neumann.
- La arquitectura Harvard.

Arquitectura Von Neumann:

La arquitectura de Von Neumann se caracteriza por disponer de una sola memoria principal donde se almacenan datos e instrucciones de forma indistinta. A dicha memoria se accede a través de un sistema de buses único (direcciones, datos y control). Al utilizar el mismo dispositivo de almacenamiento tanto para las instrucciones como para los datos, permite ahorrar una buena cantidad de líneas de E/S, que son bastante costosas, sobre todo para aquellos sistemas donde el procesador se monta en algún tipo de zócalo alojado en una placa madre.

Las principales limitaciones que nos encontramos con la arquitectura Von Neumann según ("**Arquitectura von Neumann y arquitectura Harvard," n.d.**) son:

- La limitación de la longitud de las instrucciones por el bus de datos, que hace que el microprocesador tenga que realizar varios accesos a memoria para buscar instrucciones complejas.
- La limitación de la velocidad de operación a causa del bus único para datos e instrucciones que no deja acceder simultáneamente a unos y otras, lo cual impide superponer ambos tiempos de acceso.

ARQUITECTURA VON NEUMANN



Ilustración 3 ("**Arquitectura von Neumann y arquitectura Harvard," n.d.**)

Arquitectura Harvard:

La arquitectura Harvard dispone de dos memorias independientes, una que contiene sólo instrucciones y otra sólo datos. Ambas disponen de sus respectivos sistemas de buses de acceso y es posible realizar operaciones de acceso (lectura o escritura) simultáneamente en ambas memorias.



Ilustración 4 ("Arquitectura von Neumann y arquitectura Harvard," n.d.)

Las principales características de la arquitectura Harvard según ("**Arquitectura von Neumann y arquitectura Harvard,**" n.d.) son las siguientes:

- El tamaño de las instrucciones no está relacionado con el de los datos, y por lo tanto puede ser optimizado para que cualquier instrucción ocupe una sola posición de memoria de programa, logrando así mayor velocidad y menor longitud de programa.
- El tiempo de acceso a las instrucciones puede superponerse con el de los datos, logrando una mayor velocidad en cada operación.
- La ventaja fundamental de esta arquitectura es que permite adecuar el tamaño de los buses a las características de cada tipo de memoria; además, el procesador puede acceder a cada una de ellas de forma simultánea, lo que se traduce en un aumento significativo de la velocidad de procesamiento. Típicamente los sistemas con esta arquitectura pueden ser dos veces más rápidos que sistemas similares con arquitectura Von Neumann.

Existe también una diferencia clara en los microcontroladores actuales respecto al tipo de instrucciones que ejecutan para llevar a cabo su programación. Los tipos de instrucciones usados en los microcontroladores actuales son:

- Instrucciones RISC.
- Instrucciones CISC.

Instrucciones RISC:

Las instrucciones **RISC** (del inglés *Reduced Instruction Set Computer*; en español *Computador con Conjunto de Instrucciones Reducidas*), está a favor de conjuntos de instrucciones pequeñas y simples que toman menor tiempo para ejecutarse.

Las características fundamentales de esta arquitectura son las siguientes:

- Reducción del conjunto de instrucciones a instrucciones básicas simples, con la que pueden implantarse todas las operaciones complejas.
- Las únicas instrucciones que tienen acceso a la memoria son 'load' y 'store' reduciendo así los tiempos de ejecución de la mayoría de las instrucciones.
- Casi todas las instrucciones pueden ejecutarse dentro de un solo ciclo de reloj. Cada ciclo de reloj trata de atender a una tarea instanciada en la RAM y pendiente de ser atendida.
- Ejecución simultánea de varias instrucciones (Pipeline). Posibilidad de reducir el número de ciclos de máquina necesarios para la ejecución de la instrucción, ya que esta técnica permite que una instrucción puede empezar a ejecutarse antes de que haya terminado la anterior.
- Permite la multitarea debido a que su procesamiento es mucho más rápido que la arquitectura CISC.

Instrucciones CISC:

Las instrucciones **CISC** (del inglés *Complex Instruction Set Computer*; en español *Computador con Conjunto de Instrucciones Complejas*), son un conjunto de instrucciones que se caracteriza por ser muy amplio y permitir operaciones complejas entre operandos situados en la memoria o en los registros internos.

Las instrucciones compuestas son decodificadas internamente y ejecutadas con una serie de microinstrucciones almacenadas en una ROM interna. Para esto se requieren de varios ciclos de reloj (al menos uno por microinstrucción).

En la década de los sesentas este tipo de arquitectura era la técnica más apropiada para las tecnologías de memorias existentes y a día de hoy sigue muy extendida gracias a la continua expansión de la potencia de procesamiento, pero cada vez son más fabricantes los que están optando por el tipo de instrucción RISC o por una fusión entre ambos tipos, que da paso al conjunto de instrucciones CRISC.

Microcontroladores actuales:

Los distintos fabricantes de microcontroladores mantienen una fuerte competencia entre ellos por reclamar su trozo del mercado. Es por esto que los distintos fabricantes ofrecen diferentes extras en sus productos como pueden ser:

- Temporizadores o timers.
- Wachdog.
- Protección antes fallos de alimentación.
- Estado de bajo consumo (Sleepmode).
- Conversores A/D.
- Conversores D/A.
- Comparador analógico.
- Modulador de ancho de pulsos (PWM).
- Puertos de entradas/salidas.
- Puertos de comunicación.

Algunos de los fabricantes y sus microcontroladores más comunes son:

| Empresa | 8 bits | 16 bits | 32 bits |
|---|---|---|---|
| Atmel | AVR (mega y tiny), 89Sxxxx familia similar 8051 | | SAM7 (ARM7TDMI), SAM3 (ARM Cortex-M3), SAM9 (ARM926), AVR32 |
| Freescale (antes Motorola) | 68HC05, 68HC08, 68HC11, HCS08 | 68HC12, 68HCS12, 68HCSX12, 68HC16 | 683xx, PowerPC, ColdFire |
| Holtek | HT8 | | |
| Intel | MCS-48 (familia 8048) MCS51 (familia 8051) 8xC251 | MCS96, MXS296 | x |
| National Semiconductor | COP8 | x | x |
| Microchip | Familia 10f2xx Familia 12Cxx Familia 12Fxx, 16Cxx y 16Fxx 18Cxx y 18Fxx | PIC24F, PIC24H y dsPIC30FXX, dsPIC33F con motor dsp integrado | PIC32 |
| NXP Semiconductors (antes Philips) | 80C51 | XA | Cortex-M3, Cortex-M0, ARM7, ARM9 |
| Renesas (antes Hitachi, Mitsubishi y NEC) | 78K, H8 | H8S, 78K0R, R8C, R32C/M32C/M16C | RX, V850, SuperH, SH-Mobile, H8SX |
| STMicroelectronics | ST 62, ST 7 | | STM32 (ARM7) |
| Texas Instruments | TMS370 | MSP430 | C2000, Cortex-M3 (ARM), TMS570 (ARM) |
| Zilog | Z8, Z86E02 | | |

Ilustración 5 ("Microcontrolador," 2015)

Tipos de encapsulado que pueden encontrarse en el mercado para microcontroladores:

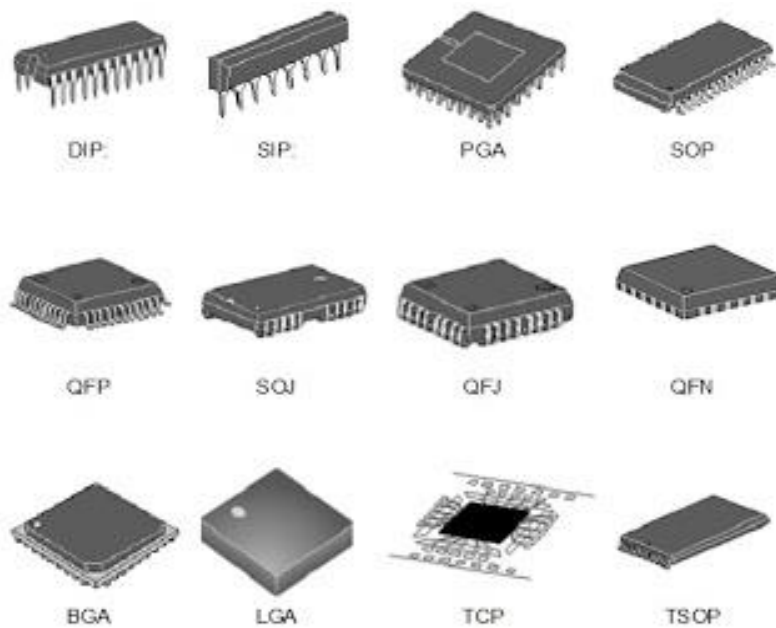


Ilustración 6 ("Tipos de Encapsulado," n.d.)

4.2. MOTORES

En este subapartado se ofrece información sobre los distintos tipos de motores eléctricos más usados hoy en día en la robótica y que pueden ser de utilidad para el proyecto.

Motor brushless:

Comenzamos el estudio de los motores con el motor brushless (**"Motor eléctrico brushless," n.d.**). Como su propio nombre indica, brushless quiere decir "sin escobillas". En este tipo de motor la corriente eléctrica pasa directamente por los bobinados del estator, por lo tanto aquí no son necesarias ni las escobillas, ni el colector que se utilizan en los motores brushed. Esta corriente eléctrica genera un campo electromagnético que interacciona con el campo magnético creado por los imanes permanentes del rotor, haciendo que aparezca una fuerza que hace girar al rotor y por lo tanto al eje del motor.



Ilustración 7 Motor Brushless ("Motores Brushless - Quadruino," n.d.)

El elemento que controlará que el rotor gire sea cual sea su posición será el variador electrónico (ESC). Lo que hace básicamente es ver en qué posición se encuentra el rotor en cada momento, para hacer que la corriente que le llegue sea la adecuada para provocar el movimiento de rotación que le corresponde. El variador es capaz de hacer esto, gracias a unos sensores en el motor o también mediante la respuesta obtenida por la observación de cómo se comporta la corriente del motor. Por este motivo, los variadores empleados en este tipo de motores son algo más complicados que los utilizados en motores brushed, ya que deben analizar la respuesta y los datos de funcionamiento del motor según están teniendo lugar, es decir, en tiempo real.

Cuando se habla de motores brushless, hay un parámetro importante que se debe considerar, el factor "kV". Normalmente aparece junto al número de vueltas de bobinado del motor, y lo que indica es el número de revoluciones por minuto a las que es capaz de girar el motor por cada voltio que se le aplica. Es decir, que si se tiene por ejemplo un motor brushless de 3.000 kV, y se aplica a sus bornes 10 voltios, la velocidad de giro será de 30.000 rpm.

En el mercado se pueden encontrar motores con un amplio rango para este factor, pero como ocurre muchas veces, no todo son ventajas. A mayores valores para el kV, mayores valores de velocidad y de consumo pero menores valores de par y viceversa. Por lo tanto se trata de encontrar una solución de compromiso entre velocidad y par teniendo en cuenta las características del proyecto a realizar.

Ventajas:

- Mayor eficiencia.
- Mayor rendimiento (mayor duración de las baterías para la misma potencia).
- Menor peso para la misma potencia.
- Requieren menos mantenimiento al no tener escobillas.
- La relación velocidad/par del motor es casi una constante.
- Mayor potencia para el mismo tamaño.
- Mejor disipación de calor.
- Rango de velocidad elevado al no tener limitación mecánica.
- Menor ruido electrónico (menos interferencias en otros circuitos).

Desventajas:

- Mayor coste de construcción.
- El control es mediante un circuito caro y complejo.
- Siempre hace falta un control electrónico para que funcione (ESC's), que a veces duplica el coste del motor.



Ilustración 8 ("Motores Brushless RC," n.d.)

Motor brushed:

Según ("**Motores brushed," n.d.**), los motores brushed están compuestos por un cuerpo principal o carcasa, dentro la cual se encuentran un par de imanes fijos que hacen de polos magnéticos. Dentro se encuentra el rotor, que es una pieza con 3 o más polos alrededor de los cuales está enrollado un cable (bobinado) y determina en gran parte las prestaciones del motor. Como regla general a menor número de vueltas o de espiras en el bobinado, menores valores de par y mayores rpm alcanzará el motor. También se pueden hacer bobinados dobles, triples, cuádruples... esto es una forma de encontrar soluciones intermedias entre dos bobinados simples. Como regla general cuanto más se multiplica el bobinado (x2, x3...) más par tendrá el motor y podrá mover desarrollos más largos.

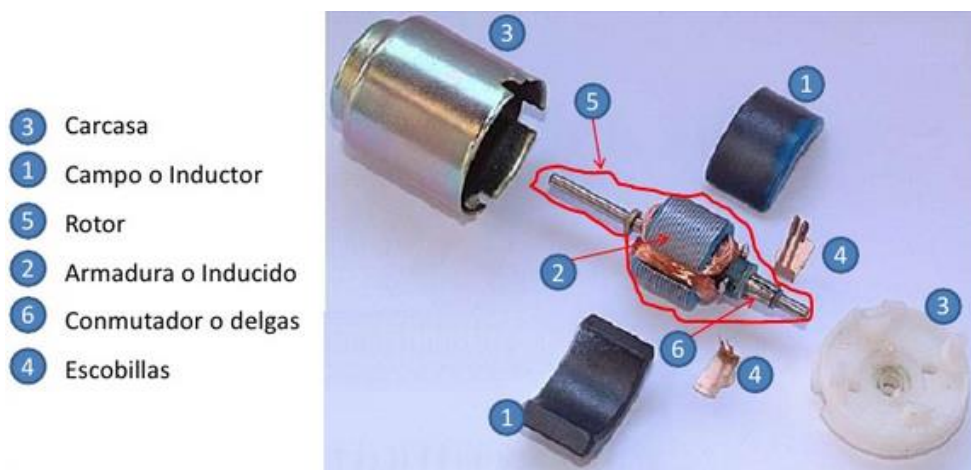


Ilustración 9 Despiece motor brushed, ("**Sesión 6 motor dc," 18:40:14 UTC**)

En un extremo queda el colector. Este dispositivo sirve para hacer la transición entre los periodos (+) y (-). Sobre él se apoyan las escobillas para transmitir la corriente, por ello es importante que se encuentre limpio y en buen estado. Por último el rotor se puede apoyar sobre rodamientos o casquillos. Existe uno en el cuerpo principal y otro en la campana.

La campana cierra el motor y cumple unas cuantas funciones importantes. En primer lugar soporta al rotor y las escobillas y recoge la tensión procedente del variador. Mediante ella se regula el "grado de avance" de las escobillas sobre los imanes del motor. En la campana suelen ir soldados algunos condensadores con el fin de absorber el "ruido parásito" y reducir las interferencias que produce el motor al funcionar.

Las escobillas, en función de su material y forma, generan unas prestaciones distintas. Su función principal es transmitir la corriente al colector. Su grado de avance hace referencia al número de grados que están desplazadas sobre los polos magnéticos del motor. Esto afecta a su comportamiento, en términos generales a mayor grado de avance más rpm se consiguen, pero se aumenta el consumo y se reduce el par motor, además, a partir de cierto avance aparecen efectos negativos.

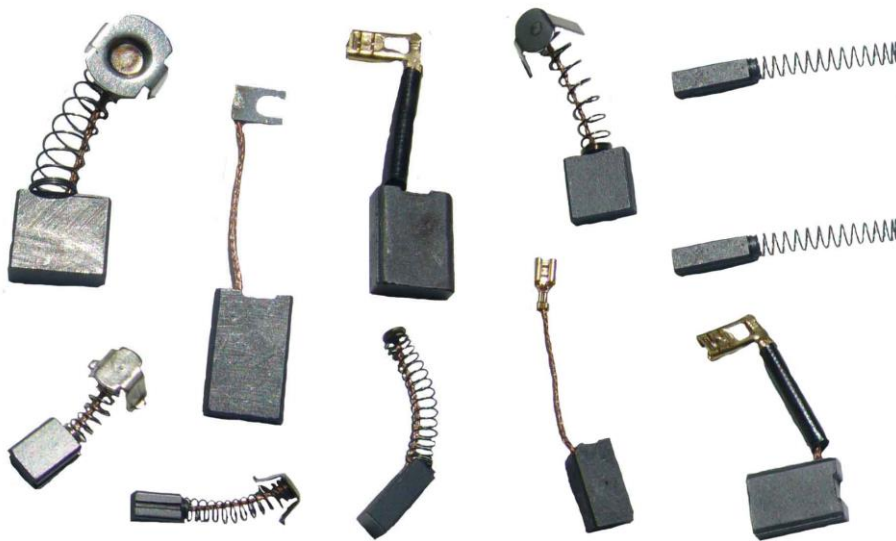


Ilustración 10 Tipos de escobillas (Сепрей, 2014)

Por último queda hablar de los muelles, que son los encargados de mantener las escobillas en su sitio. Existen diferentes tensiones de muelle que crean prestaciones distintas en el motor pero no es fácil afinar con ellos si no se dispone del equipo adecuado. En algunos motores la tensión del muelle del polo positivo no es la misma que la del negativo, por tanto no conviene confundirlos.

Cuando se hace pasar una corriente eléctrica por el hilo conductor del bobinado del rotor, se genera un campo electromagnético que interactúa con el campo magnético de los imanes permanentes del estator, haciendo que se genere una fuerza que provoca el giro del rotor y por lo tanto, junto con él, del eje del motor. De esta forma logramos transformar la energía eléctrica en energía mecánica. Esta corriente eléctrica le llega al bobinado a través de lo que se conoce como colector, que a su vez recibe la corriente eléctrica gracias a dos escobillas, que son dos contactos que rozan las delgas del colector mientras el rotor está girando.

Ventajas:

- Control mediante solo dos cables.
- Bajo coste de construcción.
- Control mediante un circuito simple y económico.
- No se necesita un control para una velocidad constante.
- Puede funcionar en un ambiente de condiciones extremas ya que no tiene electrónica asociada.



Ilustración 11 Motor Brushed, (“Much More brushed Motor series» Red RC – RC Car News,” n.d.)

Desventajas:

- Requiere un mantenimiento periódico.
- La relación velocidad/par motor es relativamente plana pero a altas velocidades la fricción de las escobillas aumenta y reduce el par motor útil.
- Poco poder de disipación de calor.
- Rotor con mucha inercia, lo cual limita los cambios de velocidad.
- Menor rango de velocidad, limitado por las escobillas.
- Las chispas que se generan en las escobillas generan mucho ruido electrónico y pueden causar interferencia electromagnética a otros circuitos electrónicos.

Motor paso a paso:

Otro motor existente es el motor paso a paso, (**“Tutorial sobre Motores Paso a Paso (Stepper motors),” n.d.-a**). Básicamente estos motores están constituidos normalmente por un rotor sobre el que van aplicados distintos imanes permanentes y por un cierto número de bobinas excitadoras en su estator.

Toda la conmutación (o excitación de las bobinas) deber ser externamente manejada por un controlador.

Los motores paso a paso son ideales para la construcción de mecanismos en donde se requieren movimientos muy precisos.

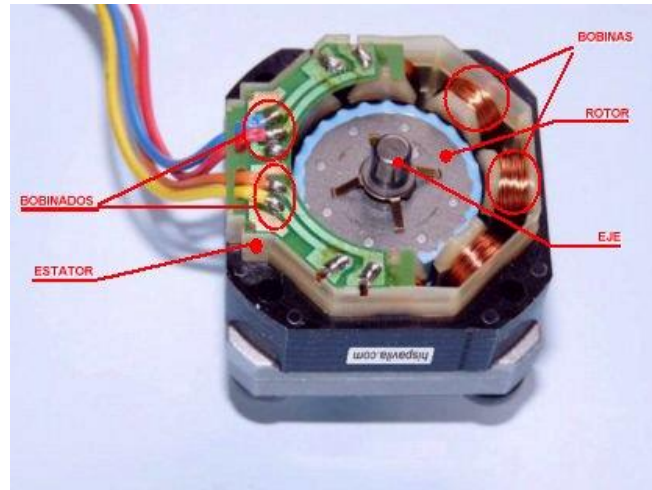


Ilustración 12 Motor paso a paso bipolar, (Garcia, n.d.)

La característica principal de estos motores es el hecho de poder moverlos un paso a la vez por cada pulso que se le aplique. Este paso puede variar desde 90° hasta pequeños movimientos de tan solo 1.8° , es decir, que se necesitarán cuatro pasos en el primer caso (90°) y doscientos para el segundo caso (1.8°), para completar un giro completo de 360° .

Estos motores poseen la habilidad de poder quedar enclavados en una posición o bien totalmente libres. Si una o más de sus bobinas están energizadas, el motor estará enclavado en la posición correspondiente y por el contrario quedará completamente libre si no circula corriente por ninguna de sus bobinas.

Existen dos tipos de motores paso a paso, los unipolares y los bipolares:

Unipolar: Estos motores suelen tener cinco o seis cables de salida, dependiendo de su conexionado interno.

Bipolar: Generalmente disponen de cuatro cables de salida. Necesitan ciertos trucos para ser controlados, debido a que requieren del cambio de dirección del flujo de corriente a través de las bobinas en la secuencia apropiada para realizar un movimiento.

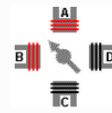
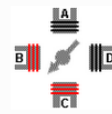
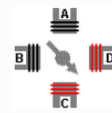
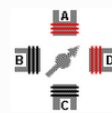
| PASO | Bobina A | Bobina B | Bobina C | Bobina D | |
|------|----------|----------|----------|----------|---|
| 1 | ON | ON | OFF | OFF |  |
| 2 | OFF | ON | ON | OFF |  |
| 3 | OFF | OFF | ON | ON |  |
| 4 | ON | OFF | OFF | ON |  |

Ilustración 13 Funcionamiento de un motor paso a paso, ("Tutorial sobre Motores Paso a Paso (Stepper motors)," n.d.-b)

Ventajas:

- Precisión de giro.
- Ideal para trabajar en lazo abierto.
- Poco mantenimiento (no tienen escobillas).
- Circuitos de control y excitación sencillos.

Desventajas:

- Sufren resonancias, en especial si el control no es el adecuado.
- Dificultad de operación a altas frecuencias (pérdidas de pasos).



Ilustración 14 ("Motor Paso A Paso Nema 17 68 Oz-in 400 Pasos/vuelta," n.d.)

Servomotor:

El servomotor es un tipo especial de motor C.C. cuya característica principal es la capacidad para posicionarse de forma inmediata en cualquier posición dentro de su intervalo de operación (normalmente 180°). Para ello, el servomotor espera un tren de pulsos que se corresponde con el movimiento a realizar.

Este tipo de motor está generalmente formado por un amplificador, un motor, un sistema reductor formado por ruedas dentadas y un circuito de realimentación, todo esto metido dentro de una misma caja de pequeñas dimensiones.

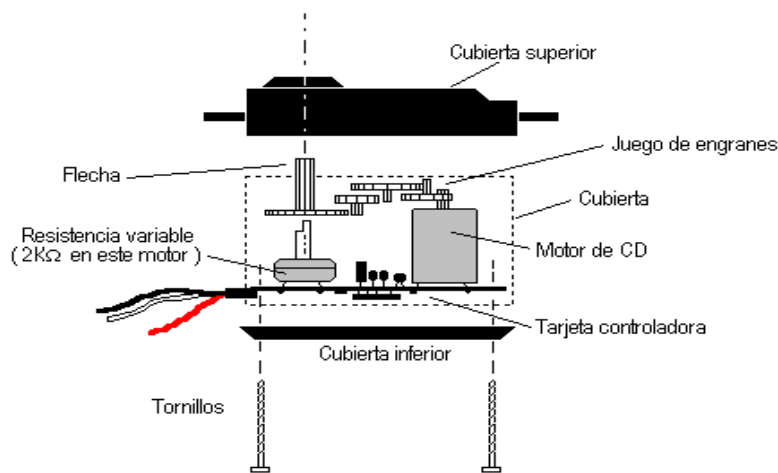


Ilustración 15 ("Servomotores - Monografias.com," n.d.)

El control de un servo se reduce a indicar su posición mediante una señal cuadrada de voltaje. El ángulo de ubicación del motor depende de la duración del nivel alto de la señal. Cada servo motor, dependiendo de la marca y modelo utilizado, tiene sus propios márgenes de operación.

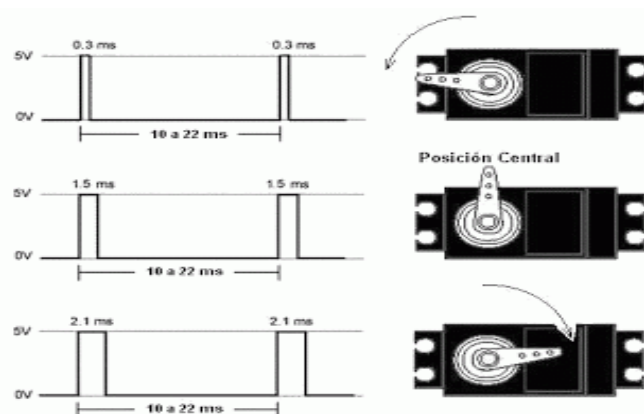


Ilustración 16 Funcionamiento de un servomotor (Salas, 2013)

La incapacidad de la gran mayoría de los servomotores de girar sin límite, hace de este tipo de motor más apto para movimiento de brazos robóticos o de partes específicas de un robot, que para la tracción propiamente dicha.

Ventajas:

- Tiene un par grande en comparación con su tamaño.
- Potencia proporcional para cargas mecánicas.
- No consume mucha energía.
- Mucha precisión.



Ilustración 17 Servo motor ("Interfacing Servo Motor with PIC Microcontroller - MikroC," n.d.)

Desventajas:

- No se puede cambiar la velocidad del mismo.
- Esta limitado por el circuito de control, únicamente variar de 0° a 180°.
- Su construcción puede ser costosa.
- Poder controlar varias secuencias de posiciones, es difícil sin utilizar sistemas basados con micros.

4.3. ENCODERS

Los encoders son sensores (generalmente ópticos), que generan señales digitales en respuesta al movimiento (rotación o movimientos lineales). Hoy en día son usados dos tipos diferentes de encoders para la robótica, los encoders absolutos y los encoders incrementales.

Encoder absoluto:

Este tipo de encoder tiene la característica principal de que no pierde la posición cuando se corta la corriente incluso aunque la rueda se mueva con el encoder apagado.

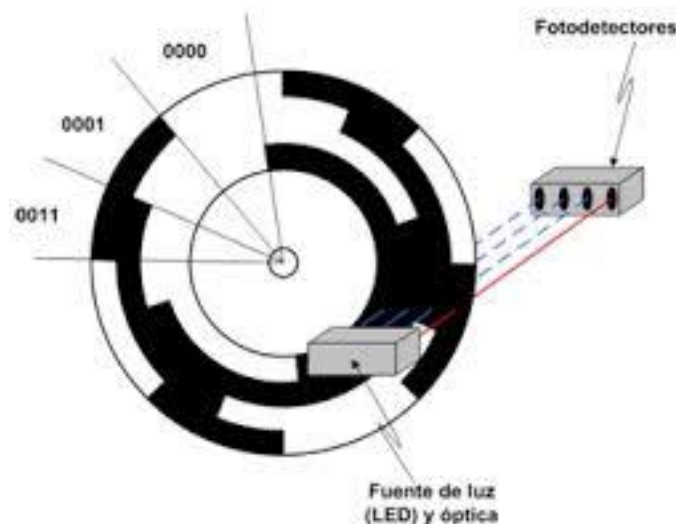


Ilustración 18 Encoder absoluto (Querol, 2012)

El estator del motor en el que va acoplado tiene un fotorreceptor por cada bit representado en el disco. El valor binario obtenido por los fotorreceptores es único para cada posición del rotor y representa su posición absoluta.

Se utiliza el código Gray en lugar de un binario clásico porque en cada cambio de sector sólo cambia el estado de una de las bandas, evitando errores por falta de alineación de los captadores. Para un encoder con n bandas en el disco, el rotor permite 2^n combinaciones, por lo cual la resolución será 360° dividido entre los 2^n sectores.

Por ejemplo para un encoder de 16 bits se obtiene una resolución angular $0,00549^\circ$ respectivamente.

Encoder incremental:

Este tipo de encoder se caracteriza porque determina su posición contando el número de impulsos que se generan cuando un rayo de luz es atravesado por marcas opacas en la superficie de un disco unido al eje.

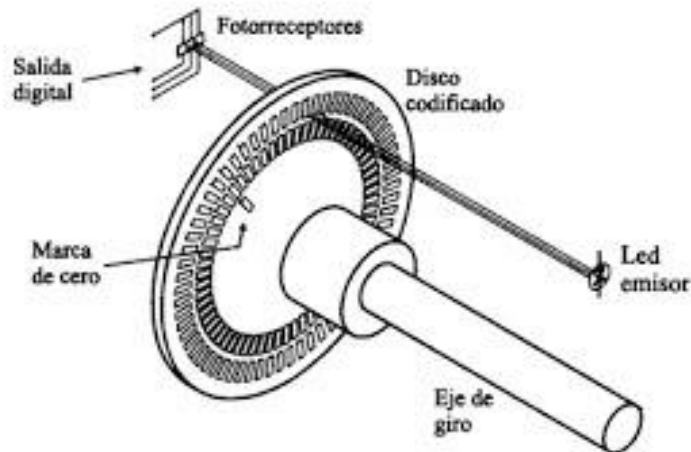


Ilustración 19 Encoder incremental (Querol, 2012)

Generalmente, los encoders incrementales proporcionan mayor resolución a un coste más bajo que los encoders absolutos. Además, su electrónica es más simple ya que tienen menos cables de salida y por eso son los más usados actualmente.

Típicamente un encoder incremental solo tiene cuatro cables: dos cables de datos, un cable de alimentación y un cable de tierra. Un encoder absoluto tiene un cable de salida por cada bit, un cable de alimentación y un cable de tierra.

A día de hoy, los motores usados en la robótica ya van con los encoders acoplados dentro del propio motor para poder tener un control preciso de los mismos.

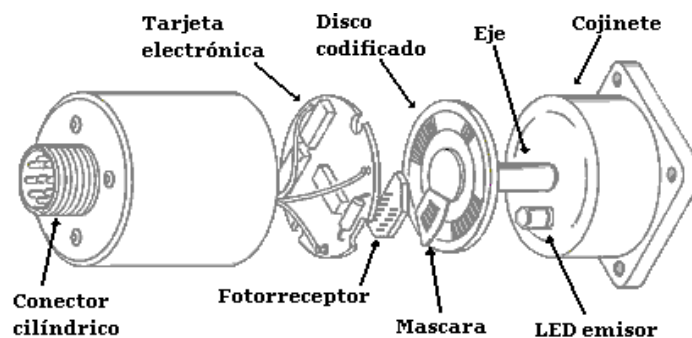


Ilustración 20 Encoder para acoplar a un motor (Coa, n.d.)

4.4. SISTEMAS DE NAVEGACIÓN

Los sistemas de navegación utilizados por los robots móviles están formados por algoritmos matemáticos con diferentes niveles de complejidad. La complejidad del sistema dependerá del grado de "inteligencia" que se desea implementar en el robot y ciertos parámetros que se enumeran a continuación:

- Entorno de trabajo → **Estructurado o no estructurado**. Los entornos estructurados son aquellos cuyos elementos u obstáculos nunca cambian de posición, por lo que el robot solo debe seguir una ruta prefijada. Por el contrario en los entornos no estructurados, los elementos adyacentes al robot pueden variar su posición e incluso interponerse en la trayectoria del mismo, haciendo que el robot deba tomar decisiones ante estas situaciones.
- Disposición de las ruedas → **Uniciclo, triciclo o cuatriciclo**. Este parámetro indica la disposición de las ruedas y de los motores de tracción. La configuración más habitual en los robots diferenciales es la de tipo triciclo.

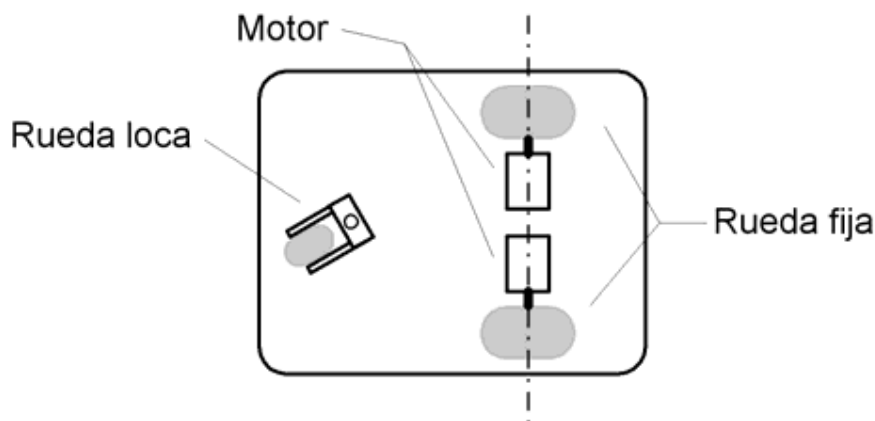


Ilustración 21 Robot con disposición de triciclo

- Tracción y dirección → **En ejes independientes, en un mismo eje o sobre todos los ejes.** En los robots con ejes independientes la tracción se realiza en las ruedas traseras mientras que las delanteras se limitan al control de dirección. Para los robots con tracción y dirección en un mismo eje, se emplean motores distintos en las ruedas tractoras para proporcionar además orientación. Esto permite unos radios de giro centrados en el propio robot, lo que quiere decir que el robot puede girar sobre sí mismo siempre y cuando los motores sean similares. Los robots con tracción y dirección sobre todos los ejes son una variante de los anteriores, los cuales cuentan con orugas o hileras de ruedas para terrenos difíciles.
- Estrategias de control → **Deliberativo o reactivo.** La estrategia de control deliberativa es aquella en la cual se programan las acciones a realizar por el robot para que este no deba tomar ninguna decisión. Por el contrario la estrategia reactiva trata de dotar al robot de cierto grado de libertad a la hora de tomar decisiones sobre los inconvenientes que puedan surgirle.

Una vez definidos estos parámetros hay que tener en cuenta que el sistema de navegación ha de ser capaz de responder a las siguientes cuestiones:

- ¿Dónde estoy? → El robot debe ser capaz de estimar su posición y orientación de la forma más precisa posible o se pueden usar elementos que guíen al robot de forma precisa sin la necesidad de que este conozca su posición.
- ¿A dónde voy? → El sistema de navegación tiene que poder fijar unos puntos de inicio y fin de la trayectoria.
- ¿Cómo puedo llegar hasta ahí? → El sistema ha de ser capaz de detectar posibles obstáculos y adaptarse a ellos o puede programarse una ruta prefijada para que el robot solo tenga que seguirla.

Todo esto genera una considerable cantidad de datos que han de ser procesados lo más rápidamente posible, por lo que la tarea de generar trayectorias puede ir desde unas simples líneas de código a sistemas de redes neuronales de alta complejidad. Por suerte, a día de hoy, existen diferentes sistemas de navegación probados con resultados aceptables como por ejemplo:

- Sistemas odométricos → Son los más sencillos y baratos de implementar puesto que solo necesitan de unos encoders y una programación relativamente sencilla.
- Sistema de navegación inercial → Mejoran notablemente el funcionamiento del sistema odométrico pero son más caros y complejos de implementar porque requieren más sensores y la programación es un poco más compleja que con el sistema anterior.
- Sistemas basados en estaciones de transmisión → Son sistemas muy precisos de posicionamiento pero requieren componentes externos al robot como pueden ser balizas de radiofrecuencias o de infrarrojos distribuidos por el lugar de trabajo del robot.
- Sistemas basados en marcas → Son sistemas que únicamente se basan en delimitar los caminos por medio de señales, objetos, etc. por donde el robot puede o no puede moverse o que guían al robot por medio de líneas de navegación.
- Sistemas de navegación basados en mapas → Son los más novedosos y requieren de una gran potencia de procesamiento puesto que usan imágenes tomadas en tiempo real del entorno para generar un mapa de navegación y trazar una ruta óptima de desplazamiento. Existe también una variante que usa un láser para realizar un mapeado del lugar de trabajo con unos resultados excelentes pero como se ha mencionado anteriormente, necesita una gran potencia de procesamiento, además de una batería considerable para alimentar al sistema láser.

4.4.1. Algoritmos

La generación de rutas en lugares no prefijados puede resolverse con algoritmos de distintos tipos como por ejemplo:

- **Algoritmos de búsqueda aleatoria.** Estos algoritmos están basados en programar movimientos aleatorios que el robot debe realizar durante su funcionamiento. Son sencillos de implementar aunque sus resultados son mediocres puesto que en determinadas situaciones pueden producir bucles de movimientos dejando al robot atascado y no aseguran que el robot pueda recorrer toda su zona de trabajo.
- **Algoritmos maze search,** también conocidos como algoritmos de resolución de laberintos. Estos algoritmos hacen que el robot encuentre un camino desde un punto de inicio hasta un punto final en un entorno desconocido realizando tareas de prueba y error.

Existen varios algoritmos de este tipo como por ejemplo los algoritmos seguidores de pared, el algoritmo de Tremaux, algoritmos recursivos, etc.

Solo son prácticos para un robot que no desempeña otra tarea que la de buscar un camino de salida puesto que en unas ocasiones dejan caminos sin recorrer y en otros recorren varias veces el mismo camino.

- **Algoritmos SLAM.** (*del inglés Simultaneous Localization And Mapping*), permiten generar mapas de lugares desconocidos por el robot de forma sencilla. Su funcionamiento se basa en crear una cuadrícula dividida en celdas de un tamaño determinado (generalmente el mismo tamaño que mide el robot). Si una de estas celdas está libre de obstáculos se marca con un 0 y si existe un obstáculo en ella se marca con un 1. De esta forma el robot va trazando un mapa en función de los obstáculos que encuentra. Al principio, el robot no sabe que celdas están ocupadas y cuáles no, por lo que se asigna a cada celda un valor que represente esa indeterminación como por ejemplo puede ser un 2.

| | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

1º Paso. Dividir en celdas la cuadrícula.

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |

2º Paso. Asignar valor de indeterminación.

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |

3º Paso. Comienza la navegación.

| | | | | | |
|--|---|--|---|--|--|
| | | | ■ | | |
| | | | ■ | | |
| | | | ■ | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | ■ | | | | |
| | ■ | | | | |

4º Paso. Mapa completado.

Ilustración 22 Funcionamiento de un algoritmo SLAM.

Existen varios tipos de algoritmos basados en esta metodología como por ejemplo el algoritmo de Markov, el algoritmo Pathfindig A*, el algoritmo con filtrado de Kalman, etc.

- **Redes neuronales.** Este tipo de algoritmos son los más completos y los que mejor resultado ofrecen para la navegación de un robot pero por el contrario son extremadamente complejos de implementar y requieren de gran capacidad de cálculo y computación. Algunos ejemplos de estos algoritmos son el algoritmo de campos potenciales o el algoritmo de partículas brownianas.

4.4.2. Odometría

Según la Wikipedia (**"Odometría," 2014**), la odometría tiene por objeto estimar la posición y orientación de un vehículo a partir del número de vueltas dadas por sus ruedas. Esta técnica tiene el inconveniente de acumular errores en función del tiempo, lo que provoca una incertidumbre creciente acerca de la posición del vehículo. La ventaja principal de la odometría es su simplicidad a la hora de realizar sistemas de navegación para robots móviles y las altas tasas de muestreo que permite.

El uso de la odometría consiste en contar mediante sensores ópticos acoplados a las ruedas (encoders), el número de vueltas que dan, de forma independiente. El giro de las ruedas provocará el desplazamiento del vehículo y mediante los datos obtenidos por los sensores, se puede calcular la posición relativa del mismo en cualquier momento.

La generación del movimiento está basada en un control en bucle cerrado, donde se va variando la velocidad lineal y angular en función de la estimación de posición que se va calculando a intervalos de tiempo establecidos.

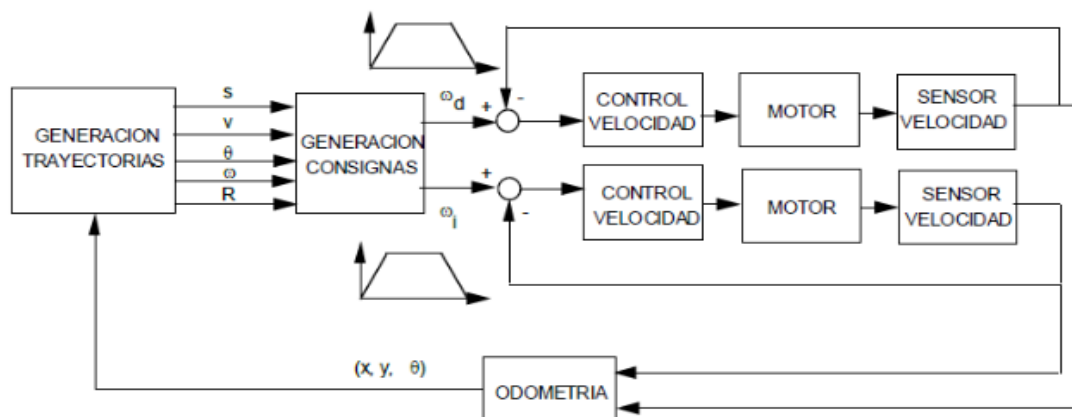


Ilustración 23 Modelo de bucle cerrado con cinemática diferencial (David Pellicer Martín, 2010)

Como se puede ver en la ilustración anterior, cada iteración de movimiento del robot, genera la trayectoria a seguir, lo que permite estimar la velocidad lineal y angular necesarias (v , w) para recorrer esa trayectoria. (David Pellicer Martín, 2010)

Como se aprecia en la Ilustración 3, se considera un punto de referencia P en el robot posicionado en los ejes cartesianos XY, cuyas coordenadas darán la localización del móvil. La orientación la obtendremos gracias al ángulo φ , el cual se obtiene entre X y una recta que atraviesa de forma perpendicular al eje de las ruedas.

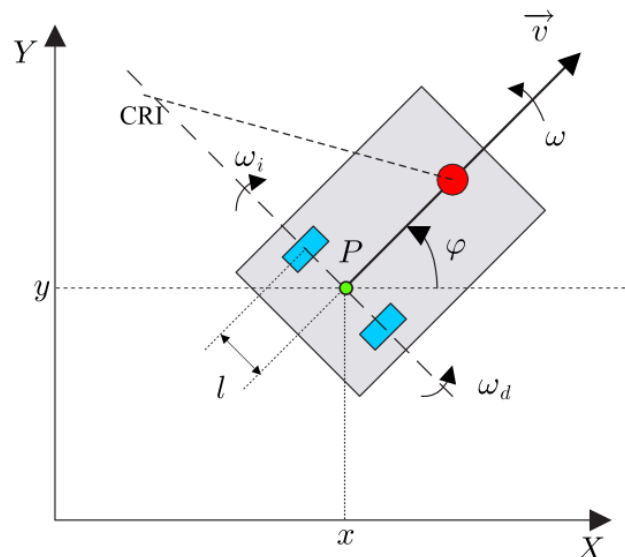


Ilustración 24 Cambio de posición (Cristiany & Antonio, 2012)

A continuación se presentan las ecuaciones para el cálculo de coordenadas (x, y) y ángulo de orientación φ para un robot de configuración diferencial a partir del desplazamiento lineal de las ruedas de tracción:

$$x = x_0 + \frac{\Delta S_{der} - \Delta S_{izq}}{2l} \cos(\varphi) \qquad y = y_0 + \frac{\Delta S_{der} - \Delta S_{izq}}{2l} \sen(\varphi)$$

$$\varphi = \varphi_0 + \frac{\Delta S_{der} - \Delta S_{izq}}{2l}$$

Las variables ΔS_{izq} y ΔS_{der} son los incrementos en el desplazamiento de las ruedas derecha e izquierda respectivamente, mientras que x_0 , y_0 y φ_0 son la posición y ángulo iniciales del robot.

Podremos establecer los incrementos en el desplazamiento de las ruedas (ΔS) gracias al ángulo que marcará el cambio de orientación del móvil, θ . La siguiente ilustración muestra un cambio de orientación.

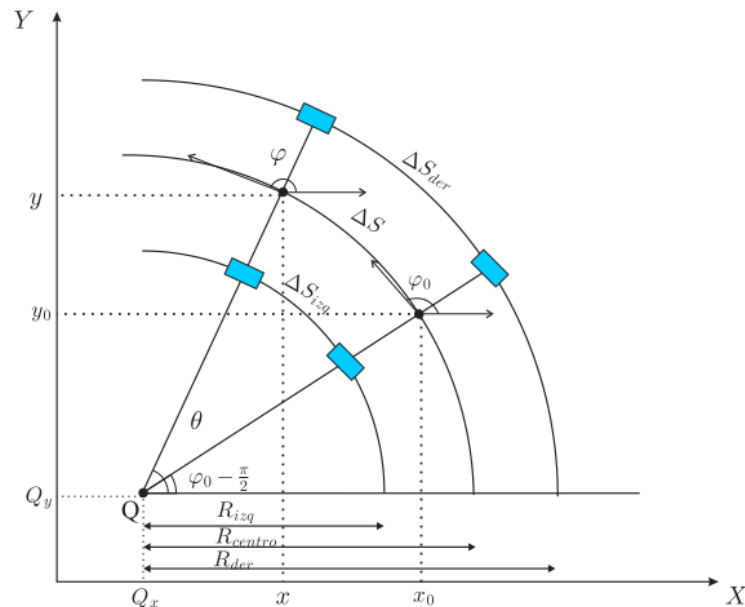


Ilustración 25 Geometría de un desplazamiento (Cristiany & Antonio, 2012)

Mediante la imagen anterior y después de realizar los cálculos pertinentes, se llega a las siguientes ecuaciones, las cuales mantienen relación con la posición y dirección del robot, así como con el ángulo de cambio de orientación θ y el incremento de desplazamiento ΔS .

$$\varphi = \varphi_0 + \theta$$

$$x = x_0 + \Delta S \cos(\varphi)$$

$$y = y_0 + \Delta S \sin(\varphi)$$

Por lo tanto:

$$\theta = \frac{\Delta S_{der} - \Delta S_{izq}}{2l}$$

$$\Delta S = \frac{\Delta S_{der} + \Delta S_{izq}}{2}$$

Una vez se han obtenido las ecuaciones para el cálculo de la posición del robot, se pueden calcular los diferentes puntos P a lo largo del recorrido de una trayectoria.

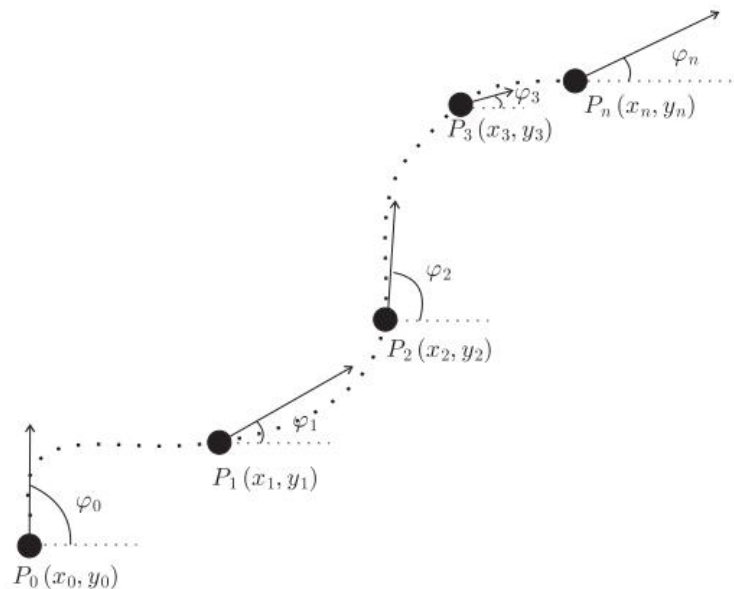


Ilustración 26 Recorrido del robot (Cristiany & Antonio, 2012)

Esto permitirá obtener la localización completa del punto P gracias a las siguientes relaciones.

$$\varphi = \varphi_0 + \sum_{i=1}^n \theta_i$$

$$x = x_0 + \sum_{i=1}^n \Delta S \cos(\varphi)$$

$$y = y_0 + \sum_{i=1}^n \Delta S \sin(\varphi)$$

Las demostraciones matemáticas de todas las ecuaciones presentadas, pueden encontrarse en la tesis "*construcción y localización en tiempo real de un robot móvil vía odometría en el seguimiento de trayectorias mediante control automático*" (Cristiany & Antonio, 2012).

4.5. MICRO BOMBAS

Las micro bombas están formados por pequeños motores eléctricos de corriente continua unidos a un cabezal capaz de mover aire o agua a través de sus conductos como lo haría una bomba hidráulica pero a pequeña escala.

Existen diferentes tipos de micro bombas, en función de que método usen para mover el aire o los fluidos:

- Micro bomba radial.
- Micro bomba de engranajes.
- Micro bomba de pistón.
- Micro bomba piezoeléctrica.
- Micro bomba peristáltica.

Micro bomba radial: Este tipo de bombas es similar a las bombas radiales normales pero con un tamaño inferior y una capacidad volumétrica mucho más reducida.

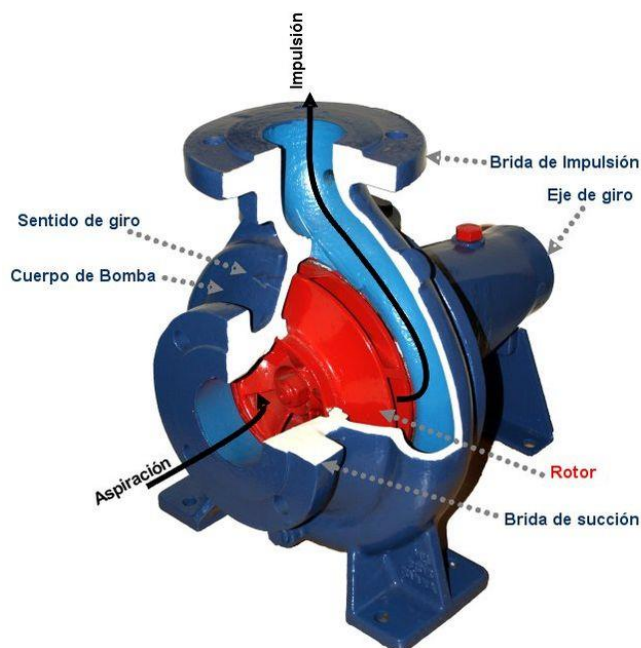


Ilustración 27 Funcionamiento de una bomba radial ("Bomba centrífuga," 2014)

Su funcionamiento es simple, el motor gira haciendo que gire un disco con palas acoplado a su extremo y estas por medio de la fuerza centrífuga, aspirar aire o líquido por su entrada y lo expulsan por su salida.

Existen varios tipos de palas o rodets, rectos, curvos, cerrados, abiertos...

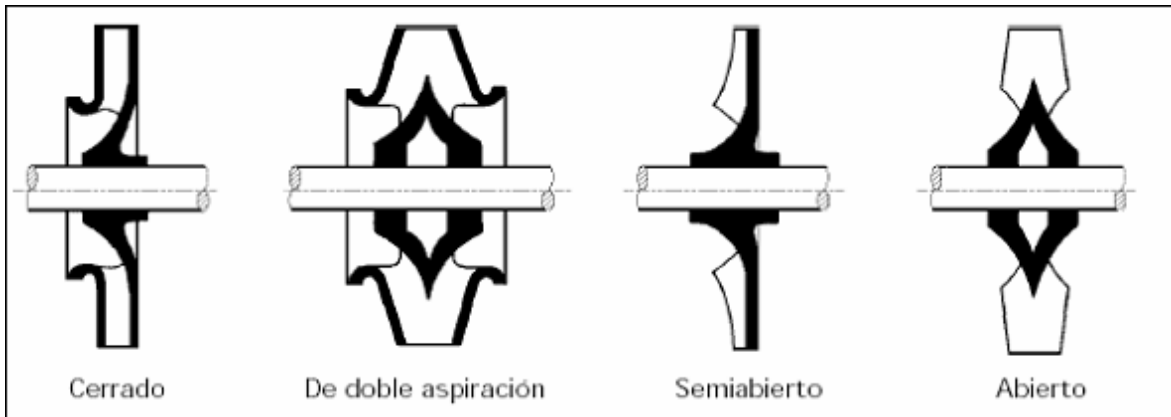


Ilustración 28 Tipos de rodets ("tutorial_05 – ocwus," n.d.)

En las versiones en miniatura, casi todos los rodets son de pala recta por su sencillez de construcción.



Ilustración 29 Tipos de micro bomba radial ("MICRO DC WATER PUMP | Fizzible.com," n.d.)

Tienen un tamaño medio, un rendimiento aceptable y su coste es bastante bajo aunque se encarecen rápidamente cuanto más pequeñas son.

Micro bomba de engranajes: Las micro bombas de engranajes son muy parecidas a las bombas radiales, su única diferencia es que en lugar de tener un cabezal de palas, incorporan dos engranajes que son los encargados de mover el fluido internamente.

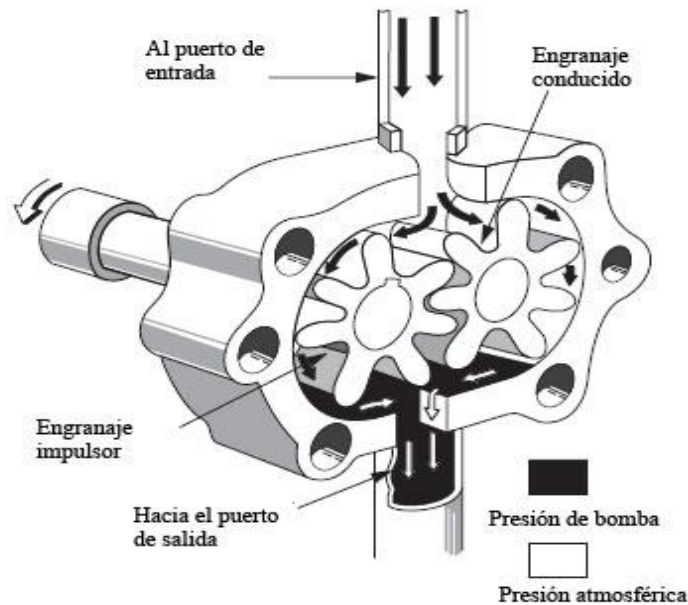


Ilustración 30 Vista interior de una bomba de engranajes ("3.1.Bombas de engranajes - hidraulica11marcdavid," n.d.)

Este tipo de micro bomba tiene el inconveniente de que sus engranajes suelen estar hechos de plástico y necesitan estar en contacto con un líquido (generalmente agua) para que no se fundan por el calor producido al rozarse uno con otro. Por esta razón, no son muy recomendables si se quieren usar para mover aire.

Su tamaño es ligeramente superior que las micro bombas radiales, su rendimiento es bueno si trabajan solo con líquidos y su precio es un poco más elevado.



Ilustración 31 Bomba de engranajes de la marca MRD.

Micro bomba de pistón: Las bombas de pistón funcionan de forma similar a como lo hace un motor de explosión. En la fase de admisión llenan un cilindro con el aire o líquido que van a mover para después expulsarlo por medio de un pistón que empuja hacia la salida lo que contenga el cilindro.

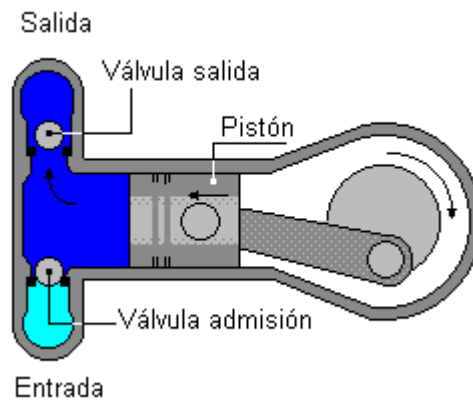


Ilustración 32 Funcionamiento simplificado de una bomba de pistón (“Bombas y sus aplicaciones,” n.d.)

Pese a que pueda parecer lo contrario, este tipo de micro bombas son de un tamaño más reducido que las anteriores micro bombas y su rendimiento es bastante bueno en comparación, debido a que en la misma bomba se incluyen más de un pistón y se usa un sistema giratorio en lugar de una biela para mover los pistones. El precio de estas micro bombas también es ligeramente superior.

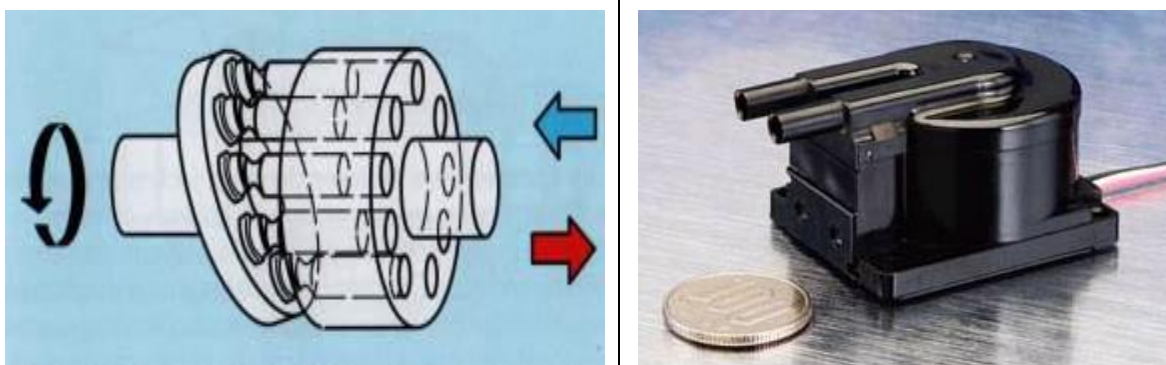


Ilustración 33 Micro bomba de pistones real (Rodríguez, n.d.)

Por su reducido tamaño y su rendimiento aceptable, son muy recomendables para aplicaciones de pequeño tamaño.

Micro bomba piezoeléctrica: Este tipo de micro bombas funciona aplicando una pequeña corriente a unas membranas piezoeléctricas interiores que hacen que se comben hacia arriba o hacia abajo como muestra la ilustración 25 generando así el flujo de líquido o aire a través de ellas.

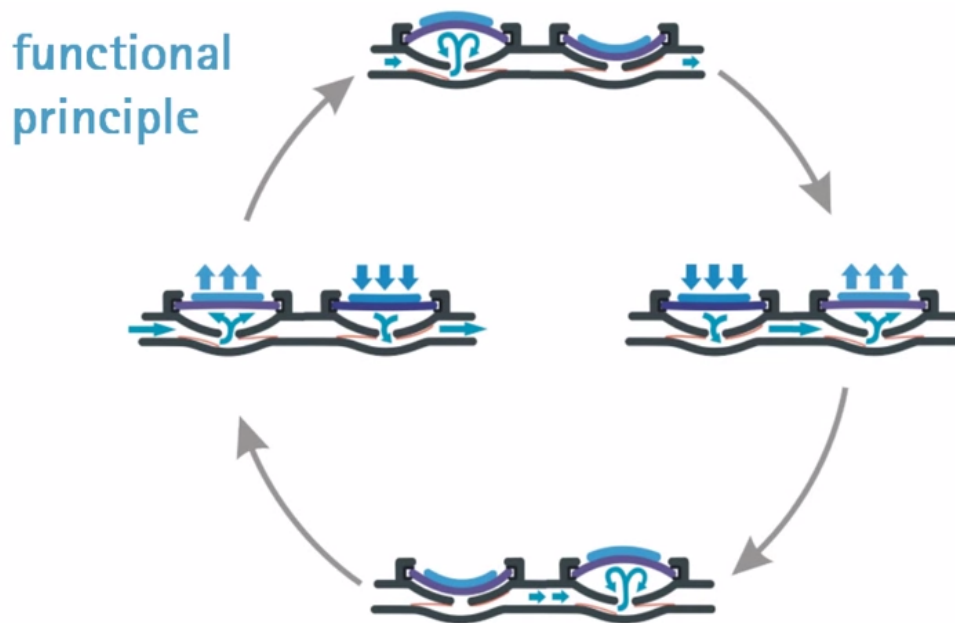


Ilustración 34 Funcionamiento de una micro bomba piezoeléctrica (*Micro pump mp6 - a short overview, 2012*)

Estas micro bombas se caracterizan por ser las más pequeñas de todas. Pueden llegar a alcanzar tamaños tan reducidos como un microchip, su rendimiento es aceptable para pequeñas cantidades de fluido y su precio se encarece en función de su tamaño.

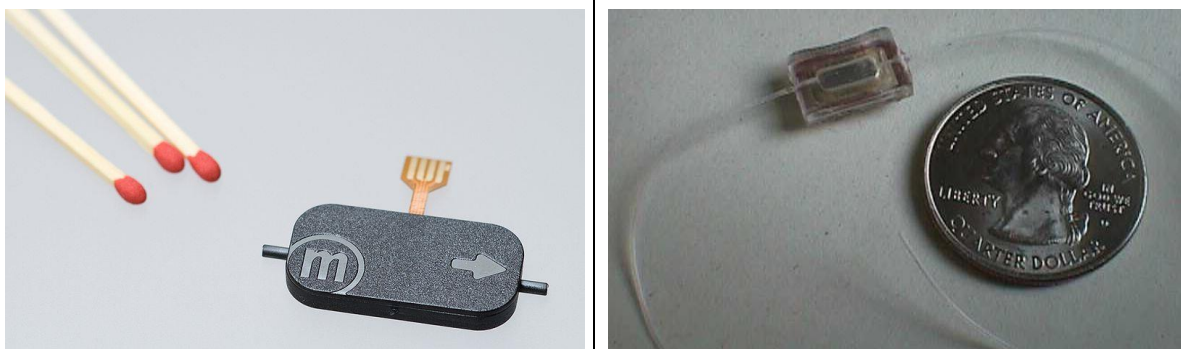


Ilustración 35 Tipos de micro bombas piezoeléctricas (GmbH, 2009)

Micro bomba peristáltica: Estas bombas trabajan de forma que unos rodillos interiores estrangulan el tubo donde se encuentra el fluido y lo llevan desde la entrada hasta la salida.

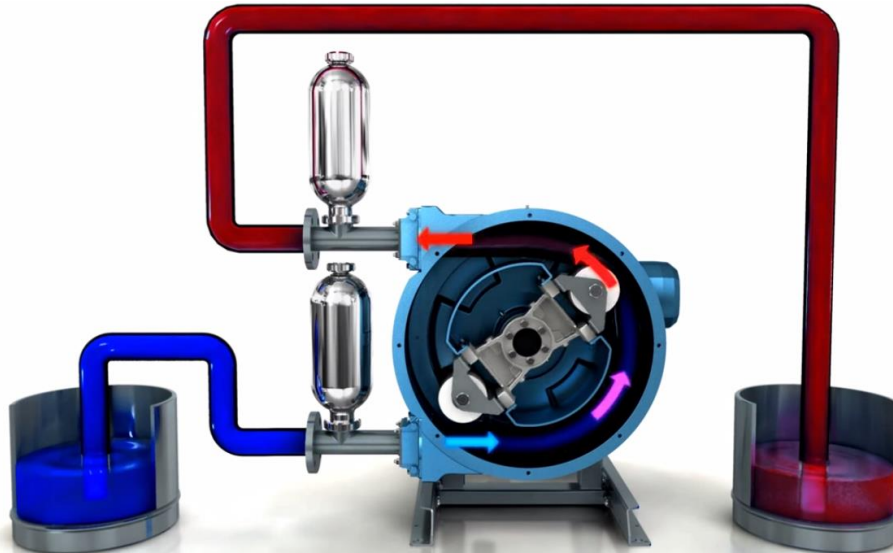


Ilustración 36 Funcionamiento de una bomba peristáltica (*Características de funcionamiento Bomba peristáltica Ragazzini - Vallair do Brasil, 2014*)

Las micro bombas peristálticas son las más fiables y duraderas de todas pero por el contrario su velocidad de trabajo es el más bajo, usándose solo en aplicaciones que requieran un caudal pequeño y de baja velocidad. Su tamaño es mediano y su precio moderado.



Ilustración 37 Tipos de micro bombas peristálticas ("Mini - de tamaño micro bomba peristáltica de kas-Bombas-Identificación del producto," n.d.)

4.6. BATERÍAS

Una batería es un elemento eléctrico que transforma energía química en energía eléctrica, y viceversa. A esta transformación se la denomina proceso electroquímico.

Se componen de un conjunto de elementos individuales (o celdas) conectados en serie, cada uno de los cuales tiene, si está cargado, un voltaje nominal que oscila entre 1,2 V y 3,6 V.

Cada una de estas celdas está compuesta de un electrodo positivo y otro negativo, además de un separador. Cuando la batería se descarga, se produce un cambio electroquímico entre los diferentes materiales en los dos electrodos. Los electrones son transportados entre el electrodo positivo y negativo vía un circuito externo (bombillas, motores, etc.).

4.6.1. Características

Para elegir la batería más adecuada para el proyecto, se debe tener en cuenta los principales parámetros de cada tipo de batería, ya que todas ellas tienen diferentes características.

Tensión nominal:

El primer parámetro a tener en cuenta es el voltaje de alimentación:

- **Pilas alcalinas:** 1,5 V nominales por elemento.
- **Baterías de plomo ácido:** 2,1 V nominales por elemento.
- **Baterías de níquel cadmio (Ni-Cd):** Descarga 1,1 V y carga 1,4 V nominales por elemento.
- **Baterías de níquel e hidruro metálico (Ni-Mh):** Descarga 1,1 V y carga 1,4 V nominales por elemento.
- **Baterías de polímeros de litio (Li-Po):** Descarga 3,2 V y carga 4,2 V nominales por elemento.
- **Baterías de Litio Hierro (LiFe-Po):** Descarga 3 V y carga 3,6 V nominales por elemento.
- **Baterías de iones de litio (Li-Ion):** 3,6 V nominales por elemento.

Capacidad de la batería:

La capacidad de la batería es otro parámetro importante, ya que está directamente relacionada con las horas que va a durar la batería antes de que la haya que volver a cargarla. La capacidad de una batería se suele expresar en mAh (mili Amperio hora).

Por ejemplo, una batería de 1.000 mAh, que es un valor muy habitual, podrá proporcionar una intensidad de 1.000 mA durante una hora antes de agotarse. Por supuesto, si el consumo es menor, la batería durará más tiempo. La misma batería de antes conectada a un circuito que consuma 500 mA durará dos horas. Por contra, si el circuito consume más, por ejemplo 2.000 mA, la batería durará tan sólo media hora.

La duración de una batería depende de dos cosas:

- La capacidad de la batería (expresada en mAh).
- El consumo del circuito que alimenta la batería.

Si conocemos estos dos datos podemos calcular la duración de la batería usando la siguiente ecuación:

$$\text{Duración de la batería} = \frac{\text{Capacidad de la batería (mAh)}}{\text{Consumo del circuito (mA)}}$$

Tasa de descarga:

Las baterías tienen un límite de corriente que pueden entregar sin ser dañadas, por lo que la ecuación anterior no se puede aplicar siempre. Este límite viene expresado por el parámetro C .

El factor C nos indica la intensidad máxima que es capaz de ceder una batería, para ello debemos aplicar la siguiente relación:

$$I_{\text{máx. capaz de ceder}} = \text{Capacidad de la batería (mAh)} \cdot \text{Factor } C$$

De esta manera una batería de 1.000 mAh y $1C$ será capaz de proporcionar una $I_{\text{máx.}} = 1.000 \text{ mA}$. Pero si la batería es $2C$, será capaz de proporcionar el doble de intensidad, hasta 2.000 mA. Por supuesto, cuando esto ocurra, la batería no tardará una hora en descargarse, sino media hora.

Dependiendo del tipo de batería admite distintos valores de C . Por ejemplo, las baterías de níquel-cadmio solo admiten valores de $1C$. Por otro lado, existen baterías de polímeros de litio con valores muy altos de C , como $10C$, $20C$ o hasta $50C$.

Peso:

El peso, concretamente la relación entre tamaño, peso y la capacidad de la batería, es un parámetro fundamental para un proyecto de robótica móvil, ya que esto puede afectar a distintos parámetros como la tracción, motores, velocidad, etc.

Las baterías Li-Po (polímeros de litio) son realmente pequeñas y ligeras comparadas con las demás tecnologías, por lo que destacan sobre las demás en este aspecto. Por el contrario las baterías de plomo ácido suelen ser las más pesadas en este campo.

4.6.2. Tipos de baterías

Ahora que ya se conocen las características más importantes de las baterías, se va a analizar los pros y los contras de cada tipo de batería:

Pilas alcalinas:

No son muy comunes las baterías alcalinas recargables, por lo que hay que desecharlas tras su utilización. Los intentos de recarga de una pila que no está preparada para este fin puede causar su ruptura, o la filtración de líquidos peligrosos, que corroen los equipos.

Aportan una tensión nominal de $1,5V$. Pueden lograrse múltiplos de esta tensión conectando varias células en serie. La tensión de una pila alcalina disminuye gradualmente durante la descarga.

Se utilizan en dispositivos de bajo consumo. Es necesario el uso de porta pilas, ya que no pueden ser soldadas sin dañarse.



Ilustración 38 Tipos de pilas alcalinas ("Pila alcalina," 2015)

Baterías de Plomo-ácido:

Las baterías plomo-ácido se suelen usar en los coches. Poseen seis celdas con un voltaje nominal de $2,1\text{ V}$ cada una. Cuando están cargadas, las celdas están formadas por electrodos de plomo metálico (Pb) y óxido de plomo (PbO_2) sumergidos en un electrolito de alrededor de 37 % de ácido sulfúrico (H_2SO_4) disuelto en agua.

Cuando la batería está descargada, los dos electrodos se convierten en sulfato de plomo y el electrolito se convierte en agua (por esta razón las baterías de plomo descargadas se pueden congelar más fácil). Los diseños modernos tienen un electrolito gelificado.

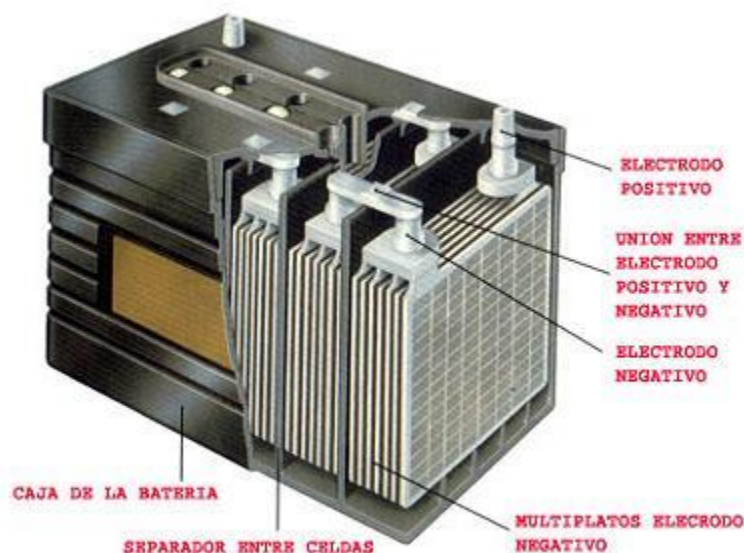


Ilustración 39 ("Batería de plomo ácido industrial | Venta Baterías Industriales | Baterías Usadas | Reciclaje de baterías | Batería Plomo," n.d.)

Baterías de gel:

Una batería de gel es una batería de plomo-ácido con un electrolito gelificado. Las celdas de una batería de gel están selladas, lo que hace que la batería no tenga problemas con su orientación física, como pasa con las baterías normales de plomo-ácido, que deben colocarse en una única posición para que no se vuelque el líquido del electrolito. Se debe tener un cuidado especial al cargar baterías selladas, porque el proceso de carga puede desprender gases. Esto quiere decir que en lugar de cargarla con un voltaje constante (de $13,6\text{ V}$ para una batería de 12 V) uno debe comenzar con

una corriente constante si la batería está descargada, y sólo en la última parte de la carga, cuando la resistencia interna alcanza un determinado valor, se pasa al método de voltaje constante, hasta que la batería alcanza su voltaje definitivo de 13,6 V.

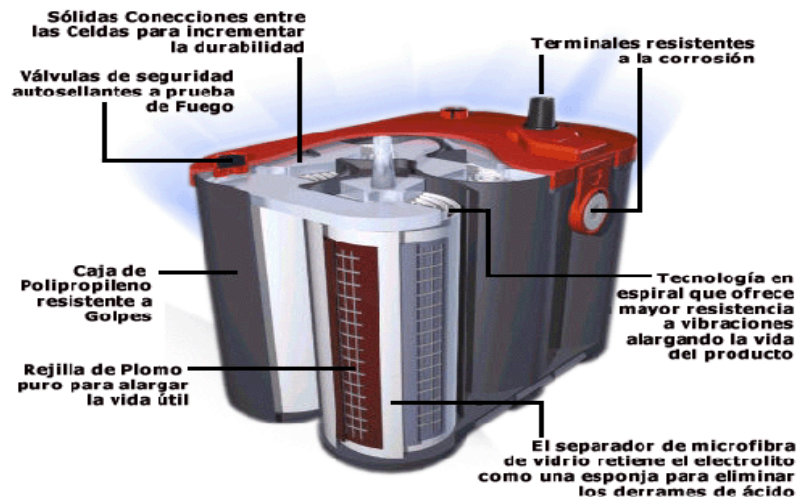


Ilustración 40 Batería de gel (Sudpol, 2014)

Baterías níquel cadmio (Ni-Cd):

Contienen cadmio, un metal pesado que representa un peligro ecológico. Exteriormente tienen la misma forma y tamaño de las pilas. Interiormente tienen dos electrodos, el de cadmio (negativo) y el de hidróxido de níquel (positivo), separados entre sí por un electrolito de hidróxido de potasa. Llevan también un separador situado entre el electrodo positivo y la envoltura exterior y un aislante que las cierra herméticamente.

Un elemento Ni-Cd completamente cargado tiene una tensión en bornes de entre 1,25 V y 1,30 V, que enseguida disminuye a su tensión normal de 1,20 V. Esta tensión se mantiene prácticamente constante durante toda la descarga para caer bruscamente al agotarse la carga de la batería. Se considera que un elemento está descargado cuando su tensión en bornes es de 1,1 V.

Este tipo de batería no debe ser descargada por debajo de su tensión mínima de 1,1 V por elemento, ya que se corre el peligro de que se produzca una inversión de polaridad en uno o varios de sus elementos. La inversión de polaridad se produce a causa de un cambio químico, que causa daño en el interior de los elementos y que en general no es reversible.

Su aspecto más positivo es el precio. Ya que, aunque en un principio pueden parecer caras, el resultado es favorable si se compara el número de recargas frente al número de cambio de pilas alcalinas equivalente, teniendo en cuenta que duran menos que estas últimas. Se pueden unir elementos entre sí mediante soldadura.

La cantidad de ciclos de carga y descarga de las baterías de Ni-Cd oscila entre los 1.000 y 1.500 ciclos.

Su aspecto más negativo es que tienen efecto memoria, este fenómeno se produce como consecuencia de sobrecargas repetidas y/o descargas parciales, acortando su vida útil. Se produce porque se crean unos cristales en el interior, a causa de una reacción química indebida. Además tienen un elevado poder contaminante.

Hay cargadores en el mercado que efectúan una carga muy lenta en las baterías, para cargar la batería hasta su máxima carga real. Las baterías de Ni-Cd soportan una cantidad de ciclos de carga y descarga que oscilan entre los 1.000 y 1.500 ciclos.



Ilustración 41 Batería Ni-Cd de 8 celdas, ("De ni-cd aa800mah 9.6v recargable de la batería-Batería recargable-Identificación del producto," n.d.)

Baterías de níquel e hidruro metálico (Ni-Mh):

Una batería de níquel-hidruro metálico (Ni-Mh) es un tipo de batería recargable que utiliza un ánodo de óxido de níquel (NiOOH), como la batería de níquel cadmio (Ni-Cd), pero su cátodo es de una aleación de hidruro metálico. Esto permite eliminar el cadmio, que es un metal muy caro y dañino para el medioambiente, por lo que son más respetuosas con el medio ambiente.

Asimismo, posee una mayor capacidad de carga (entre dos y tres veces más que la de una pila de Ni-Cd del mismo tamaño y peso) y un menor efecto memoria. Por el contrario, presentan una mayor tasa de autodescarga que las de Ni-Cd (un 30 % mensual frente a un 20 % en baterías Ni-Cd), lo cual relega a estas últimas a usos caracterizados por largos periodos entre consumos (como los mandos a distancia, las luces de emergencia, etc.), mientras que son desplazadas por las de Ni-Mh en el de consumo continuo.



Ilustración 42 Batería Ni-Mh de 6 celdas (“[EUR € 9.69] Ni-MH 8.4V 800mAh batería recargable (Ni-MH (8.4v800)),” n.d.)

Cada pila de Ni-Mh puede proporcionar un voltaje de 1,4V y una capacidad entre 0,8 Ah y 2,9 Ah. Este tipo de baterías se encuentran menos afectadas por el llamado efecto memoria, en el que en cada recarga se limita el voltaje o la capacidad (a causa de un tiempo largo, una alta temperatura, o una corriente elevada), imposibilitando el uso de toda su energía.

Los ciclos de carga de estas pilas oscilan entre los 500 y 2.000 ciclos, menor que las de Ni-Cd, pero a pesar de esto las baterías Ni-Mh doblan el tiempo de uso a las Ni-Cd con tamaños similares.

Son más sensibles al calor que las Ni-Cd, por lo que las "altas" temperaturas que alcanzan durante la carga o el uso pueden suponer un inconveniente.

Se requieren cargadores específicos para Ni-Mh, ya que los de Ni-Cd no sirven, aunque en la actualidad existen modelos que cargan los dos tipos.

Como ventajas fundamentales, las baterías de Ni-Mh tienen una mayor densidad de carga (capacidad/peso superior, aproximadamente 40 %-70 % más de capacidad).

Las baterías de Ni-Mh tienen una resistencia interna superior que limita su uso en aplicaciones de alta potencia, si bien la industria ha ido solucionando esto al ofrecer nuevos tipos que igualan en capacidad de descarga a las celdas del mismo tamaño de Ni-Cd.

Otro inconveniente es que las Ni-Mh no admiten una carga tan rápida como las de Ni-Cd, bajo riesgo de deteriorarse. Los elementos de Ni-Mh son más sensibles al calor que los de Ni-Cd, un sobrecalentamiento puede producir gases internos y sobrepresiones que dan lugar a escapes de electrolito y pérdidas de estanqueidad, reduciendo la vida útil de las celdas.

También es más difícil de detectar el estado de carga total en las Ni-Mh, por lo que se recomienda el uso de cargadores que especifiquen su aptitud para cargar baterías de Ni-Mh, evitando así sobrecalentamientos indeseados.

Baterías Li-Po:

No tienen efecto memoria ni efecto auto descarga. Ppesan del 20 al 35 % menos que las de Ni-Mh o de Ni-Cd. El almacenamiento puede ser prolongado siempre que se mantengan a una tensión por encima del 75 % de la nominal. Se estropean si bajan de 3 V por celda. Soportan altas corrientes de carga (de 2C a 5C) y descarga (de 20C a 50C). Si se les exige por encima de sus posibilidades pueden explotar.



Ilustración 43 Batería Li-Po de un elemento ("Todo sobre las baterías LiPo," n.d.)

Como se puede observar en la ilustración 44, las baterías Li-Po de más de un elemento disponen de dos conectores diferentes. El conector clásico con cables rojo y negro es el de alimentación, y el otro conector con más cables es el conector de balanceo o equilibrado, y se utiliza para equilibrar la tensión de los diferentes elementos que componen la batería,



Ilustración 44 Batería Li-Po de más de un elemento (Evilsun, 2011)

ya que para que funcione correctamente y no sufra daños la diferencia de tensión entre los elementos de la batería debe ser inferior a 0.1 V . El equilibrado de los elementos se consigue mediante un cargador especial.

Baterías LiFe-Po:

Son relativamente nuevas y mejoran las cualidades de las baterías Li-Po. Aguantan más corriente de carga y descarga y al exigirle por encima de sus posibilidades no explotan. Como inconvenientes, son más pesadas respecto de las baterías Li-Po y su tensión nominal por celda es menor, $3,2\text{ V}$ frente a $3,7\text{ V}$ que ofrecen las baterías Li-Po.



Ilustración 45 Batería LiFe-Po de 2 celdas ("BATERIA LIFE 6,4V-1600mAh LiFePo RX RECTA - RcMaxModelismo," n.d.)

Batería de iones de litio (Li-Ion):

La producción de estas baterías supone un coste elevado que se refleja en su precio final. Su ciclo de vida se sitúa entre los 500–600 ciclos de carga/descarga.

Las baterías Li-Ion poseen una elevada densidad de energía, acumulando una carga mayor por unidad de volumen. Por esta razón tienen menor peso en relación a baterías de otro tipo de la misma capacidad. Se presentan en placas rectangulares, de poco espesor, de menos de 0,5 cm, lo que las hace especialmente interesantes para integrarlas en dispositivos portátiles con poco espacio.

Presentan un alto voltaje por celda, cada unidad proporciona 3,7 V, lo mismo que tres celdas de Ni-Cd (1,2 V cada celda). Carecen de efecto memoria. Su descarga es lineal, es decir, que durante toda la descarga el voltaje de la batería apenas varía, lo que evita la necesidad de circuitos reguladores (esto puede ser un aspecto negativo en algunos casos, ya que hace difícil averiguar el estado de carga de la batería).

Tienen una baja tasa de autodescarga. Cuando se guarda una batería, ésta se descarga progresivamente aunque no se use. En el caso de Li-Ion es de sólo un 6 % ($\pm 0,01$ % diario).

Es recomendable que estas baterías se mantengan en un sitio fresco (15 °C) y evitar el calor. No se deben descargar del todo habitualmente. Es mejor no cargarlas cuando tienen más de un 50 % de carga (según el cargador que utilice). Cuando se vayan a almacenar durante periodos largos de tiempo, se recomienda dejarlas con una carga intermedia. Si el aparato que utiliza estas baterías se puede usar enchufado a la red, y mientras funciona carga las baterías, se debe evitar que este proceso continúe cuando la batería ya está con la carga completa, ya que esa situación disminuye su capacidad. Es preciso cargarlas con un cargador específico para esta tecnología. Usar un cargador inadecuado daña la batería y puede hacer que se incendie.

La primera carga es la más importante para la duración de la batería. Debe hacerse hasta el máximo, y dejar que se descargue del todo. Después de esto, en las sucesivas cargas, la batería va adquiriendo más capacidad de carga hasta llegar a su máximo amperaje (aproximadamente en la décima carga).

Las desventajas de estas baterías de litio son:

- Independientemente del uso, sólo tienen una vida útil de 3 años.
- Se pueden cargar entre 300 y 600 veces, menos que una batería de Ni-Cd o Ni-Mh.
- Son más caras, pero el precio se ha ido acercando rápidamente al de las otras tecnologías.
- Están fabricadas con materiales inflamables (pueden explotar o incendiarse). Necesitan de un sistema electrónico para controlar en todo momento la batería y evitar los inconvenientes citados.
- Rendimiento muy inferior a las demás baterías de Ni-Cd o Ni-Mh en bajas temperaturas, reduciéndose su duración hasta a un 25 %.



Ilustración 46 Batería de Li-Ion ("Bateria Li-ión Bz1 P/ Celular Niivo Zb-1 - R\$ 29,99," n.d.)

4.7. FUENTES DE ALIMENTACIÓN

Todo robot móvil necesita, además de una batería que suministre tensión, un sistema que regule y controle esa tensión para satisfacer las necesidades de cada componente del sistema que requiera de alimentación. De esta tarea se encargan las fuentes de alimentación, las cuales se pueden dividir en dos grandes grupos, las fuentes lineales y las fuentes conmutadas.

Fuentes lineales: Este tipo de fuente de alimentación es la más antigua y la más simple. Su funcionamiento se basa en reducir la amplitud de la señal alterna de la entrada por medio de un transformador a valores más bajos (Transformación). Esta señal pasa por un puente de diodos los cuales se encargan de transformar los semiciclos negativos de la señal alterna en semiciclos positivos (Rectificación). Acto seguido la señal se encuentra un filtro que se encarga de mantener la señal en sus valores de cresta también llamada tensión de rizado, haciendo que la señal sea casi continua (Filtración). Por último se encuentra la etapa de regulación que elimina los ruidos de la señal y la convierte en una corriente continua del valor deseado (Regulación).

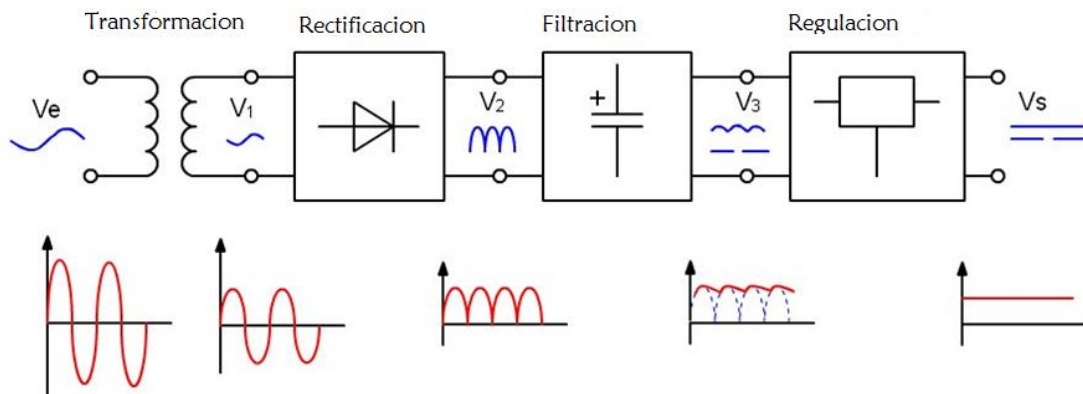


Ilustración 47 Esquema de una fuente de alimentación lineal (“FUENTE DE PODER,” n.d.)

Este es el esquema fundamental de este tipo de fuentes y todas funcionan de la misma forma, aunque internamente pueden existir pequeñas variaciones como por ejemplo en el rectificador que puede ser de media onda o de onda completa, la disposición de los filtros puede variar o el regulador puede estar diseñado para dar tensión positiva o tensión negativa.

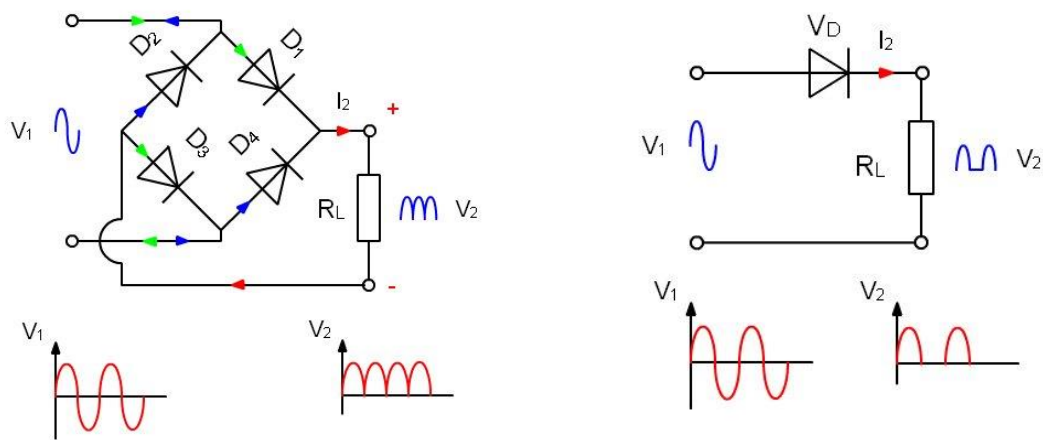


Ilustración 48 Puente de onda completa (Derecha) y puente de media onda (Izquierda) ("Practica 3," n.d.)

Sus ventajas y desventajas son las siguientes:

Ventajas:

- Funcionamiento muy simple.
- Fácil diseño.
- Fáciles de reparar.

Desventajas:

- Muy grandes, voluminosas y pesadas en comparación con las conmutadas.
- Más caras que las conmutadas porque llevan más hilo de cobre en el transformador.
- Se están quedando obsoletas.

Aunque este tipo de fuentes ha sido muy usado hasta hace poco tiempo y todavía se siguen usando en pequeños proyectos de electrónica o a nivel didáctico, están siendo rápidamente sustituidas por las fuentes conmutadas.

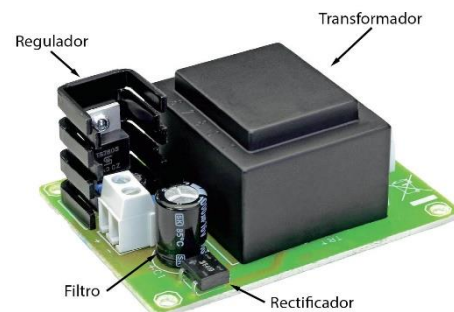


Ilustración 49 Fuente de alimentación lineal ("Netzteil-Bausteine | ELV-Elektronik," n.d.)

Para el caso de que solo se desee realizar una regulación de tensión, basta con usar la última etapa de la fuente para reducir el voltaje a los niveles deseados. Al ser una tecnología antigua, existen gran variedad de reguladores en el mercado y una amplia configuración a la hora de realizar los montajes de los mismos.

Antes de decidirse por un tipo de regulador u otro hay que tener en cuenta las siguientes especificaciones:

- Voltaje de entrada → Valor que indicará la tensión máxima que tiene que ser capaz de soportar el regulador.
- Voltaje de salida → Valor que indica la tensión que tiene que suministrar a la salida el regulador.
- Corriente de salida → Este valor indica la corriente que es capaz de suministrar el regulador a su salida. En función de la carga que se le vaya a conectar será necesario un modelo u otro y habrá que tenerse en cuenta el tipo de montaje.
- Protecciones → Actualmente existen reguladores con protecciones contra sobre corriente y sobre temperatura. Es un dato interesante a tener en cuenta.

Un ejemplo de montaje con un regulador encapsulado puede ser el siguiente:

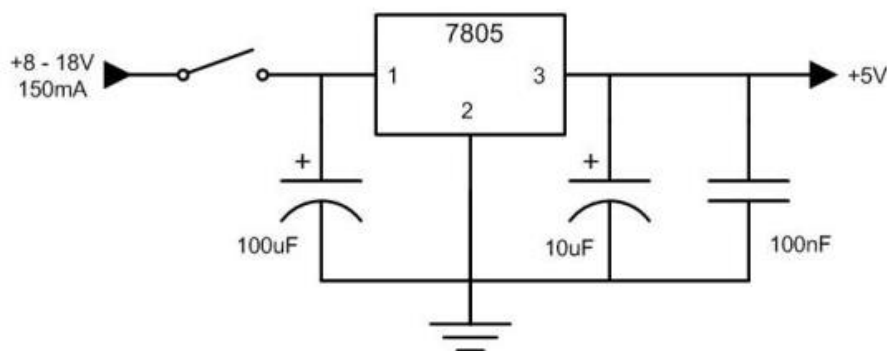


Ilustración 50 Regulador de voltaje 7805 ("Phone Charger Using A 7805 Voltage Regulator | Bohack," n.d.)

Este tipo de montajes no suele ser muy empleado en robótica móvil porque para realizar la reducción de voltaje se emplea energía para producir calor, con lo cual se reduce la eficiencia energética del sistema.

Fuentes conmutadas: Este tipo de fuentes son las más novedosas y las más usadas en la actualidad por dos razones fundamentales. La primera es su eficiencia energética que ronda entre el 70% y el 90%. La segunda razón es el tamaño reducido (en comparación con las fuentes lineales) que pueden llegar a tener.

Según la Wikipedia en su artículo sobre fuentes conmutadas (**“Fuente conmutada,” 2014**), una fuente conmutada es un dispositivo electrónico que transforma energía eléctrica mediante transistores en conmutación. Las fuentes conmutadas utilizan transistores conmutándolos activamente a altas frecuencias (20-100 kilociclos típicamente) entre corte (abiertos) y saturación (cerrados).

La forma de onda cuadrada resultante es aplicada a transformadores con núcleo de ferrita (los núcleos de hierro no son adecuados para estas altas frecuencias porque tienen muchas pérdidas debido a corrientes de Foucault y sobre todo por las grandes pérdidas por histéresis), para obtener uno o varios voltajes de salida de corriente alterna que luego son rectificadas (con diodos rápidos) y filtradas (inductores y condensadores) para obtener los voltajes de salida de corriente continua.

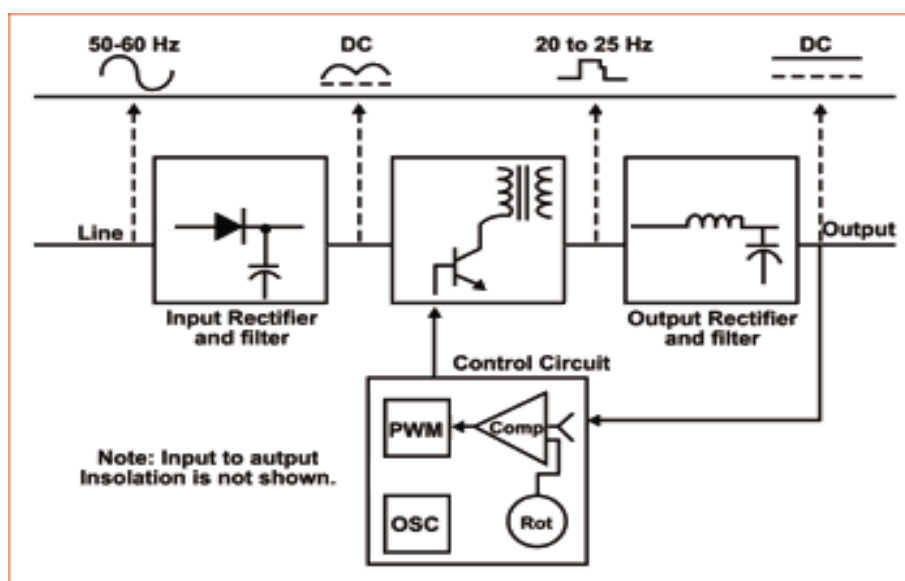


Ilustración 51 Esquema genérico de una fuente de alimentación conmutada (Jonathan, 2014)

Las ventajas y desventajas más representativas de estas fuentes son:

Ventajas:

- Mayor rendimiento.
- Menor peso y tamaño.
- Menor calentamiento.

Desventajas:

- Diseño muy complejo.
- Requieren de filtros para no introducir ruidos generados por las altas frecuencias.

Las fuentes de alimentación conmutadas pueden dividirse en 4 grupos en función del tipo de señal que tenga tanto a la entrada como a la salida:

- Entrada de CA y salida de CC.
- Entrada de CA y salida de CA → También llamada variador de frecuencia.
- Entrada de CC y salida de CA → Conocida como fuente inversora.
- Entrada de CC y salida de CC → Llamada fuente convertora de voltaje.

Otra gran división que puede hacerse entre este tipo de fuentes se determina en función de la tipología de montaje que tengan. A continuación se muestran las más representativas:

- Buck → La tensión de salida es inferior a la tensión de entrada.
- Boost → La tensión de salida es superior a la tensión de entrada.
- Buck-Boost → Permite ambas configuraciones.
- Flyback → Similar que la buck-boost pero permite tener varias salidas.
- Multiplicador de tensión → Permite obtener tensiones de salida mucho mayores que las de entrada.

Es cierto que existen más tipos de topologías aunque son variantes de las anteriormente nombradas que realizan funciones muy específicas.

Puesto que este proyecto se centra en robótica móvil y debido a la gran extensión que ofrece el campo de las fuentes conmutadas, solo se van a tratar las fuentes conmutadas con topología Buck, que son las que pueden ser más útiles para la realización de este proyecto.

4.7.1. Fuente de alimentación Buck

Como indica la Wikipedia en su artículo de fuentes de tipo Buck (**"Convertidor Buck," 2014**), el convertidor Buck (o reductor) es un convertidor de potencia CC/CC sin aislación galvánica, que obtiene a su salida un voltaje continuo menor que a su entrada.

La forma más simple de reducir una tensión continua es usar un circuito divisor de tensión, pero los divisores gastan mucha energía en forma de calor. Por otra parte, un convertidor Buck puede tener una alta eficiencia (superior al 95% con circuitos integrados) y autorregulación.

El funcionamiento del conversor Buck es sencillo, consta de un inductor controlado por dos dispositivos semiconductores los cuales alternan la conexión del inductor bien a la fuente de alimentación o bien a la carga.

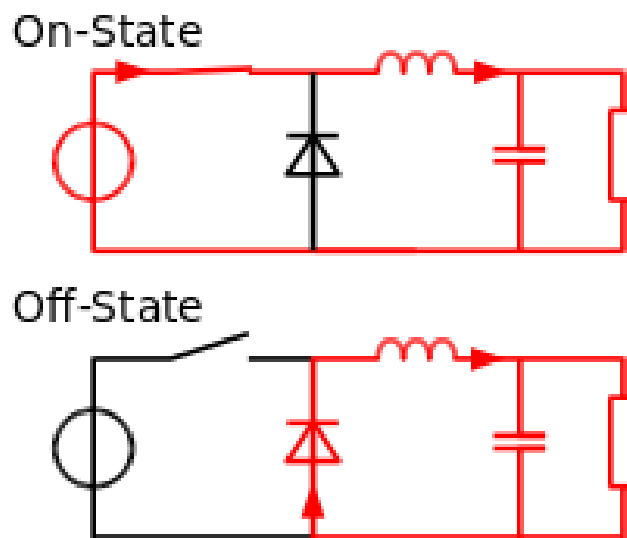


Ilustración 52 Esquema y funcionamiento de una fuente Buck (**"Convertidor Buck," 2014**)

Este tipo de fuentes de alimentación puede trabajar de dos formas diferentes, en modo continuo y en modo discontinuo.

Modo continuo: El convertidor se dice que está modo continuo si la corriente que pasa a través del inductor (I_L) nunca baja a cero durante el ciclo de conmutación. En este modo, el principio de funcionamiento es descrito por el cronograma 1.

Con el interruptor cerrado la tensión en el inductor es

$$V_L = V_i - V_o$$

y la corriente aumenta linealmente. El diodo está en inversa por lo que no fluye corriente por él.

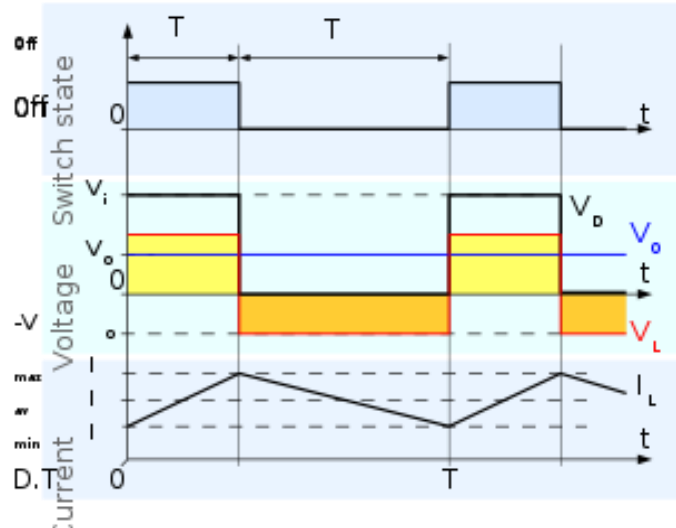


Ilustración 53 Cronograma 1 ("Convertidor Buck," 2014)

Con el interruptor abierto el diodo está conduciendo en directa.

La tensión en el inductor es $V_L = -V_o$ y la corriente disminuye.

La energía almacenada en el inductor es:

$$E = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I_L^2$$

Como puede verse la energía almacenada en la bobina incrementa en estado ON (interruptor cerrado) y decrementa durante el estado OFF (interruptor abierto). La bobina se usa para transferir energía desde la entrada a la salida y la ecuación que rige este modo de funcionamiento es

$$V_o = D \cdot V_i$$

De donde:

V_o → Tensión de salida.

D → Es un valor llamado duty cycle comprendido entre 0 y 1.

V_i → Tensión de entrada.

Modo discontinuo: En algunos casos la cantidad de energía requerida por la carga es tan pequeña que puede ser transferida en un tiempo menor que el periodo de conmutación; en este caso la corriente a través de la bobina cae a cero durante una parte del periodo. La única diferencia con el funcionamiento descrito antes es que el inductor está completamente descargado al final del ciclo de conmutación (ver cronograma 2). Esto tiene algunos efectos sobre las ecuaciones anteriores.

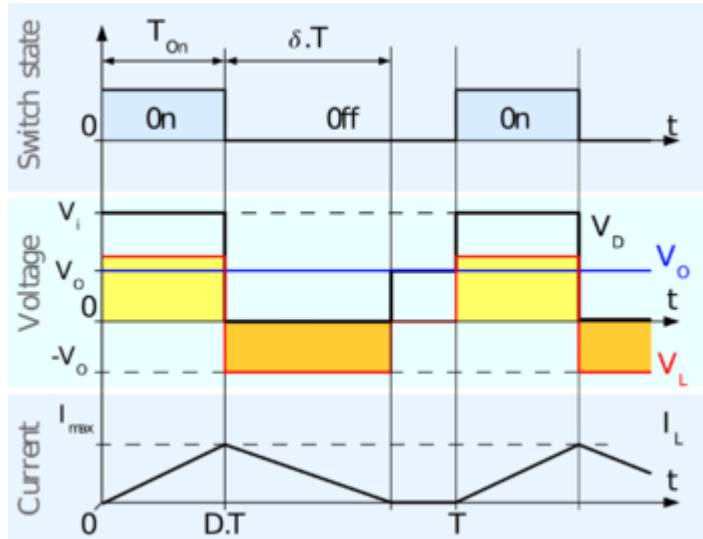


Ilustración 54 Cronograma 2 ("Convertidor Buck," 2014)

La energía en el inductor sigue siendo la misma al principio y al final del ciclo (esta vez de valor cero). Esto significa que el valor medio de la tensión del inductor (V_L) es cero (el área de los recuadros amarillos y naranjas del cronograma 2 es igual).

La corriente de salida entregada a la carga (I_o) es constante. También se supone que la capacidad del condensador de salida es suficientemente alta para mantener constante el nivel de tensión en sus terminales durante un ciclo de conmutación. Esto implica que la corriente que pasa a través del condensador tiene como valor medio cero, así que la corriente media en la bobina será igual a la corriente de salida y por lo tanto la ecuación que rige el sistema queda de la siguiente forma:

$$V_o = V_i \cdot \frac{1}{\frac{2 \cdot L \cdot I_o}{D^2 \cdot V_i \cdot T} + 1}$$

Como se puede ver, la tensión de salida de un convertidor Buck en modo discontinuo es más complicada de calcular que en modo continuo. Además la tensión de salida es función no sólo de la tensión de entrada (V_i) y el ciclo de trabajo (D), sino también del valor de la bobina (L), el periodo de conmutación (T) y la corriente de salida (I_o).

4.8. ATOMIZADORES

Se ha creído conveniente incluir en esta sección los atomizadores porque son un mecanismo de reducido tamaño y consumo energético bajo que podría ser de interés a la hora de elegir un método de limpieza vasado en vapor.

Un atomizador es una parte vital para los cigarrillos electrónicos, es el capuchón transparente que suele estar entre la boquilla y la batería.



Ilustración 55 Partes de un cigarrillo electrónico (admin, n.d.)

Es una pieza donde se mete el líquido que se va a vaporizar, ese líquido pasa por la resistencia que lo transforma en vapor y lo envía directamente por un tubo a la boquilla para ser inhalado.

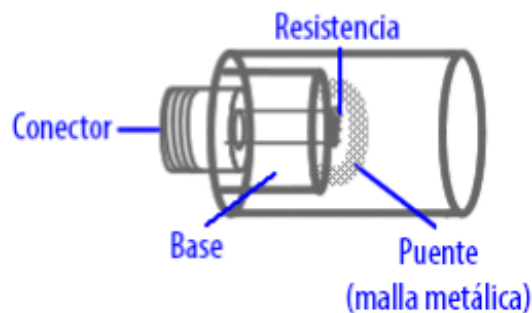


Ilustración 56 Estructura básica de un atomizador ("Partes del cigarrillo electrónico," n.d.)

Según la web www.elcigarrodevapor.com ("**Partes del cigarrillo electrónico,**" n.d.), existen dos tipos de atomizadores:

- El cartomizador: Nace de la idea de unificar el atomizador y el cartucho de líquido en una sola pieza. De esta forma se gana en autonomía, ya que son capaces de albergar más cantidad de fibra en su interior, y se consigue un sistema más cómodo de manejar. Su rendimiento es bastante aceptable, pero han sido relevados, al igual que todos los anteriores sistemas, por los claromizadores, de los cuales hablaremos más adelante.



Ilustración 57 Cartomizador ("**Partes del cigarrillo electrónico,**" n.d.)

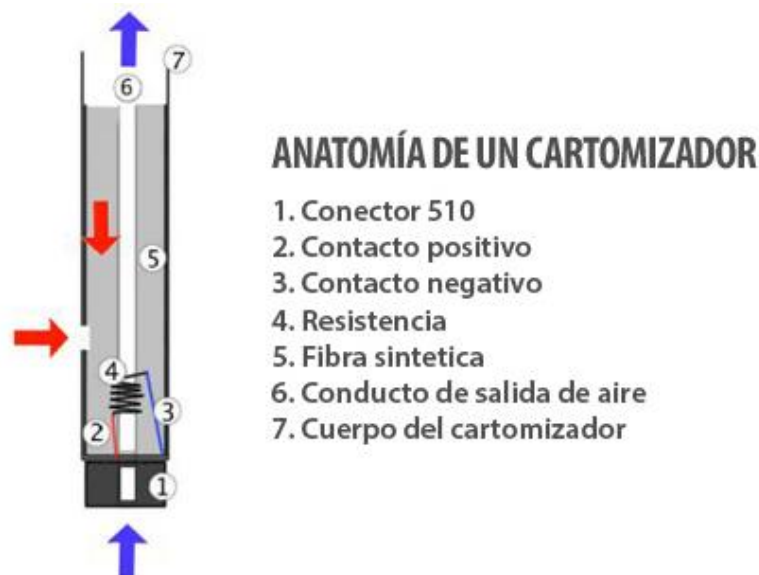


Ilustración 58 Partes de un cartomizador ("**Partes del cigarrillo electrónico,**" n.d.)

- El claromizador: Este tipo de atomizador tiene una capacidad aceptable (suelen rondar los 2 o 3ml en función del modelo), una reducción de la fibra al mínimo haciendo uso de mechas de fibra de vidrio que drenan el líquido hacia la resistencia y proporcionan una gran cantidad de vapor. Incluso la calidad de fabricación va en aumento según van apareciendo más y mejores claromizadores, pudiendo ver en la actualidad incluso algunos fabricados en acero inoxidable y con depósito de cristal en lugar de plástico. Este sistema además tiene el añadido de que es fácilmente reparable por el usuario, ya sea comprando piezas de recambio, o bien haciendo las mechas de fibra que pueden encontrarse a muy bajo precio.



Vista exterior de un cabezal de claromizador



RESISTENCIA DE UN CLAROMIZADOR

Se puede apreciar como el hilo da vueltas sobre la mecha de fibra



Ilustración 59 Mecha y resistencia de un claromizador ("Partes del cigarrillo electrónico," n.d.)

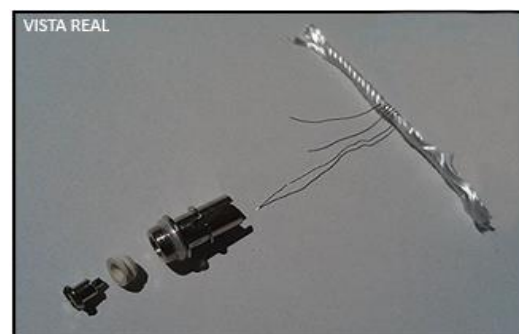
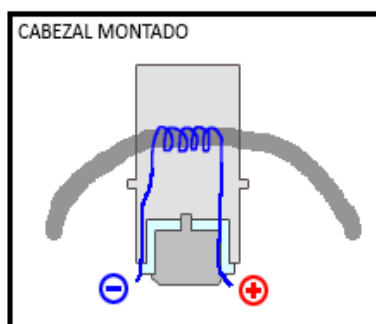


Ilustración 60 Vista interior y exterior ("Partes del cigarrillo electrónico," n.d.)

Ambos tipos de atomizadores se caracterizan por:

- **Sistema de drenado** → Esto se refiere a la forma en que el líquido fluye hacia la resistencia. Existen principalmente dos: mediante relleno de fibra sintética de perlón o polyfill (Cartomizadores) o mediante mechales de fibra de vidrio o sílice (Claromizadores).



Ilustración 61 Sistema de drenado (“Partes del cigarrillo electrónico,” n.d.)

- **Valor de la resistencia** → La resistencia se mide en ohmios, y dependiendo de la cantidad de ohmios de la que disponga el atomizador por normal general, a menos ohmios, más potencia obtendremos, y por tanto, más vapor. Estas resistencias están hechas de hilo resistivo de nicrom o kanthal.
- **Posición de la resistencia** → La resistencia puede situarse en la parte superior del consumible o en la parte inferior. Al primer sistema se le denomina “top-coil” y su característica es una producción de vapor más cálido. Al segundo, se le denomina “bottom-coil” y el vapor es más frío. El rendimiento es bueno en ambos casos.

- **Cantidad de resistencias** → Con el fin de conseguir un mejor rendimiento, algunos atomizadores funcionan con más de una resistencia, lo que se traduce en más potencia y más consumo energético. Estos sistemas se denominan comúnmente “dual-coil” (dos resistencias) o incluso “triple-coil” (tres resistencias). Esta característica de múltiples resistencias fue muy habitual en cartomizadores, y se está empezando a ver también en el sistema que lo sucede, los claromizadores.



Ilustración 62 Dual-coil y triple-coil (“Partes del cigarrillo electrónico,” n.d.)

- **Capacidad** → Con el tiempo se han ido creando atomizadores con capacidades superiores, a costa de un depósito de tamaño más grande, debido a las exigencias cada vez más altas de los usuarios en cuanto a autonomía se refiere. De esta forma, han ido proliferando sistemas que pueden albergar más cantidad de líquido, llegando incluso hasta 5 o 6 mililitros. Estos sistemas de gran capacidad se denominan comúnmente “tanquetas”.



Ilustración 63 Capacidad de los atomizadores (“Partes del cigarrillo electrónico,” n.d.)

Por último, cabe destacar la aparición de consumibles desmontables y con piezas intercambiables, lo que facilita enormemente su limpieza y los hace mucho más económicos al tener la posibilidad de cambiar las piezas que se van desgastando con el uso en lugar de tener que adquirir un nuevo consumible completo.



Ilustración 64 Tipos de consumibles (“Partes del cigarrillo electrónico,” n.d.)

4.9. SENSORES

Dado que el campo de los sensores es demasiado extenso, este estudio se va a centrar únicamente en sensores que puedan ser de utilidad en la resolución del diseño de este proyecto. Por ello, se centrará el estudio sobre los siguientes tipos de sensores:

- Sensores infrarrojos (IR).
- Sensores de contacto (Bumpers).
- Sensores de vibración.
- Sensores de temperatura.
- Sensores para medir el nivel de agua.
- Unidad de medición inercial (IMU).

Sensores infrarrojos (IR):

Un sensor de infrarrojos es un dispositivo capaz de medir la luz infrarroja, invisible para el ojo humano, y transformar esa lectura en señal eléctrica capaz de ser interpretada por un microcontrolador.

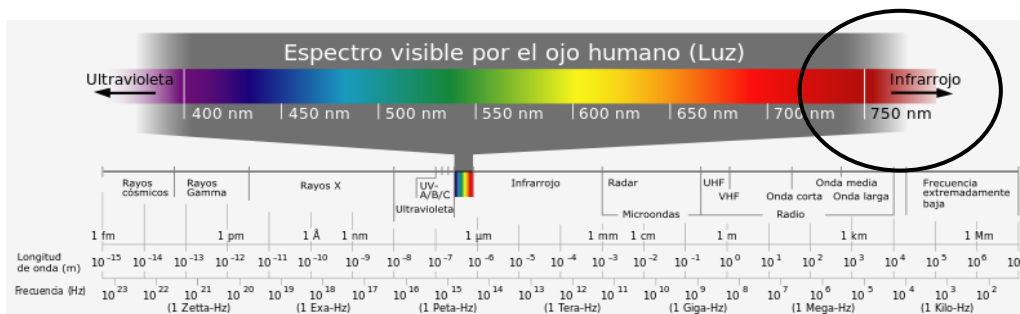


Ilustración 65 ("Espectro electromagnético," 2015)

El funcionamiento de este tipo de sensores es muy simple, los rayos infrarrojos (IR) que inciden en el sensor, van a parar a un fototransistor que hay en su interior. Este fototransistor se diferencia de un transistor común porque su base ha sido sustituida por un cristal fotosensible que regula el flujo de corriente colector-emisor en función de la luz incidente sobre él.

Los sensores infrarrojos usados para evitar los escalones o las caídas de grandes alturas en robots móviles son sensores reflexivos de señal modulada.

Estos dispositivos disponen tanto de emisor como de receptor de luz infrarroja y son capaces de medir distancias en función al ángulo de recepción de la luz que incide sobre el receptor. La señal de salida producida por estos sensores puede ser tanto analógica como digital en función del modelo.

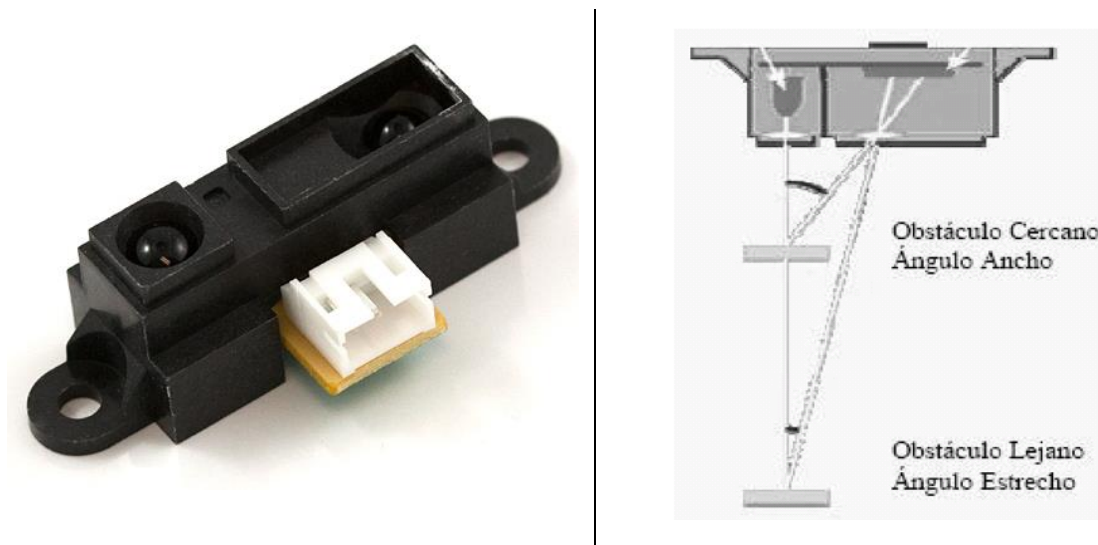


Ilustración 66 Sensor infrarrojo reflexivo (Zambrano Escobar & Pinto Mindiola, 2009)

Estos sensores suelen estar colocados en los extremos de los robots y enfocados hacia el suelo. De esta forma cuando detectan un escalón o un fuerte desnivel envían un pico de tensión al microcontrolador para pueda tomar las acciones pertinentes ante esta situación.

Ventajas:

- Funcionan bien en ambientes sucios, húmedos o con polvo.
- Al funcionar con luz, son muy rápidos realizando su cometido.

Inconvenientes:

- La luz infrarroja no rebota sobre superficies muy oscuras o negras.
- El emisor y el receptor deben estar alineados de forma precisa.

Sensores de contacto (Bumpers):

Estos sensores pueden ser de dos tipos, de tipo interruptor o de tipo conmutador. Su funcionamiento es exactamente igual al de los interruptores y conmutadores usados en instalaciones eléctricas domésticas. Sus dos únicas diferencias son que su tamaño es mucho más reducido y que si no se aplica una fuerza constante siempre vuelven a su estado de reposo.

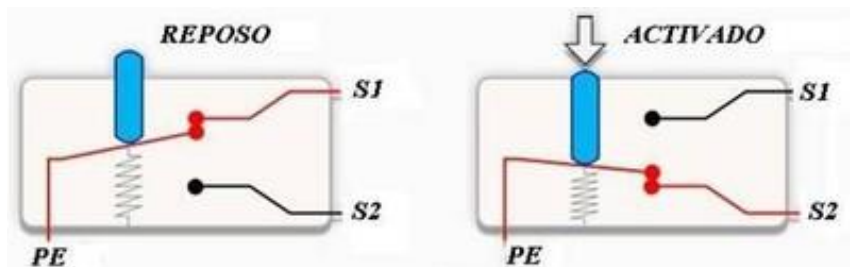


Ilustración 67 Funcionamiento de un micro conmutador ("Resultados de la Búsqueda de imágenes de Google de [http,](http://)" n.d.)

Este tipo de sensores es usado para detectar obstáculos por colisión. El sensor está siempre en estado de reposo mandándole a microcontrolador un 0 lógico hasta que choca contra un obstáculo. En ese momento cambia de posición y manda al micro un 1 lógico. Una vez que el robot se aleja del obstáculo con el que ha colisionado, el sensor vuelve a su estado de reposo y por lo tanto al 0 lógico. Esta forma de programación del sensor puede invertirse si se desea.

Obviamente, al tratarse de un sensor por choque, es recomendable usar velocidades bajas de desplazamiento para no dañar al robot ni al obstáculo con el que choca.



Ilustración 68 Tipos de micro interruptores ("Gikoka/micro interruptor z-15g-Interruptores micro-Identificación del producto," n.d.)

Sensores de vibración:

Los sensores de vibración son dispositivos piezoeléctricos. Su funcionamiento se basa en generar una pequeña corriente cuando su cuerpo principal se mueve hacia adelante y hacia atrás.



Ilustración 69 Sensores de vibraciones (Flor, 2013)

Este tipo de sensores es usado por la marca IROBOT para detectar cuando pasan restos sólidos por los conductos de aspiración de sus robots. Si este sensor detecta muchas vibraciones manda una señal al microcontrolador para que active la función de limpieza especial, haciendo que el robot se concentre en la zona donde ha encontrado más suciedad y de varias pasadas para no dejar nada en el suelo.

Ventajas:

- Sensores activos, no requieren fuente de alimentación.
- Pueden llegar a ser muy pequeños.
- Se pueden adaptar a muchas superficies.

Inconvenientes:

- Son sensores analógicos.
- Requieren de un acondicionamiento de la señal.
- Si no están bien sujetos pueden producir lecturas erróneas.

Sensores de temperatura:

Los sensores de temperatura son dispositivos que transforman las variaciones de temperatura en señal eléctrica para poder ser leída por un microcontrolador.

Existen tres tipos de sensores de temperatura: los termopares, los termistores y los RTDs (del inglés *Resistance Temperature Detector*).

Termopar: Este sensor está formado por dos metales distintos que producen una diferencia de potencial (generalmente de milivoltios) en función de la temperatura entre el extremo caliente (punto de medición) y el extremo frío (punto de referencia).

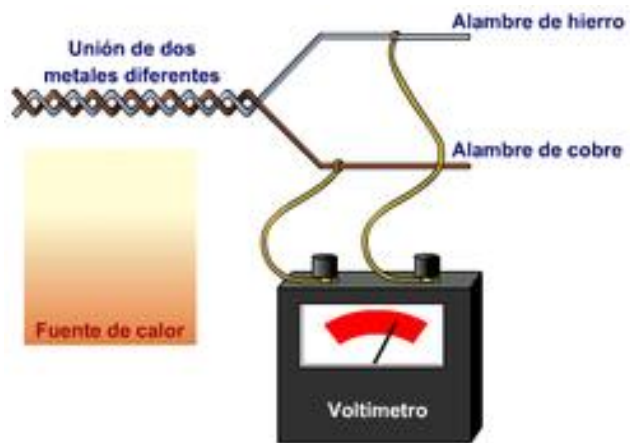


Ilustración 70 ("Termopar," 2014)



Ilustración 71 ("Termopar," 2014)

En función del rango de temperaturas que deseamos medir existen diferentes tipos de termopar: tipo K, tipo E, tipo J, tipo T, tipo N, tipo B, tipo R y tipo S.

Ventajas:

- Son económicos.
- Pueden medir un amplio rango de temperaturas.
- Disponibles en diferentes formatos.

Inconvenientes:

- No son muy precisos.
- Requieren de un acondicionamiento de la señal.
- No son lineales.

Termistor: Estos sensores son del tipo resistivo. Su funcionamiento se basa en el comportamiento de la resistencia de los semiconductores en función de la temperatura.

Existen los termistores tipo NTC (al aumentar la temperatura, disminuye la resistencia) y los termistores tipo PTC (al aumentar la temperatura, aumenta la resistencia).



Ilustración 72 Tipos de termistores ("Termistor PTC chroniący przedprzeciążeniem," n.d.)

Ventajas:

- Son económicos.
- Sensibilidad elevada.
- Existen en tamaños muy reducidos.

Inconvenientes:

- No son lineales.
- Rango pequeño de funcionamiento.

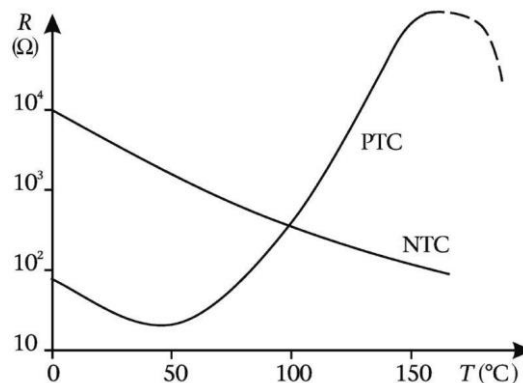


Ilustración 73 Curva de funcionamiento de un termistor (Johnny_4electronica3, 2011)

RTD: Son sensores basados en la variación de la resistencia de un conductor con la temperatura. Al calentarse un metal habrá una mayor agitación térmica, dispersándose más los electrones y reduciéndose su velocidad media, aumentando la resistencia. A mayor temperatura, mayor agitación y mayor resistencia.

Los metales empleados normalmente como RTD son platino, cobre, níquel y molibdeno. De entre los anteriores, los sensores de platino son los más comunes por tener mejor linealidad, más rapidez y mayor margen de temperatura.



Ilustración 74 Tipos de RTD ("RTD," 2014)

Ventajas:

- Alta linealidad.
- Respuesta rápida del sensor.
- Existen en tamaños muy reducidos.

Inconvenientes:

- Baja sensibilidad.
- Mayor precio que los anteriores.

La variación de temperatura de estos sensores viene dada por la siguiente fórmula:

$$R = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T)$$

Donde:

R = Resistencia final.

R_0 = Resistencia a la temperatura de referencia.

α = Coeficiente específico de cada tipo de RTD.

ΔT = Variación de la temperatura.

Sensores para medir el nivel de agua:

Existen cuatro tipos principales de sensores para medir niveles de agua: ópticos, de flotador, capacitivos y por ultrasonidos.

Sensor óptico: Se trata de un pequeño sensor de nivel para líquidos transparentes, como el agua.



Ilustración 75 Tipos de sensores ópticos (“de fibra óptica de nivel de líquido del sensor de nivel de agua del sensor lle101000-Sensores-Identificación del producto,” n.d.)

Este sensor emite una luz infrarroja que se refleja en su propia punta semiesférica y vuelve al interior cuando el nivel de agua está bajo. Cuando está en contacto con el agua, la luz se refracta hacia afuera y no es detectada por el sensor

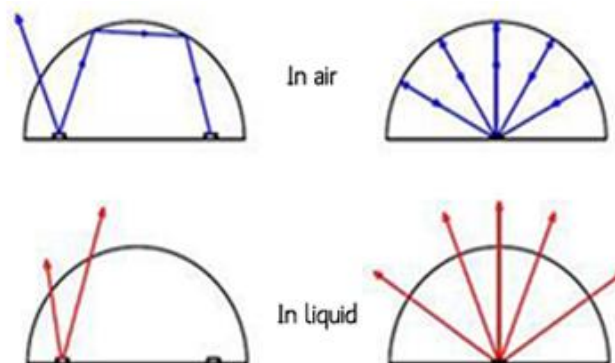


Ilustración 76 Funcionamiento de un sensor óptico (“de fibra óptica de nivel de líquido del sensor de nivel de agua del sensor lle101000-Sensores-Identificación del producto,” n.d.)

Ventajas:

- No tienen partes mecánicas.
- Pueden usarse en lugares sometidos a presión.

Inconvenientes:

- Coste elevado.
- Solo miden lleno o vacío, no hay posiciones intermedias.

Sensor de flotador: Este tipo de sensor es el más antiguo y su funcionamiento es el más sencillo. En un extremo dispone de un flotador móvil, que estará en contacto con el agua, y en el otro dispone de un contacto. Cuando el nivel del agua está bajo, el flotador permanece en su posición más baja y el contacto estará cerrado.

En cuanto el nivel del agua comience a subir, arrastrará al flotador hacia su posición superior haciendo que el contacto se abra. Este sistema también puede funcionar a la inversa como muestra la ilustración 75.



Ilustración 77 ("1 Sensor Nivel Agua Angulo Recto Flotador Líquidos Tanques - \$ 27.000," n.d.)

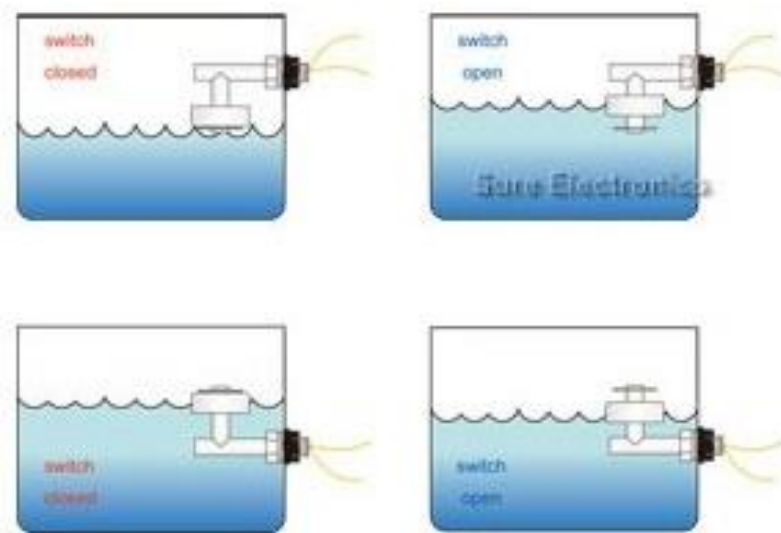


Ilustración 78 Funcionamiento de un sensor de flotador ("1 Sensor Nivel Agua Angulo Recto Flotador Líquidos Tanques - \$ 27.000," n.d.)

Ventajas:

- Coste reducido.
- Fácil instalación.

Inconvenientes:

- Solo miden lleno o vacío, no hay posiciones intermedias.
- El flotador es susceptible de agarramientos por la cal.

Sensor capacitivo: Este tipo de sensor basa su funcionamiento en la variación de la constante dieléctrica entre las placas de un condensador. Cuando el líquido penetra en el campo eléctrico que hay entre las placas sensor, varía el dieléctrico, variando consecuentemente el valor de capacitancia.

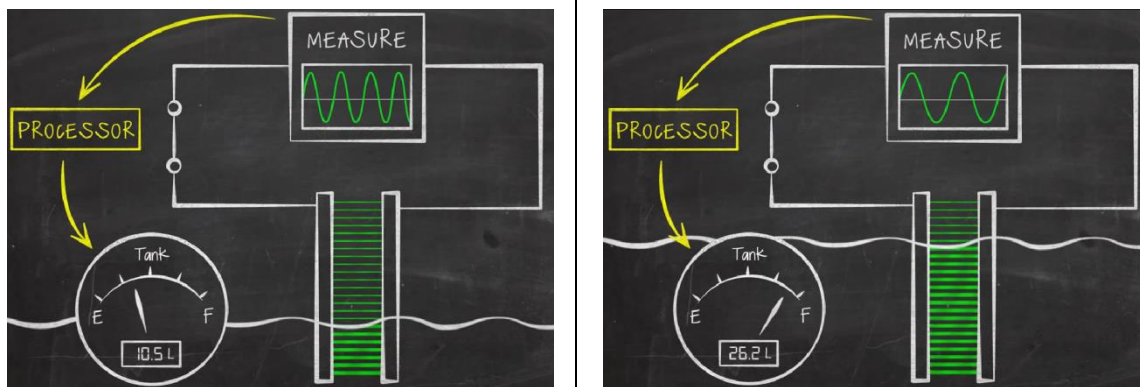


Ilustración 79 Funcionamiento de un sensor capacitivo (*Sensores de Nivel de Líquido Capacitivo · Introducción, 2014*)

Ventajas:

- Sensibilidad ajustable.
- Soporta bien el uso continuado.
- No tienen partes móviles.
- Se puede medir el nivel exacto de agua de un depósito pequeño con un solo sensor.

Inconvenientes:

- Pueden llegar a ser muy grandes.
- Pueden dar lecturas erróneas si se quedan gotas adheridas.
- Los depósitos de cal pueden variar las medidas con el tiempo.



Ilustración 80 Tipos de sensores capacitivos (*Sensores de Nivel de Líquido Capacitivo · Introducción, 2014*)

Sensor ultrasónico: Son detectores de proximidad que trabajan libres de roces mecánicos y que detectan objetos a distancias de hasta 8 m. El sensor emite un pulso sónico a una frecuencia de 40 KHz y mide el tiempo que la señal tarda en regresar. El sensor recibe el eco producido al chocar contra una superficie y lo convierte en señales eléctricas. Estos sensores miden el tiempo de transcurso desde el pulso inicial hasta que reciben el eco, es decir, se valora la distancia temporal entre el pulso de emisión y el pulso del eco (**"Sensor ultrasónico," 2014**).



Ilustración 81 Tipos de sensores ultrasónicos (Barbus, 2014)

Este tipo de sensor quizá sea el más útil ya que con un solo sensor se puede saber el nivel exacto de agua en un recipiente, mientras que con los anteriores había que colocar sensores a diferentes alturas para realizar un seguimiento del nivel del agua en un depósito (excepto con los sensores capacitivos).

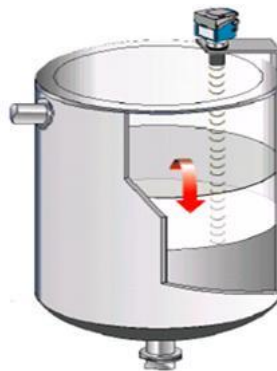


Ilustración 82 Funcionamiento de un sensor de nivel ultrasónico (Coa, n.d.)

El problema de usar ultrasonidos en un hogar es que ciertos animales de compañía son capaces de oír estas frecuencias y su comportamiento frente a estos sensores es muy variado, por eso los fabricantes de robots de limpieza no usan estos sensores en sus productos.

Unidad de Medición Inercial (IMU):

Una unidad de medición inercial (del inglés *inertial measurement unit*) o IMU, según la Wikipedia (**“Unidad de medición inercial,” 2014**) es un dispositivo electrónico que mide la velocidad, orientación y fuerzas gravitacionales, usando una combinación de acelerómetros, giroscopios y en algunos casos magnetómetros.

Los datos recolectados por los sensores de la IMU permiten a un ordenador seguir la posición del aparato, usando un método conocido como la navegación por estima.

Su funcionamiento se basa en la utilización de uno o más acelerómetros, y detectando los cambios en atributos rotacionales tales como el cabeceo, alabeo y guiñada usando uno o más giroscopios (objeto esférico o en forma de disco montado de manera que puedan girar libremente en cualquier dirección, se utiliza para medir la orientación o para mantenerla).



Ilustración 83 (“Giroscopio de tres ejes,” n.d.)

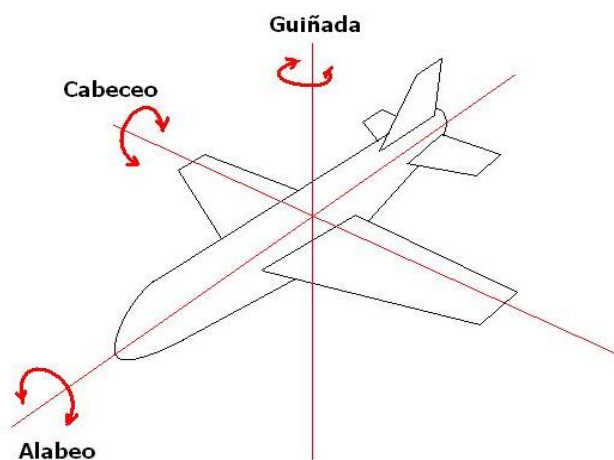


Ilustración 84 Ejes de rotación de una aeronave (“Ejes del avión,” 2014)

El control del posicionamiento se realiza gracias a la navegación por estima que se trata de un procedimiento matemático que utiliza sencillas fórmulas trigonométricas para obtener la ubicación actual haciendo cálculos basados en el rumbo y la velocidad de navegación en función del tiempo. La amplia mayoría de sistemas para robots móviles terrestres que se usan hoy en día, utilizan esta técnica como columna vertebral de su estrategia de navegación. Dicho método de navegación es complementado con la odometría.

Una de las grandes desventajas que presentan las IMU para la navegación, es que son normalmente afectadas por un error acumulativo. Se debe a que el sistema guía está continuamente agregando los cambios detectados a las posiciones previamente calculadas, cualquier error en la medición se va acumulando punto a punto. Esto lleva a una deriva que aumenta siempre entre donde el sistema piensa que se encuentra localizado y la posición real. Por ello es importante complementarlo con un sistema de odometría.

Una IMU suele estar compuesta por una caja que contiene acelerómetros y giroscopios y en función del número que posea de estos puede medir más o menos grados de libertad. Por ejemplo se dice que tiene 6 grados de libertad si tiene 3 acelerómetros y 3 giroscopios (*Aceleración en 3 ejes + Rotación en 3 ejes = 6 GDL*). Los acelerómetros están colocados de tal forma que sus ejes de medición son ortogonales entre sí. De esta forma miden la aceleración inercial también conocida como fuerza G.

Los tres giroscopios están colocados en un patrón ortogonal similar, midiendo la posición rotacional en referencia a un sistema de coordenadas seleccionada de forma arbitraria.

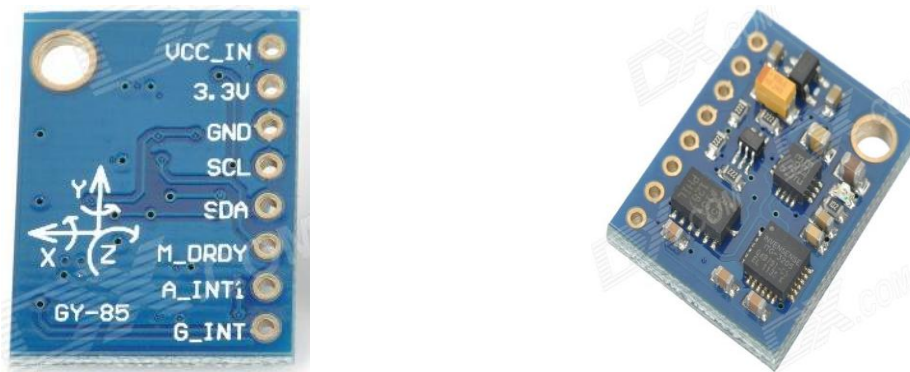


Ilustración 85 IMU de 9 grados de libertad ("FMT-600 2.2" LCD Digital Chromatic Metronome Tuner for Guitar / Bass + More - Black (2 x AAA)," n.d.)

Hoy en día existe la posibilidad de adquirir por separado los sensores que componen una IMU. Esta opción puede ser de utilidad para reducir costes si solo se desea controlar la posición y velocidad de un vehículo en un solo plano, reduciendo los grados de libertad necesarios.

4.10. SISTEMAS DE LIMPIEZA

Uno de los apartados más importantes del proyecto es sin duda este. Aquí se van a tratar las opciones disponibles en sistemas de limpieza inalámbricos, para poder ser implantadas en el diseño del robot.

Se ha creído conveniente dividir este apartado en los siguientes subapartados:

- Sistemas de aspirado.
- Sistemas de fregado.
- Sistemas complementarios.

Sistemas de aspirado:

Los sistemas actuales de aspiración adaptados a robots de limpieza constan de un motor de corriente continua el cual lleva acoplado unas palas que al girar producen el efecto de aspiración. Este tipo de motores suelen ser motores con un índice de revoluciones entre las 5.000 r.p.m. y las 8.000 r.p.m. dependiendo del modelo de robot.

Estos motores generan un flujo de aire que al ser canalizado y con ayuda de unos cepillos, absorben los restos sólidos de suciedad del suelo.



Ilustración 87 Flujo de aire canalizado (“¿Qué hace ideal para mascotas a una Roomba 800?,” 2015)



Ilustración 86 Motor de aspiración de Roomba 800 (“¿Qué hace ideal para mascotas a una Roomba 800?,” n.d.)

El flujo de succión producido por estos motores pasa por unos filtros HEPA para evitar que la suciedad llegue hasta el motor.



Ilustración 88 Tipos de filtros HEPA (“¿Qué tipo de filtro usa mi Roomba?,” n.d.)

Aunque este tipo de filtros es de alto rendimiento, está demostrado que con el uso van perdiendo efectividad porque se obstruyen con la suciedad, lo que conlleva una pérdida de potencia de succión y deben ser limpiados o sustituidos por unos nuevos.

Cabe destacar un sistema de aspirado considerado actualmente como el más potente del mercado con un reducido tamaño. El sistema de aspirado Cyclón, está desarrollado y patentado por el ingeniero británico James Dyson.

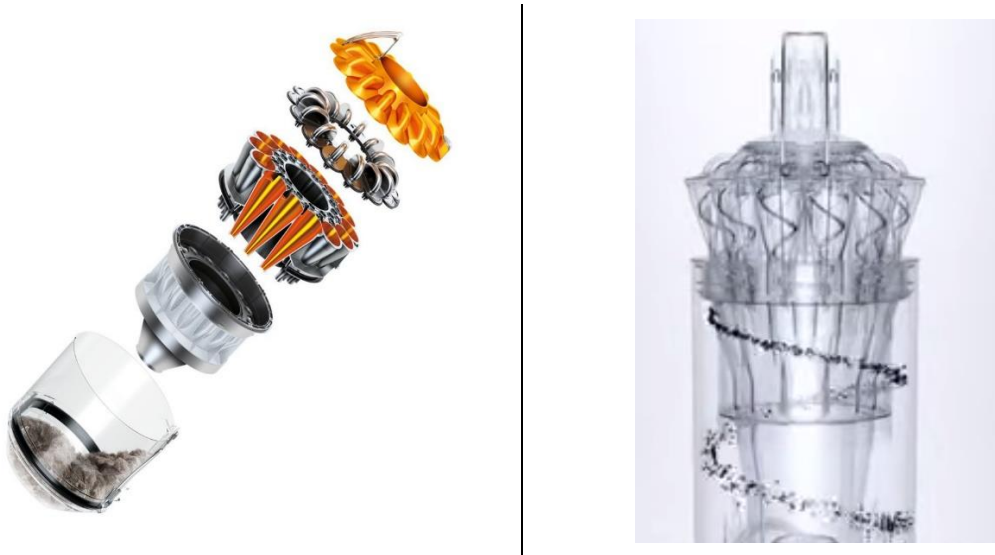


Ilustración 89 Sistema de aspirado Cyclón (Dyson DC42 Multi Floor Upright Vacuum at Sears, 2012)

Este sistema ofrece una gran potencia de aspiración y un rendimiento constante puesto que sus filtros permanecen siempre limpios gracias a que en sus conductos se generan unas corrientes en forma de tornado que separan el polvo y la suciedad del aire normal debido a las fuerzas centrífugas, haciendo que la suciedad se acumule en un depósito y el aire fluya libremente a través de todo el circuito.

Pero este sistema simplemente es una forma óptima de canalizar el aire para reducir al máximo las pérdidas. Lo verdaderamente destacable de las aspiradoras Dyson de mano son sus motores digitales también patentados.



Ilustración 90 Motor digital Dyson (“Aspiradoras | Dyson.es,” n.d.)

Este tipo de motor es un motor de reluctancia conmutada que puede alcanzar las 110.000 r.p.m. en su versión más potente, la V6, muy por encima de cualquier competidor (el modelo más potente de ROOMBA solo alcanza las 8.000 r.p.m.), aunque hay que tener en cuenta que las aspiradoras con este tipo de motor son de la gama “sin cables” y por ende su tamaño es mucho mayor que un robot automático. Esta potencia sin precedentes unido a su reducido tamaño hacen de estas aspiradoras una verdadera revolución. Como contrapartida cabe decir que para alcanzar esa potencia, la duración de la batería se reduce considerablemente, entre 15 y 20 minutos de autonomía según el modelo (Datos dados por el fabricante Dyson).



Ilustración 91 Comparativa de tamaño de un motor Dyson con un motor de aspiradora sin cables convencional (*Dyson DC34 - 5 times faster than a Formula 1 engine- Official Dyson video, 2010*)

Sistemas de fregado:

Los sistemas actuales para fregar superficies con pequeños electrodomésticos pueden dividirse en:

- Sistemas con agua.
- Sistemas con vapor.

Sistemas con agua: Este sistema es el más sencillo y consiste simplemente en aplicar agua limpia sobre una superficie para después con ayuda de un cepillo, bayeta, fregona, mopa etc. poder eliminar la suciedad incrustada como lo hace por ejemplo el modelo SCOOBA de la empresa IROBOT (Véase más adelante, el capítulo de estado de la cuestión).

Para aplicar agua desde un depósito hasta el suelo puede usarse un sistema de caída por gravedad o se puede hacer uso de algún tipo de micro bomba de agua.

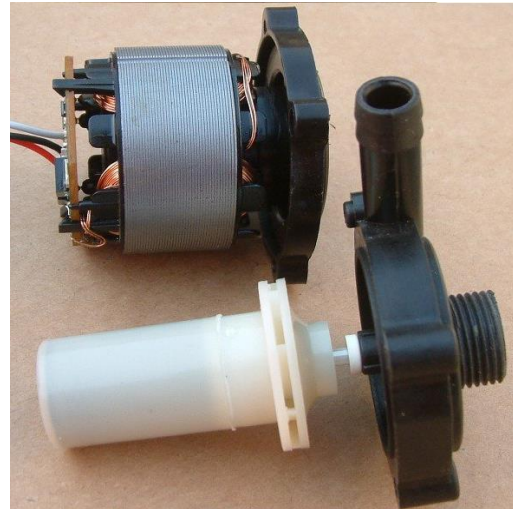


Ilustración 92 Micro bomba de agua ("DC línea de velocidad de motores más frías de agua de la bomba 12V No sin escobillas en Tienda Especial de Electrónica de Consumo en AliExpress.com | Alibaba Group," n.d.)

Una vez se ha aplicado agua sobre la superficie a tratar y habiendo hecho uso de algún tipo de rodillo rascador o trapo para eliminar la suciedad incrustada, se debe recoger el agua sucia por medio de un paño, un motor de aspiración u otro método.

Existe también la posibilidad de esparcir agua pulverizada para cubrir un rango más amplio. Según la Wikipedia (**"Atomizador," 2013**), cuando se inyecta aire a presión a través de un tubo que disminuye de sección, sufre una aceleración, lo que reduce la presión en el punto más estrecho (debido al principio de Bernoulli).

La presión reducida absorbe, a través de un tubo estrecho, el líquido del recipiente inferior (de hecho puede estar en cualquier posición mientras llegue el líquido al orificio), debido a la diferencia de presión existente entre los dos puntos, y lo proyecta hacia delante en forma de una fina lluvia de pequeñas gotas (no de átomos a pesar del nombre).

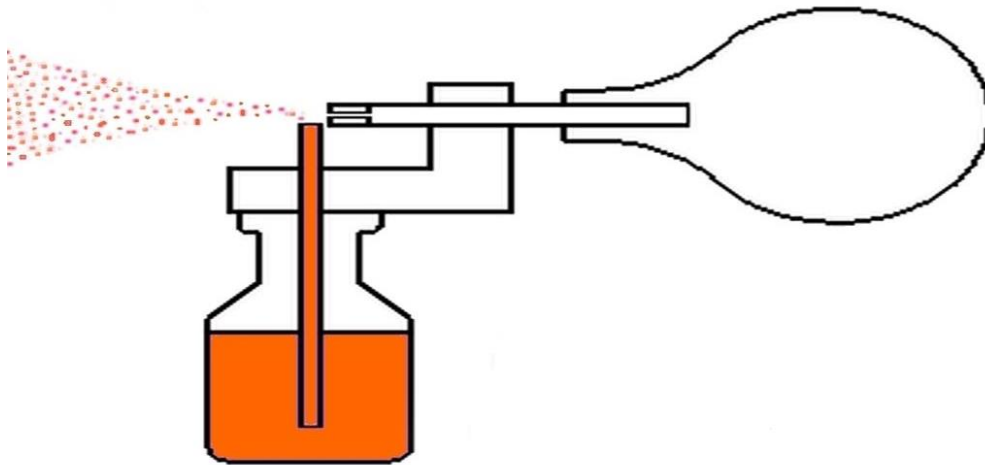


Ilustración 93 Principio de funcionamiento de un pulverizador (**"Atomizador," 2013**)

Este sistema podría aprovechar el aire de salida generado por el motor de aspiración para pulverizar agua limpia sobre el suelo.

Sistemas con vapor: Actualmente existen sistemas de limpieza basados en vapor de agua, generalmente a presión, que aportan la ventaja de la desinfección por altas temperaturas que el sistema por agua no tiene.

La temperatura mínima para matar bacterias transmitidas por alimentos es de 73 °C, aunque se recomienda una temperatura de 100 °C para eliminar una amplia variedad de gérmenes. Se necesita una temperatura de 54 °C para matar ácaros de polvo.



Ilustración 94 Desinfección con vapor (“Desinfección por vapor es muy útil para la limpieza del equipo o utensilios y consiste en un chorro de vapor a presión sobre el artefacto.,” n.d.)

Generalmente estos sistemas funcionan de la siguiente forma: Se añade agua en un depósito; Pasa corriente por una resistencia interna haciendo que esta se caliente, calentando esta a su vez el agua del depósito hasta llegar al punto de ebullición. Por medio de un termostato interno se va controlando la temperatura para que no baje ni suba de ciertos valores. Al pulsar el botón de limpieza, estos aparatos hacen salir el vapor por una válvula hacia el exterior.



Ilustración 95 Vaporeta de mano (Solac Ecogenic Pro 15 LV1450 - Limpiavapor ergonómico, 1400 W, apertura sin rosca, listo en 2 min, 35 g/min, radio acción 8 m, n.d.)

Este tipo de sistema tiene como contrapartida dos inconvenientes fundamentales. El primero es el consumo de las baterías, puesto que para obtener vapor de agua, se gasta una cantidad considerable en calentar agua hasta su punto de ebullición.

El segundo inconveniente es que estos sistemas no pueden empezar a limpiar de inmediato, requieren de un tiempo de preparación mientras el agua se está calentando y se obtiene una cierta presión de vapor.

Todos los sistemas de limpieza a vapor usan un mecanismo similar basado en resistencias para calentar el agua.

Teniendo en cuenta que se busca una aplicación móvil y de reducidos consumos energéticos, una opción interesante a la hora de conseguir vapor de agua son los atomizadores, anteriormente descritos.

Sistemas complementarios:

Existen sistemas complementarios a los sistemas principales anteriormente nombrados con los cuales se pueden obtener unos resultados de limpieza mejorados como pueden ser:

- Luz ultravioleta (UV) para la desinfección.
- Rodillos para rascar la suciedad incrustada.

Luz ultravioleta: Según la Wikipedia (**"Radiación ultravioleta," 2015**), se denomina radiación ultravioleta o radiación UV a la radiación electromagnética cuya longitud de onda está comprendida aproximadamente entre los 400 nm y los 10 nm. Esta radiación es parte integrante de los rayos solares y produce varios efectos en la salud, tanto buenos como malos.

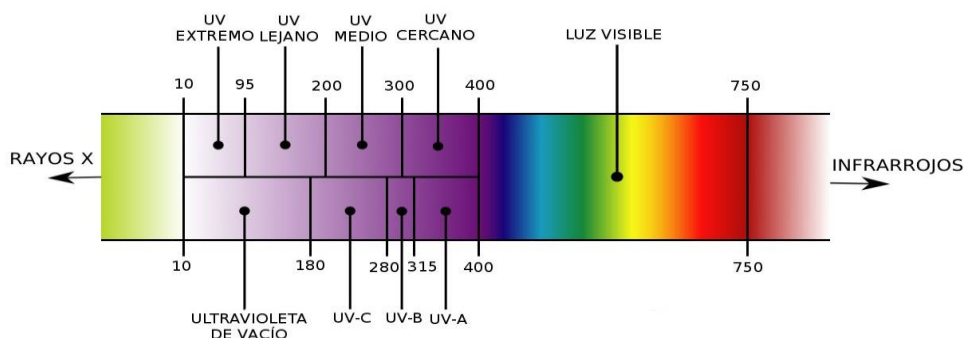


Ilustración 96 Espectro de luz ultravioleta ("La radiación ultravioleta | Tecnología ultravioleta," n.d.)

Según su longitud de onda, se distinguen varios subtipos de rayos ultravioletas:

| Nombre | Abreviación | Longitud de onda (nm) |
|--------------------------------|--------------------|------------------------------|
| Ultravioleta A (onda larga) | UV-A | 400 - 315 |
| Ultravioleta B (onda media) | UV-B | 315 - 280 |
| Ultravioleta C (onda corta) | UV-C | 280 - 180 |
| Ultravioleta de vacío | UV-V | 180 - 10 |

La mayor parte de la radiación ultravioleta que llega del Sol lo hace en las formas UV-C, UV-B y UV-A; principalmente en esta última a causa de la absorción por parte de la atmósfera terrestre. La radiación UV-C (la más perjudicial para la vida) no llega a la superficie de la Tierra al ser absorbida por el oxígeno y el ozono de la atmósfera; la radiación UV-B es parcialmente absorbida por el ozono y solo llega a la superficie terrestre en un porcentaje mínimo, pese a que puede producir daños en la piel.

La luz ultravioleta de onda larga (UV-A) también es conocida como luz negra. Para generar este tipo de luz se usan unas lámparas fluorescentes especiales. En estas lámparas se usa solo un tipo de fósforo en lugar de los varios tipos usados en las lámparas fluorescentes normales. También se reemplaza el vidrio claro por uno de color azul-violeta, llamado cristal de Wood.



Ilustración 97 Lámparas de luz negra usadas para proporcionar luz ultravioleta de onda larga ("Radiación ultravioleta," 2015)

El vidrio de Wood contiene óxido de níquel, y bloquea casi toda la luz visible que supere los 400 nanómetros. El fósforo normalmente usado para un espectro de emisión de 368 nm a 371 nm puede ser tanto una mezcla de europio y fluoroborato de estroncio ($SrB_4O_7:Eu^{2+}$), o una mezcla de europio y borato de estroncio ($SrB_4O_7:Eu^{2+}$), mientras que el fósforo usado para el rango de 350 nm a 353 nm es plomo asociado con silicato de bario ($BaSi_2O_5:Pb^+$).

Entre los daños que los rayos ultravioleta pueden provocar se incluyen el cáncer de piel, envejecimiento de esta, irritación, arrugas, manchas o pérdida de elasticidad, así como afecciones a nivel ocular. También pueden desencadenar lupus eritematoso sistémico.

La esterilización bacteriana con luz ultravioleta es un método más que probado en sectores alimentarios, de tratamiento de aguas e incluso en depuradores de aire, con unas tasas de esterilización microbiana del 99,9 %. La longitud de onda óptima para la acción germicida se encuentra en los 265 nm (UV-C) actuando por penetración en la pared celular y el citoplasma, causando un reordenamiento molecular del ADN de los microorganismos afectados, haciendo imposible su reproducción.

Actualmente existen lámparas y bombillas de luz ultravioleta de uso "doméstico" de los siguientes tipos de radiación ultravioleta:

- Lámparas UV-A → Usados para broncear la piel ([UNE-EN 61228:2008](#)) o para tratar determinadas enfermedades cutáneas como la soriasis. También son usados para verificar la autenticidad de billetes, cuadros, sellos...
- Lámparas UV-B → Tiene menor poder germicida (deben ser usadas durante más tiempo) que las del tipo UV-C pero son empleadas cuando hay riesgo de exposición directa por ser menos perjudiciales para el ser humano.
- Lámparas UV-C → Usadas para la esterilización. Son lámparas de descarga de presión media de vapor de mercurio. Este tipo de longitud de onda es el más peligroso para el ser humano y debe ser tratado según las normas vigentes ([UNE-EN 60335-2-27:2014](#), [UNE-EN 60335-2-109:2011](#)), aunque la venta de estas lámparas está disponible para todos los públicos.

Otro de los aspectos a tener en cuenta con el uso de lámparas UV-C para la desinfección, es la creación de ozono (O_3) por la ionización del aire (con longitudes de onda entre 270 nm y 290 nm). El ozono en pequeñas cantidades produce la irritación de ojos y el aparato respiratorio y aunque se descompone rápidamente en oxígeno (O_2), una exposición prolongada puede tener graves consecuencias para la salud.

Rodillos de limpieza: Este otro sistema complementario se usa en casi todos los robots comerciales actualmente para ayudar a los sistemas principales de limpieza a realizar mejor su función.

Existen varios tipos de rodillos de limpieza en función del tipo de superficie que se desee limpiar:

- Superficies lisas → Este tipo de cepillos tienen las cerdas separadas entre sí y son usados básicamente para arrastrar los restos sólidos hacia las zonas de aspirado.

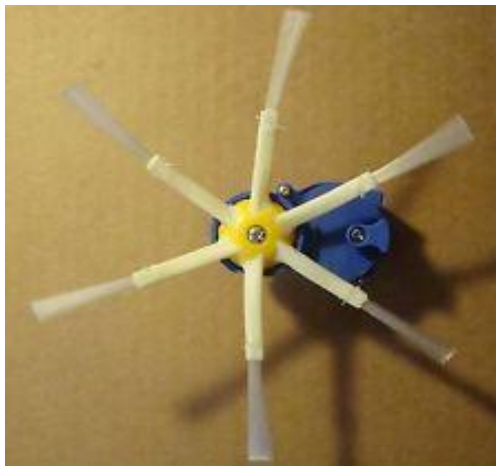


Ilustración 98 Cepillo para superficies lisas (Ivana, n.d.)

Otro tipo de cepillos para superficies lisa son los cepillos de rascado. Estos cepillos son usados para eliminar pequeños residuos sólidos y semilíquidos como por ejemplo el yogurt. La geometría de disposición de las cerdas varía en función de los modelos y su funcionamiento se basa en girar a velocidades medias-altas (llegando a girar a velocidades de hasta 600 r.p.m.), para eliminar este tipo de suciedad.



Ilustración 99 Cepillo de rascado ("iRobot Scooba 450 - Review completa - Robots al Detalle," n.d.)

- Superficies mixtas → Son los rodillos más usados en robots comerciales debido a que en el suelo de las viviendas suelen encontrarse diversos obstáculos como por ejemplo cables, alfombras, desniveles... Estos rodillos suelen estar compuestos por dos tipos diferentes: Uno encargado de limpiar las superficies más irregulares con muchas cerdas que actúan como lo haría una maquina cosechadora, trillando todo lo que encuentra a su paso



Ilustración 100 Cepillo para superficies irregulares (“Cepillos centrales de Roomba,” n.d.)

y otro usado básicamente para ayudar a empujar la suciedad hacia el conducto de aspiración. Este tipo de cepillo es más pequeño que el anterior para dejar pasar las alfombras, los cables, etc. por debajo y así el cepillo más grande puede encargarse de limpiar la gran mayoría de las superficies.



Ilustración 101 Cepillo secundario (“Cepillos centrales de Roomba,” n.d.)

En lugar de cerdas tiene unas tiras planas de goma que al girar provocan turbulencias como lo harían las aspas de un ventilador. Esto hace que la suciedad sea empujada hacia el conducto de aspiración.

- Todo en uno → Algunas marcas comerciales como Samsung, con el fin de reducir el tamaño de sus robots aspiradores intentan integrar en un solo rodillo los dos cepillos comentados anteriormente



Ilustración 102 Cepillo 2 en 1 (“Electrodomesticos Cid - Recambio cepillo Robot Aspirador Samsung VCR8845T3,” n.d.)

aunque esta práctica se está desechando poco a poco porque los resultados con este tipo de cepillos no son del todo buenos.



Ilustración 103 Restos dejados por el cepillo 2 en 1 (*Guerra de aspiradoras robóticas*, 2010)

5. DESARROLLO

Este apartado contiene el desarrollo del diseño del robot friegasuelos, aportando datos técnicos, cálculos, esquemas, etc.

5.1. ESTADO DE LA CUESTIÓN

Este subapartado está enfocado a reunir información de trabajos similares o relacionados con el proyecto a realizar y que puedan servir de apoyo o ayuda en la realización del mismo.

5.1.1. *Antecedentes*

Tras realizar una investigación sobre proyectos anteriormente realizados para el mismo campo de aplicación que deseamos tratar, la limpieza de suelos de forma automática, se ha decidido estructurar este apartado tal y como sigue:

- Robots capaces de fregar el suelo.
- Robots aspiradores.
- Robots de tracción diferencial.

A continuación se muestran ejemplos de proyectos de similar aplicación o relacionados.

5.1.2. *Robots capaces de fregar el suelo*

GAMA SCOوبا:

A día de hoy es el único robot en el mercado capaz de fregar el suelo realmente. Como explicaremos más adelante, existen otros tipos de robot que simplemente son capaces de pasar una mopa húmeda por el suelo o de tolerar humedad en el suelo, pero la gama SCOوبا de la marca IROBOT es única en su campo.

Esta gama está compuesta por tres robots el 230, el 390 y el 450, de menor a mayor tamaño y precio, con características muy similares.

| Características | Scooba 230 | Scooba 390 | Scooba 450 |
|-----------------------------------|--|--|--|
| Capacidad de la batería | NiMH 1300 mAh | NiMH 3000 mAh | NiMH 4100 mAh |
| Autonomía de limpieza | 45 min | 60 min | 60 min |
| Superficie de limpieza (?) | Hasta 14m ² (por ciclo de limpieza) | Hasta 40m ² (por ciclo de limpieza) Hasta 80m ² (por carga de batería) | Hasta 45,7m ² (por ciclo de limpieza) |
| Programable | × | × | × |
| Sistema de limpieza | 3 etapas (?) | 4 etapas (?) | 4 etapas (?) |
| Tiempo de carga | 8 h | 4 h | 3 h |
| Capacidad del depósito | 0,4 L | 0,25 L | 0,7 L |
| Sistema de Navegación | iAdapt® (?) | iAdapt® (?) | iAdapt® (?) |
| Antibacteriano (?) | En un 97% | En un 98% | En un 99,3% |
| Precio (actualizados a 5/08/2014) | 329,00€ 277,08€ | 499,99€ 375,69€ | 448€ 440,56€ (Importación) |

Ilustración 104 Comparativa gama Scooba (tecnología & Artificial, n.d.)

El SCOOBA 230 dispone de dos depósitos de agua, uno para agua limpia y otro para agua sucia. Su funcionamiento se basa en aplicar una pequeña cantidad de agua limpia por su parte delantera (1) para que seguidamente los cepillos que incorpora en su parte posterior sean capaces de sacar mejor la suciedad incrustada en el suelo (2).



Ilustración 105 ("iRobot Scooba 230 - Review completa - Robots al Detalle," n.d.)

Por último, en su parte posterior tiene unos orificios de aspiración por donde aspira el agua sucia (3).



Ilustración 106 (*iRobot Scooba 230 Floor Scrubbing Robot, n.d.*)

En el caso de los SCOوبا 390 y 450, el funcionamiento es parecido al SCOوبا 230 pero incluye además un aspirador delantero. Estos robots solo se diferencian en características como la autonomía, el depósito de agua, la velocidad de carga y el precio. Son idénticos en tamaño y funciones.

Su funcionamiento se realiza de la siguiente forma:

En la primera fase, el robot aspira los restos sólidos que pueda encontrar con el aspirador delantero anteriormente mencionado.

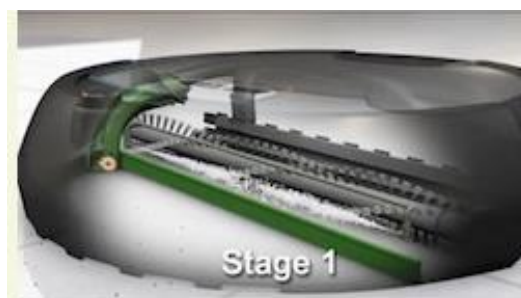


Ilustración 107 Primera fase ("Lavadora tanque cheque de Scooba enfoque para lograr el sueño @ ing," n.d.)

En la segunda fase, el robot expulsa una pequeña cantidad de agua limpia y en la tercera un rodillo que gira a 650 r.p.m. ayuda a arrancar la suciedad incrustada en el suelo.



Ilustración 108 Segunda y tercera fase ("Lavadora tanque cheque de Scooba enfoque para lograr el sueño @ ing," n.d.)

Para terminar, el robot aspira por su parte trasera el agua sucia con los restos que hayan podido quedar.



Ilustración 109 Cuarta fase ("Lavadora tanque cheque de Scooba enfoque para lograr el sueño @ ing," n.d.)

Esta gama de robots friegasuelos dispone además de sensores de led IR para evitar caídas por escaleras o desniveles altos, sensores de detección de obstáculos (finales de carrera), control de trayectoria para asegurarse de limpiar completamente el lugar donde estén operando y función de programación de horas de limpieza.

Así pues, esta gama de robots se convierte en un claro ejemplo a seguir a la hora de realizar este proyecto tanto por su diseño como por sus funciones.

GAMA BRAAVA:

Como se comenta al principio de esta sección, existen también robots capaces de operar con mopas húmedas o de trabajar sobre suelos mojados. Estos robots también pertenecen a la empresa IROBOT y dentro de la gama BRAAVA están el 320 y el 380.

Estos robots no se consideran friegasuelos como tal puesto que no disponen de depósitos de agua ni aspiran la suciedad, simplemente basan su funcionamiento en una mopa que limpia el suelo mientras está limpia pero que al cabo de un tiempo solo esparce la suciedad por el suelo.



Ilustración 110 ("iRobot Braava 320," n.d.)

El BRAAVA 320 solo puede usar la gamuza seca mientras que el BRAAVA 380 puede usar un complemento para la mopa con un pequeño depósito de agua para hacer que esta se humedezca. Este depósito de agua va liberando agua sobre la gamuza poco a poco, manteniéndola húmeda durante el periodo de funcionamiento del robot.



Ilustración 111 ("Suelta el mango y pásate a Roomba," n.d.)

Según las pruebas realizadas por los usuarios, al principio el robot se comporta de forma eficiente pero al cabo de un rato, en la mayoría de los casos, el resultado no es nada satisfactorio puesto que la suciedad o el polvo se mezcla con el agua y forman una capa que el BRAAVA se encarga de extender por toda la habitación.



Ilustración 112 Funcionamiento del BRAAVA ("Robot Friegasuelos Archives - ¿Qué robot aspirador necesitas?," n.d.)

Esta gama de robots está más enfocada para abrillantar suelos que ya están limpios o con un nivel de suciedad muy pequeño, por lo tanto no es un ejemplo muy útil para este proyecto.

5.1.3. *Robots aspiradores*

Son muchas las marcas que actualmente disponen de modelos de robots para la limpieza de suelos (aspiradores), es por eso que se ha creído conveniente mentar solo los más relevantes en este sector, porque de lo contrario esta sección se volvería demasiado extensa.

GAMA ROOMBA:

La gama de los famosos robots aspiradores de la marca IROBOT está compuesta a día de hoy por cuatro series:

- Serie 500 → 520, 521, 530, 531, 555, 565 PET, 581 y 585.
- Serie 600 → 620, 630, 650, 651 y 660.
- Serie 700 → 760, 765, 770, 775 PET, 780, 785 y 790.
- Serie 800 → 870 y 880.

La principal característica de estos robots es su capacidad sobresaliente de limpieza en seco (solo aspiran/barren), junto con el potente software de navegación *IA-dapt*, incluido en su programación, que asegura una limpieza completa del lugar en que realicen su trabajo.

Como complementos estos robots llevan sensores anticáidas (led IR), sensores antiobstáculos (micro interruptores), sensores que detectan la suciedad (sensores de vibración), sensores de depósito de basura lleno, sensor "go home" para localizar la base de carga cuando la batería está casi agotada (sensores IR) y sensores en las ruedas para detectar si el robot se ha quedado bloqueado (micro interruptores).

La forma de trabajar de estos robots es básicamente el mismo para todos los modelos, siendo las únicas diferencias la autonomía de la batería, la potencia de aspiración, el ruido producido, el tamaño del depósito de basura o los tipos de rodillos usados.

Su funcionamiento está dividido en tres etapas. En primer lugar, un rodillo lateral es el encargado de recoger la suciedad de las esquinas y de los huecos de difícil acceso e introducirla en los rodillos centrales (1). La segunda etapa consiste en dos rodillos giratorios enfrentados que recogen la suciedad y la elevan del suelo (2). Por último el motor aspirador se encarga de depositar esta suciedad en el depósito de basura (3).



Ilustración 113 (iRobot Roomba 760 - Robot aspirador, n.d.)

GAMA NAVIBOT:

El fabricante SAMSUNG también dispone de robots aspiradores para el hogar. Su gama NAVIBOT está compuesta por los modelos SR8845, SR8855 y SR8895.



Navibot SR8895



Navibot SR8855



Navibot SR8845

| Diferencias | | | |
|---------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Control | Control táctil | Control táctil | Control botón |
| Capacidad de depósito (L) | Capacidad de depósito 0,6 (L) | Capacidad de depósito 0,6 (L) | Capacidad de depósito 0,6 (L) |
| Tipo de filtro | Filtro HEPA 11 | Filtro HEPA 11 | Micro |
| Eficiencia de limpieza | Eficiencia de limpieza | Eficiencia de limpieza | Eficiencia de limpieza |
| Con o sin bolsa | sin bolsa | sin bolsa | sin bolsa |

| Comparativa Completa | | | |
|--------------------------|--------------|-------------|------------|
| Características | | | |
| Color Frontal | Negro | Azul espejo | Rojo fuego |
| Tiempo de recarga | 120 min | 2 horas | 2 horas |
| Tipo de Cepillo | 3 rotatorios | Rotatorio | Rotatorio |
| Accesorio Virtual Guard | 2 | 2 | 1 |
| Detector de obstáculos | Sí | Sí | Sí |
| Detector de escalones | Sí | Sí | Sí |
| Paragolpes | Sí | Sí | Sí |
| Gestión remota | Sí | Sí | Sí |
| Nº Programas | 7 | 7 | 6 |
| Daily schedule | Sí | Sí | No |
| Display LED | Sí | Sí | Sí |
| Nivel sonoro | 62 | 63 | 63 |
| Peso Neto | 4,36 kg | 3,7kg | 3,7kg |
| Dimensiones (Ancho*Alto) | 355 x 93mm | 355 x 93mm | 355 x 93mm |

Ilustración 114 (“Comparativa modelos robot aspirador Samsung Navibot,” n.d.)

Las principales diferencias en cuanto a los ROOMBA son un doble cepillo delantero, la sustitución de los rodillos invertidos por un rodillo conjunto y el novedoso sistema de navegación *Visionary Mapping*.



Ilustración 115 ("Samsung Navibot SR8855 - Review completa - Robots al Detalle," n.d.)

Este sistema cuenta con una cámara incorporada de vídeo en la parte superior del robot, la cual captura 30 imágenes por segundo y funciona creando un mapa de la habitación. Con este sistema el robot es capaz de guiarse por la habitación en la cual se encuentra trabajando, creando una ruta óptima de limpieza de manera similar a como lo haría un GPS.

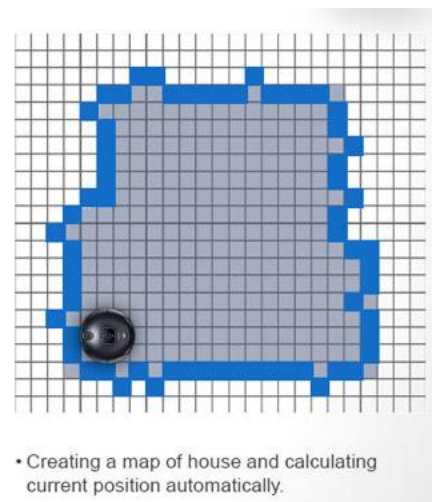
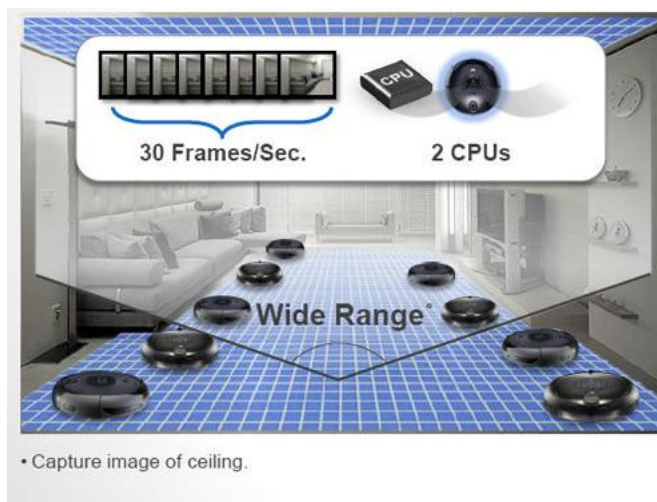


Ilustración 116 Sistema de navegación ("SR8F51 (NaviBot Fresh) | SAMSUNG Australia," n.d.)

5.1.4. Robots diferenciales

Pese a que los anteriores robots citados son todos de tracción diferencial, se ha creído conveniente explicar este tema en una sección aparte.

Según el artículo de tracción diferencial para robots móviles (**Israel et al., n.d.**), a diferencia de los robots fijos, los robots móviles cambian con cada movimiento la posición y orientación de su eje coordenadas base. El movimiento de robots basado en una tracción diferencial, es una configuración muy común para sistemas utilizados en interiores, debido a que permite al robot girar sobre su propio eje. De esta manera, el robot puede moverse en espacios congestionados con cierta facilidad. La tracción diferencial utiliza dos ruedas controladas individualmente con una rueda loca como tercer punto de apoyo.

El desplazamiento del robot D , a lo largo de la trayectoria está determinado por la siguiente ecuación:

$$D = \frac{D_l + D_r}{2}$$

Donde:

D = Desplazamiento del robot.

D_l = Desplazamiento de la rueda izquierda.

D_r = Desplazamiento de la rueda derecha.

De forma similar, la velocidad V del robot está dada por la siguiente ecuación:

$$V = \frac{V_l + V_r}{2}$$

Donde:

V = Desplazamiento del robot.

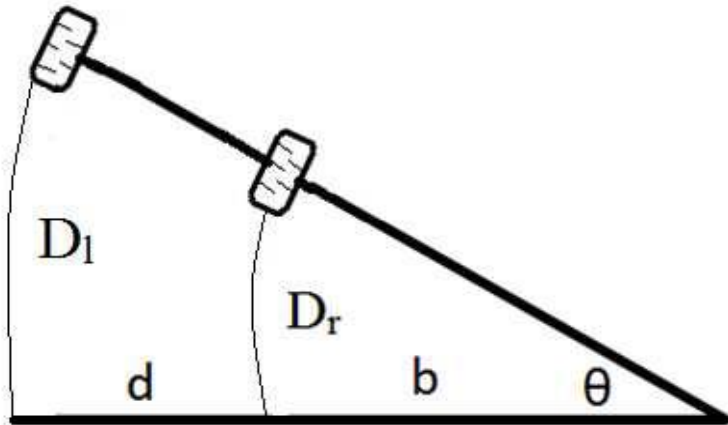
V_l = Desplazamiento de la rueda izquierda.

V_r = Desplazamiento de la rueda derecha.

Así mismo, el ángulo θ se puede obtener mediante la siguiente fórmula:

$$\theta = \frac{D_l - D_r}{d}$$

Nótese que el cambio de orientación del vehículo es función de los desplazamientos de las ruedas. Cabe mencionar que la variable d en el denominador representa una fuente de error significativa debido a las incertidumbres asociadas con el punto de contacto efectivo. Estos errores se deben a los desplazamientos indeseados debido a las irregularidades del suelo.



Adicionalmente, los diámetros de las ruedas pueden variar minúsculamente debido a pequeñas compresiones por el peso. Todas estas fuentes de error hacen que el vehículo se desvíe de la trayectoria deseada.

El robot VIROBI de la marca VILEDA es un claro ejemplo de robot diferencial, el cual basa su funcionamiento en el simple hecho de dar vueltas sin parar por toda la habitación, recogiendo el polvo y la pelusa con una gamuza electrostática.



Ilustración 118 Robot Virobi (LIMPIEZA.COM, ViRobi , robot de limpieza de Vileda, 2011)

5.2. DIAGRAMAS

Los diagramas son una herramienta importante a la hora de plasmar en papel las ideas previas al diseño.

Para esto realizaremos los siguientes tipos de diagramas:

- Diagramas de alto nivel.
- Diagramas de bajo nivel.
- Diagramas de actividad.
- Diagramas de casos de uso.

5.2.1. Diagramas de alto nivel

Los siguientes diagramas muestran de forma muy general la arquitectura del robot, identificando de forma genérica los bloques que forman el dispositivo.

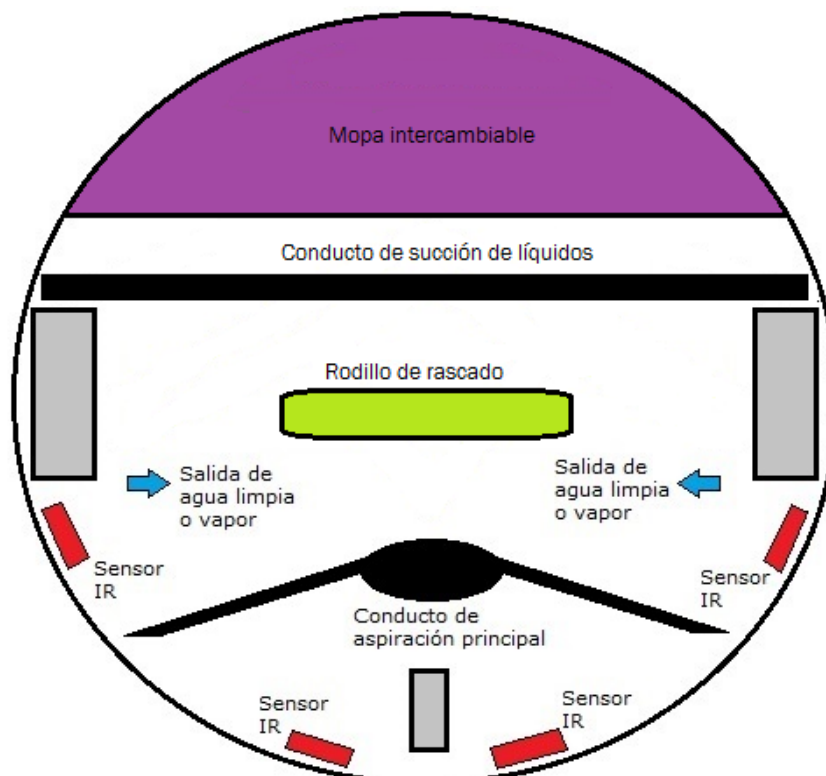


Ilustración 119 Diagrama de la parte inferior

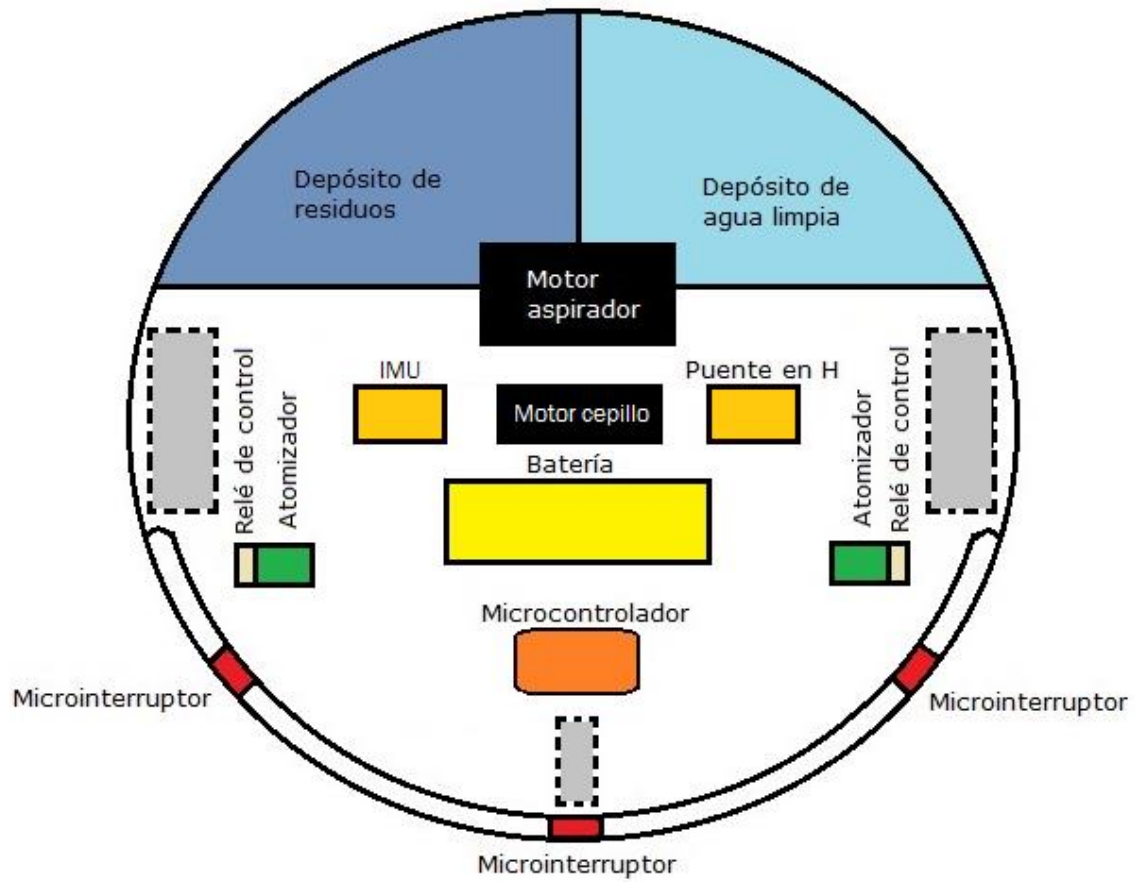


Ilustración 120 Diagrama de la parte superior

5.2.2. Diagrama de bajo nivel

A continuación se presenta un diagrama de bajo nivel que sirva de guía en la realización del proyecto. Este diagrama no es definitivo, pero si una versión aproximada que da una idea bastante concreta de los elementos necesarios así como su posible disposición en el robot.

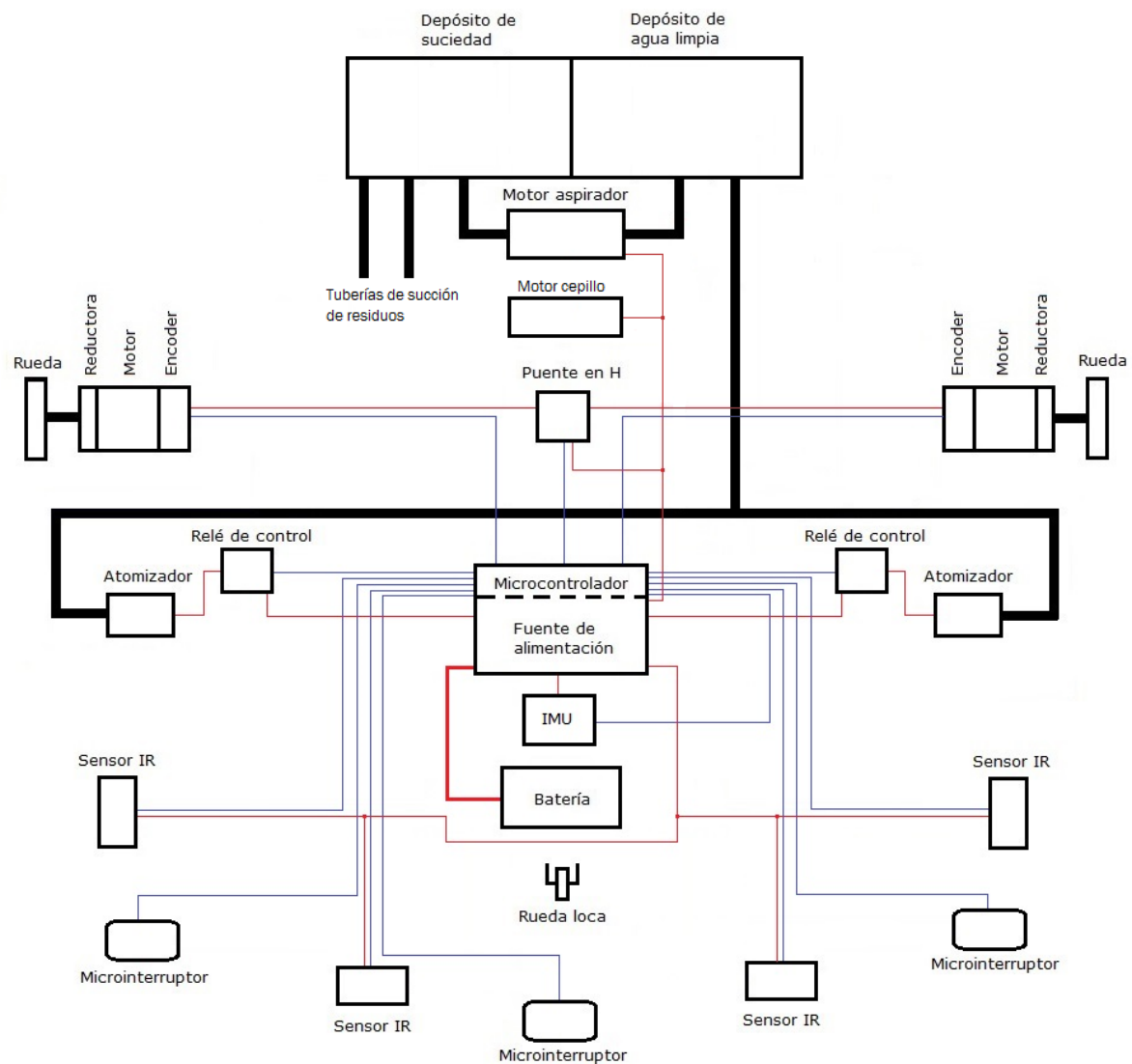


Ilustración 121 Diagrama de bajo nivel

5.2.3. Diagrama de actividad

Estos diagramas son usados para poder realizar la programación del robot de forma ordenada y sencilla. Los diagramas muestran los pasos y el orden lógico en el que deben estar programados.

En primer lugar se muestra un diagrama del programa general:

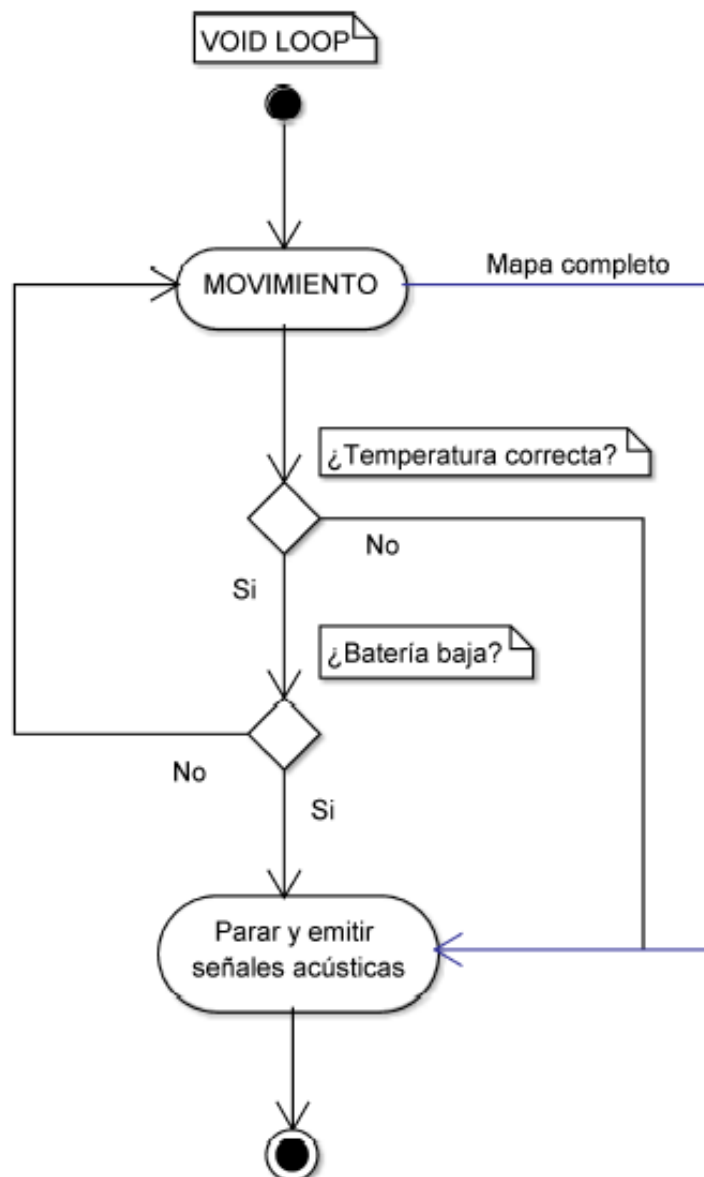


Ilustración 122 Diagrama general

A continuación se muestra el diagrama general de movimiento del robot:

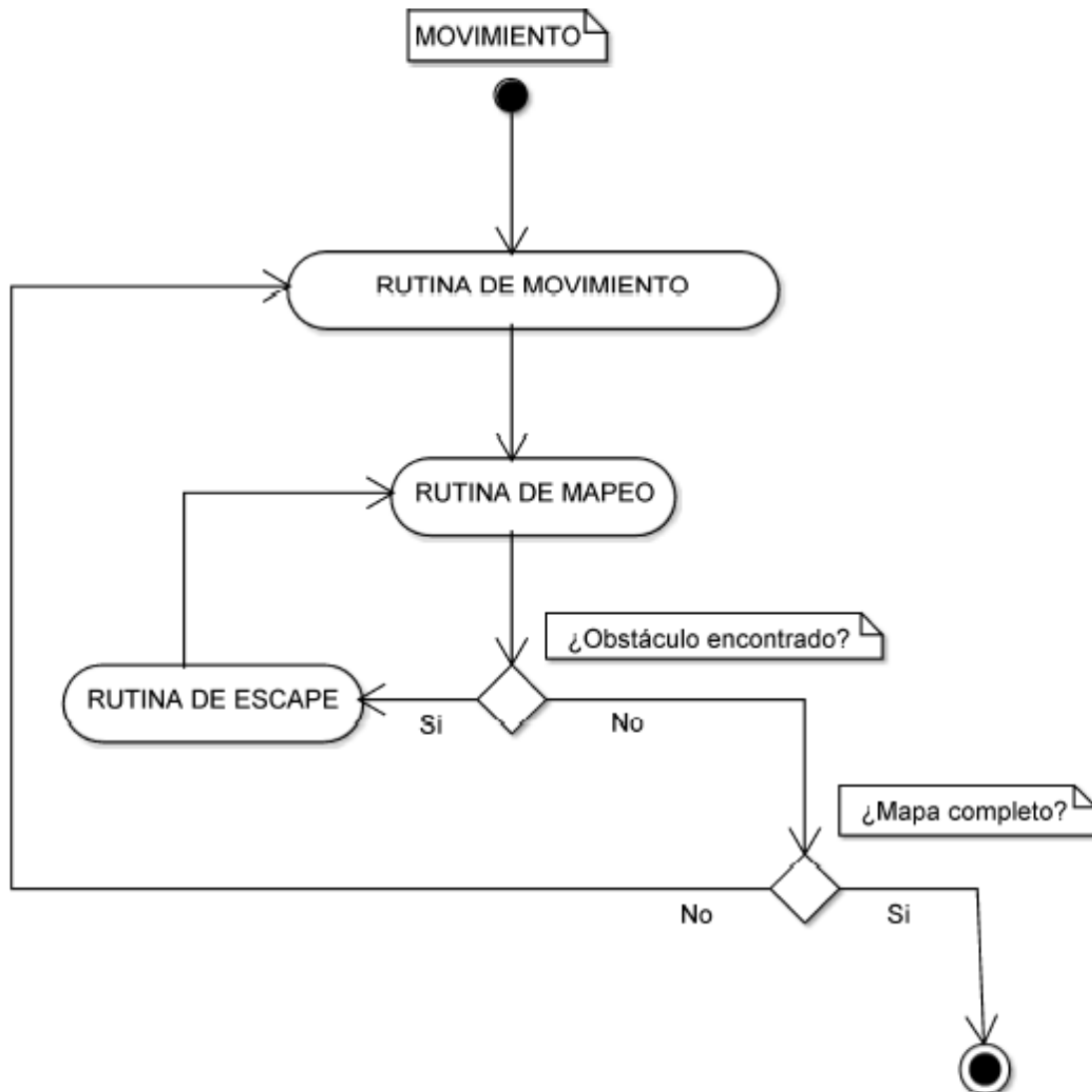


Ilustración 123 Diagrama general de movimiento

El siguiente diagrama muestra la rutina de movimiento del robot:

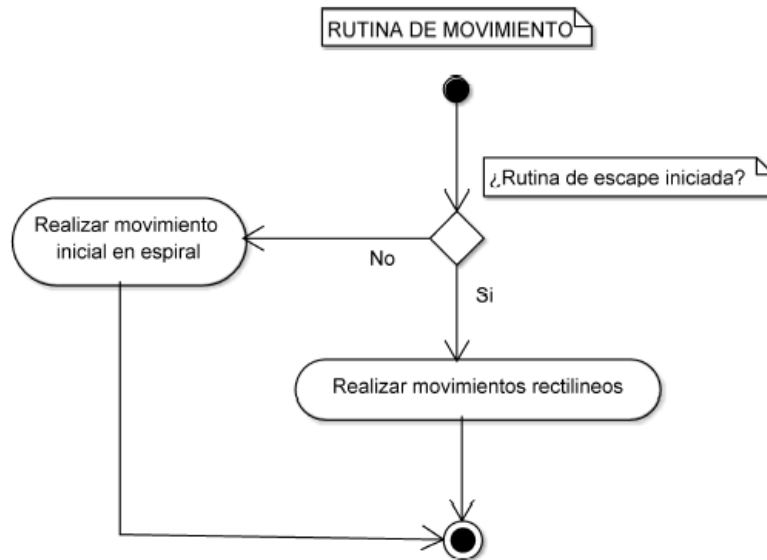


Ilustración 124 Rutina de movimiento

Otro de los diagramas fundamentales es el de mapeo, que es la rutina encargada de trazar el mapa del lugar por el que se desplaza el robot:

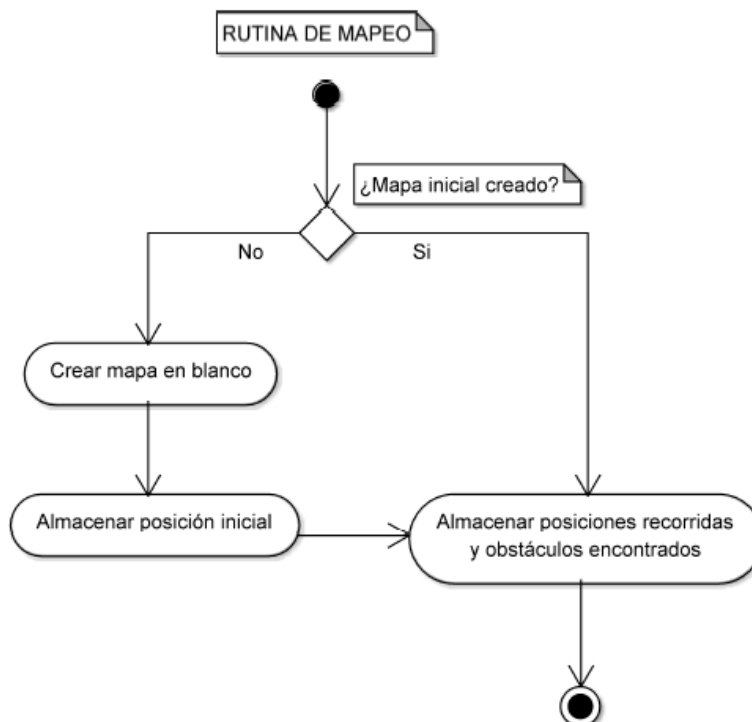


Ilustración 125 Rutina de mapeo

Por último se muestra el diagrama de la rutina de escape del robot:

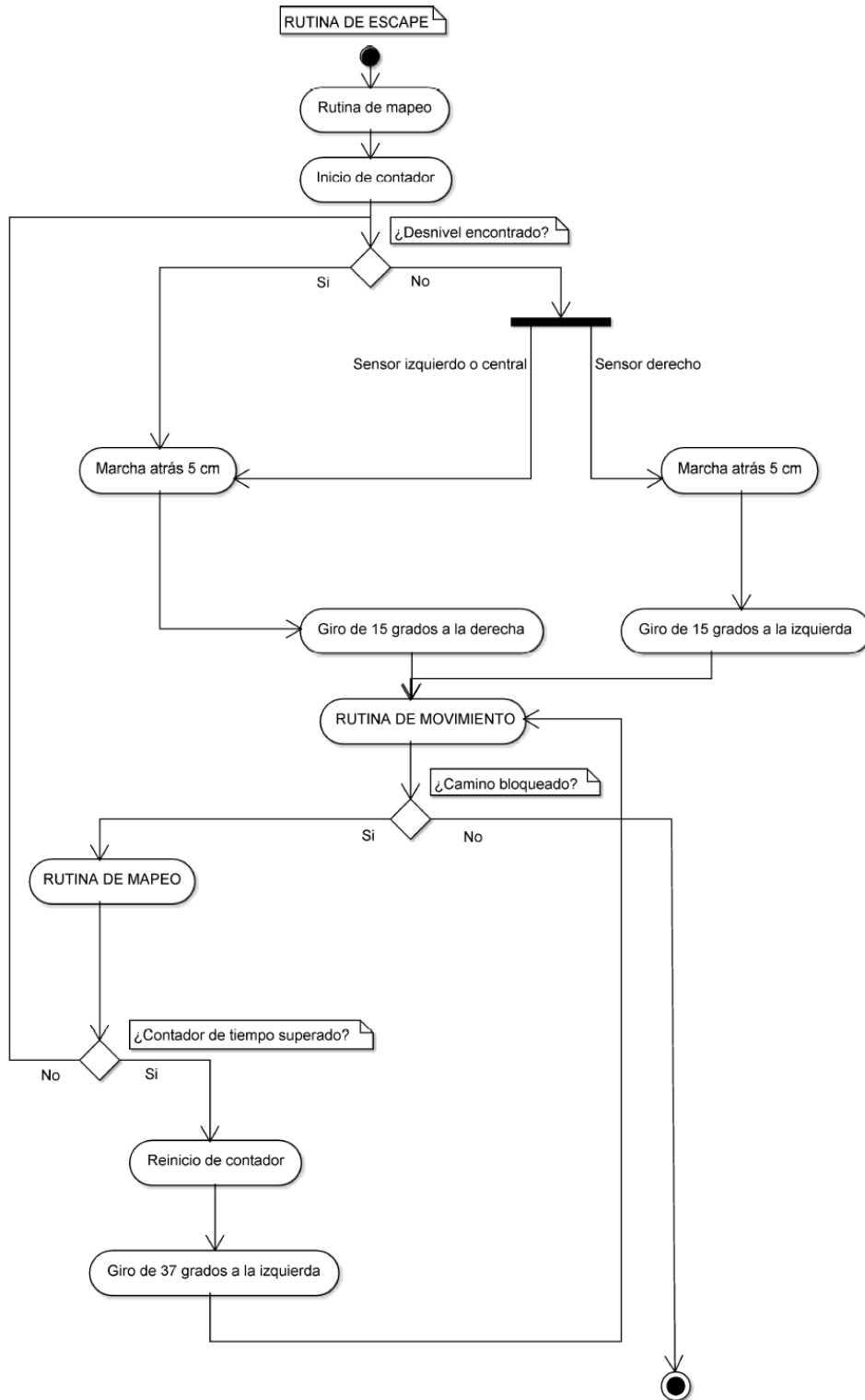


Ilustración 126 Rutina de escape

5.2.4. Diagrama de casos de uso

En primer lugar se va a presentar un diagrama de casos de uso de forma muy general para ver como interactúa el robot con el medio y con los usuarios.

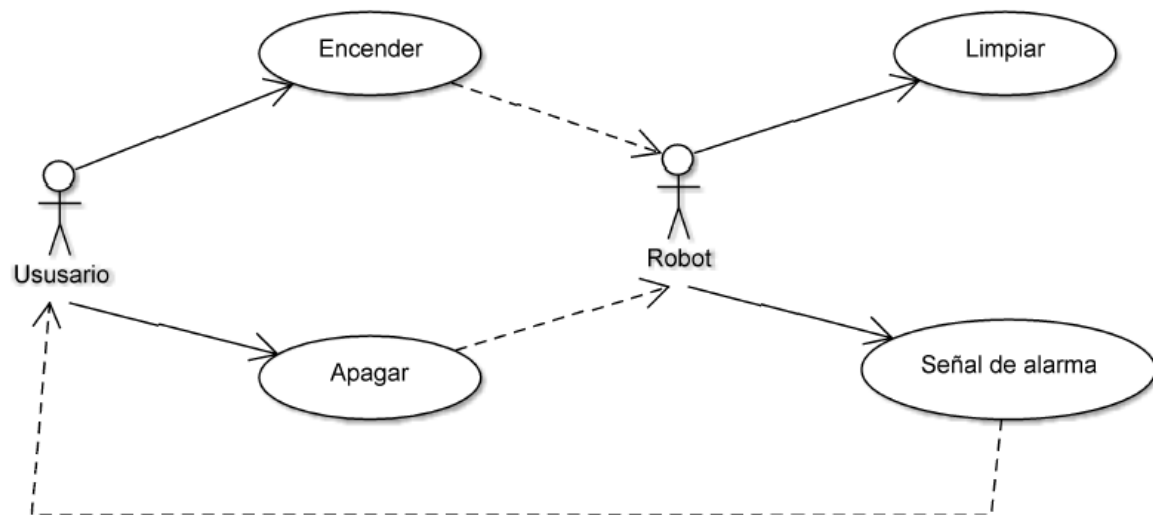


Ilustración 127 Diagrama de casos de uso general

A continuación se muestra un diagrama referente al arranque del robot.

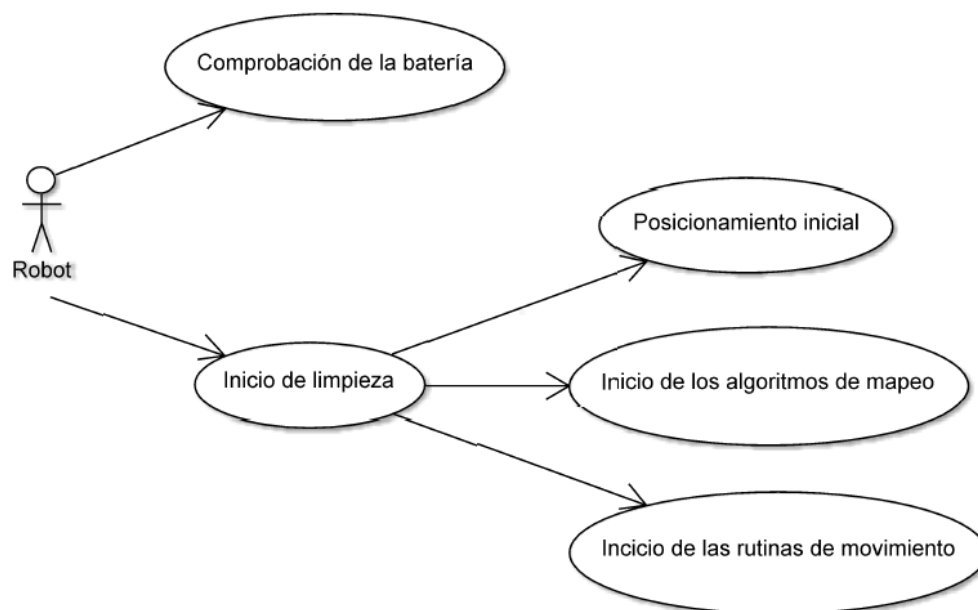


Ilustración 128 Diagrama de casos de uso del arranque del robot

Por último se muestra un diagrama para representar el funcionamiento del robot.

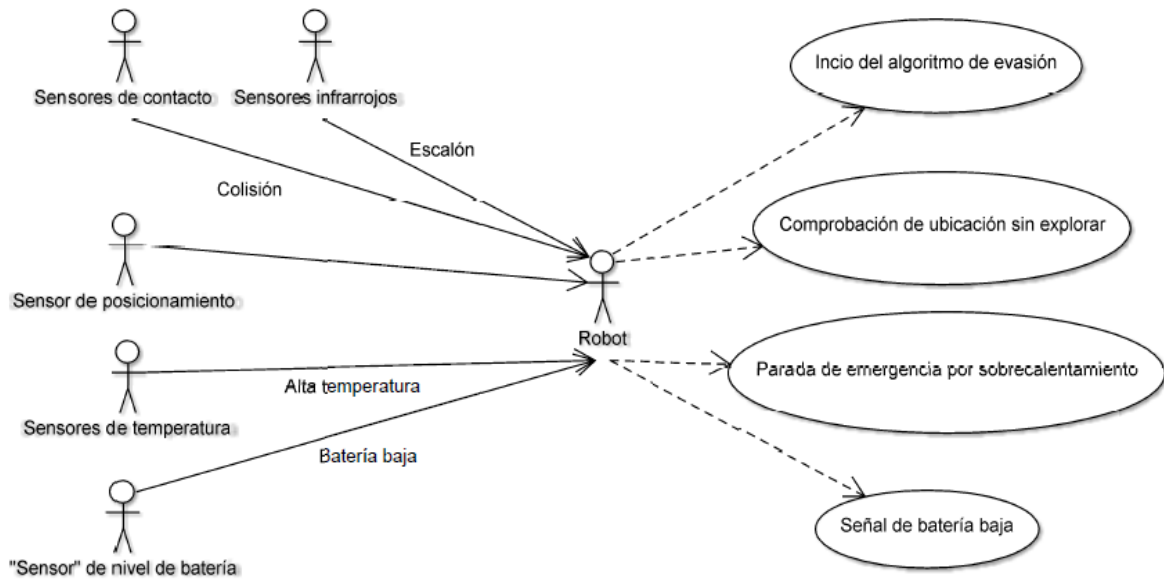


Ilustración 129 Diagrama de casos de usos de funcionamiento

5.3. CÁLCULOS

Este apartado recoge los diferentes cálculos necesarios para el diseño de los componentes que así lo requieran.

5.3.1. Cálculo del consumo del atomizador

Para la realización de los atomizadores que convertirán el agua en vapor se va a hacer uso de hilo de titanio de grado 2 (*TiFe*) por su alto punto de fusión (1.675 °C), su gran resistencia mecánica y su durabilidad.

Se ha seleccionado hilo de 0,20 mm de sección, el cual ofrece una resistencia, según los datos del fabricante, de 15 Ω/m .

Teniendo en cuenta que se van a usar 2 resistencias hechas con hilo de titanio de 20 cm de longitud por resistencia, alimentadas con una tensión de 3,3 V:

$$\left. \begin{array}{l} 1 \text{ m} \text{ ----- } 15 \Omega \\ 0,2 \text{ m} \text{ ----- } X \end{array} \right\} X = \frac{0,2 \text{ m} \cdot 15 \Omega}{1 \text{ m}} = 3 \Omega \text{ por resistencia}$$

$$I = \frac{V}{R} = \frac{3,3 \text{ V}}{3 \Omega} = 1,1 \text{ A}$$

El consumo total de las resistencias mientras estén funcionando será de:

$$I_{TOTAL} = I \cdot 2 \text{ resistencias} = 1,1 \text{ A} \cdot 2 = \mathbf{2,2 \text{ A}}$$

Las resistencias se conectarán por intervalos para evitar un funcionamiento continuado que reduciría la vida útil de las mismas y un consumo excesivo de la batería.

5.3.2. Potencia de los motores de tracción

En primer lugar se van a definir los parámetros clave para calcular la potencia necesaria para los motores de tracción:

- Peso máximo del robot $\rightarrow m = 5 \text{ Kg}$.
- Velocidad de desplazamiento $\rightarrow v = 0,2 \text{ m/s}$.
- Radio de la rueda $\rightarrow r = 0,028 \text{ m}$.

Con estos parámetros definidos se puede aplicar la siguiente fórmula para calcular el par del motor:

$$T = F \cdot r \quad [1]$$

de donde F = Fuerza necesaria para mover el robot a velocidad constante.

Suponiendo un coeficiente de rozamiento estático $\mu = 0,8$ que es el que tiene la goma sobre cemento (es el mayor coeficiente que van a tener las ruedas en función del tipo de suelo de una vivienda) se obtiene:

$$5 \text{ Kg} = 5 \text{ Kp} \rightarrow 5 \text{ Kp} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 = 49 \text{ N}$$

Para mover el robot en un plano horizontal a velocidad constante:

$$F = \mu \cdot F_n = 0,8 \cdot 49 \text{ N} = 39,2 \text{ N}$$

Sustituyendo este valor en la ecuación [1] se obtiene el par necesario:

$$T = 39,2 \text{ N} \cdot 0,028 \text{ m} = 1,0976 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Este resultado es el par total que se necesita para arrastrar el robot con un solo motor, pero hay que tener en cuenta que el robot dispone de dos ruedas tractoras y por ende tiene dos motores tractores, así que el par necesario por motor es de:

$$T_{1motor} = \frac{T}{2 \text{ motores}} = \frac{1,0976 \text{ N} \cdot \text{m}}{2 \text{ motores}} = 0,5488 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Para calcular la potencia necesaria de cada motor se ha de usar la siguiente fórmula:

$$P = w \cdot T_{1motor} \quad [2]$$

de donde w = Velocidad angular de la rueda.

El cálculo de la velocidad angular se realiza de la siguiente forma:

$$\omega = \frac{v}{r} = \frac{0,2 \text{ m/s}}{0,028 \text{ m}} = 7,14 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

Sustituyendo el resultado en la ecuación [2] obtenemos:

$$P = \omega \cdot T_{1\text{motor}} = 7,14 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \cdot 0,5488 \text{ N} \cdot \text{m} = 3,918 \text{ W}$$

Se han de tener en cuenta las pérdidas por rozamientos en el motor y en la caja reductora. Estas pérdidas se van a fijar en un 30 % de la eficacia del motor, por lo tanto:

$$P_{\text{real}} = \frac{P}{0,7} = \frac{3,918 \text{ W}}{0,7} \approx 5,6 \text{ W}$$

Esta es la potencia que necesita cada motor trabajando a máxima potencia para mover el robot, pero no se desea que los motores trabajen a plena potencia constantemente, por lo tanto se ha de buscar unos motores con una potencia entre 1,5 y 2 veces más de la potencia máxima necesaria para no forzarlos:

$$1,5 \cdot P_{\text{real}} < P_{\text{deseada}} < 2 \cdot P_{\text{real}} \rightarrow 8,4 \text{ W} < P_{\text{deseada}} < 11,2 \text{ W}$$

Los motores seleccionados son dos **25Dx52L** de la marca **Pololu** cuya potencia según los datos del fabricante son:

- Tensión de alimentación → *Entre 3 V y 9 V*
- Corriente máxima o corriente de arranque → $I_{\text{arranque}} = 2,2 \text{ A}$

$$P_{\text{suministrada}} = V \cdot I = 5 \text{ V} \cdot 2,2 \text{ A} = 11 \text{ W}$$

La potencia suministrada por estos motores es más que suficiente y su pequeño tamaño y precio económico los hacen ideales para este proyecto. Además cuentan con encoder integrado en el propio motor.



Ilustración 130 Motor pololu 25D52L ("Pololu - 34," n.d.)

Después de realizar los cálculos de los motores de tracción, se va a proceder a la comprobación de los mismos calculando el coeficiente "n":

Si $n > 1$ → Las ruedas giran a la velocidad adecuada y el robot se desplaza.

Si $n < 1$ → Las ruedas deslizan en el suelo y el robot no se mueve.

$$n = \frac{F \cdot r}{T_{1motor} \cdot r} = \frac{39,2 \text{ N} \cdot 0,028 \text{ m}}{0,5488 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot 0,028 \text{ m}} = 71,43$$

Se observa que $n > 1$ por lo tanto las ruedas giraran a la velocidad adecuada y desplazaran al robot de forma correcta.

Procedimiento obtenido en la tesis (**"diseño y construcción de un robot móvil controlado con técnicas de lógica difusa implementadas en un FPGA," Belmar Garcia.**)

5.3.3. Cálculo de los transistores de control

Con el fin de reducir el consumo energético del robot, se ha optado por hacer funcionar los atomizadores de agua de forma intermitente. De esta forma se ahorra energía, agua y se evita mojar en exceso la superficie de limpieza. Para realizar este control intermitente de los atomizadores se va a hacer uso de unos transistores que realicen la función de interruptor.

Para seleccionar el modelo concreto de transistor hay que fijar unos parámetros iniciales que son:

- Tensión de funcionamiento de cada atomizador: $V = 3,3 V$.
- Intensidad consumida por cada atomizador: $I_C = 1,1 A$.

Con estos datos se debe tener en cuenta que no es recomendable elegir un transistor que ronde los límites anteriormente fijados. Es mejor seleccionar uno que trabaje en rangos superiores para evitar forzar este componente.

Así pues se ha optado por un par de transistores modelo **2SD1835S-AA** de la marca **ON Semiconductor** cuyos valores según el fabricante son:

- Tensión colector-emisor: $V_{CEO} = 50 V$.
- Tensión base-emisor: $V_{BE} = 0,9 V$.
- Intensidad de colector: $I_C = 2 A$.
- Ganancia media: $h_{FE} = 70$.

Para calcular la resistencia necesaria que hace de puente entre el microcontrolador y la base del transistor hay que tener en cuenta que el PIC suministra una $V_{PIC} = 5 V$ y una $I = 25 mA$ por cada una de sus salidas, por lo tanto:

$$V_B = V_{PIC} - V_{BE} = 5 V - 0,9 V = 4,1 V$$

La corriente de base siempre debe ser superior a los valores calculados para asegurarse de que el transistor va a conmutar:

$$I_B = \frac{I_C}{h_{FE}} = \frac{1,1 A}{70} = 0,016 A \rightarrow \text{Fijamos la corriente en } 0,02 A$$

$$R_B = \frac{V_B}{I_B} = \frac{4,1 V}{0,02 A} = 205 \Omega \rightarrow \text{La resistencia comercial será } R_B = 220 \Omega$$

5.3.4. Cálculo de la batería

En primer lugar se realizará un estudio de los consumos máximos necesarios en este proyecto:

| NOMBRE | UNIDADES | VOLTAJE | AMPERAJE | POTENCIA MAX. |
|--------------------|-----------------|----------------|-----------------|---|
| Motor motriz | 2 Unidades | 5 V | 2,2 A | $2 \cdot V \cdot I = 22 \text{ W}$ |
| Motor aspirador | 1 Unidad | 5 V | 0,53 A | $V \cdot I = 2,65 \text{ W}$ |
| Motor cepillo | 1 Unidad | 5 V | 0,7 A | $V \cdot I = 3,5 \text{ W}$ |
| Microcontrolador | 1 Unidad | 5 V | 0,05 A | $V \cdot I = 0,25 \text{ W}$ |
| Puente en H | 1 Unidad | 5 V | 0,0022 A | $V \cdot I = 0,011 \text{ W}$ |
| Placa control (IR) | 1 Unidades | 3,3 V | 0,05 A | $V \cdot I = 0,165 \text{ W}$ |
| LM35 | 2 Unidades | 5 V | 0,0001 A | $2 \cdot V \cdot I = 0,001 \text{ W}$ |
| Atomizador | 2 Unidades | 3,3 V | 1,1 A | $2 \cdot V \cdot I = 7,26 \text{ W}$ |
| IMU | 1 Unidad | 3,3 V | 0,01165 A | $V \cdot I = 0,038 \text{ W}$ |
| Pulsador ON/OFF | 1 Unidad | 3,3 V | 0,02 A | $V \cdot I = 0,066 \text{ W}$ |
| | | | | $P_{M\acute{a}xima} = 36,151 \text{ W}$ |

La potencia máxima solicitada por el robot será la suma de todas las potencias máximas calculadas en la tabla.

Una vez calculados los consumos del proyecto, es hora de decidir el modelo y las prestaciones de la batería que se va a usar, para ello se debe tener en cuenta que el voltaje máximo necesario es de 5 V.

Se necesita una batería ligera, de gran capacidad y que pueda aguantar temperaturas relativamente altas de trabajo. En función a estas características las baterías más recomendables son las de litio, LiPo y sus derivados, siendo las de LiFePo las más recomendables por seguridad, ya que las baterías de ion de litio y las LiPo pueden explotar si sobrepasan el límite de temperatura de trabajo.

Antes de elegir un modelo u otro hay que saber la corriente que debe ser capaz de suministrar la batería, para ello se realiza el siguiente cálculo:

$$P_{M\acute{a}xima} = V \cdot I \rightarrow I = \frac{P}{V} = \frac{36,151 \text{ W}}{5 \text{ V}} = 7,23 \text{ A}$$

Con este dato se sabe que la batería debe ser capaz de suministrar al menos 7,23 A. En el peor de los casos, si la batería suministra esos 7,23 Ah, el robot tendrá una autonomía de una hora de funcionamiento pero con un funcionamiento normal de trabajo el robot dispondrá de mayor autonomía.

El modelo concreto de batería seleccionada es el siguiente:



Ilustración 131 Batería LiFePo4 26650: 6,4V 13,2Ah ("Custom LiFePO4 26650 Battery," n.d.)

Se observa que la batería es capaz de suministrar 13,2 Ah, lo cual cumple de sobra los requisitos necesarios para este proyecto.

En el caso más desfavorable de trabajo, la batería ofrece una autonomía de:

$$Autonomía = \frac{I_{bat.}}{I_{m\acute{a}x.}} = \frac{13,2 \text{ Ah}}{7,23 \text{ Ah}} \approx 1,8 \text{ horas}$$

5.3.5. Cálculo de la sección de cable

Para calcular la sección de cable necesaria en este proyecto hay que tener en cuenta que todos los componentes usados requieren alimentación de corriente continua y que la máxima longitud que puede llegar a tener un conductor es de 50 cm.

Otros datos a tener en cuenta son las corrientes máximas que va a pasar por los conductores que serán de 6 A en el caso de que la alimentación sea de 5 V y 3,5 A en el caso de que la alimentación sea de 3,3 V.

Los conductores tienen que ser de cobre, cuya conductividad para este cálculo según el reglamento de baja tensión a 90 °C es de $\gamma = 44$.

Se fijará la caída de tensión permitida en un 3% puesto que si usamos 5 V para alimentar algunos componentes y sufre la máxima caída de tensión permitida, estos componentes recibirían una alimentación de

$$5 V - (5 V \cdot 0,03) = 4,85 V \rightarrow 0,15 V \text{ de caída}$$

Para el caso en el que la alimentación sea de 3,3 V y se produzca la máxima caída de tensión, la tensión resultante será de

$$3,3 V - (3,3 V \cdot 0,03) = 3,2 V \rightarrow 0,1 V \text{ de caída}$$

Así pues, con los parámetros necesarios establecidos, el cálculo de la sección de los conductores queda de la siguiente manera:

$$S_{5V} = \frac{2 \cdot L \cdot I}{\gamma \cdot \Delta V} = \frac{2 \cdot 0,5 \text{ m} \cdot 6 \text{ A}}{44 \cdot 0,15 \text{ V}} = 0,91 \text{ mm}^2$$

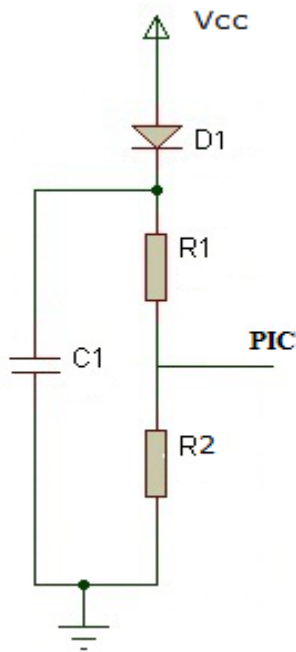
$$S_{3,3V} = \frac{2 \cdot L \cdot I}{\gamma \cdot \Delta V} = \frac{2 \cdot 0,5 \text{ m} \cdot 3,5 \text{ A}}{44 \cdot 0,1 \text{ V}} = 0,795 \text{ mm}^2$$

En vista de que la mayor sección necesaria para los conductores es de 0,91 mm², se ha decidido emplear esta sección para usarla en todos los conductores.

El valor comercial más próximo por encima es el de 1,5 mm² o un **AGW16** en norma americana.

5.3.6. Cálculo del indicador de batería

En este proyecto se ha optado por incluir un montaje compuesto por un condensador, un diodo y dos resistencias en configuración de divisor de tensión para que el microcontrolador pueda realizar el seguimiento del nivel de carga de la batería.



En el momento en que la batería baja de unos niveles establecidos en la programación ordena al robot detenerse y emitir unos pitidos para avisar al usuario que el robot se encuentra con un nivel mínimo de carga y que debe ser recargado.

Antes de comenzar el cálculo hay que obtener la carga máxima que puede almacenar la batería, que según los datos del fabricante son $7,6 V$. Otros datos a tener en cuenta es que al microcontrolador solo se le puede suministrar una tensión máxima de $5 V$ por cualquiera de sus entradas y que el diodo tiene una caída de tensión de $0,7 V$.

Para el cálculo de las resistencias se ha de fijar el valor de una de las dos, así que se fija el valor de $R_2 = 2,7 K\Omega$. Una vez hecho esto se usa la siguiente fórmula:

$$V_{PIC} = \frac{(V_{m\acute{a}x. \text{ batería}} - V_{D.}) \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

Ilustración 132 Montaje divisor de tensión ("Elektronika LSB," n.d.)

Al sustituir los valores en la fórmula anterior se obtiene el valor de la resistencia R_1 .

$$5 V = \frac{(7,6 V - 0,7 V) \cdot 2,2 K\Omega}{R_1 + 2,2 K\Omega} \rightarrow R_1 = 836 \Omega$$

El valor comercial más próximo para R_1 será el de $1 K\Omega$.

6. PRESUPUESTO

Esta sección no tiene otra finalidad que la de exponer de la forma más clara posible los costes asociados a la realización del proyecto. Para ello se ha creído conveniente dividir este apartado por secciones.

CHASIS:

| | |
|------------------------------------|----------------|
| Bobinas de ABS (1 Kg/bobina) | 2 x 17,95 € |
| Tornillo M3x6 | 28 x 0,06 € |
| Tornillo M3x8 | 8 x 0,07 € |
| Tornillo M3x10 | 22 x 0,11 € |
| Tornillo M3x12 | 12 x 0,08 € |
| Arandela Grower M3 | 4 x 0,02 € |
| Esparrago M3x8 | 2 x 0,16 € |
| TOTAL | 46,96 € |

COMPONENTES MECÁNICOS:

| | |
|-------------------------|------------------|
| Motor de tracción | 2 x 31 € |
| Motor de cepillo | 14,35 € |
| Rueda tractora | 2 x 5,766 € |
| Rueda loca | 14,95 € |
| Motor aspirador | 1,81 € |
| TOTAL | 104,642 € |

COMPONENTES ELECTRÓNICOS:

| | |
|--|-----------------|
| Microcontrolador | 5,08 € |
| Puente en H | 4,38 € |
| Placa de control (Sensores IR) | 12 € |
| Convertor Buck TPS54627 (5 V, 6 A) | 4,10 € |
| Convertor Buck TPS54332 (3,3 V, 3,5 A) | 2,27 € |
| Sensor de temperatura LM35 | 2 x 1,58 € |
| Transistor 2SD1835S-AA | 2 x 0,346 € |
| Microinterruptor | 3 x 0,39 € |
| Pulsador ON/OFF | 2,14 € |
| Resistencias (0,5 W) | 13 x 0,038 € |
| Diodos Zener | 2 x 0,096 € |
| Condensadores | 16 x 0,106 € |
| Porta fusibles | 2 x 2,07 € |
| Fusible de cuchilla 7 A | 0,43 € |
| Fusible de cuchilla 4 A | 0,174 € |
| Buzzer | 0,19 € |
| PCB de control (200x300 mm) | 12,39 € |
| TOTAL | 54,698 € |

OTROS:

| | |
|---|------------|
| Batería | 65,24 € |
| Cable de 1,5 mm ² (1 m)..... | 5 x 0,79 € |
| Goma de succión | 35 € |
| Goma de canalización | 2 x 35 € |
| Rollo de hilo de titanio (5 m) | 2,95 € |

| | |
|-------------------------------------|----------------|
| Mopa intercambiable | 7,93 € |
| Bobina de nylon 645 (450 gr.) | 5,45 € |
| Cinta de velcro adhesiva | 0,98 € |
| TOTAL | 191,5 € |

COSTES TOTALES DE MATERIALES:

$$46,96 \text{ €} + 104,642 \text{ €} + 54,698 \text{ €} + 191,5 \text{ €} = \mathbf{397,8 \text{ €}}$$

Al tratarse de un proyecto de prototipado se ha creído conveniente no incluir el coste de la mano de obra, puesto que las horas invertidas en este proyecto si se tuviesen en cuenta harían subir el precio del proyecto de forma alarmante.

7. RESULTADOS

En este apartado se muestran los resultados obtenidos de las pruebas experimentales, simulaciones, etc. que se han realizado durante de este proyecto.

Una simulación realizada con el programa KiCad muestra como quedaría la placa de control una vez construida.

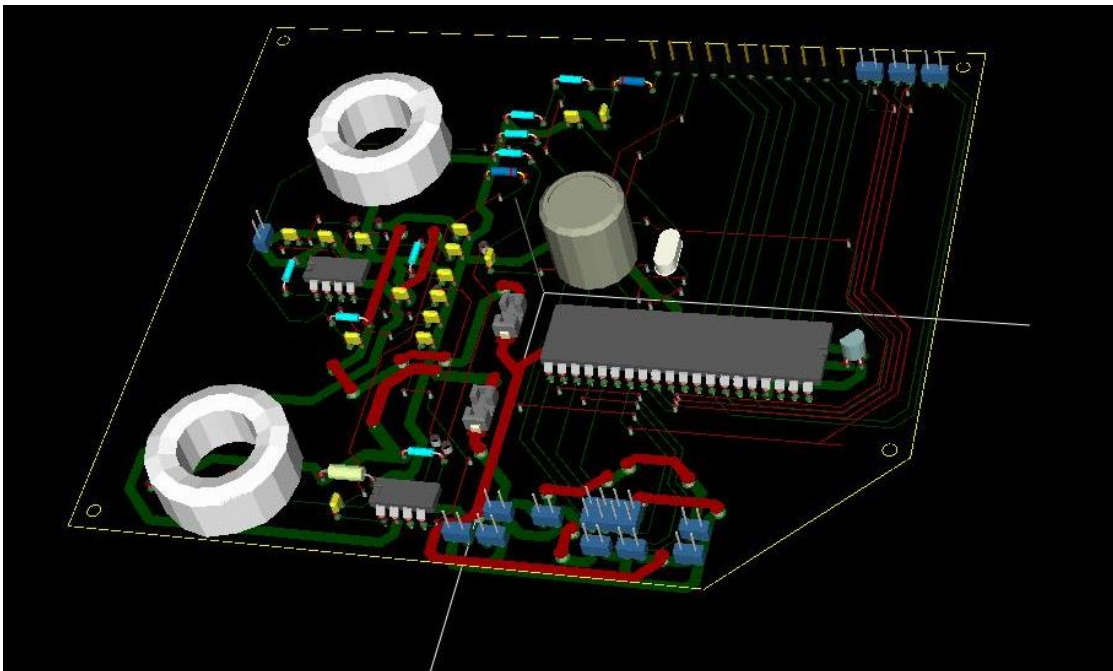


Ilustración 133 Simulación de la placa de control

Con sus correspondientes pistas por la capa superior y por la capa inferior.

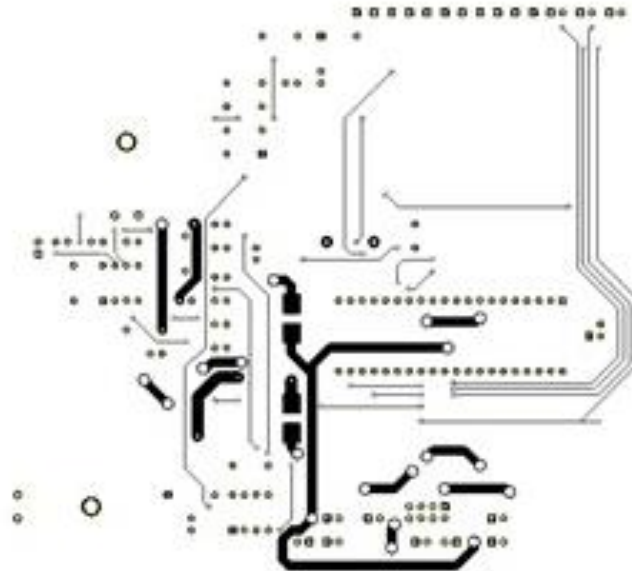


Ilustración 134 Pistas de la capa superior

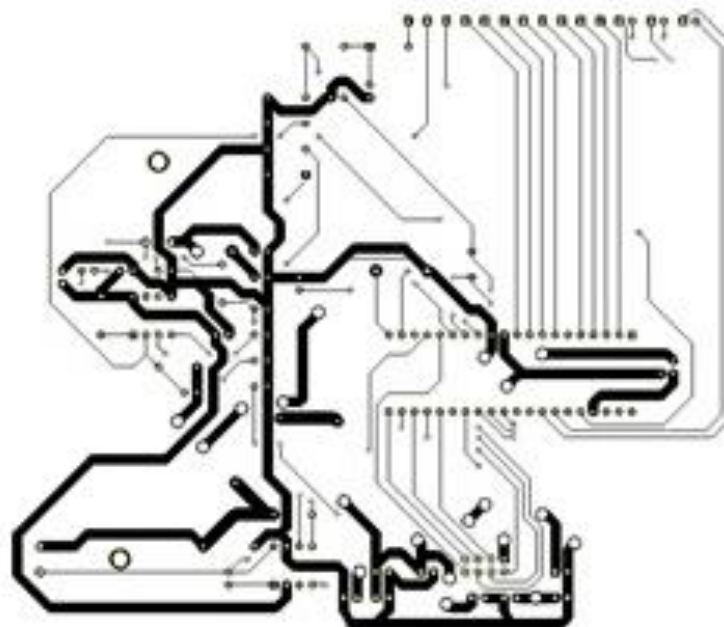


Ilustración 135 Pistas de la capa inferior

Las simulaciones del prototipo realizadas con el programa Autodesk Inventor 2014 muestran de una forma casi real, la imagen que tendría el prototipo de llegar a construirse.



Ilustración 136 Vista superior



Ilustración 137 Vista inferior

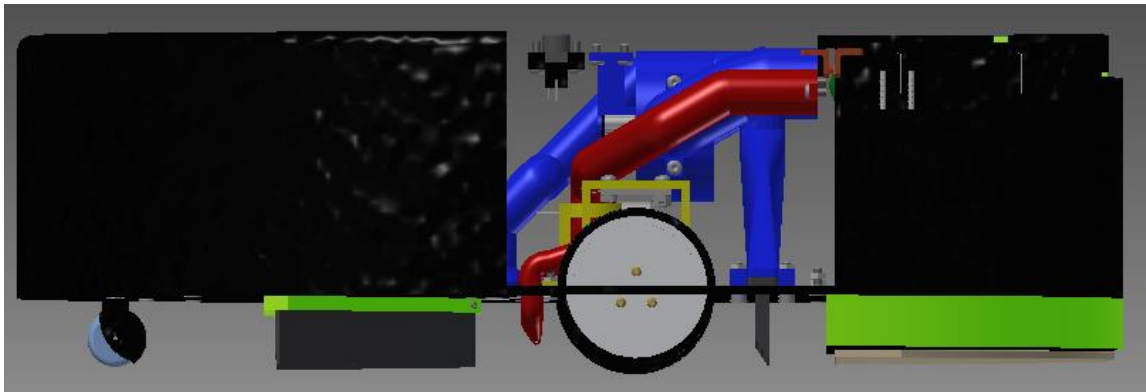


Ilustración 138 Vista lateral sin carcasa y sin cubierta del depósito de agua limpia

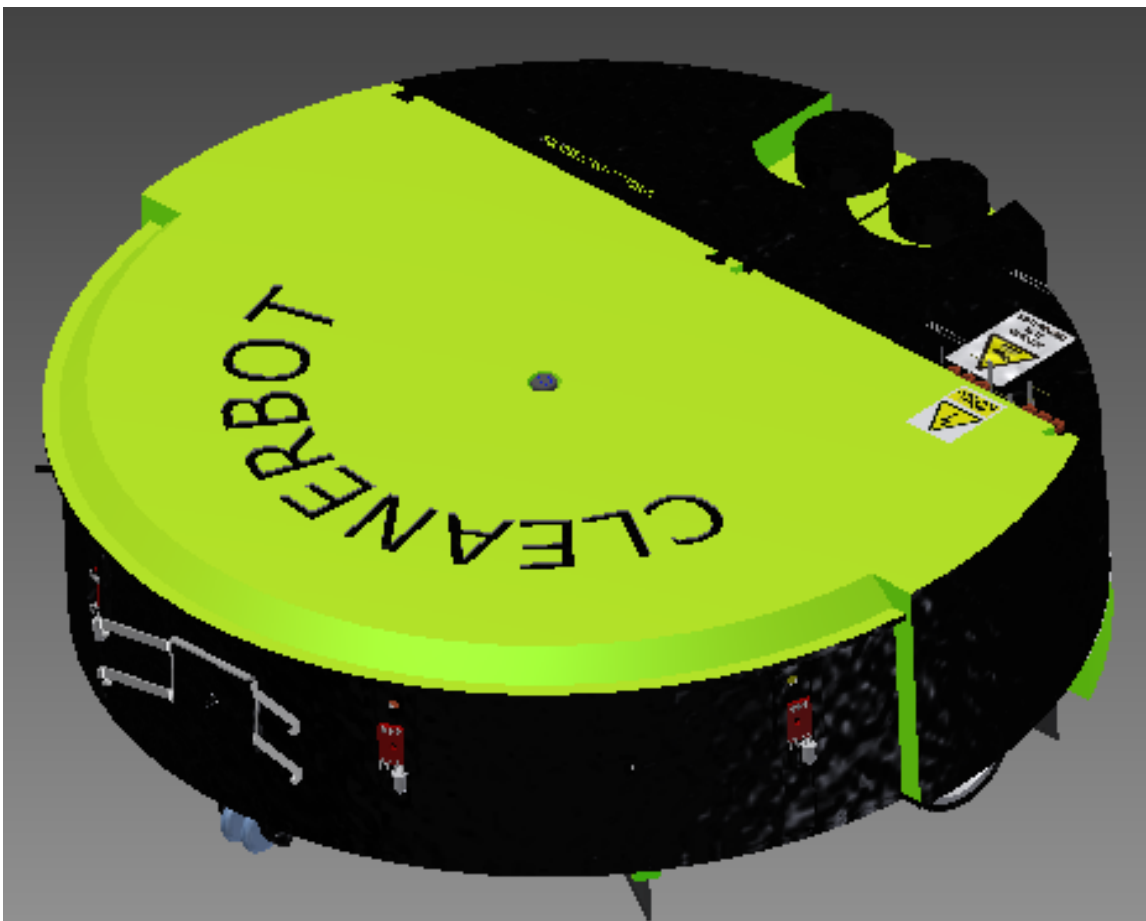


Ilustración 139 Vista isométrica sin parachoques ni cubierta del depósito de agua limpia

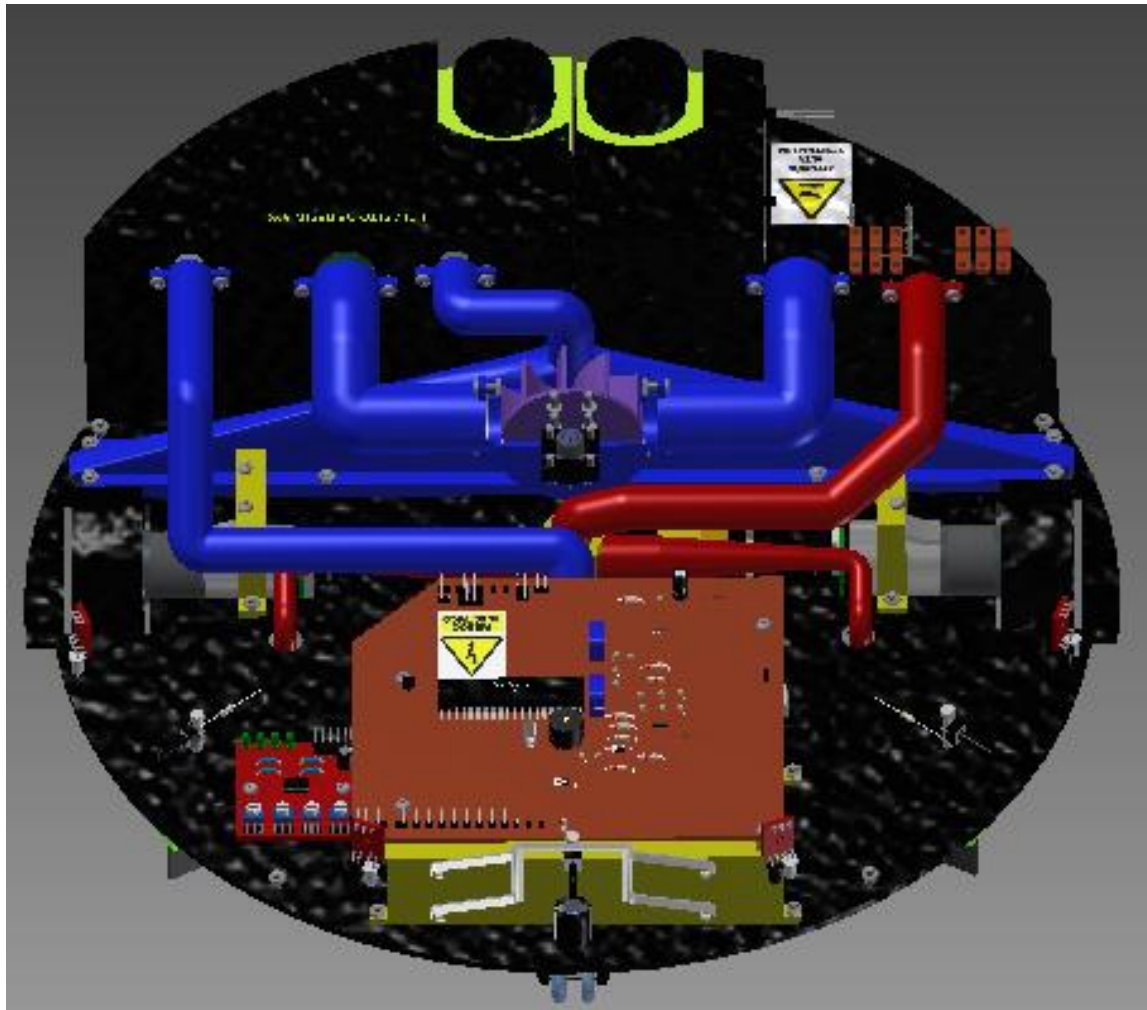


Ilustración 140 Vista isométrica del interior

Resultados

Como primera prueba experimental se van a verificar los cálculos de los evaporadores. Se comprueba de forma que 20 cm de hilo de titanio de grado 2 de 0,2 mm de diámetro forman una resistencia de 3 Ω .



Ilustración 141 Resistencia de hilo de titanio

La segunda comprobación realizada es la de consumo energético. Al aplicar tensión al hilo de titanio se observa un consumo de 1,03 A.



Ilustración 142 Comprobación de consumos energéticos

Para probar la eficacia de los evaporadores se hace uso de una botella de agua para simular el depósito de agua limpia, una fuente de alimentación que suministra 3,3 V y 4 A, una placa prototipo y un micro interruptor para simular el funcionamiento del transistor de control.

Una vez enrollado el hilo de titanio alrededor de las mallas de metal que absorben agua por capilaridad, previamente quemadas para oxidarlas y evitar que conduzcan la corriente, se observa que la evaporación del agua no se realiza de forma instantánea sino que requiere de varios segundos de funcionamiento para lograr dicho objetivo.

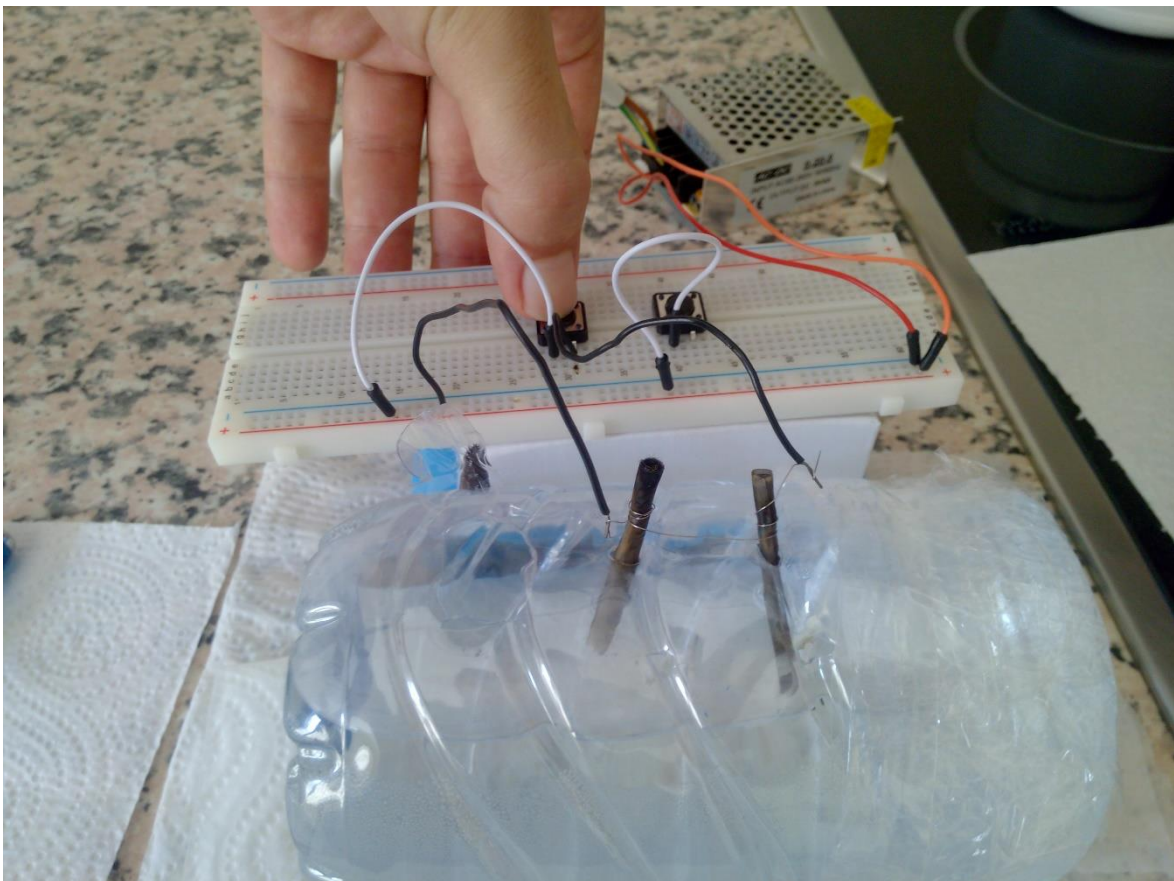


Ilustración 143 Prueba de los evaporadores (Instantes iniciales)

Como el vapor obtenido es muy escaso y en vista de una posible mejora del diseño, se optó por colocar un trozo de botella encima de los evaporadores simulando una cámara de almacenamiento de vapor.



Ilustración 144 Cámara de almacenamiento de vapor I

Se requiere de un tiempo considerable (entre 30 y 60 segundos) para que la cámara de almacenamiento de vapor empiece a tener el suficiente vapor de agua como para poder usarlo en el proceso de limpieza del robot.



Ilustración 145 Cámara de almacenamiento de vapor II

El resultado de dicha prueba es que los evaporadores funcionan pero necesitan de un tiempo demasiado prolongado para realizar su función y que una cámara de almacenamiento de vapor podría ser útil para avastecer de vapor al sistema de limpieza del robot a la hora de un funcionamiento continuado.

Resultados

La siguiente prueba experimental realizada es la del sistema de aspiración/impulsión.

Con la ayuda de una impresora 3D, se imprimen el rodete, las carcasas del rodete y la tubería de aspiración (*Ver anejo (Planos)*) y ante la imposibilidad de poder imprimir las piezas más grandes como son la tubería de aspiración de residuos, la tubería de aspiración de líquidos y el depósito de residuos, se sustituyen por un trozo de botella de agua y dos mangueras del mismo diámetro que las tuberías diseñadas.



Ilustración 146 Piezas impresas del sistema de aspiración/impulsión

Añadiendo adhesivo termofusible en las grietas y huecos se consigue que todo el circuito sea estanco.

Se colocan trozos de papel para simular restos sólidos delante de la tubería de aspiración de restos y se enciende el motor de aspiración pero se observa que el motor no dispone de la suficiente potencia para absorber los restos sólidos.



Ilustración 147 Tubería de aspiración de residuos

Se realiza la misma prueba con la tubería de aspiración de líquidos y se observa que tampoco hay suficiente potencia para absorber los restos.



Ilustración 148 Tubería de absorción de líquidos

8. CONCLUSIONES

Las conclusiones obtenidas tras haber desarrollado este proyecto son:

1. El diseño en 3D realizado con programas de CAD/CAE tiene una gran importancia a la hora de realizar un proyecto, ya que muestra un gran número de fallos que pueden llegar a producirse sin tener que gastar dinero en prototipos reales. Por otra parte el tiempo invertido en la realización del diseño 3D no es despreciable, puesto que para realizar un prototipo virtual lo más real posible, se requiere de una gran cantidad de horas de diseño.
2. La batería actualmente es capaz de poner en servicio al robot durante casi 2 horas de funcionamiento. Esto duplica e incluso triplica el tiempo de funcionamiento de cualquier robot de limpieza que existe actualmente en el mercado sin aumentar el tamaño ni el peso del robot respecto a sus competidores. Esta gran autonomía puede ser más que suficiente para poder limpiar una sola habitación sin necesidad de recarga aunque el algoritmo de navegación sea malo o errático.
3. Los evaporadoras por si solos crean una cantidad muy pequeña de vapor por lo que debería de diseñarse una cámara donde se almacenara dicho vapor para después poder soltarlo a presión tal y como sucede con las vaporetas y otros pequeños electrodomésticos similares.
4. El sistema de aspiración/impulsión necesita de un motor más potente o incluso de dos motores, uno encargado de los restos sólidos y otro encargado de los restos líquidos. En principio el consumo energético no sería un gran inconveniente ya que la batería fue seleccionada para poder alimentar componentes más potentes puesto que al ser esto un proyecto de prototipado, ya se contaba con tener que sustituir algún componente mecánico por otro de mayor potencia.

5. Debido a la compleja geometría de las tuberías, todavía se requiere de una comprobación experimental para poder verificar si la sección de aspiración/impulsión cumple con su cometido, lo que supone un cierto gasto económico.
6. En cuanto al diseño de un algoritmo para que el robot sea capaz de recorrer todo el espacio de una habitación esquivando obstáculos y a la vez aprendiendo el camino por el que ha pasado, se requiere de mucha práctica con los lenguajes de programación y aun así no es una tarea en absoluto trivial. Este hecho se constata observando que existen trabajos de fin de carrera enfocados únicamente a este aspecto así como trabajos de doctorado que persiguen el mismo objetivo.
7. Los costes asociados a este proyecto son bastante parecidos al precio real de mercado de otros robots fregasuelos. Teniendo en cuenta que los costes de este proyecto son relativos a un producto unitario, sería muy posible reducir estos costes de material si se llegara a producir en cantidades mayores.

POSIBLES MEJORAS:

Como se ha comentado anteriormente en las conclusiones obtenidas, es necesario realizar el diseño de un depósito presurizado para almacenar el vapor y poder expulsarlo en ráfagas a presión. La ubicación más acertada sería en el propio depósito de agua limpia ya que incluye un lugar sin uso actualmente.

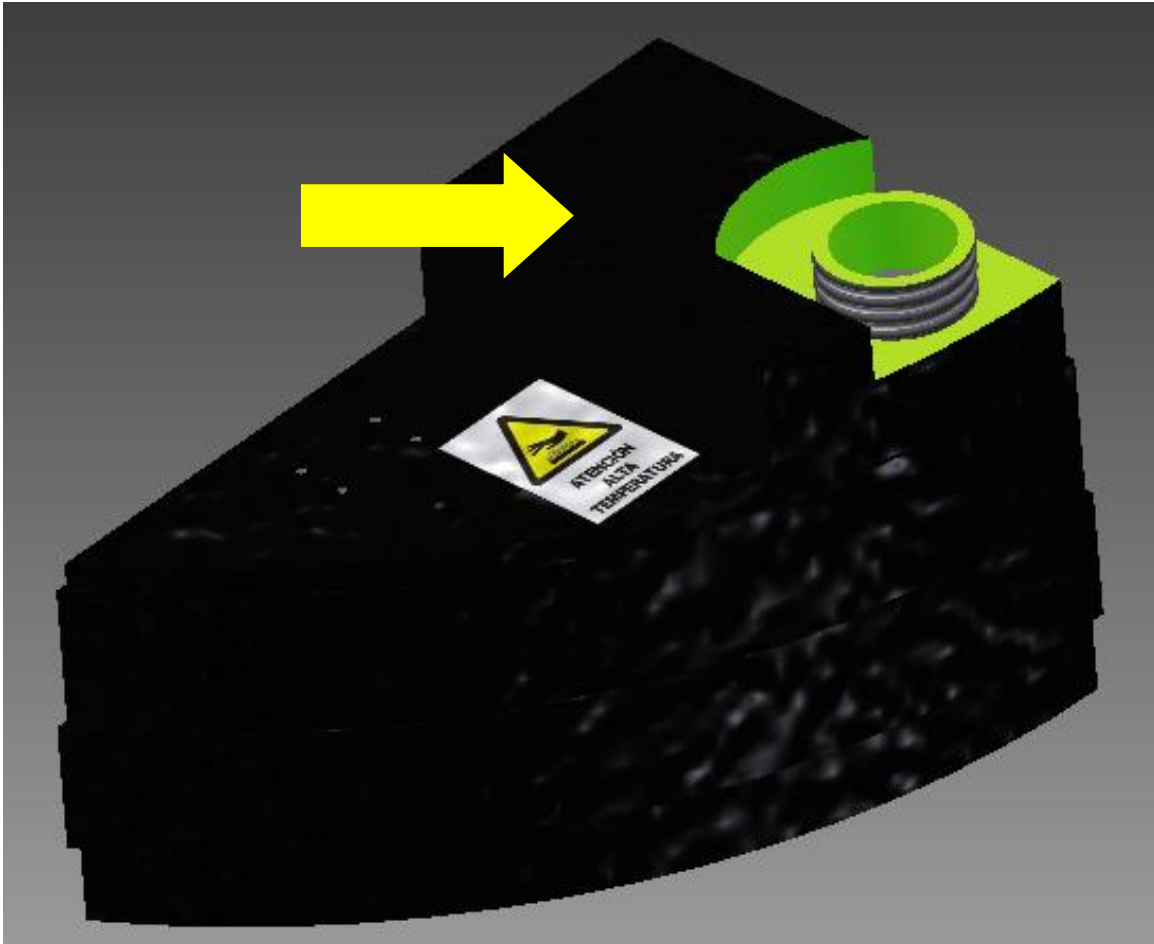


Ilustración 149 Depósito de agua limpia

Este pequeño espacio existente en el depósito de agua no puede llenarse con agua porque el agua rebosaría por los orificios hechos para las cuatro mallas en las que van enrolladas las resistencias de hilo de titanio. Así pues, al encontrarse este espacio sin uso, puede servir para realizar el diseño de una pequeña cámara en la que almacenar vapor.



Ilustración 150 Vista seccionada del depósito de agua limpia

Otra posible mejora es la de añadir un sensor con el que el robot pueda volver a la base de carga por si solo cuando la batería este baja y pueda recargarse automáticamente.



Ilustración 151 Sensor infrarrojo de retorno a la base de carga ("¿Por qué mi Roomba no vuelve a la base de carga?," n.d.)

Aunque cabe mencionar que este sistema no está acoplado en los actuales robots friegasuelos por el riesgo que supone dejar que una maquina cargada con agua se acerque a una toma de corriente. Si el robot tuviera una fuga de agua, podría llegar a producirse un cortocircuito e incluso un incendio.

Otra de las posibles mejoras que pueden realizarse es la de incluir un pequeño cajón para guardar hilo de titanio o alguna pequeña herramienta dentro del propio robot. Una posible ubicación sería la que existe en la parte derecha del robot como se indica a continuación.

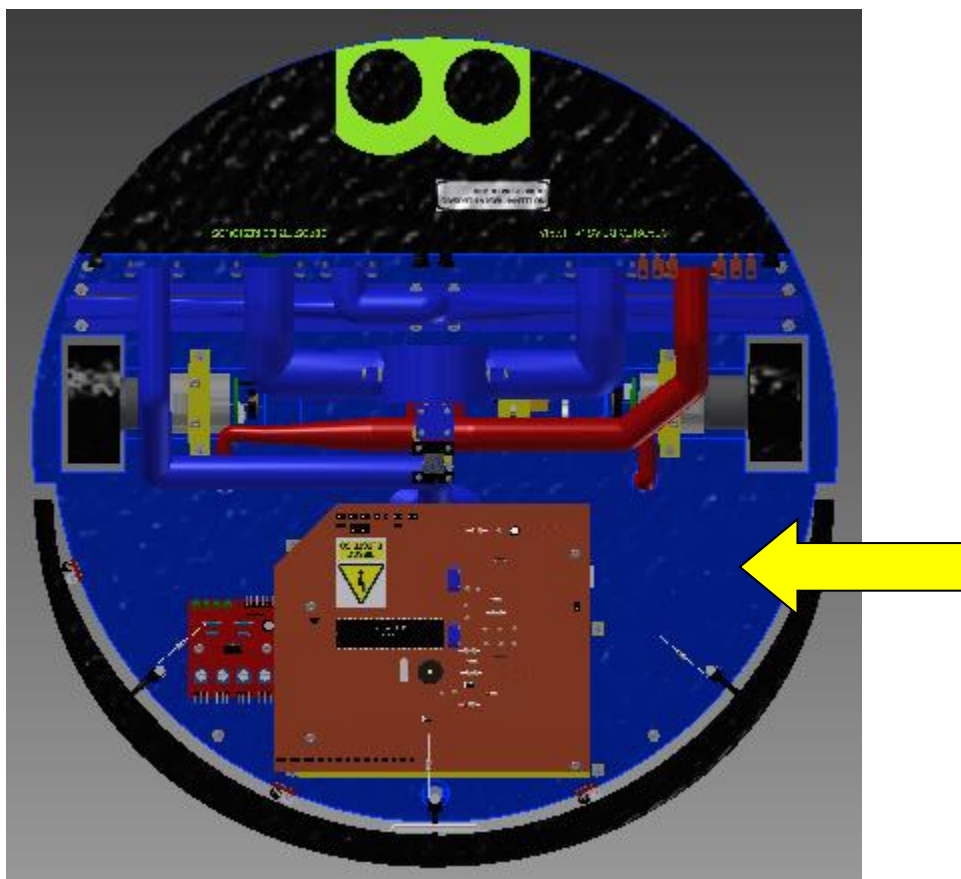


Ilustración 152 Vista superior del robot

En ese lugar existe un hueco de unas medidas suficientes para realizar el diseño de un pequeño cajón sin interferir en otros aspectos del robot.

9. BIBLIOGRAFÍA

1 Sensor Nivel Agua Angulo Recto Flotador Liquidos Tanques - \$ 27.000. (n.d.). Retrieved February 11, 2015, from http://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-414216888-1-sensor-nivel-agua-angulo-recto-flotador-liquidos-tanques-_JM

3.1.Bombas de engranajes - hidraulica11marcdavid. (n.d.). Retrieved February 25, 2015, from <https://sites.google.com/site/hidraulica11marcdavid/3-1bombas-de-engrana>

admin. (n.d.). Elegir mi primer cigarrillo electrónico. Retrieved from <http://urba-vap.com/blog/urba-vap-comtiendaindex-php-7/>

Arquitectura von Neumann y arquitectura Harvard. (n.d.). Retrieved from <http://rcmcomputointegrado.blogspot.com.es/2012/04/arquitectura-von-neumann.html>

Aspiradoras | Dyson.es. (n.d.). Retrieved February 20, 2015, from <http://www.dyson.es/las-aspiradoras.aspx>

Atomizador. (2013, March 9). In *Wikipedia, la enciclopedia libre*. Retrieved from <http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Atomizador&oldid=64618361>

Barbus, E. (2014, June 24). El cajón de Arduino: Sensor ultrasonidos HC-SR04 con pantalla LCD. Retrieved from <http://elcajondeardu.blogspot.com.es/2014/06/sensor-ultrasonidos-hc-sr04-con.html>

Batería de plomo ácido industrial | Venta Baterías Industriales | Baterías Usadas | Reciclaje de baterías | Batería Plomo. (n.d.). Retrieved from

Bibliografía

<http://www.ventadebateriasindustriales.cl/category/bateria-de-plomo-acido-industrial/>

BATERIA LIFE 6,6V-1600mAh LiFePo RX RECTA - RcMaxModelismo. (n.d.). Retrieved January 28, 2015, from <http://www.rcmaxmodelismo.com/baterias-life/1378-bateria-66v-1600mah-lifepo-rx-recta.html>

Bateria Li-ión Bz1 P/ Celular Niivo Zb-1 - R\$ 29,99. (n.d.). Retrieved January 28, 2015, from http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-612743187-bateria-li-ion-bz1-p-celular-niivo-zb-1-_JM

Bomba centrífuga. (2014, December 23). In *Wikipedia, la enciclopedia libre*. Retrieved from http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Bomba_centrocentrifuga&oldid=78961396

Bombas y sus aplicaciones. (n.d.). Retrieved February 25, 2015, from <http://html.rincondelvago.com/bombas-y-sus-aplicaciones.html>

Calculo de la potencia de los motores.pdf. (n.d.).

Características de funcionamiento Bomba peristáltica Ragazzini - Vallair do Brasil. (2014). Retrieved from http://www.youtube.com/watch?v=3Dnt6r_YtDY&feature=youtu_gdata_player

Cepillos centrales de Roomba. (n.d.). Retrieved February 18, 2015, from <http://megustalaroomba.com/2013/06/12/cepillos-centrales-de-roomba/>

Coa, I. yigsia B., Ing Guillermo. (n.d.). Mediciones Industriales: SENSORES DIGITALES. Retrieved from

<http://ycoamedicionesindustriales.blogspot.com.es/2007/06/sensores-digitales.html>

Comparativa modelos robot aspirador Samsung Navibot. (n.d.). Retrieved January 22, 2015, from <http://www.robotsaldetalle.es/aspiradores/noticias/comparativa-modelos-robot-aspirador-samsung-navibot>

Convertidor Buck. (2014, February 11). In *Wikipedia, la enciclopedia libre*. Retrieved from http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Convertidor_Buck&oldid=72474041

Cristiany, T., & Antonio, J. (2012, June 15). *CONSTRUCCION Y LOCALIZACION EN TIEMPO REAL DE UN ROBOT MOVIL VIA ODOMETRIA EN EL SEGUIMIENTO DE TRAYECTORIAS MEDIANTE CONTROL AUTOMATICO* (Thesis). Retrieved from <http://tesis.ipn.mx:8080/xmlui/handle/123456789/9921>

Custom LiFePO4 26650 Battery: 6.4V 13.2Ah (Flat, 84Wh, 16A rate) (7.9). (n.d.). Retrieved June 18, 2015, from <http://www.batteryspace.com/custom-lifepo4-26650-battery-6-4v-13-2ah-flat-84wh-16a-rate-7-9.aspx>

DC línea de velocidad de motores más frías de agua de la bomba 12V No sin escobillas en Tienda Especial de Electrónica de Consumo en AliExpress.com | Alibaba Group. (n.d.). Retrieved February 22, 2015, from http://es.aliexpress.com/item/DC-12V-pump-water-cooler-motors-speed-line-No-Brushless/561491911.html?src=ibdm_d03p0558e02r02

de fibra óptica de nivel de líquido del sensor de nivel de agua del sensor lle101000-Sensores-Identificación del producto:300004064400-spanish.alibaba.com. (n.d.). Retrieved February 11, 2015, from <http://spanish.alibaba.com/p->

detail/de-fibra-%C3%B3ptica-de-nivel-de-l%C3%ADquido-del-sensor-de-nivel-de-agua-del-sensor-lle101000-300004064400.html

De ni-cd aa800mah 9.6v recargable de la batería-Batería recargable-Identificación del producto:537463126-spanish.alibaba.com. (n.d.). Retrieved January 28, 2015, from <http://spanish.alibaba.com/product-gs/ni-cd-aa800mah-9-6v-rechargeable-battery-537463126.html>

Desinfección por vapor es muy útil para la limpieza del equipo o utensilios y consiste en un chorro de vapor a presión sobre el artefacto. (n.d.). Retrieved from <https://laboratorioinlaza.wordpress.com/2014/07/09/desinfeccion-por-vapor-es-muy-util-para-la-limpieza-del-equipo-o-utensilios-y-consiste-en-un-chorro-de-vapor-a-presion-sobre-el-artefacto/>

Dyson DC34 - 5 times faster than a Formula 1 engine- Official Dyson video. (2010). Retrieved from http://www.youtube.com/watch?v=OqKKnXqPdLs&feature=youtube_gdata_player

Dyson DC42 Multi Floor Upright Vacuum at Sears. (2012). Retrieved from http://www.youtube.com/watch?v=o2mWM6s69M&feature=youtube_gdata_player

Ejes del avión. (2014, August 20). In *Wikipedia, la enciclopedia libre*. Retrieved from http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Ejes_del_avi%C3%B3n&oldid=76469716

Electrodomesticos Cid - Recambio cepillo Robot Aspirador Samsung VCR8845T3. (n.d.). Retrieved February 20, 2015, from

http://www.electrodomesticoscid.com/product_info1.php?products_model=DJ7901303A

El Microcontrolador y los componentes electrónicos. (15:45:44 UTC). Retrieved from <http://es.slideshare.net/intoxicadocoder/el-microcontrolador-y-otros-componentes-electronicos>

Espectro electromagnético. (2015, February 2). In *Wikipedia, la enciclopedia libre*. Retrieved from http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Espectro_electromagn%C3%A9tico&oldid=78292378

[EUR € 9.69] Ni-MH 8.4V 800mAh batería recargable (Ni-MH (8.4v800)). (n.d.). Retrieved January 28, 2015, from http://www.lightinthebox.com/es/Ni-MH-8-4V-800mAh-bateria-recargable--Ni-MH--8-4v800--_p147060.html

Flor. (2013, October 31). Sensores: Sensor de vibración. Retrieved from <http://sensores--1.blogspot.com.es/2013/10/los-sensores-de-vibracion-son.html>

FMT-600 2.2" LCD Digital Chromatic Metronome Tuner for Guitar / Bass + More - Black (2 x AAA). (n.d.). Retrieved March 16, 2015, from <http://www.dx.com/es/p/gy-85-6dof-9dof-imu-sensor-module-for-arduino-148436>

Fuente conmutada. (2014, November 17). In *Wikipedia, la enciclopedia libre*. Retrieved from http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Fuente_conmutada&oldid=78195089

FUENTE DE PODER. (n.d.). Retrieved March 15, 2015, from <http://mantenimientoali.weebly.com/fuente-de-poder.html>

Garcia, V. (n.d.). motor bipolar con Arduino, control motor bipolar. Retrieved January 27, 2015, from <http://www.hispavila.com/3ds/atmega/motorbipolar.html>

Gikoka/micro interruptor z-15g-Interruptores micro-Identificación del producto:103375196-spanish.alibaba.com. (n.d.). Retrieved March 27, 2015, from <http://spanish.alibaba.com/product-gs/gikoka-micro-switch-z-15g-103375196.html>

GmbH, B. M. (2009). *English: picture of a micropump including a relation in size to a matchstick.* Retrieved from http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Micropump_mp_6.jpg

Guerra de aspiradoras robóticas: Roomba contra Navibot. (2010). Retrieved from http://www.youtube.com/watch?v=pAuvrBXsceE&feature=youtube_gdata_player

Ingeniería mecatrónica. (2015, January 10). In *Wikipedia, la enciclopedia libre*. Retrieved from http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Ingenier%C3%ADa_mecatr%C3%B3nica&oldid=79321866

Interfacing Servo Motor with PIC Microcontroller - MikroC. (n.d.). Retrieved from <https://electrosome.com/servo-motor-pic-microcontroller/>

IRobot Braava 320. (n.d.). Retrieved January 17, 2015, from <http://www.robotsaldetalle.es/domesticos/noticias/irobot-braava>

iRobot Scooba 230 Floor Scrubbing Robot. (n.d.).

iRobot Scooba 450 - Review completa - Robots al Detalle. (n.d.). Retrieved February 18, 2015, from <http://www.robotsaldetalle.es/domesticos/prueba/irobot-scooba-450>

- Israel, P. A. J., Saúl, T. A., Carrillo, U. G. V., Efrén, G. H., Carlos, P. O. J., Emilio, V. S. J., ... Artemio, S. O. (n.d.). Robot Móvil de Tracción Diferencial con Plataforma de Control Modular para Investigación y Desarrollo Ágil de Proyectos. Retrieved from <http://www.mecamex.net/anterior/cong10/trabajos/art18.pdf>
- Ivana. (n.d.). Enova.es » Motor para Cepillo Lateral de Roomba Irobot Compatible series 500, 600, 700, 800 + Cepillo 6 astas de regalo. Retrieved from <http://enova.es/motor-cepillo-lateral-roomba/>
- Johnny_4electronica3. (2011, May 31). T.P.'s 4º Electronica 3: Pregunta Nº 18. Retrieved from <http://et3-g9-2011.blogspot.com.es/2011/05/pregunta-n-18.html>
- Jonathan. (2014, September 17). Fuente de la PC: Introducción fuente PC. Retrieved from http://fuentepc.blogspot.com.es/2014/09/introduccion-fuente-pc_17.html
- La radiación ultravioleta | Tecnología ultravioleta. (n.d.). Retrieved from <https://uvcblog.wordpress.com/category/tecnologia-ultravioleta/la-radiacion-ultravioleta/>
- Lavadora tanque cheque de Scooba enfoque para lograr el sueño @ ing :: rufián PIXNET estado fuera de la solución de problemas :: (n.d.). Retrieved January 17, 2015, from <http://tayouhome.pixnet.net/blog/post/28499421>
- LIMPIEZA.COM, ViRobi , robot de limpieza de Vileda. (2011). Retrieved from https://www.youtube.com/watch?v=onzvih_ICSM&feature=youtube_gdata_player
- Microcontrolador. (2014, October 2). In *Wikipedia, la enciclopedia libre*. Retrieved from <http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Microcontrolador&oldid=77036236>

Microcontrolador. (2015, February 2). In *Wikipedia, la enciclopedia libre*. Retrieved from

<http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Microcontrolador&oldid=77596048>

MICRO DC WATER PUMP | Fizzible.com. (n.d.). Retrieved from <http://fizzible.com/product/micro-dc-water-pump/>

Micro pump mp6 - a short overview. (2012). Retrieved from http://www.youtube.com/watch?v=fEmrFQYOvD8&feature=youtube_gdata_player

Mini - de tamaño micro bomba peristáltica de kas-Bombas-Identificación del producto:561178511-spanish.alibaba.com. (n.d.). Retrieved February 25, 2015, from <http://spanish.alibaba.com/product-gs/mini-sized-micro-peristaltic-pump-kas-561178511.html>

Motor electrico brushless: Funcionamiento y características. (n.d.). Retrieved January 26, 2015, from <http://www.cochesrc.com/motor-electrico-brushless-funcionamiento-y-caracteristicas-a3607.html>

Motores brushed: Funcionamiento y características. (n.d.). Retrieved January 26, 2015, from <http://www.cochesrc.com/motores-brushed-funcionamiento-y-caracteristicas-a3606.html>

Motores Brushless - Quadruino. (n.d.). Retrieved January 26, 2015, from <http://www.quadruino.com/guia-2/materiales-necesarios-1/motores-brushless>

Motores Brushless RC. (n.d.). Retrieved January 27, 2015, from <http://blog.bricogeek.com/noticias/electronica/motores-brushless-rc/>

Motor Paso A Paso Nema 17 68 Oz-in 400 Pasos/vuelta. (n.d.). Retrieved from <http://electronilab.co/tienda/motor-paso-a-paso-nema-17-68-oz-in-400-pasosvuelta/>

Much More brushed Motor series» Red RC – RC Car News. (n.d.). Retrieved from <http://www.redrc.net/2007/12/much-more-brushed-motor-series/>

Odometría. (2014, July 22). In *Wikipedia, la enciclopedia libre*. Retrieved from <http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Odometr%C3%ADa&oldid=75729107>

Partes del cigarrillo electrónico: Atomizadores. (n.d.). Retrieved from <http://elcigarrodevapor.com/partes-cigarro-electronico-atomizadores/>

Phone Charger Using A 7805 Voltage Regulator | Bohack. (n.d.). Retrieved from <http://www.bohack.com/2010/08/phone-charger-using-a-7805-voltage-regulator/>

¿Por qué mi Roomba no vuelve a la base de carga? (n.d.). Retrieved August 20, 2015, from <http://megustalaroomba.com/2012/07/11/%c2%bfpor-que-mi-roomba-no-vuelve-a-la-base-de-carga/>

Practica 3: Mediciones del funcionamiento del diodo en CA y CC. (n.d.). Retrieved from <https://eduardochavarin.wordpress.com/2015/02/13/practica-3-mediciones-del-funcionamiento-del-diodo-en-ca-y-cc/>

¿Qué hace ideal para mascotas a una Roomba 800? (2015, February 11). Retrieved February 11, 2015, from <http://megustalaroomba.com>

Querol, T. D. L. (2012, November 28). LQTECNO: SEPTIEMBRE 2012 OPCIÓN A CUESTIÓN 1. Retrieved from <http://lqtecno.blogspot.com.es/2012/11/septiembre-2012-opcion-cuestion-1.html>

Bibliografía

¿Qué tipo de filtro usa mi Roomba? (n.d.). Retrieved February 20, 2015, from <http://megustalaroomba.com>

Radiación ultravioleta. (2015, February 9). In *Wikipedia, la enciclopedia libre*. Retrieved from http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Radiaci%C3%B3n_ultravioleta&oldid=79931815

Resultados de la Búsqueda de imágenes de Google de http://files.elv.de/bilder/artikel/vorschau/Produkte/11/1188/118812/Internet/vorschauneu/118812_F01_GeModul.jpg. (n.d.). Retrieved March 15, 2015, from http://www.google.es/imgres?imgurl=http://files.elv.de/bilder/artikel/vorschau/Produkte/11/1188/118812/Internet/vorschauneu/118812_F01_GeModul.jpg&imgrefurl=http://www.elv.de/netzteil-bausteine.html&h=88&w=88&tbnid=1jU8SIaa-z6W2M&zoom=1&tbnh=77&tbnw=77&usg=__jnvsh84JFQ7GYaVToNEWIUNvfYo=&docid=S6QfPzC7TtAr8M

Robot Friegasuelos Archives - ¿Qué robot aspirador necesitas? Comparativa a fondo de todos los modelos. (n.d.). Retrieved from <http://robotsaspirador.es/category/robot-friegasuelos/>

Rodriguez, P. por E. (n.d.). Informes Mk2013A Eduardo Rdz Zarate. 174. Retrieved from <http://infmtk2013aeduardordz174.blogspot.com.es/2014/10/bombas-hidraulicas-de-desplazamiento.html>

RTD. (2014, December 17). In *Wikipedia, la enciclopedia libre*. Retrieved from <http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=RTD&oldid=78473967>

Sensores de Nivel de Líquido Capacitivo · Introducción. (2014). Retrieved from https://www.youtube.com/watch?v=PJbR8NqzmLE&feature=youtube_gdata_player

Sensor ultrasónico. (2014, December 30). In *Wikipedia, la enciclopedia libre*. Retrieved from http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Sensor_ultras%C3%B3nico&oldid=78196975

Servomotores - Monografias.com. (n.d.). Retrieved January 27, 2015, from <http://www.monografias.com/trabajos60/servo-motores/servo-motores.shtml>

Sesión 6 motor dc. (18:40:14 UTC). Retrieved from <http://es.slideshare.net/edgarprincipe/sesin-6-motor-dc>

Solac Ecogenic Pro 15 LV1450 - Limpiavapor ergonómico, 1400 W, apertura sin rosca, listo en 2 min, 35 g/min, radio acción 8 m. (n.d.).

SR8F51 (NaviBot Fresh) | SAMSUNG Australia. (n.d.). Retrieved January 21, 2015, from <http://fb.au.samsung.com/consumer/home-appliances/vacuum-cleaner/robot-vacuum/VR10F53UBBR/SA>

Sudpol, A. (2014, May 21). Algo nuevo: Baterías de gel americanas. Retrieved from <http://algo-nuevos.blogspot.com.es/2014/05/baterias-de-gel-americanas.html>

tecnología, P. freelance especializada en contenidos escritos y comunicación online A. de la, & Artificial, L. R. Y. L. I. (n.d.). Analizamos a fondo el Robot Friegasuelos Scooba. Retrieved from <http://robotsaspirador.es/comparativa-scooba-230/>

Termistor PTC chroniący przedprzeciążeniem: C 985-A120-A. (n.d.). Retrieved February 9, 2015, from <http://www.conrad.pl/Termistor-PTC-chroni%C4%85cy->

Bibliografía

przedprzeci%C4%85%C5%BCeniem: -C-985-A120-
A.htm?websale8=conrad&pi=500549

Tipos de Encapsulado. (n.d.). Retrieved from <http://elec1-cahm.blogspot.com.es/2012/03/tipos-de-encapsulado.html>

Todo sobre las baterías LiPo. (n.d.). Retrieved January 28, 2015, from <http://blog.bricogeek.com/noticias/modelismo/todo-sobre-las-baterias-lipo/>

tutorial_05 — ocwus. (n.d.). Retrieved February 25, 2015, from http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario/Tema%207.%20Bombas/tutorial_05.htm

Tutorial sobre Motores Paso a Paso (Stepper motors). (n.d.-a). Retrieved from <http://www.todorobot.com.ar/tutorial-sobre-motores-paso-a-paso-stepper-motors/>

Tutorial sobre Motores Paso a Paso (Stepper motors). (n.d.-b). Retrieved from <http://www.todorobot.com.ar/tutorial-sobre-motores-paso-a-paso-stepper-motors/>

Unidad de medición inercial. (2014, November 27). In *Wikipedia, la enciclopedia libre*. Retrieved from http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Unidad_de_medici%C3%B3n_inercial&oldid=78411893

Zambrano Escobar, A., & Pinto Mindiola, L. (2009). Aplicación de las redes neuronales artificiales en procesadores digitales de señales: caracterización de sensores infrarrojos. *Universidad, Ciencia Y Tecnología*, 13(51), 129–136.

Сергей, 3. (2014, May 20). Villa and cases para las personas: Carbones para maquinas electricas. Retrieved from <http://villa-cases01.blogspot.com.es/2014/05/carbones-para-maquinas-electricas.html>

Relación de documentos

| | | |
|---------------------------|-----|---------|
| (X) Memoria | 163 | páginas |
| (_) Anejos (Planos) | 92 | páginas |
| (_) Anexos | 45 | páginas |

La Almunia, a 08 de 09 de 2015

Firmado: Jorge Otal Fernández