



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Sistema de mecanismo de un robot aspirador
efectivo para limpiar el pelo de mascotas

Robotic vacuum cleaner mechanism system
effective for pet hair removing

Autor

Syamimi Binti Rosli

Director

Juan Carlos Sánchez Catalán

Escuela Universitaria Politécnica La Almunia

Septiembre 2022

Página intencionadamente en blanco.



**Escuela Universitaria
Politécnica** - La Almunia
Centro adscrito
Universidad Zaragoza

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

MEMORIA

Sistema de mecanismo de un robot aspirador
efectivo para limpiar el pelo de mascotas

Robotic vacuum cleaner mechanism system
effective for pet hair removing

[424.21.27]

Autor: Syamimi Binti Rosli
Director: Juan Carlos Sánchez Catalán
Fecha: 09 2022

Página intencionadamente en blanco.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. RESUMEN	1
1.2. PALABRAS CLAVE	1
1.3. ABSTRACT	2
1.4. KEY WORDS	2
1.5. INTRODUCCIÓN	3
1.6. ANTECEDENTES	5
1.6.1. Historia del robot aspirador	5
1.6.2. Productos comerciales	9
2. MARCO TEÓRICO	13
2.1.1. Sistema de Navegación y Seguridad	13
2.1.1.1. Mapeo y Localización	13
2.1.1.2. Evitación de los obstáculos	14
2.1.1.3. Problema de escaleras descendientes	16
2.1.2. Sistema de Tracción	18
2.1.2.1. Transmisión Diferencial	18
2.1.2.2. Transmisión de dos ruedas	19
2.1.3. Sistema de Almacenamiento de Energía	20
2.1.3.1. Voltaje	20
2.1.3.2. Capacidad de carga	21
2.1.3.3. Tasa de descarga	21
2.1.3.4. Densidad de potencia	22
2.1.3.5. Tecnología de la batería	22
2.1.4. Mecanismo de aspiración	23
2.1.4.1. Los cepillos	23
2.1.4.2. Ventilador	24
2.1.4.3. Rodillo	25
2.1.5. Procesador	26
2.1.5.1. Arduino	26
2.1.5.2. Raspberry-PI	27
2.1.6. Sensores	29
2.1.6.1. Sensor LIDAR	29
2.1.6.2. Sensor bumper	29
2.1.6.3. Sensor Ultrasonido	30

2.1.6.4. Sensor infrarrojo	31
2.1.7. Actuadores	32
2.1.7.1. Servomotor	32
2.1.7.2. Motor Brushless	33
2.1.7.3. Encoder Rotatorio	34
3. DESARROLLO MECÁNICO	35
3.1. CÁLCULO DE PAR Y SELECCIÓN DEL MOTOR PARA LAS RUEDAS	35
3.2. SELECCIÓN DEL VENTILADOR Y EL MOTOR PARA LOS CEPILLOS	36
3.3. SISTEMA DE SENSORES	37
3.4. LA SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES INVOLUCRADO EN EL SISTEMA DE ASPIRACIÓN	39
3.5. EL CHASIS	40
4. DESARROLLO ELECTRÓNICO	41
4.1. DIAGRAMA DE BLOQUES	41
4.1.1. <i>Diagrama de Alto Nivel</i>	41
4.1.2. <i>Diagrama de Bajo Nivel</i>	42
4.1.2.1. Sistema de almacenamiento de energía	42
4.1.2.2. Sistema de tracción	50
4.1.2.3. Sistema de navegación y seguridad	52
4.1.2.4. Sistema de interfaz	53
4.1.2.5. Sistema de aspiración	54
5. SISTEMA DE CONTROL	57
5.1. DIAGRAMAS UML	57
5.1.1. <i>Diagrama de Actividad</i>	58
5.1.2. <i>Diagramas de Casos de Usos</i>	61
6. CONCLUSIONES	63
7. OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE	65
8. BIBLIOGRAFÍA	66

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Robot aspirador Trilobite fabricada por empresa Electrolux.....	6	
Ilustración 2: El robot aspirador RoboCleaner fabricado por Karcher.....	6	
Ilustración 3: El robot aspirador DC06 Dyson	7	
Ilustración 4: El robot con varias aplicaciones, Cye, Probotics	8	
Ilustración 5: Estudio de diseño de Ladybird según el previo artículo.....	9	
Ilustración 6: La última versión de Roomba s9+	10	
Ilustración 7: Robot aspirador Eufy Robovac X8.....	11	
Ilustración 8: Ejemplo del mapa que mapea LiDAR SLAM [10].....	14	
Ilustración 9: Mecanismo de detección las escaleras (fuente: roboticandautomationnews.com)	17	
Ilustración 10: El movimiento del robot con tracción diferencial (fuente: guiott.com).....	19	
Ilustración 11: Cepillo de giratorio lateral	Ilustración 12: Cepillo de rodillo central	23
Ilustración 13: La orientación de los cepillos en el robot aspirador	24	
Ilustración 14: Un ventilador radial (fuente: ineedparts.eu)	25	
Ilustración 15: El parte rodillo de Chom Chom roller (fuente: fruugo.es).....	25	
Ilustración 16: La placa Arduino Uno (fuente: dynamoelectronics.com)	27	
Ilustración 17: La placa del Raspberry PI (fuente: dynamoelectronics.com)	28	
Ilustración 18: Método basado en los datos de los puntos de nubes [10]	29	
Ilustración 19: Sensor de parachoques (fuente: pololu.com)	30	
Ilustración 20: Sensor de ultrasonido [27]	31	
Ilustración 21: Componentes de un IR sensor	31	
Ilustración 22: Relación entre el pulso y la dirección del servo motor[28]	32	
Ilustración 23: Funcionamiento del BLDC motor [31]	33	
Ilustración 24: Funcionamiento de un encoder óptico [32]	34	

INDICES

Ilustración 25: Diagrama de bloque de alto nivel	41
Ilustración 26: Diagrama de bloque del sistema de tracción	50
Ilustración 27: Diagrama de bloque del sistema de navegación y seguridad	52
Ilustración 28: Diagrama de bloque del sistema de interfaz	53
Ilustración 29: Diagrama de bloque del sistema de aspiración	54
Ilustración 30: Diagrama de bloque del sistema de almacenamiento de energía	42
Ilustración 31: Diagrama de caso de uso del robot aspirador.....	61
Ilustración 32: Diagrama de caso de uso (caso 1: proceso de limpieza).....	62
Ilustración 33: Diagrama de caso de uso (caso 2: evitación de obstáculos).....	62
Ilustración 34: El sensor de bumper.....	39
Ilustración 35: Los cepillos laterales Ilustración 36: El cepillo rodillo central	39

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Resumen de las tecnologías de los robots.....	12
Tabla 2: Características de las baterías [20].....	22
Tabla 3: Comparación entre Arduino Y Raspberry Pi	28
Tabla 4: Parámetros del servo motor para ruedas.....	35
Tabla 5: Parámetros de la reductora equipado en el servo motor	36
Tabla 6: Parámetros del motor BLDC para los cepillos	37
Tabla 7: Parámetros del ventilador	37
Tabla 8: Parámetros del sensor LiDAR	38
Tabla 9: Parámetros del sensor de infrarrojo	38
Tabla 10: Parámetros del cepillo rodillo central.....	39
Tabla 11: Los parámetros de los componentes en el robot	42
Tabla 12: Las selecciones de los condensadores para BQ76920	44
Tabla 13: Las selecciones de las resistencias para BQ76920.....	45
Tabla 14: Las selecciones de los transistores para BQ76920.....	45
Tabla 15: La selección del diodo para BQ76920	45
Tabla 16: Las selecciones de los condensadores para la fuente conmutada	46
Tabla 17: Las selecciones de las resistencias para la fuente conmutada	47
Tabla 18: Las selecciones de los diodos para la fuente conmutada	47
Tabla 19: Las selecciones de los transistores para la fuente conmutada.....	48
Tabla 20: Las selecciones de componentes para el circuito del driver DRV10970	55

1. INTRODUCCIÓN

1.1. RESUMEN

En los últimos cientos de años, la cantidad de mascotas que se quedan en la casa junto con las gentes únicamente para compañía y disfrute ha aumentado dramáticamente. La mayoría de las mascotas que se queda en casa mudan de pelo con frecuencia y el pelo quedara atrapada en muebles de tela, como alfombras, en el cual va a afectar la limpieza del hogar. El robot aspirador que se introdujo en 1996 se volvió relevante en este contexto para las personas que trabajan y tenían un horario ocupado para buscar tiempo para limpiar la casa. Debido a su comodidad y utilidad en la limpieza de un sitio, la demanda de este robot autónomo se ha disparado en los últimos años. Sin embargo, a pesar de las ventajas que se ofrece, el robot aspirador es bastante ineficaz para una casa con mascotas a la hora de limpiar el pelo porque el pelo es difícil a quitar y queda atrapado en los muebles de tela a pesar de pasar la aspiradora. Por lo tanto, en este proyecto se propone un robot aspirador que es eficaz en la eliminación del pelo de las mascotas mediante la implementación de un rodillo electrostático. Este robot autónomo se mapea el entorno de trabajo y navega por sí mismo, aspira el polvo del piso, rodeo sobre las alfombras para recoger el pelo de las mascotas y maniobrar sobre los obstáculos que se encuentra en su camino. Como metodología, se ha diseñado un modelo 3D del robot utilizando la aplicación Autodesk Inventor y en cuanto al diseño electrónico, se ha implementado y diseñado los componentes eléctricos tal como los sensores, motores, drivers, baterías y microcontrolador utilizando el software KiCAD considerando todos los requerimientos eléctricos necesarios. Como resultado, desafiando una limitación cuantificable que se discutirá más adelante, la eliminación del pelo de las mascotas será más eficiente mediante la implementación de un rodillo electrostático que empleó el concepto de la carga electrostática.

1.2. PALABRAS CLAVE

Robot aspirador, robot autónomo, eliminación del pelo de mascotas, rodillo electrostático, navegación.

1.3. ABSTRACT

In the last several hundred years, the number of pets kept in the house solely for companionship and entertainment has dramatically increased. Most of the pets that are kept in the house are shedding often and the fur will be trapped in fabric-material furniture such as rugs and carpets and thus affect the cleanliness of the household. The robotic vacuum cleaner which was introduced back in 1996 became relevant in this context to the working people who had a packed schedule in finding time to clean the house. Due to its convenience and usefulness in cleaning the house as well as working space, the demand for this autonomous robot has skyrocketed during these last few years. However, despite the perks given, the robot vacuum cleaner is quite inefficient for a house with pets in cleaning their shedding hair because the hair just won't take off and keeps trapped on a fabric material furniture despite vacuuming. Hence, a robotic vacuum cleaner that is effective in removing pet's hair through the implementation of an electrostatic roller is proposed in this project. This autonomous robot navigates by itself through the working space, vacuums the dust on the floor, rolls onto the carpets or rugs to collect pet's hair and maneuvers around the obstacles found in its way. As a methodology it is, a 3D model of the robot is designed using Autodesk Inventor and as for the electronic design, the electrical components such as sensors, motors, drivers, batteries, and microcontroller have been implemented and designed using KiCAD software considering all the electrical requirements needed. As a result, in defiance of a numbered limitation that will be discussed later in this project, removing pet's hair will be more efficient through the implementation of an electrostatic roller that employed the concept of electrostatic charge.

1.4. KEY WORDS

Robotic Vacuum Cleaner, Autonomous robot, Removing pet's hair, Electrostatic roller, navigation.

1.5. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, el uso de los robots aspiradores para la casa y espacio de trabajo es cada vez más común y gana más atención específicamente entre las personas con carreras. Este robot es muy útil a la hora de asegurar la limpieza de un lugar con un mínimo interferencia de las personas, para que ellos puedan dedicarse a un trabajo más intelectual y valioso. Este robot autónomo se integra con tecnologías avanzadas para que pueda navegar a través del espacio de trabajo además de detectar y evitar el choque con los obstáculos. Un robot aspirador se encarga en limpiar el piso mediante la implementación de una aspiradora que va a succionar el polvo con el ayuda de los cepillos implementados.

Estos robots autónomos usualmente trabajan en casas donde viven las gentes. Aparte de las gentes, la mayoría de las casas también tienen mascotas viviendo juntas con ellas. Son adorables y cariñosas, pero sin duda tienden a mudar su pelo alrededor de la casa. En este contexto, el robot aspirador simplemente no encaja hacer el trabajo de limpieza debido a su ineficiencia en succionar el pelo. La elección y realización de este tema deriva de la urgencia que tenga la autora como una dueña de cuatro gatos a eliminar el pelo suelto alrededor del hogar, ya que, se cree que se ocurre lo mismo casi a todos hogares que tienen mascotas en su casa. El pelo suelto también está mal para la salud de la persona que tiene senos paranasales.

En este proyecto, se va a centrar en los mecanismos de movimiento del robot al navegar a través del lugar a limpiar y los mecanismos planteados para limpiar efectivamente el pelo tanto de los humanos como de las mascotas. A parte de eso, se va a estudiar el papel de los sensores en asegurar que el robot no se choca con los muebles o algún obstáculo puesto que el choque puede dañar el robot. Además de los dichos mecanismos, se va a diseñar también la forma y geometría del robot para que se pueda trabajar con alta eficiencia. Por ejemplo, el robot tiene que ser de pequeño tamaño para que se pueda meter debajo de los muebles como las camas y sofás para limpiar y aspirar el sucio en estos lugares. Se plantea una característica distinta para limpiar en la parte esquina de un lugar o alrededor de las patas de los muebles. El robot también debe tener una forma apropiada para absorber la energía de los impactos del choque que se puede ocurrir durante la limpieza.

En la primera etapa, se muestra los antecedentes de los robots limpiadores que incluye los trabajos previos que han hecho otras personas u organizaciones. Se va a describir brevemente las características de los robots, la geometría y los mecanismos de control implementados en estos robots y también sus limitaciones. Aparte de eso, se va a comparar las características principales de los robots y sus

mecanismos. Se van a incluir también los robots limpiadores que ya existen en el mercado actual.

En la segunda etapa, se trata de los marcos teóricos de los mecanismos que se van a implementar en el robot. En esa parte, se profundiza el estudio en las partes mecánicas como los tipos de motores que se puede usar, los tipos de sensores que se puede plantear, la fuente de alimentación y más. Se puede ver varias tecnologías existen que es posible implementar en el robot depende de la necesidad y situación del uso. Esas tecnologías se recopilan desde el estudio de la primera etapa.

En la tercera etapa es la etapa de desarrollo mecánico. Se justifica la selección de los motores tanto para las ruedas como para los cepillos y se calcula los pares que necesitan los componentes. Además de esos, se elige también el ventilador, los sensores y el material del chasis. El chasis también está diseñado para convenir todos los cables que van de un sitio a otro. Junto con eso, se adjunta el modelo 3D con sus planos de la geometría del dicho robot. En esos planos, se muestran claramente como van las uniones entre los componentes con el chasis.

A continuación, la siguiente etapa se va a enfocar sobre la parte del diseño electrónico del robot. Se ha dibujado los diagramas de bloques tanto de alto nivel como de bajo nivel. Para cada bloque se explica de manera explícitamente la función del módulo y se calcula los valores de los componentes pasivos necesarios. Junto con eso, se adjunta los esquemas eléctricos y los esquemas electrónicos que muestran claramente las conexiones eléctricas entre los componentes. Se va a adjuntar también el esquema de la placa PCB final que se va a meter dentro del robot.

En la etapa final, se va a resumir las conclusiones sobre el comportamiento obtenido para nuestro sistema robótico e incluir las limitaciones que existen. Se incluye también los aspectos que se pueden mejorar para los trabajos futuros.

1.6. ANTECEDENTES

En este apartado se pretende a describir brevemente los avances y el estado actual de un robot aspirador de manera que se pueda servir como un modelo o ejemplo que sea apto para mejorar en cierto aspecto el cual se pretende conseguir a lo largo de este proyecto. Aparte de eso, se describe de manera explícitamente algunos de los conceptos teóricos importantes para el diseño de este robot sin dejar lugar a dudas.

1.6.1. Historia del robot aspirador

El primer prototipo de un robot aspirador nació en Hitachi, Sanyo alrededor del año 1991. Este prototipo marcaba que ya existió dicha tecnología en esa década, pero todavía no sería capaz de llegar al mercado actual. Había pasada una década más para el primer robot aspirador llegar al mercado comercial. [1]

En 1997, nació el primer producto comercial de un robot aspirador, Trilobite, fabricada por una empresa que se llama Electrolux, basada en Suecia. Este robot tenía un diámetro de 15 pulgadas y fue lanzada oficialmente en 2001. El robot implementó la tecnología sonar¹ basada en 'radar' para el mecanismo de navegación del robot y la evitación de los obstáculos. Cuando esté en modo trabajo o bien dicho en estado inicial de ON, el robot iría a buscar la pared más cercano de él. Desde allí, el robot siguió la pared y el contorno de la sala hasta que se volvió a la posición inicial cerca de la pared. A continuación, limpiaría el resto de la sala en tramos irregulares, disminuyendo la velocidad al acercase a un obstáculo y apartándose del camino. Aparte de eso, el robot fue equipada con parachoques en su exterior para que se pueda evitar el daño al robot si ocurriera contacto con la pared o cualquier objeto. Trilobite fue alimentado por las baterías en el cual se va a recargar cuando estaría en el puerto de carga. [1], [2]

¹ acrónimo del inglés *Sound, Navigation and Ranging*, que es un dispositivo que emite la onda de ultrasonido y detecta la onda reflejada por el objeto.



Ilustración 1: Robot aspirador Trilobite fabricada por empresa Electrolux

Competidor más fuerte del Trilobite durante ese día fue RoboCleaner, fabricada por una empresa alemana, Karcher. Este robot tenía el mismo tamaño como Trilobite y fue lanzada en primavera 2001. El método de limpio fue casi lo mismo como en Trilobite, se movió siguiendo una patrona aleatoria hasta que se cubre el área entera de un lugar determinado. A diferencia del robot anterior, se empleó un sensor en este robot que sirve para monitorizar el nivel de contaminación del aire aspirado en él. De esta manera, el robot pueda detectar y determinar el área que más contamina. Cuando se detecte el área, el robot aumentó la potencia de la succión para asegurar que no hay polvo o sucio que quede. A la hora del recargar el robot, el robot estuvo programada para automáticamente volver al sitio donde se recarga por sí mismo aproximadamente para cada 20 a 30 minutos del trabajo. Además, estuvo programado para vaciar su contenedor de polvo en un lugar determinado cuando esté lleno. El rendimiento medio de la limpieza que nos dio el robot fuera $15\text{m}^2/\text{h}$. [1]



Ilustración 2: El robot aspirador RoboCleaner fabricado por Karcher

A principio del año 2000, también entró en el mercado un robot aspirador DC06 fabricada por una empresa Reino Unido, Dyson. A diferencia de Trilobite y RoboCleaner, DC06 fue un poco más caro, aproximadamente costó \$4000. Este precio era debido a su estructura del diseño que fue más inteligente en navegar y realizar el trabajo. Mientras que los robots que ha mencionado anteriormente implementaron un único microcontrolador, el robot Dyson DC06 se controló mediante tres ordenadores de a bordo. Combinando esos ordenadores con aproximadamente 70 sensores, el robot sería capaz de localizar la posición de sí mismo en una habitación, detectar y evitar la colisión con los obstáculos que se encontraba en medio de trabajo y también mantense alejado de las escaleras para evitar caerse de las escaleras. Bien dicho de otra manera, DC06 sería capaz de mapear el entorno de la habitación que se esté trabajando gracias a su tecnología de los sensores y computadoras. Este robot permitió maniobrar con precisión y limpiar un lugar de manera eficiente sin repetición, incluso reconociendo los lugares que ya ha estado y donde no. Esto dio lugar al DC06 a limpiar y aspirar una habitación o lugar de manera sistemático siguiendo una trayectoria de limpio preplaneado. El sistema de alimentación implementado en este robot fue casi lo mismo como en el robot anterior el cual se recargó independientemente a través de un cargador de alta velocidad. [1], [3]



Ilustración 3: El robot aspirador DC06 Dyson

Una empresa americana Probotics Inc. lanzó su primer robot personal en mayo 1999. Distinto de los previos, Cye había diseñado para ser capaz de hacer varios trabajos como sirve el café, entrega los correos y aspira y limpia la casa. Por eso, este robot era configurable para una aplicación especificada. Por ejemplo, si un usuario quisiera configurar

para limpiar la casa, se había que conectar con un aspirador regular mediante un soporte. Cye empujó y retiró la aspiradora para realizar el trabajo de limpio. Este robot solo consistió en unos sensores para medir el corriente en los motores y la revolución de las ruedas. Esto permitió que el robot pueda detectar si había chocado con los objetos cuando había deceleración en el flujo de corriente y la revolución. Aparte de eso, Probotics también implementó un encoder en las ruedas que sirve para monitorizar la distancia recorrida por Cye y su orientación. Además, mientras que DC06 fue equipada con tres computadoras a bordo, Cye solo consistió en un microcontrolador que actuó como una computadora a bordo. Esto permitió que el robot se podía controlar remotamente por un ordenador o PC. La consola operativa de PC permitió el usuario meter un mapa del espacio de trabajo de Cye y luego definir las rutas de limpiezas. [1], [4]



Ilustración 4: El robot con varias aplicaciones, Cye, Probotics

Durante enero 2017 en Suiza, un autor de una universidad había publicado un proyecto de Ladybird que tenía objetivos a desarrollar un robot aspirador que sea amigable con los animales bajo su supervisión. Aunque este proyecto todavía solo está en papel, pero es un modelo bueno para desarrollar y mejorar en las futuras investigaciones además de darnos inspiraciones e ideas para que se pueda mejorar este proyecto. El robot aspirador Ladybird sea una maquina moral simple, o sea, cuando encontraría un animal, Ladybird tomaría una decisión bien a eliminar el animal o esperar hasta que el animal desaparece de la zona de limpia o bien zapear los insectos que involuntariamente entra en la casa por ejemplo la mariquita, la oruga y la araña. Todos esos animales serían clasificado y evaluado según su tamaño, apariencia, color y etc. Tomando en caso como para la detección de una mariquita, un sensor de color va a detectar el color del animal si hubiera el color rojo, rojizo o amarillento

el cual es el color de una mariquita. En un lado, un sistema con reconocimiento de patrones debería implementarse en Ladybird para que el robot pueda analizar el patrón típico de una mariquita, los punteados en su cuerpo. Por otro lado, un sistema de reconocimiento de imagen se plantearía para identificar todo el animal entero o especie de animal. Todos los sistemas que se ha mencionado anteriormente deberían combinar y funcionar simultáneamente para evitar acoso innecesario hacia animal más grande como los gatos y los perros. Además de esas actitudes hacia animales, Ladybird también tendría que ser capaz de identificar y diferenciar todos los objetos que habría succionado por él en caso de que habría caída de joyas o dineros que sería útil para los usuarios. [5]

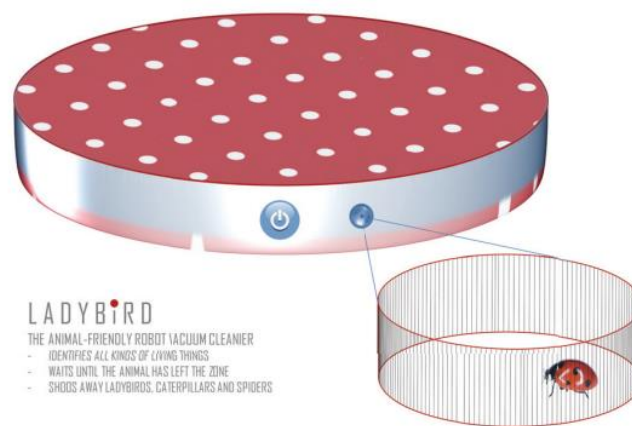


Ilustración 5: Estudio de diseño de Ladybird según el previo artículo

1.6.2. Productos comerciales

Hoy en día, existen varios tipos de robot aspiradora que está en venta en el mercado para el uso diario de los hombres dado que se usa ampliamente en la casa para limpiar y aspirar el hogar mientras que la gente podría dedicarse a otros trabajos más intelectual. Por eso, se espera que el creciente del mercado de robot aspirador aumente rápidamente en los próximos 10 años debido a que el mayor número de lesiones ocupacionales registradas es de la industria de limpieza según un estudio del mercado. [6]

Uno del robot aspirador en el mercado actual que más conocido es de la marca Roomba fabricada por una empresa robótica americana, iRobot. iRobot se ha fabricado muchas series y versiones de robot aspirador a lo largo de los años y cada vez más potentes e inteligentes de hacer el trabajo. En la versión de Roomba más recientes, el robot está

integrado con la conexión del wifi y el asistente de voz. De esa manera, el cliente pueda dar instrucción al robot a trabajar de donde sea que esté o indique la zona no limpia a través de la aplicación integrado con ese robot. Roomba se dispone un cepillo especial para limpiar en las esquinas de una habitación donde suele ser una zona que difícil de limpiar con el robot. Para navegar a través de una habitación, iRobot implementa la tecnología vSLAM² en Roomba para mapear su entorno de trabajo y lo visualiza a través de la aplicación. Además, un filtro se plantea en Roomba para capturar los alérgenos del polen y del moho contiene el polvo. Este robot se recarga automáticamente en su puerta de carga cuando necesaria y luego sigue continuando limpiar hasta finalizar el trabajo asignado. En una versión de Roomba, cuando el robot encontraría algún obstáculo, una cámara dispone dentro del robot va a capturar la imagen del obstáculo y lo visualiza a través de la aplicación. De esta manera, el cliente pueda decidir e indicar como actuar el robot por ejemplo en caso de encontrar la caca de perro o una maraña de cables. Por último, pero no menos importante, Roomba nos permite omitir la aspiración durante la semana al vaciar automáticamente su depósito en una bolsa desechable. [7]



Ilustración 6: La última versión de Roomba s9+

Otra marca en el mercado que es más barato, pero no es menos estupendo es Robovac fabricada por empresa americana Eufy. Esta empresa ha fabricado varios tipos de herramientas y maquinas además del robot aspirador Robovac. Este robot está diseñado para aspirar y

² vSLAM es una tecnología que aprovecha la visión 3D para realizar funciones de ubicación y mapear el entorno de trabajo

fregar la casa u oficina. Por esa característica, Robovac dispone de un depósito de agua de 250ml para fregar y aspirar el piso simultáneamente lo que implica más eficiencia en limpiar y ahorrar más tiempo. A diferencia de la Roomba, Robovac está equipada con las turbinas gemelas con alta potencia para succionar el pelo de las mascotas además de la suciedad y el polvo existe. Con una dimensión de aproximadamente 340mm x 340mm x 95mm, este robot puede crear un mapa virtual de la ruta de limpieza gracias a la implementación de tecnología láser para el sistema de navegación. La característica inteligente que ofrece Eufy Robovac es el cliente se puede personalizar la zona de limpieza dentro de la casa u oficina y también indicar el área que no debe acceder el robot a través de la aplicación en el móvil. Este robot consiste en una batería iones de litio con capacidad 5200mAh el cual se puede trabajar sin parar hasta 180 minutos. Como la característica tiene Roomba, Robovac también dispone con la conexión Wifi para comunicar con el cliente a través de móvil cuando quiera y de donde que esté. [8]



Ilustración 7: Robot aspirador Eufy Robovac X8

Las tecnologías de los robots aspiradores evolucionan a lo largo de los años variando desde los robots de bajos costos y tecnologías bajas hasta los robots costosos equipados con un sistema de navegación y mecanismo de limpieza increíbles, aunque no está listado todos. La tabla 1 resume los aspectos técnicos necesarios utilizados en los sistemas descritos y proporciona una revisión completa de la amplitud de la tecnología de los robots aspiradores.

Años	Robot	Fabricante	Procesador	Tecnología de navegación y sensores	Trayectoria de limpieza	Batería
1997	Trilobite	Electrolux	Único microcontrolador	SONAR, sensor ultrasonido	Seguimiento de contorno	Ni-MH
1999	RoboCleaner	Karcher	Único microcontrolador	IR sensor, sensor de caída	Patrona aleatoria	Ni-MH
1999	DC06	Dyson	Tres computadores en bordo	Mas de 70 sensores	Trayectoria de limpio preplaneado	Li-ion
1999	Cye	Probotics Inc	Único microcontrolador	Unos sensores, odómetro	Trayectoria con los ojos vendados	Acido de plomo
2002 - Presente	Roomba	iRobot	Único microprocesador	SLAM, LiDAR, IR sensor	Comienza limpiando una serie de área pequeña hasta cubrir gradualmente toda el área	Ni-MH
Presente	Robovac	Eufy	Único microprocesador	Laser, IR sensor, Giróscopo	Calcula el tamaño de la habitación y optimiza su ruta de limpieza	Li-ion

Tabla 1: Resumen de las tecnologías de los robots

2. MARCO TEÓRICO

2.1.1. Sistema de Navegación y Seguridad

El aspecto central que se debe tener en cuenta a la hora de diseñar un robot autónomo es el tema de la navegación y seguridad puesto que el robot tiene que moverse o desplazarse de manera determinada para cumplir su objetivo. Sin embargo, con el método clásico de navegación, la navegación en entorno interior no sería posible debido a la falta de señales de posicionamiento satelital [9]. Por eso, el robot debería ser capaz de construir la ruta de limpieza por él mismo, enfrentarse y adaptarse cuando haya cambios en su entorno de trabajo. Los obstáculos que se podrán encontrar en su camino de movimiento deberán evitarse para prevenir los daños al robot y al mismo tiempo mantener la seguridad tanto para el robot como para su entorno. Atendiendo a estas consideraciones, el planteamiento del algoritmo de navegación y sensorización adecuada es imprescindible para cumplir dichos requisitos, tal y como se ha indicado anteriormente.

2.1.1.1. Mapeo y Localización

Además de contar con la capacidad de un robot autónomo para mapear su entorno de trabajo, no sea menos importante destacar la capacidad del robot para orientar él mismo en el mapa que se ha mapeado. En tal sentido, el método SLAM (acrónimo de inglés de *Simultaneous Localization and Mapping*), es un método para crear un mapa global y consecuentemente al mismo tiempo, determinar su posición y orientación en este mapa. Es decir, se emplea un tipo de sensor para localizar el obstáculo y mapear el entorno, y a continuación para poder orientar él mismo en el mapa, se adaptan los datos de adquisición con los algoritmos correspondientes. La viabilidad de este método fue probado teóricamente, donde el mapa estimado consiguió converger monótonamente a un mapa relativo [9].

Hay dos tipos del método SLAM que se van a analizar en este proyecto:

- Uno es en el que está basada en el sensor visual, que también se llamaba SLAM visual. Este tipo de método se emplea un sensor visual como cámara estereoscópica o cámara

monocular para escanear y mapear su entorno. La principal desventaja que tiene este tipo de método es que el sensor es sensible a la luz ambiental y a la textura óptica en su entorno. Aunado a esto, la imagen que captura la cámara estará falta de textura y podrá ser borrosa si el robot mueve con velocidad rápida. Estos puntos de debilidad suelen limitar la aplicación del SLAM visual en el ámbito industrial. [9]

- El otro tipo del método SLAM que se emplea es el que está basada en sensor LiDAR, denominado LiDAR SLAM. El sensor LiDAR ofrece mayor precisión que el sensor visual a la hora de determinar el rango y la distancia de los objetos. En este mismo contexto, el sensor permite obtener información en su contorno independientemente de la variación de la luz ambiental y también trabaja perfectamente bajo de movimientos rápidos. Sin duda, el sensor LiDAR proporciona un comportamiento de localización más robusto en interiores mediante el uso de información espacial 3D capturada directamente por nubes de puntos laser.

Hoy en día, la metodología SLAM cada vez juega un papel más importante en el sistema de navegación del robot móviles en el entorno interior, como el caso típico de la casa o la oficina.[9]

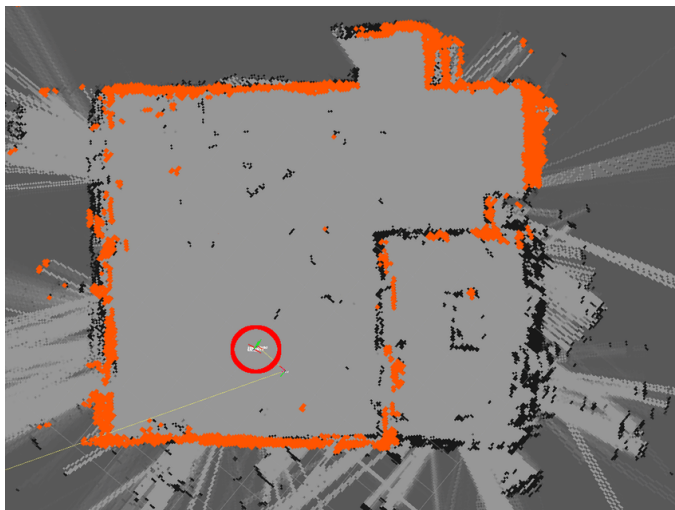


Ilustración 8: Ejemplo del mapa que mapea LiDAR SLAM [10]

2.1.1.2. Evitación de los obstáculos

Es importante destacar los problemas que puedan enfrentar el robot autónomo durante la navegación. Uno de los problemas más

significativos es cómo se comporta el robot cuando interfiere un obstáculo en la mitad de su camino. El algoritmo de prevención de colisiones está integrado en todos los robots móviles, que van desde algoritmos simples que detecten los obstáculos y detienen el robot hasta algoritmos más avanzados que permiten que el robot rodee los obstáculos. Este segundo tipo de algoritmo es mucho más complicado ya que no solo se va involucrado en la detección de obstáculos sino también en las medidas cuantitativas relativas a la dimensión de los obstáculos [11]. Los obstáculos pueden ser de varios distintos materiales, verbigracia, las paredes, las patas de los muebles, las cajas o los plásticos. Por lo tanto, a la hora de elegir los sensores a plantear, es importante tener en cuenta la capacidad de estos sensores a detectar la presencia de esos posibles tipos de materiales.

Una de las soluciones para este problema es el planteamiento del uso de un sensor de bumper en vez del sensor de proximidad infrarrojos puesto que el sensor IR no será capaz de detectar los materiales duros como las patas de una silla. El sensor de bumper es técnicamente un interruptor que funciona mediante el estado de ON u OFF o bien en estado lógico 1 o 0. Sin un sensor de proximidad en el robot, el sensor de bumper solo podrá detectar los obstáculos cuando haya una colisión con ellos. Cuando el robot choque con un objeto, su parachoques se retraerá, activando los sensores mecánicos que notifican al robot de una colisión inminente. A continuación, el robot retrocede, gira y avanza de manera secuencial hasta que encuentra un camino despejado [12].

Otra solución que puede plantear es la implementación de un sensor de proximidad de ultrasonido. A diferencia de sensor infrarrojo, este sensor usa la onda ultrasónica para la detección de los objetos. Debido a esto, este sensor es capaz de detectar los materiales duros tal como los muebles en la casa. Cuando se detecta la presencia de un objeto en la mitad de su camino en un rango determinado, se detiene el motor antes de chocarse, cambia la dirección de su movimiento de manera secuencial para pasar por los obstáculos y continua su movimiento hasta el destino deseado. Lo anteriormente expuesto sugiere que, con este tipo de sensor, el robot se puede evitar los obstáculos sin tener contactos con ellos.

La integración de los dos tipos de sensores en el robot podría mejorar la seguridad y también añade un grado más de redundancia en caso de que hubiera un fallo entre los dos sensores.

2.1.1.3. Problema de escaleras descendientes

De igual importancia que el problema anterior, es el problema de caerse por escaleras, que surge cuando se navega en la planta superior de un duplex. Este problema no se puede solucionar con el mecanismo de mapeo, porque se suelen trabajar en dos dimensiones y esto no permite localizar las escaleras interiores. El robot debería ser capaz de cambiar su dirección de movimiento cuando está cerca de las escaleras para prevenir caerse y dar un triste final al robot. Supondría que a lo sumo se permite subir y bajar de la plataforma plana por unos centímetros, pero no admitir un cambio abrupto. Las afirmaciones anteriores sugieren que habría que plantear en el robot la inteligencia y sensores necesarios que puede detectar estos desniveles abruptos de la plataforma que se está trabajando, o sea, las escaleras descendientes en la casa u oficina.

Uno de varios sensores que se puede incluir en el robot es un sensor de proximidad. Este sensor, como su nombre indica, es un sensor que puede detectar la proximidad o presencia de un obstáculo sin necesidad de tener ningún contacto físico con el objeto siempre que el objeto entre en el campo del sensor. El sensor puede detectar los objetos por medio de la emisión de luz, sonido, infrarrojos (IR) o campo electromagnético, depende del tipo del sensor y medir las distancias entre los objetos que detecten. En otras palabras, una vez que el sensor mide una distancia mayor que un rango determinado, se va a mandar señal eléctrica a la unidad de control del robot. El cerebro de este robot va a procesar la información y decirle al motor de las ruedas que se detenga y cambie la dirección del movimiento. La integración de los sistemas electrónicos e informáticos es muy importante a la hora de diseñar un robot autónomo e inteligente en el momento de tomar una decisión. Hay varios tipos de sensores de proximidad y cada uno funciona de manera diferente, estos se van a detallar más en los siguientes apartados. Las aplicaciones del sensor de proximidad incluyen entre otras las líneas de producción automatizada, los automóviles autónomos, los teléfonos inteligentes y también la robótica.



Ilustración 9: Mecanismo de detección las escaleras (fuente: roboticandautomationnews.com)

2.1.2. Sistema de Tracción

El sistema de tracción es un elemento indispensable para los robots móviles, puesto que su propósito principal es conseguir la propulsión del vehículo o del robot, en la cual la fuerza de tracción o motriz se obtiene mediante varios dispositivos como motores diésel, motores de vapor o bien motores eléctricos. Hay diferentes tipos de sistema de tracción que se suelen plantear en los robots móviles tal como la transmisión diferencial, dirección deslizante, transmisión síncrona, dirección Ackerman etc. Sin duda, el sistema de tracción diferencial es el más conocido y usado ampliamente debido a la simplicidad y facilidad de plantear [13].

2.1.2.1. Transmisión Diferencial

La transmisión diferencial se refiere a un sistema de tracción de dos ruedas cada una de ellas controlada por su propio motor independiente. La rueda castor, por otro lado, proporciona una estabilidad al sistema, pero no se controla de forma independiente. No obstante, el inconveniente que tiene este sistema es la dificultad de mantener el movimiento en una línea recta debido a que los motores independientes no tienen por qué tener exactamente el mismo comportamiento.

El movimiento del robot solamente depende de la dirección y velocidad de cada motor. Si los dos motores giran en el mismo sentido y con la misma velocidad, los pares generados en los dos motores son iguales y por lo tanto se produce un movimiento hacia adelante o hacia atrás. Mientras que, si los motores tienen la misma velocidad, pero giran en sentidos opuestos, los pares generados son iguales en magnitud y opuestos en dirección, entonces el robot va a girar sobre sí mismo hacia la izquierda o hacia la derecha. El último caso que podría dar es cuando los dos motores giran en el mismo sentido, pero las magnitudes son diferentes. En este caso, el robot va a girar hacia izquierda o hacia derecha dependiendo del motor que tenga mayor velocidad. Por ejemplo, si el motor izquierdo tiene una velocidad mayor, el robot va a girar hacia derecha y viceversa. Para mantener el movimiento del robot en una línea recta, los motores tienen que ser idénticos y el centro de masa debería estar en el centro del robot.[13].

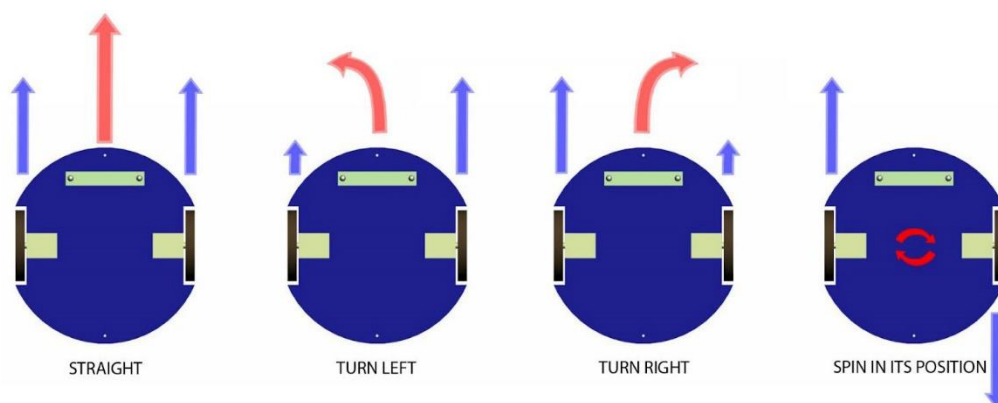


Ilustración 10: El movimiento del robot con tracción diferencial (fuente: guiott.com)

Para distribuir correctamente la carga del robot en las ruedas, se hace necesario tomar en cuenta el peso que van a soportar las ruedas. Sin embargo, en la realidad, un diseño adecuado sería aquel en el cual las ruedas traseras soportan más carga que la rueda delantera porque la rueda delantera está dimensionada solo para permitir la navegación del robot [14].

2.1.2.2. Transmisión de dos ruedas

Del mismo concepto como que el anterior, este tipo de transmisión solo se compone de dos ruedas. Estas ruedas son independientemente controladas por dos motores. Si los dos motores giran en el mismo sentido con la misma magnitud, el robot desplaza hacia adelante o hacia atrás. Si los motores giran en sentido opuesto o de magnitud diferente, el robot gira hacia derecha o hacia izquierda. Aunque este tipo de transmisión tiene un mantenimiento bastante fácil, la estabilidad disminuye y tampoco será fácil a la hora de maniobrar sobre los obstáculos en este sistema de robot autónomo.

2.1.3. Sistema de Almacenamiento de Energía

La adaptación del sistema de almacenamiento de energía en un robot móvil es necesario para suministrar energía a los componentes del robot a fin de que el robot pueda hacer su trabajo en un tiempo específico. Este tiempo de duración de la batería tiene que durar hasta que el robot termine su trabajo. El robot se puede recargar en el puerto de carga durante la inactividad, mientras que, durante la operación del trabajo, se va a alimentar de una batería que conserva una cantidad de energía suficiente [13]. De manera que un robot autónomo que sea capaz de auto recargarse en el puerto de carga, debería establecer un umbral de nivel de batería a partir del que el robot deba dirigirse a la estación de carga [15]

Entre los factores que se debe considerarse a la hora de elegir la batería son la corriente de salida máxima y el voltaje máximo que pueda suministrar los componentes eléctricos del robot. Asimismo, el peso de la batería se debe considerar porque se va a afectar el peso total del robot. Cuando mayor sea el peso de la batería, mayor será el peso total del robot y mayor sería el consumo de energía. Esto implica que la batería se agotará más rápido que es algo que se debería evitar [13].

2.1.3.1. Voltaje

La batería implementada debería ser capaz de suministrar tensiones suficientes a cada uno los componentes eléctricos en el robot para que se pueda trabajar en condiciones óptimas. El voltaje de una batería se refiere al valor de tensión esperada para entregar a los componentes eléctricos. Esta tensión se puede aumentar mediante la conexión de celdas en serie. No obstante, en un sistema integrado, que consiste en diferentes componentes eléctricos que funcionan con diferentes tensiones nominales, no es posible conseguir la unificación de todas las tensiones. Por lo tanto, se tendrían que poner baterías con diferentes valores de tensiones para que puedan suministrar a cada componente un valor de tensión adecuado, o bien, se implementará uno o varios reguladores de tensión para disminuir la tensión de la batería a una tensión deseada y la tensión elegida para la batería será la del componente que demande más tensión.

2.1.3.2. Capacidad de carga

La capacidad de carga se define como la cantidad de carga eléctrica que se puede sacar de la batería en una hora [16]. Es un producto del corriente y tiempo y se expresa en la unidad Amperio-Hora (Ah). Por ejemplo, una batería de 12V con una capacidad de 100Ah pueda entregar una corriente de 100A a un componente de 12V durante una hora. En definitiva, la capacidad de batería puede determinar aproximadamente cuanto durara una batería de un determinado voltaje con una determinada tasa de descarga. También se debe tener en cuenta que ninguna batería se puede descargar al 100% sin sufrir un daño permanente, por lo que dependiendo de la tecnología de la batería deberá existir un margen de seguridad diferente.

La expresión formulada para calcular la capacidad de una batería que descarga con una corriente constante es el siguiente:

$$C = I \cdot \Delta t \quad (Ah)$$

O la expresión general para obtener la capacidad de carga de una batería:

$$C = \int_0^t I(t) dt \quad (Ah)$$

Entre los factores que podría afectar la capacidad de carga además del diseño de la batería son:

- La corriente de descarga
- Voltaje cut-off
- Temperatura

2.1.3.3. Tasa de descarga

La tasa de descarga se suele dar por el fabricante de la batería y es la cantidad de la corriente continua en Amperio (A) que se puede extraer de una batería de una capacidad definida (Ah) durante un periodo determinado (h) [17]. Este parámetro es importante porque si la batería elegida no puede descargarse con la corriente requerida, el robot no podrá funcionar bien o no funcionará en absoluto.

Para calcular la tasa de descarga, se expresa por La Ley de Peukert como lo siguiente [18]:

$$t = H \left(\frac{C}{I H} \right)^k$$

H: La tasa de descarga en horas en que el Amp Horas está basada

I: La corriente de descarga (A)

C: La capacidad de la batería (Ah)

t: El tiempo de descarga actual (h)

k: El constante de Peukert

2.1.3.4. Densidad de potencia

Es un parámetro que define el valor de potencia por una unidad de masa expresada en unidad (W/kg). Este parámetro determina el peso requerido de la batería para alcanzar el objetivo de rendimiento determinado [19].

2.1.3.5. Tecnología de la batería

Una batería se compone de uno o más células electroquímicas que convierte la energía química a la energía eléctrica. Esta tecnología se ha estado utilizando más de cien años con fines de almacenamiento de energía debido a su características [20]. Hay varios tipos de baterías que se pueden usar en un sistema robótico. Los tipos más comunes que se suelen emplear para los robots autónomos son de polímero de litio (Li-Po), de iones de litio (Li-Ion), de ácido de plomo / SLA o de hidruro metálico de níquel. La tabla siguiente mostrara la comparación entre los diferentes tipos de batería.

Tipo	Voltaje Nominal (V)	Densidad de energía (Wh/kg)	Eficiencia (%)	Densidad de potencia (W/kg)	Ciclos de vida	Autodescarga (%/mes)
Acido de plomo	2.0	30-40	70-90	180	200-2000	3-4
Iones de Litio (Li-Ion)	3.6	100-250	75-90	1800	500-2000	5-10
Polímero de Litio (Li-Po)	3.6	130-200	70	3000	>1200	4-8
Ni-MH	1.2	30-80	70	250-1000	500-100	30
Ni-Cd	1.2	40-60	60-90	140-180	500-2000	10-15

Tabla 2: Características de las baterías [20]

2.1.4. Mecanismo de aspiración

El mecanismo de aspiración cuenta con los cepillos para barrer y aspirar el piso, un mecanismo para crear vacío que pueda succionar las partículas del polvo y un contenedor para acumular y depositar la suciedad. De igual importancia, será una herramienta para eliminar el pelo de mascotas especialmente en las alfombras donde es difícil de eliminar con herramientas de barrido.

2.1.4.1. Los cepillos

Los cepillos funcionan como una herramienta para barrer la zona de trabajo y dirigir el polvo al área específica donde se va a succionar el polvo. Diferentes cepillos tienen tareas específicas dependiendo de la orientación y tipo de cepillos. Se clasifican en dos tipos que se suelen implementar en un robot aspirador: cepillo giratorio lateral y cepillo de rodillo central.

Un cepillo giratorio lateral se sitúa en la parte inferior y sobresale más allá del chasis del robot para llegar a los lugares a los que no puede acceder la parte inferior. Giran y barren la suciedad y el polvo a lo largo de la pared y en las esquinas donde será difícil llegar para un robot con dimensiones grandes. Los cepillos giran en sentido opuesto uno frente al otro para maximizar la eficiencia en limpiar y aspirar [12].



Ilustración 11: Cepillo de giratorio lateral



Ilustración 12: Cepillo de rodillo central

El cepillo de rodillo central es un cepillo que se utiliza en la aspiradora para limpiar el suelo. Dos cepillos que giran en sentido contrario en la parte inferior del agitador del robot y recogen la suciedad y otros

desechos y los vierten directamente en el contenedor del polvo. Este cepillo se orienta en el centro de parte inferior del robot y juega el papel principal en el proceso de limpiar la zona de trabajo.

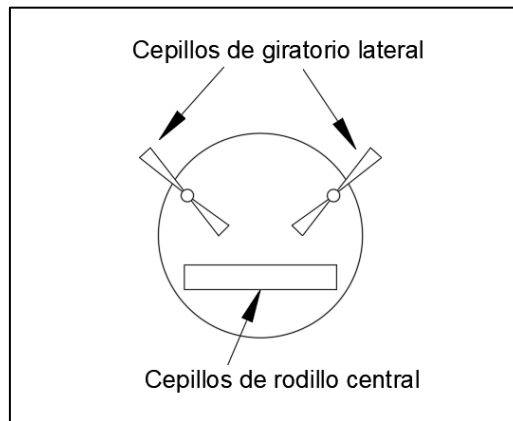


Ilustración 13: La orientación de los cepillos en el robot aspirador

2.1.4.2. Ventilador

Un ventilador es un componente que se plantea dentro del chasis del robot para generar una zona de vacío, de manera que se puede succionar el polvo y la suciedad a lo largo de su ruta de movimiento. Existen varios tipos de ventiladores, el que más se utiliza en el robot aspirador es el ventilador de tipo radial.

El ventilador radial genera una fuerza centrífuga para trasladar el aire desde el centro hasta el borde exterior usando las ruedas giratorias. La diferencia de velocidad del aire entre el radio interior y el radio exterior del ventilado va a crear una diferencia en presión entre los dos. Por lo tanto, el aire exterior junto con el polvo que tiene menor presión será succionado hacia la parte interior que tiene mayor presión [21]. El polvo succionado de la zona de trabajo se acumula en un contenedor de polvo dentro del chasis del robot.



Ilustración 14: Un ventilador radial (fuente: ineedparts.eu)

2.1.4.3. Rodillo

Adaptado de una herramienta llamada rodillo de Chom Chom, se cuenta con un rodillo hecho de cepillo de cerdas para eliminar el pelo de mascotas del sofá, alfombra, cama o cualquier otra superficie. Para que funcione bien, el rodillo se debe rodar hacia adelante y hacia atrás para crear una fuerza electrostática en su superficie. Esta fuerza electrostática va a atraer las partículas del pelo y hace que se peguen en el rodillo [22]. Todo el pelo se acumula en el rodillo y luego debe dirigirse a una cámara de desechos.

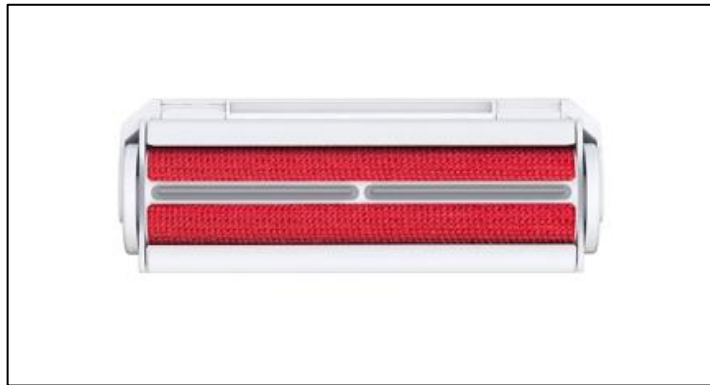


Ilustración 15: El parte rodillo de Chom Chom roller (fuente: fruugo.es)

2.1.5. Procesador

El procesador o la unidad de control actúa como el cerebro del robot. Porque sin él, no es posible construir un robot inteligente. Este componente será capaz de tomar decisiones adecuadas tal y como lo quieren los usuarios mediante un conjunto de instrucciones programada. Por ejemplo, si la batería del robot está en un nivel bajo, el procesador tiene que tomar la decisión de dirigir al robot al puerto de carga para recargarse o decidir continuar el trabajo hasta que éste se termine.

2.1.5.1. Arduino

Arduino es una plataforma de código abierto que está adaptada a la programación de circuitos electrónicos programables. Originalmente, está basada en atmega328, que es un microcontrolador que se usa mucho hoy en día debido a su simplicidad y facilidad de programación. Se compone de una placa de circuito impreso con los chips que se puede programar para hacer varias tareas y ejecutar comandos. Un programa de ordenador va a mandar la información a la placa Arduino a través de una conexión USB, la placa va a procesar la información recibida y a continuación, manda la información procesada a los circuitos específicos conectados con la placa Arduino para ejecutar los comandos solicitados [23].

Arduino es capaz de leer las entradas tanto digitales como analógicas de los dispositivos electrónicos tal como un sensor, un potenciómetro, un interruptor etc. Igualmente, se puede mandar informaciones a las salidas digitales o analógicas como un motor, un LED, una pantalla etc. [23].

La placa Arduino se puede dividir en dos partes:

1. Hardware: Los componentes integrados para ejecutar los programas, vea la ilustración 16. Entre los componentes principales son el botón reset para reiniciar la placa, microcontrolador para ejecutar los comandos, los pines análogos (A0-A5) para las entradas analógicas, los pines digitales I/O (2-13) para las entradas y salidas digitales y analógicas, los pines de masa, los pines de alimentación 3.3V y 5V y etc.
2. Software: Un software es un conjunto de instrucciones que se comunican con el hardware y le expresan qué y cómo tiene que hacer para llevar a cabo una tarea determinada. Arduino IDE utiliza

el lenguaje de programación C++ para describir los programas [23].

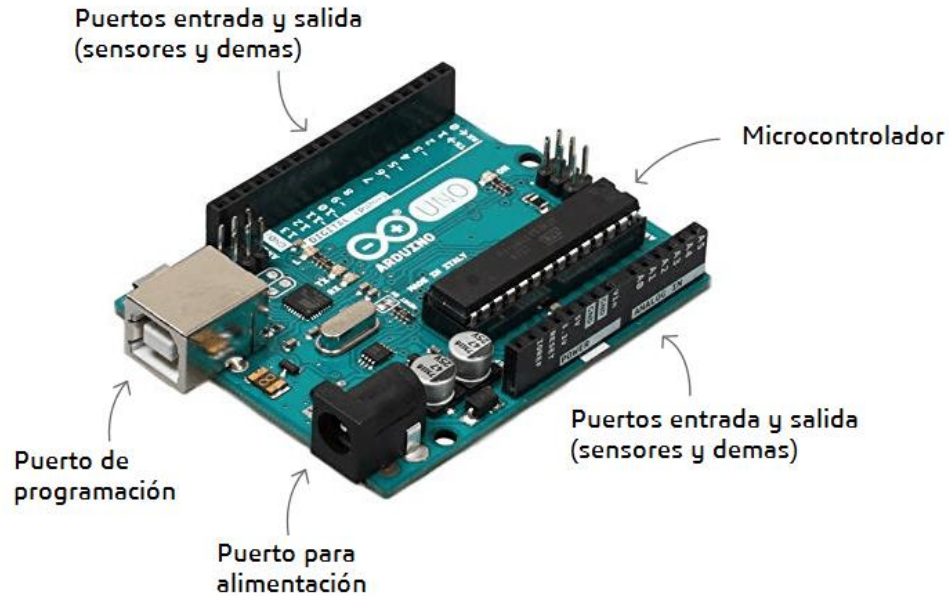


Ilustración 16: La placa Arduino Uno (fuente: dynamoelectronics.com)

2.1.5.2. Raspberry-PI

A diferencia de Arduino, una Raspberry PI es un microprocesador, o más bien, un miniordenador que requiere de un sistema operativo y funciona como el ordenador de casa. Es un ordenador de una sola placa que es capaz de ejecutar múltiples programas al mismo tiempo. La placa cuenta con una tecnología informática muy avanzada y es capaz de programar y desarrollar muchos proyectos increíbles. A diferencia de Arduino, se pueden hacer más tareas con el Raspberry PI por ejemplo navegar por internet, programando un videojuego etc.

La placa del Raspberry PI está basada en un procesador ARM, los chips gráficos, RAM, GPIO y otros puertos de conexiones para los dispositivos externos. Ya que se utiliza con un ordenador, esta placa también necesita los periféricos adicionales como un teclado, una ratón, una pantalla o monitor, la fuente de alimentación y una tarjeta SD con el sistema operativo instalado para funcionar [24]. Todas las versiones del Raspberry PI son compatibles entre ellas, lo que quiere decir que, un software que se escribe para un modelo se puede ejecutar también en otros modelos.

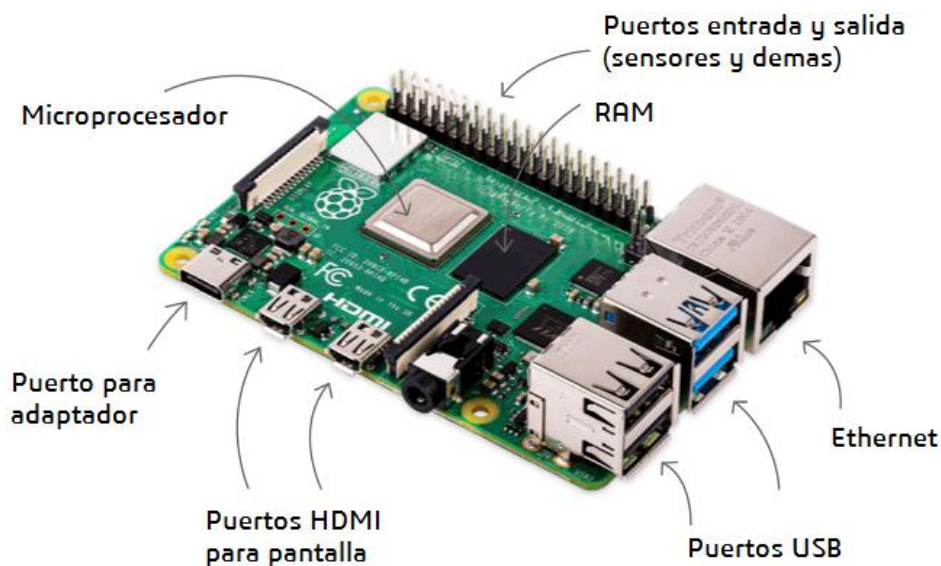


Ilustración 17: La placa del Raspberry PI (fuente: dynamoelectronics.com)

El sistema operativo que mejor se adapta a la Raspberry PI es el sistema operativo de código abierto basado en Linux, Raspbian. Hay que instalar una distribución de este u otro sistema compatible en una tarjeta SD. También cabe la posibilidad de usar diferentes distribuciones simplemente con sustituir la tarjeta SD[25].

Además, Raspberry PI se apoya más lenguajes de programación que ofrece el Arduino. Se puede programar en Python, C/C++, Scratch, PHP, Java o Ruby.

En resumen,

Arduino	Raspberry Pi
Microcontrolador	Microprocesador
Solo tiene un puerto USB	Tiene 4 puertos USB
Un procesador de arquitectura AVR	Procesador de ARM
Lenguaje de programación C/C++	Lenguaje de programación Python, C, C++, Scratch, PHP, Java o Ruby
Funciona con batería	Complicado usar con batería
No hace falta el sistema operativo	Hay que tener un sistema operativo
Solo puede ejecutar un único programa a la vez	Puede ejecutar múltiples programas al mismo tiempo
No está integrada con Wifi o Bluetooth	Está integrada con Wifi o Bluetooth

Tabla 3: Comparación entre Arduino Y Raspberry Pi

2.1.6. Sensores

2.1.6.1. Sensor LIDAR

La tecnología LiDAR (acrónimo de inglés de *Light Detection and Ranging*) es una tecnología basada en ondas de luz. De manera similar como la tecnología sonar usa una onda de sonido y la tecnología radar usa una onda de radio, en la tecnología LiDAR se usa el láser para lanzar un haz a su entorno u objeto y se mide el tiempo que tarda en capturar el reflejo de la luz. A continuación, mediante un método de triangulación, se permite determinar y calcular el rango o la distancia entre el detector del LiDAR y el objeto que se ha detectado. Repitiendo este mismo proceso cientos veces para cada segundo, el robot será capaz de escanear su entorno y luego crear un mapa actual correspondiente con alta precisión tanto en 3D como en 2D al entorno que tiene frente a él. Para la representación de entornos en tres dimensiones, para cada pulso de retorno de luz, que se ha emitido con un ángulo diferente, se obtiene una nube de puntos en el espacio 3D como la representada la ilustración 18. Entre las aplicaciones en las que se usa ampliamente el sensor LiDAR está la representación de la superficie de tierra para la inspección de topografía y geografía. [26]

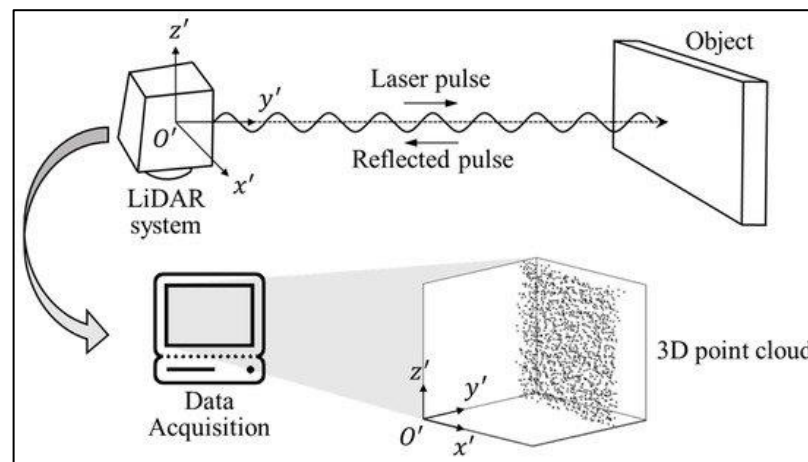


Ilustración 18: Método basado en los datos de las nubes de puntos [10]

2.1.6.2. Sensor bumper

Sensor de bumper es un tipo de pulsador que retorna un valor booleano depende del estado del pulsador. Si el pulsador está en contacto con un obstáculo u objeto, se presiona el pulsador, dando un valor booleano de TRUE a este sensor. Por el contrario, si no hubiera ningún

objeto que presione el pulsador, retornará un valor de FALSE. Este sensor se suele emplear como una redundancia en caso de que hubiese un fallo en el sensor de proximidad que actúa para detectar y evitar los obstáculos.

El sensor va a retornar el valor de FALSE por defecto. En cuanto el sensor retorne un valor de TRUE, se indica que había un obstáculo en su camino de movimiento no detectado previamente. El sensor manda la información al microcontrolador para procesar la información y dar comandos a los actuadores correspondientes para detener y cambiar el movimiento.

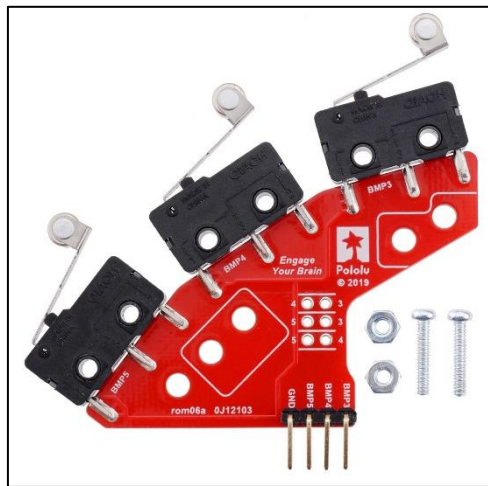


Ilustración 19: Sensor de parachoques (fuente: pololu.com)

2.1.6.3. Sensor Ultrasonido

El sensor ultrasonido es un tipo de sensor de proximidad que detecta la presencia de un material mediante una onda de ultrasonido. Este sensor se compone de un transmisor que manda el pulso ultrasónico de alta frecuencia a un objeto y un receptor que recibe la señal reflejo del objeto. La diferencia del tiempo entre las dos señales se usa para calcular la distancia entre los objetos. La principal ventaja que tiene este sensor es que es capaz de trabajar bajo las condiciones extremas y no se va a ver afectado por condiciones ambientales negativas. Sin embargo, el sensor no será capaz de detectar un material suave como las ropas y los tejidos. Su aplicación más común está en la medida de distancia, el proceso de automatización de producción y en el campo de robótica.

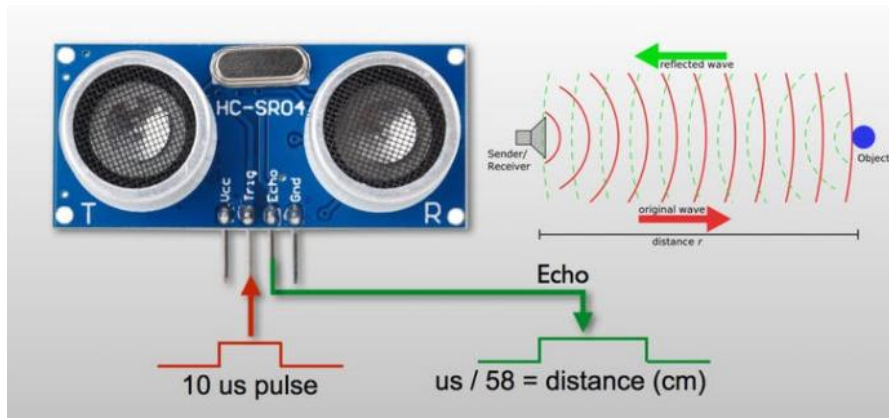


Ilustración 20: Sensor de ultrasonido [27]

2.1.6.4. Sensor infrarrojo

Otro tipo de sensor proximidad es el sensor infrarrojo. Éste trabaja de manera similar a la del sensor de ultrasonido salvo que se incorpora un rayo infrarrojo en lugar de ultrasonido. Las aplicaciones comunes incluyen la medida de distancia, los contadores de los artículos y los procesos de control y monitorización. Al contrario del sensor ultrasonido, éste permite la detección del material suave, mientras que por el contrario se va afectado por las condiciones ambientales y objetos duros. En tal sentido, se indica que este sensor no puede trabajar a través de paredes o puertas.

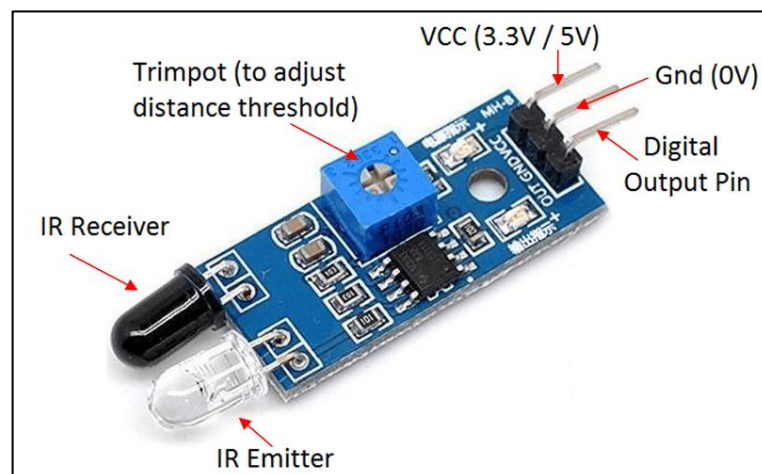


Ilustración 21: Componentes de un IR sensor

2.1.7. Actuadores

2.1.7.1. Servomotor

La implementación de un servomotor es cada vez más común en las aplicaciones industriales que necesitan de una mayor precisión en el control de posición tales como la robótica, la automatización o en el aquel campo en que haga falta precisión y rapidez en la función de arranque y parada. Servomotor se refiere a un dispositivo electromecánico en el cual la señal de entrada eléctrica determine la posición de la armadura del motor. Un servomotor es una combinación de cuatro cosas: un motor síncrono o DC, una reductora, un dispositivo de detección de posición y un circuito de control. Dicho de otra manera, servomotor es un motor adaptado con el mecanismo de servo para proporcionar un control preciso de la posición angular. [28], [29]

Los servos de bajo coste y precisión se controlan mediante un pulso de ancho variables. El máximo ángulos que pueden girar está entre 90° y 180° . La posición neutral se define como la posición del servo en la que su rotación potencial en sentido de las agujas del reloj tiene la misma cantidad como en el sentido contrario de las agujas del reloj. Este ángulo se determina mediante la duración del pulso aplicado a la señal de entrada, conocida como modulación por ancho de pulsos (PWM). El motor gira con respecto a la duración del pulso PWM como se muestra en la ilustración 22 [28].

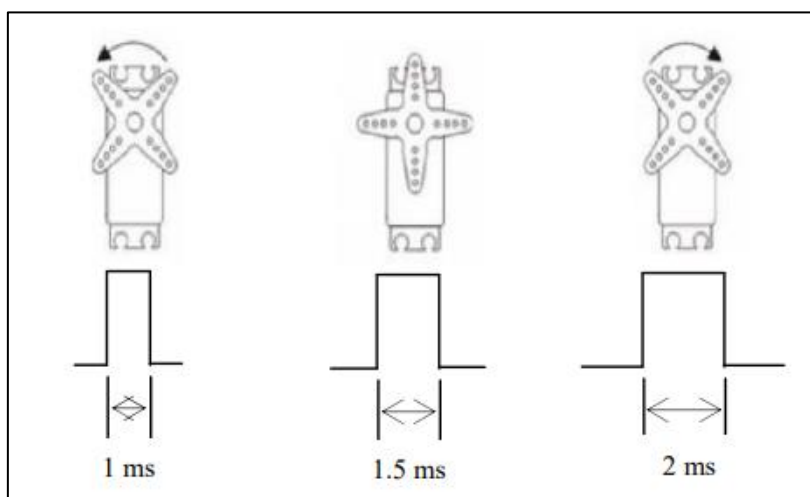


Ilustración 22: Relación entre el pulso y la dirección del servo motor[28]

2.1.7.2. Motor Brushless

Un motor Brushless o motor BLDC es un motor de tipo síncrono. Esto se refiere a que el campo magnético generado por ambos rotor y estator giran a una misma frecuencia. Como su nombre indica, un motor BLDC no tiene escobillas, entonces, se conmuta electrónicamente en lugar de utilizar escobillas. Se compone de un rotor que es la parte móvil y un estator, el parte fijo del motor. El rotor consiste en un imán permanente con los polos norte (N) y sur (S) simultáneamente, y pueden variar a partir de dos hasta ocho pares de polos. Mientras, el estator consta de núcleos de lámina donde se enrollan los devanados. [30]

Para girar el motor BLDC, los devanados del estator deberán excitarse en secuencia. Entonces, hay que tener en cuenta la posición del rotor para determinar cuál es el devanado que se debe energizar siguiendo la secuencia de excitación. Debido a esto, en muchos casos, el estator está integrado con un sensor de Hall para detectar la posición del rotor [30].

El par para girar el motor está generado por la interacción del campo magnético entre las bobinas del estator y los imanes del rotor. No obstante, el campo magnético en el estator deberá girar para que se mantenga este par giratorio. Para controlar la rotación del campo magnético, los sensores de Hall mandan los datos de posiciones al microprocesador. Después de procesar la información recibida, los elementos de conmutación en el circuito de potencia se activan en el orden apropiado y crean un campo magnético giratorio permanente en los devanados del estator conectados a la estrella. [31]

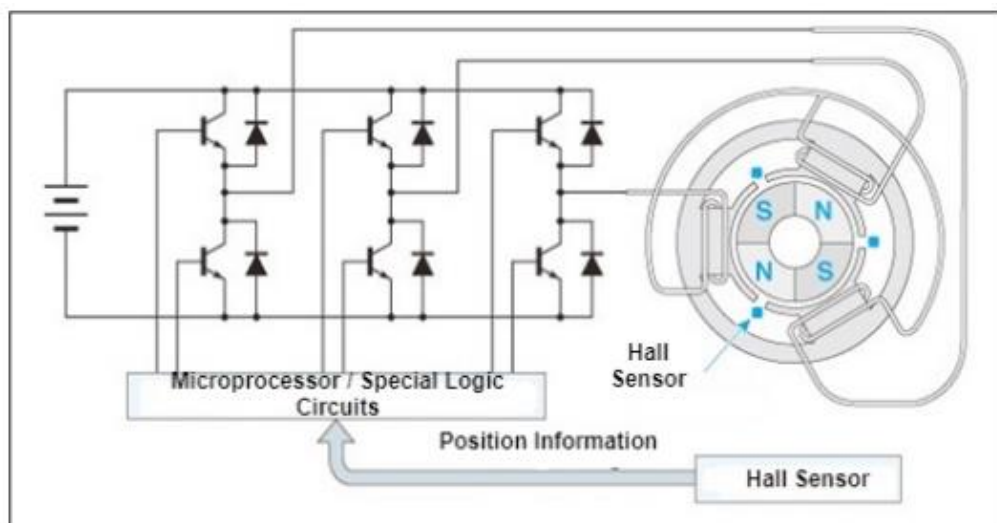


Ilustración 23: Funcionamiento del BLDC motor [31]

2.1.7.3. Encoder Rotatorio

El encoder es un dispositivo electromecánico de detección que sirve para la retroalimentación del movimiento, de manera que se pueda dar información sobre la velocidad y la posición con el fin de controlar el movimiento. Un encoder sirve para convertir la posición angular de un eje a un código analógico o digital. Hay dos tipos de encoder: incremental y absoluto. El encoder absoluto es un transductor de ángulo puesto que su salida indique la posición actual del eje. Por otro parte, la información de salida que proporciona un encoder incremental sobre el movimiento del eje a menudo se procesa en información tal y como la velocidad, la distancia y la posición [32]. Hay diferentes tecnologías implementadas para el funcionamiento del encoder tales como encoders magnéticos, ópticos, inductivos, capacitivos y laser, aunque el más utilizado es el óptico.

Un encoder óptico se construye en tres partes: Un disco, un LED y un fotosensor. El disco consiste en una placa con hendiduras o ranuras idénticas. Un LED sirve para emitir el rayo de luz y un fotosensor para capturar el rayo emitido [33]. El funcionamiento de un encoder óptico está basada en el principio de optoacoplador. El fotosensor funciona para detectar la presencia y ausencia de luz a través de un eje concéntrico que está aprovecha las ranuras del disco que permiten o no el paso de la luz para adquirir la medida final [32].

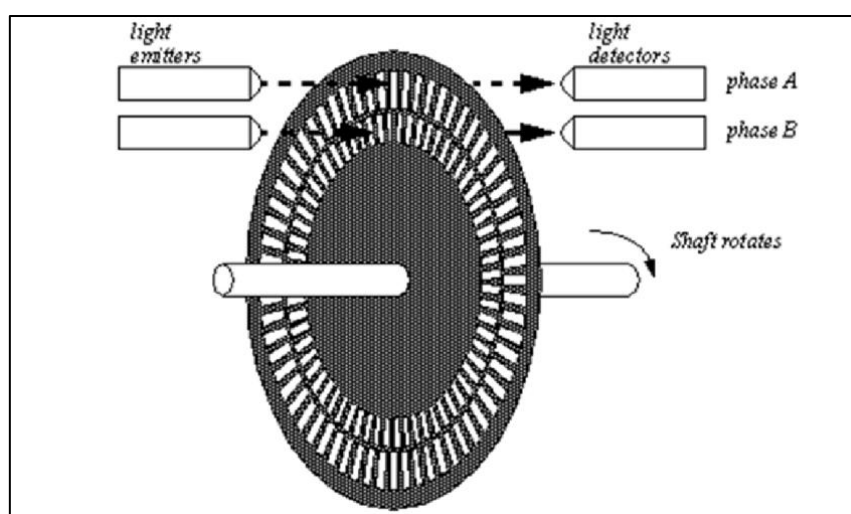


Ilustración 24: Funcionamiento de un encoder óptico [32]

3. DESARROLLO MECÁNICO

3.1. CÁLCULO DE PAR Y SELECCIÓN DEL MOTOR PARA LAS RUEDAS

Para diseñar el sistema de tracción de este robot, vamos a suponer las siguientes características:

- Diámetro de las ruedas, $d = 6.6\text{cm}$
- Velocidad nominal del robot, $v = 0.2\text{m/s}$
- Aceleración, $a = 0.1\text{m}^2/\text{s}$
- Masa total del robot, $m = 10\text{kg}$

Velocidad rotacional de las ruedas,

$$w = \frac{60 \cdot v}{2 \cdot \pi \cdot r} = \frac{60 \cdot 0.2}{\pi \cdot 0.066} = 57.87 \text{ rpm}$$

Para calcular el par de las ruedas, primero tenemos que determinar la fuerza de avance del robot. Vamos a suponer que el coeficiente de fricción es negligible.

$$F = ma = 10\text{kg} \cdot 0.1 \frac{\text{m}^2}{\text{s}} = 1 \text{ N}$$

Par para cada una de las ruedas,

$$\tau = \frac{1}{2} \cdot F \cdot r = \frac{1}{2} \cdot 1\text{N} \cdot \frac{0.066}{2} \text{m} = 16.5\text{mNm}$$

Potencia del motor,

$$P = Fv = 1\text{N} \cdot \frac{0.2\text{m}}{\text{s}} = 0.2\text{W}$$

El par y la potencia requerida es de 0.0165Nm y 0.2 W respectivamente. Se elige el motor de servo del fabricante Nidec Servo Corporation del modelo DME25B36G10A equipado con una reductora de 10. Los parámetros del motor se muestran en las siguientes tablas:

● STANDARD SPECIFICATIONS

Model	Rated						No load		Stall torque		Weight	
	Output W	Voltage V	Torque		Current A	Speed r/min	Current A	Speed r/min	mN-m	oz-in	Weight	
			mN-m	oz-in							g	lb
DME25BA	3	12	4.9	0.69	0.47	5800	0.07	8000	17.7	2.50	55	0.12

Tabla 4: Parámetros del servo motor para ruedas

●with 36G TYPE GEARBOX

Model	Gear ratio		10	*18	*20	*30	50	60	75	100	*120	*150	*180
	Rated speed	r/min	580	322	290	193	116	96.6	77.3	58	48.3	40.1	35.2
DME25B36G ☆	Rated torque	N·m	0.04	0.068	0.071	0.1	0.15	0.18	0.23	0.32	0.34	0.39	0.39
		oz·in	5.55	9.03	10.14	15.28	22.22	26.39	33.33	45.83	48.61	55.55	55.55

Tabla 5: Parámetros de la reductora equipado en el servo motor

3.2. SELECCIÓN DEL VENTILADOR Y EL MOTOR PARA LOS CEPILLOS

Se pretende a emplear un total de tres cepillos el cual dos de cepillos laterales para limpiar en las esquinas y un cepillo de rodillo central. Para asegurar que todo el polvo y sucio se dirige a ventilador, los cepillos deberían girar con una velocidad angular suficiente alta. En este caso, vamos a suponer que los cepillos giran con una velocidad de 8000 rpm y necesita una potencia de 5W.

Para hacer que los cepillos giren con una velocidad suficiente, se emplea para cada uno de los cepillos un motor de brushless de 12V del fabricante Transmotec del modelo BR2826-12. Este motor es un motor de tres fases con la conexión del sensor de Hall. El motor gira con una velocidad nominal de 8000 rpm el cual es suficiente de lo que necesita el robot. Las especificaciones con más detalles se muestran en la tabla 6.

Se calcula el valor máximo del par entre los cepillos que es el de rodillo central,

$$\text{velocidad angular, } \omega = 8000 \text{rpm} \cdot \frac{2\pi}{60} = 837.76 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$\text{momento angular, } L = m\omega r^2 = 0.16 \text{kg} \cdot 837.76 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \cdot (0.04 \text{m})^2 = 0.214 \frac{\text{kg} \cdot \text{rad} \cdot \text{m}^2}{\text{s}}$$

$$\text{momento de inercia, } I = \frac{L}{\omega} = \frac{0.214}{837.76} \cdot \frac{\text{kg} \cdot \text{rad} \cdot \text{m}^2}{\frac{\text{rad}}{\text{s}}} = 2.55 \cdot 10^{-4} \text{kgm}^2$$

Vamos a suponer que el cepillo alcanza a 1000rpm en 5 segundos:

$$\text{aceleración angular, } \alpha = \frac{1000 \cdot \frac{2\pi}{60} \cdot \frac{\text{rad}}{\text{s}}}{5 \text{s}} = 20.94 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$$

$$\text{Par, } \tau = I \cdot \alpha = 2.55 \cdot 10^{-4} \text{kgm}^2 \cdot 20.94 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2} = 5.4 \text{mNm}$$

MOTOR DATA			
	Units	BR2826-12	BR2826-24
Nominal voltage	V	12	24
Nominal power	W	5	5
No load speed	rpm	10000	9600
No load current	mA	30	30
Nominal speed	rpm	8000	8000
Nominal torque	mNm	8	8
Nominal current	A	1.25	1.5
Stall torque	mNm	21	21
Max. Efficiency	%	50	52
Terminal resistance phase to phase	Ω	5.4	8
Terminal inductance phase to phase	mH	1.68	2
Torque constant	mNm / A	10.2	13.7
Rotor inertia	gcm ²	2.35	2.35

Tabla 6: Parámetros del motor BLDC para los cepillos

El ventilador implementado debería tener una cantidad de aire entregado suficiente para succionar el sucio. Se elige un ventilador de tipo RL 65-21/12 de 12V que es capaz de entregar 32.9 pie cubico del aire por minuto y tiene las siguientes especificaciones:

Series RL 65 VHS0065XUFBS													
Nominal data	Air flow		Nominal voltage	Voltage range	Sound power level	Synthetic sleeve bearings Ball bearings	Power consumption	Nominal speed	Temperature range	Service life L ₁₀ (40 °C) ebm-pajust standard	Service life L ₁₀ (T _{max}) ebm-pajust standard	Life expectancy L ₁₀ (p)@C (40 °C) see page 15	Curve
	m ³ /h	cfm											
RL 65-21/12	56	32.9	12	6.8...13.8	6.6	■	15.0	4 500	-20...+70	60 000 / 30 000	102 500	①	
RL 65-21/12 H	61	35.8	12	6.8...13.2	6.8	■	19.2	4 900	-20...+55	55 000 / 40 000	92 500	②	
RL 65-21/14	56	32.9	24	12...26.4	6.6	■	14.0	4 500	-20...+70	60 000 / 30 000	102 500	①	
RL 65-21/14 H	61	35.8	24	12...26.4	6.8	■	18.0	4 900	-20...+60	55 000 / 35 000	92 500	②	
RL 65-21/18/2 HPR-180	61	35.8	48	36...60	6.8	■	17.3	4 900	-20...+70	55 000 / 27 500	92 500	②	

Subject to change

Tabla 7: Parámetros del ventilador

3.3. SISTEMA DE SENSORES

Se va a poner en funcionamiento tres tipos de sensores; LiDAR, sensor de infrarrojo y sensor de bumper.

El sensor LiDAR se plantearía en parte arriba de este robot para escanear y mapear su entorno del trabajo. Se puede girar 360 grados para capturar y detectar por si aparece obstáculo en el camino del robot. El sensor LiDAR elegido tiene las siguientes especificaciones:

Item	Min	Typical	Max	Unit	Remarks
Ranging frequency	/	5000	/	Hz	Ranging 5000 times per second
Motor frequency	6	/	12	Hz	PWM or voltage speed regulation
Ranging distance	0.12	/	10	m	Indoor environment with 80% Reflectivity
Field of view	/	0-360	/	Deg	/
Systematic error	/	2	/	cm	Range ≤ 1m
Relative error	/	3.5%	/	/	1m < Range ≤ 6m
Tilt angle	0.25	1	1.75	Deg	/
Angle resolution	0.43 (frequency@6 Hz)	0.50 (frequency@7 Hz)	0.86 (frequency@12Hz)	Deg	Different motor frequency

Tabla 8: Parámetros del sensor LiDAR

Un sensor de infrarrojo se emplea funcionando para detectar las escaleras descendentes o un desnivel abrupto que puede dañarse el robot. También, se va a detectar un cierto desnivel del piso para indicar que está limpiando la alfombra de momento para activar a la vez el rodillo electrostático. Este sensor estaría puesto en la parte delantera del robot hacia abajo por la razón de su funcionamiento. Se puede detectar como mínimo la distancia de 4cm hasta 30cm. Más parámetros de este sensor se muestran en la tabla siguiente.

Parameter	Symbol	Conditions	MIN.	TYP.	MAX.	Unit
Measuring distance range	ΔL	(Note 1)	4	-	30	cm
Output terminal voltage	V_o	L=30cm (Note 1)	0.25	0.4	0.55	V
Output voltage difference	ΔV_o	Output change at L change (30cm → 4cm) (Note 1)	1.95	2.25	2.55	V
Average supply current	I_{cc}	L=30cm (Note 1)	-	12	22	mA

※ L: Distance to reflective object

Tabla 9: Parámetros del sensor de infrarrojo

Los sensores de bumper o teóricamente los interruptores hace faltan en este robot autónomo para detectar los choques con obstáculos en caso de que hubiera avería en el sensor de LiDAR y no pudiera detectar los obstáculos aparecen. Se emplea dos de estos sensores en el chasis del robot y funcionan como un interruptor normalmente abierto el cual va a mandar señal a la unidad de control si está en 1. Estos interruptores son de SS-5GL2 de fabricante Omron Electronics.



Ilustración 25: El sensor de bumper

3.4. LA SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES INVOLUCRADO EN EL SISTEMA DE ASPIRACIÓN

Como se ha mencionado anteriormente, tres cepillos sería usado para el proceso de limpieza el cual dos de cepillos laterales en que será aptos para limpiar las esquinas y un cepillo de rodillo central para dirigirse el sucio que se encuentre debajo de él al contenedor de basura. Para este componente, se lo ha seleccionado de la fabricante LesinaVac que es el fabricante de los componentes del robot aspirador Eufy Robovac. Estos cepillos se han elegido porque es fácil de encontrar comercialmente entonces facilita su mantenimiento.



Ilustración 26: Los cepillos laterales



Ilustración 27: El cepillo rodillo central

Manufacturer	LesinaVac
Item Weight	5.6 ounces
Product Dimensions	8.66 x 5.51 x 1.18 inches

Tabla 10: Parámetros del cepillo rodillo central

Para quitar el pelo de la superficie alfombra, se necesita un material de cerdas envuelto alrededor del rodillo para atrapar mejor el pelo. Cuando el motor gira para adelante y para atrás con una frecuencia bastante alta, la fuerza electrostática que se ha generado en la superficie del rodillo hace que el pelo se pega en él, y el rodillo mismo se va a dirigir el pelo acumulado a una cámara de desechos. Este componente solo va

a entrar en modo funcionamiento cuando el robot detecta un pequeño desnivel de la superficie de la alfombra. Tiene diámetro de 5 cm con una longitud de 15cm.

3.5. EL CHASIS

El chasis de este robot se fabrica con un material plástico que se llama polimetilmetacrilato o PMMA. Debido a su resistencia y durabilidad, este material es capaz de aguantar el impacto compresivo hasta 18 000 lbs psi que es muy buena contra el choque con los obstáculos. Además de que es fácil de fabricar, el material polimetilmetacrilato también pesa menos, casi la mitad del peso del vidrio, pero la resistencia es once veces más resistente que la del vidrio. El chasis de este robot tiene una dimensión de 35.5cm de diámetro con una altura de 9cm que es bastante pequeña para que pueda meterse debajo de los muebles para limpiar.

Con respecto como van los cables, la placa impresa PCB se ha diseñado para optimizar los caminos de los cables a conectar uno con otro. La mayoría de los componentes se pueden conectar directamente al microcontrolador, pero también se ha puesto como un agujero rectangular para conectar los componentes en el nivel bajo del robot con el PCB que está en otro nivel.

4. DESARROLLO ELECTRÓNICO

4.1. DIAGRAMA DE BLOQUES

4.1.1. Diagrama de Alto Nivel

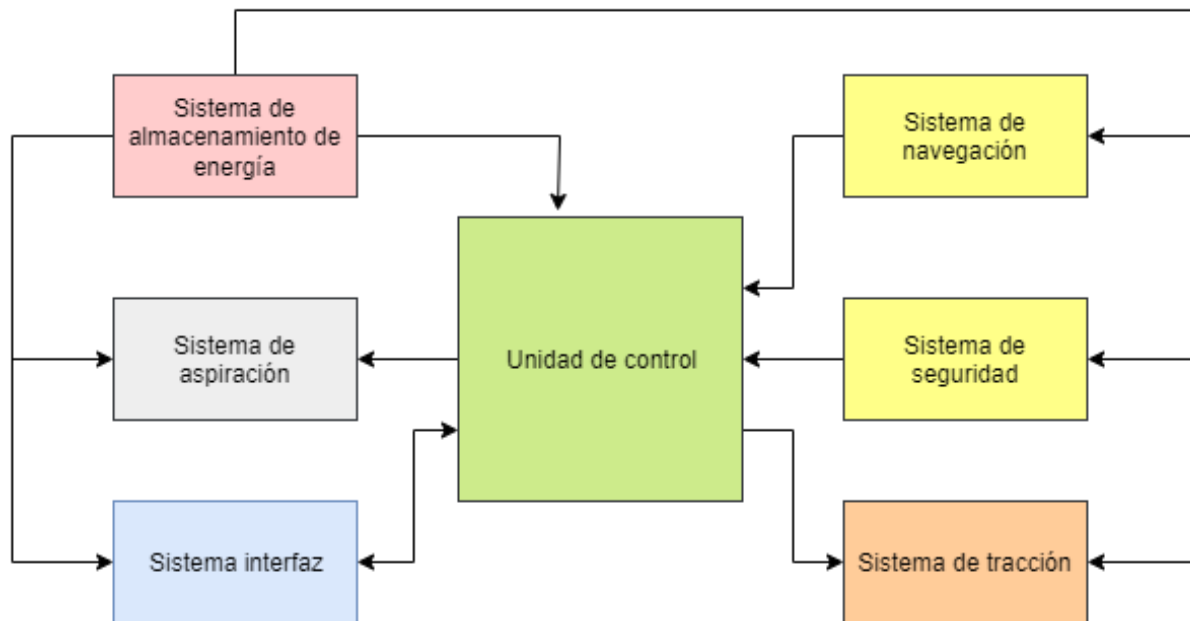


Ilustración 28: Diagrama de bloque de alto nivel

El diagrama de alto nivel en ilustración 28 muestra en resumen todos los sistemas en el robot y su relación entre sí. Como podemos ver, la salida del sistema de almacenamiento de energía va a todos otros sistemas ya que todos necesitan energía para que pueda funcionar. La unidad de control actúa como un cerebro que recibe información, procesa la información según lo que programa y luego manda instrucciones a los sistemas. Tal como, la salida del sistema de navegación y el sistema de seguridad se las manda a la unidad de control para que procese la información y luego enviar las instrucciones correspondientes al sistema de tracción y/o sistema de aspiración. En particular, las ruedas y los cepillos solo se van a poner en funcionamiento si hay instrucción de la unidad de control depende de la condición del sistema de seguridad y/o sistema de navegación. El sistema de interfaz funciona en ambas direcciones porque necesitan comunicarse entre sí y a los usuarios.

4.1.2. Diagrama de Bajo Nivel

4.1.2.1. Sistema de almacenamiento de energía

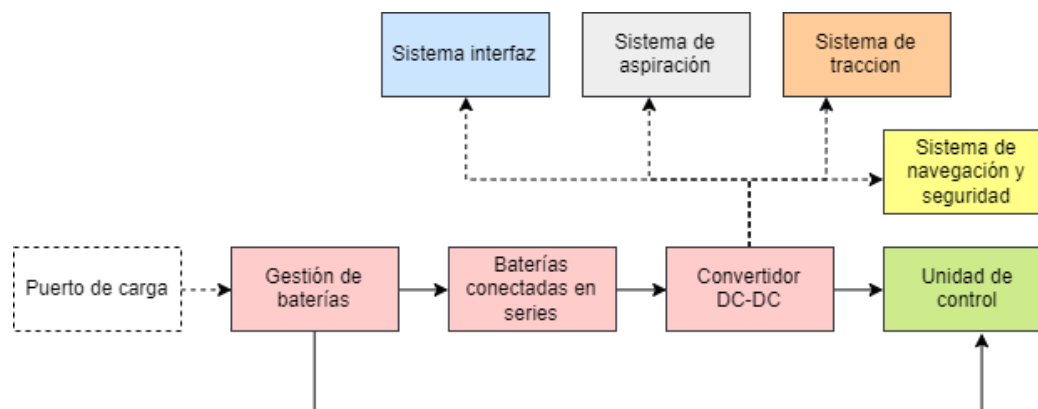


Ilustración 29: Diagrama de bloque del sistema de almacenamiento de energía

La siguiente tabla muestra todos los componentes con su tensión, corriente y potencia correspondiente:

Componentes	Cantidad	Tensión (V)	Corriente (A)	Potencia (w)
BLDC Motor	4	12	1.25	5
Servo Motor	2	12	0.47	3
Ventilador	1	12	1.25	15
Sensor de IR	1	5	0.012	0.06
Sensor de bumper	2	3.3	0.003	0.01
LiDAR	1	5	1	5

Tabla 11: Los parámetros de los componentes en el robot

Tensión máxima=12 V

Corriente total = 8.2 A

Puesto que la tensión máxima que necesita el robot es 12V, se implementa 4 celdas de baterías de iones de litio de 3.7V ([datasheet](#)) el cual se va a alimentar un total de 14.8V de tensión a los componentes. Con el fin de bajarse la tensión de batería según la necesidad de cada componente, se plantea un convertidor DC-DC LM2596 de 5V y 12V. La de tensión 3.3V se alimenta a través del procesador Raspberry-Pi que tiene esa tensión de alimentación.

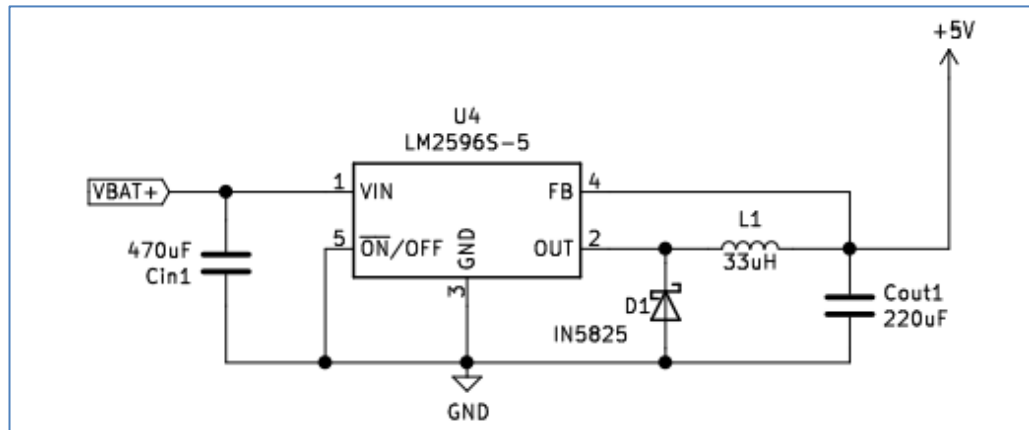


Ilustración 30: El trozo de esquema para el circuito LM2596 de 5V

La ilustración 30 se muestra el trozo del esquema para un convertidor DC-DC LM2596 de 5V. El condensador C_{in} funciona para evitar que aparezcan la tensión transitoria grande en la entrada del sistema. Por otro lado, para obtener una tensión de ondulación de salida baja, se necesita una inductancia L_1 y el condensador C_{out} . Todos los valores de los componentes pasivos se obtienen mediante las gráficas que se propone el fabricante mediante el datasheet [LM2596](#).

El convertidor Buck requiere un diodo para proporcionar un camino de retorno para la corriente del inductor cuando se apaga el interruptor. Un diodo Schottkky IN5825 es un rectificador de alta eficiencia y baja perdida de potencia. Se aplica los mismos componentes al convertidor DC-DC de 12V, pero con un ligero cambio a los valores según la recomendación en el datasheet.

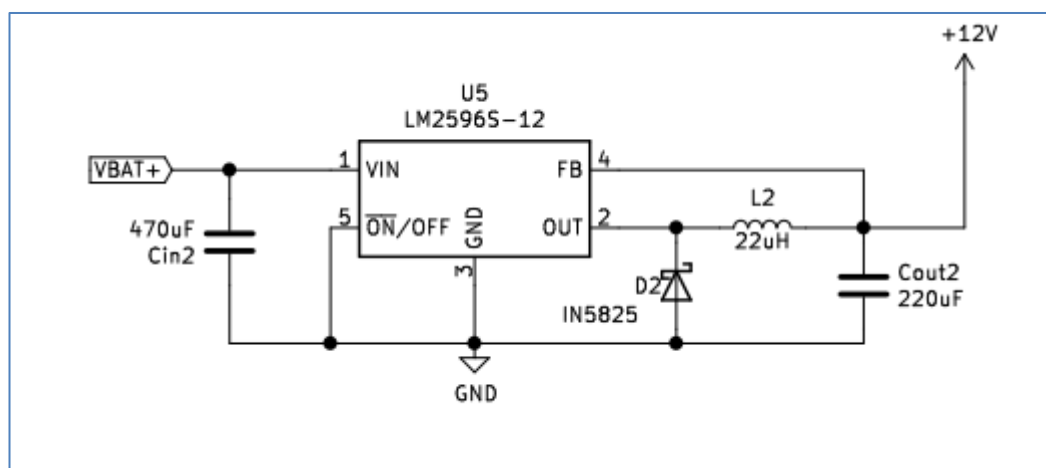


Ilustración 31: El trozo de esquema para el circuito LM2596 de 12V

Las baterías se van a monitorizado y protegido por un chip de BQ76920 que actúa como un BMS para manejar el sistema de baterías.

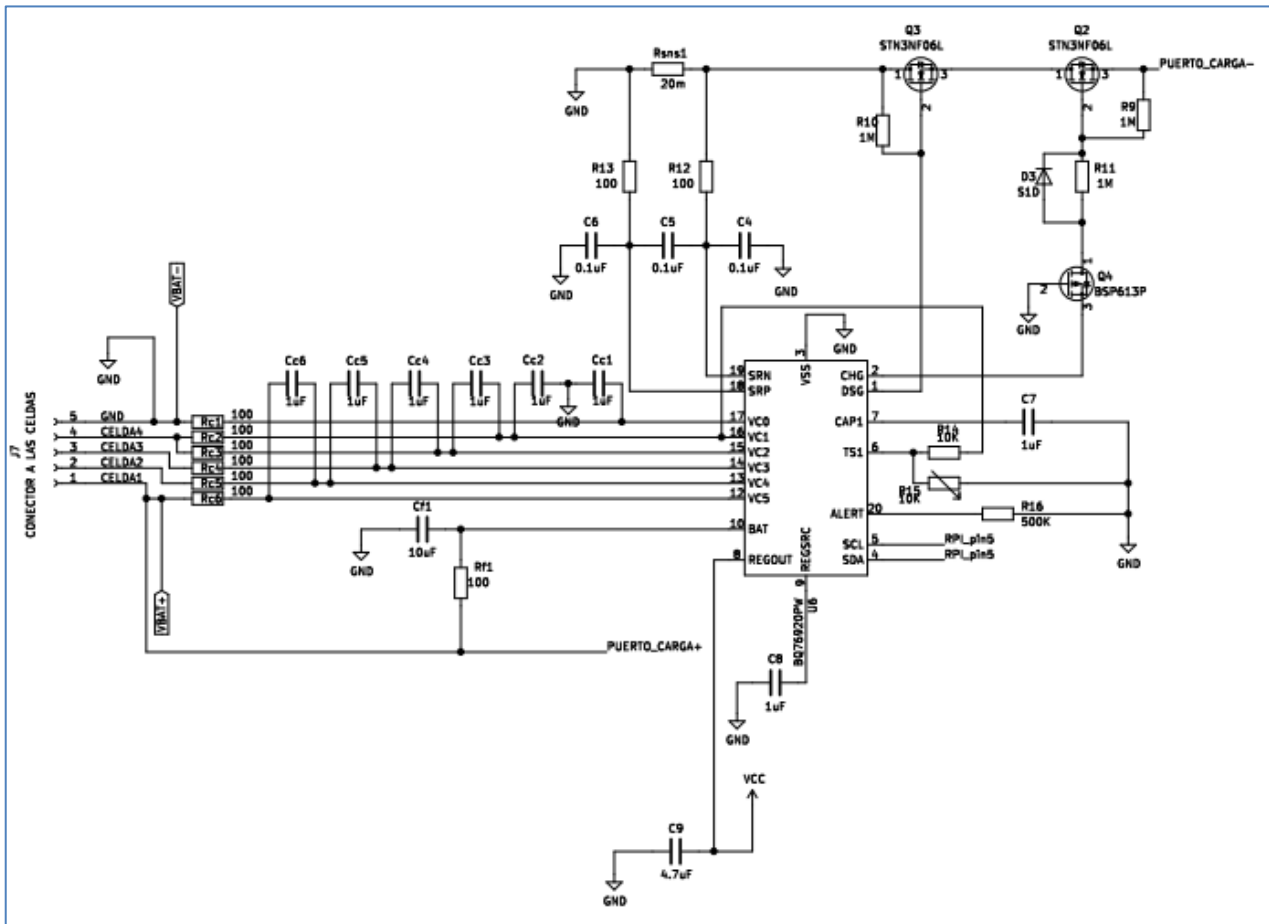


Ilustración 32: El trozo del esquema para el circuito BQ76920

Los componentes elegidos para [BQ76920](#) según la recomendación en el datasheet y se simplifican en las tablas siguientes.

	Componentes	Valores	Comentario
Condensadores	C4	0.1uF	El valor típico para cuatro celdas de baterías de iones de litio según la página 41 en el datasheet BQ76920
	C5	0.1uF	
	C6	0.1uF	
	C7	1uF	
	C8	1uF	
	C9	4.7uF	
	Cc1	1uF	Condición de uso recomendado para capacitancia de entrada de celda externa según la página 9 de BQ76920
	Cc2	1uF	
	Cc3	1uF	
	Cc4	1uF	
Cc5	1uF	Condición de uso recomendado para capacitancia del filtro de suministro externo según la página 9 de BQ76920	
Cc6	1uF		
Cf1	10uF		

Tabla 12: Las selecciones de los condensadores para BQ76920

Resistencias	Componentes	Valores	Comentario
	R9	1M Ω	Según la recomendación en el datasheet BQ76920
	R10	1M Ω	
	R11	1M Ω	
	R12	100 Ω	
	R13	100 Ω	
	R14	10k Ω	
	R15	10k Ω	
	R16	500k Ω	Según la recomendación para pin ALERT según el datasheet BQ76920
	Rc1	1k Ω	Condición de uso recomendado para resistencia de entrada de celda externa de 4 celdas según la página 9 de BQ76920
	Rc2	1k Ω	
	Rc3	1k Ω	
	Rc4	1k Ω	
	Rc5	1k Ω	
	Rc6	1k Ω	
	Rf1	100 Ω	Condición de uso recomendado para resistencia del filtro de suministro externo según la página 9 de BQ76920
	Rsns1	20m Ω	Para una corriente de descarga máxima de 10A, el valor máximo de la resistencia es de 20m Ω según la página 45 de BQ76920

Tabla 13: Las selecciones de las resistencias para BQ76920

Transistores	Componentes	Tipos	Comentario
	Q2	STN3NF06L	El uso típico según la recomendación en el datasheet BQ76920
	Q3	STN3NF06L	
	Q4	BSP613P	

Tabla 14: Las selecciones de los transistores para BQ76920

Diodo	Componentes	Tipos	Comentario
	D3	S1D	Fácil de encontrar

Tabla 15: La selección del diodo para BQ76920

Las baterías son recargables, entonces necesitamos un puerto de carga que consiste en una fuente conmutada para dejar que las baterías se recargan en cuanto el robot fija su posición en el puerto de carga. El esquema siguiente muestra el circuito completo de la fuente conmutada de 12V sacado del datasheet del chip [UC3842](#) seguido por la tabla de los componentes del circuito y su justificación.

	Componentes	Valores	Justificación
Resistencias	Rbleeder	10k Ω	Para evitar la activación del interruptor con corriente de fuga extraña durante el bloqueo por baja tensión. Valor propuesto por el fabricante
	Rcomp	10k Ω	Añadir el polo de compensación. Valor propuesto por el fabricante
	Rcompz	90k Ω	Establecer la posición cero del compensador. Ver Ecuación 5
	Rcs	0.75 Ω	Limitar el corriente para obtener 1.36A del corriente de pico en primario
	Rramp	24.9k Ω	Forma un divisor de tensión para añadir una compensación de pendiente en el pin ISENSE. Se recomienda un valor mayor que Rrt para evitar el desplazamiento de frecuencia
	Rcsf	4.2k Ω	
	Rfbu	10k Ω	Divisor de tensión. Ver Ecuación 3
	Rfbb	3k Ω	Divisor de tensión. Ver Ecuación 4
	Rfbg	4.99k Ω	Para conseguir la ganancia de 2 en el amplificador de error.
	Rg	10 Ω	Controlar el transistor Qsw. Menor la resistencia, la conmutación de MOSFET más rápida. Valor propuesto por el fabricante
	Rled	1.3k Ω	Para establecer la ganancia de 1 en el límite de aislamiento
	Ropto	1k Ω	Resistencia pull down para desplazar el polo de optoacoplador parásito más lejos. Valor propuesto por el fabricante
	Rrt	15.4k Ω	Para determinar la frecuencia de oscilador y el ciclo de trabajo máximo. Valor propuesto por el fabricante
	Rsnub	50k Ω	Según la recomendación en el datasheet
	Rss	1k Ω	Para proporcionar un constante de tiempo para controlar el error en la salida del amplificador
Rstart	100k Ω	Para proporcionar 1mA de corriente al arrancar	
Rtlbias	1k Ω	El valor propuesto por el fabricante para un rendimiento robusto	
Rvcc	22 Ω	Según la recomendación en el datasheet	

Tabla 17: Las selecciones de las resistencias para la fuente conmutada

Diodos	D1	DF04SA	Para una tensión RMS máxima de 280V
	D2	SS16	Diodo de Schottky
	D3	SS16	Diodo de Schottky
	D4	IN4007	Rectificador
	D5	TL431	Alta precisión de la tensión de referencia y amplificador operacional interna
	D6	BZX384-Q	Diodo de Zener de 10V
	Dclamp	IN4007	Rectificador
	Dout	48CTQ060-1	Se ha recomendado un diodo que tiene una tensión de bloqueo más de 60V

Tabla 18: Las selecciones de los diodos para la fuente conmutada

Transistores	Q1	FMMT617	Transistor NPN
	Q2	MMBT4403	Transistor PNP
	Qsw	IRFB9N65A	Recomendado por el fabricante

Tabla 19: Las selecciones de los transistores para la fuente conmutada

Ecuación 1

$$C_{in} = \frac{2 \times P_{in} \times \left(0.25 + \frac{1}{\pi} \times \arcsin \left(\frac{V_{BULK(\min)}}{\sqrt{2} \times V_{IN(\min)}} \right) \right)}{(2 \times V_{IN(\min)}^2 - V_{BULK(\min)}^2) \times f_{line(\min)}}$$

Se supone que la tensión de entrada mínima, $V_{IN(\min)}$ es de 85V y la frecuencia de entrada mínima, $f_{line(\min)}$ es de 47Hz. Asumiendo una potencia de entrada de 2W, según la que se ha propuesto, para obtener una tensión Bulk de 75V,

$$C_{in} = \frac{2 \times 2 \times \left(0.25 + \frac{1}{\pi} \times \arcsin \left(\frac{75}{\sqrt{2} \times 85} \right) \right)}{(2 \times 85^2 - 75^2) \times 47} = 121\mu F$$

El condensador Bulk debe ser mayor de 121uF, entonces se ha elegido 180uF tomando a consideraciones la tolerancia del componente y la eficiencia del convertidor.

Ecuación 2

$$C_{out} \geq \frac{I_{out} \times \frac{N_{ps} \times V_{out}}{V_{BULK(\min)} + N_{ps} \times V_{out}}}{0.001 \times V_{out} \times f_{sw}}$$

Asumiendo una tensión de ondulación de 0.1%,

$$C_{out} \geq \frac{4 \times \frac{10 \times 12}{75 + 10 \times 12}}{0.001 \times 12 \times 110000} = 1865\mu F$$

Ecuación 3

Para obtener una corriente de referencia feedback de 1mA, puesto que la tensión de referencia típica de TL431 es 2.495V y, la resistencia R_{fbu}:

$$R_{FBU} = \frac{V_{out} - REF_{TL431}}{I_{FB_REF}} = \frac{12 - 2.495}{1 \times 10^{-3}} = 9.53k\Omega \approx 10k\Omega$$

Ecuación 4

Para conseguir 12V en la salida:

$$R_{FBB} = \frac{REF_{TL431}}{V_{out} - REF_{TL431}} \times R_{FBU} = \frac{2.495}{12 - 2.495} \times 10K = 2.62k\Omega \approx 3k\Omega$$

Ecuación 5

$$R_{compz} = \frac{1}{\omega_{compz} \times C_{compz}} = \frac{1}{(2 \times \pi \times 177) \times 1 \times 10^{-8}} = 89.9k\Omega \approx 90k\Omega$$

Ecuación 6

$$C_{compp} = \frac{1}{2 \times \pi \times f_{ESRz} \times R_{compp}} = \frac{1}{(2 \times \pi \times 1.59K) \times 10K} = 10nF$$

4.1.2.2. Sistema de tracción

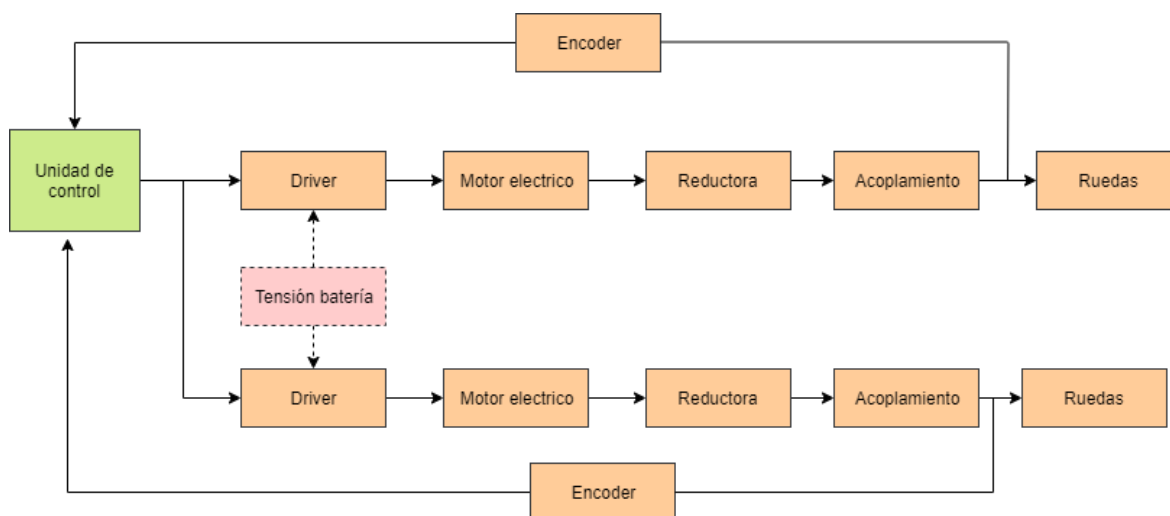


Ilustración 34: Diagrama de bloque del sistema de tracción

Los motores que se emplean en el sistema de tracción son de servos. La unidad de control, en este caso un Raspberry PI 4, se encarga en mandar las instrucciones a los motores para girar las ruedas. Estos motores se controlan a través de un driver DRV8870DDA que tiene el uso común para controlar un motor con cepillo mediante el control de PWM. Un terminal del motor de servo y dos pines del driver DRV8870DDA se conectan directamente al microcontrolador Raspberry PI como se muestran en el trozo del esquema de la ilustración 35.

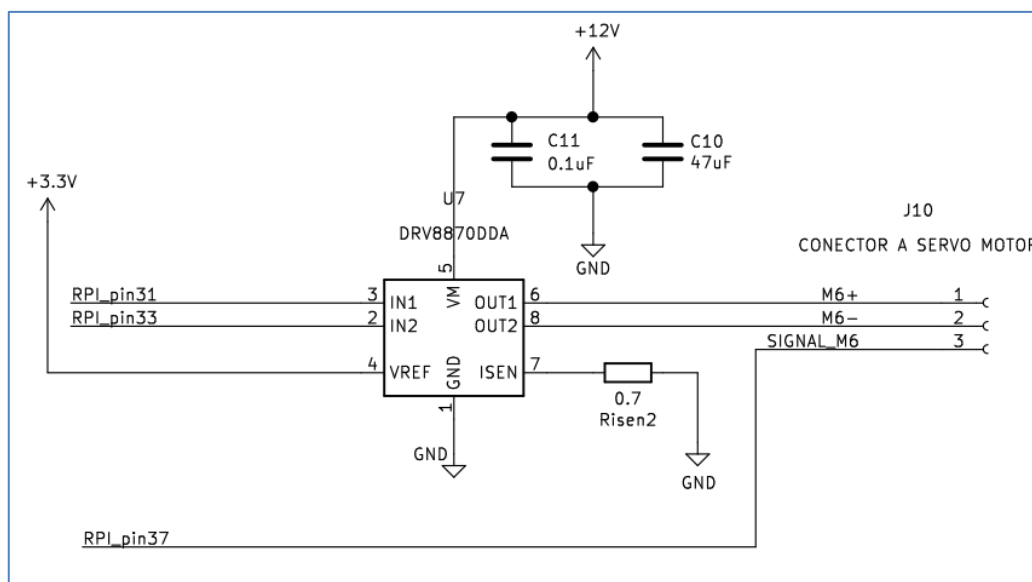


Ilustración 35: El trozo del esquema para el circuito del driver DRV8870DDA

Hay tres componentes pasivos que se plantean según la recomendación del fabricante: dos condensadores y una resistencia. Los condensadores C10 funciona como un condensador Bulk para evitar que

la tensión de alimentación se varia demasiado durante un tiempo que no hay flujo de corriente. Entretanto, el condensador C11 sirve como un condensador by-pass que evite el ruido entre en el sistema desviándolo a masa. Los valores de los condensadores son lo que recomienda en el datasheet [DRV8870](#).

La resistencia Risen funciona para limitar el corriente de la salida y se calcula mediante la expresión siguiente:

$$I_{trip} = \frac{V_{ref}}{A_v \times R_{isen}} = \frac{V_{ref}}{10 \times R_{isen}}$$

Dado que la tensión de referencia en el sistema es de 3.3V y el corriente límite del motor de servo es de 0.47A, entonces la resistencia Risen,

$$R_{isen} = \frac{3.3V}{10 \times 0.47A} = 0.7\Omega$$

Desde el driver también hay que aplicar la tensión de batería para suministrar la energía a los motores.

4.1.2.3. Sistema de navegación y seguridad

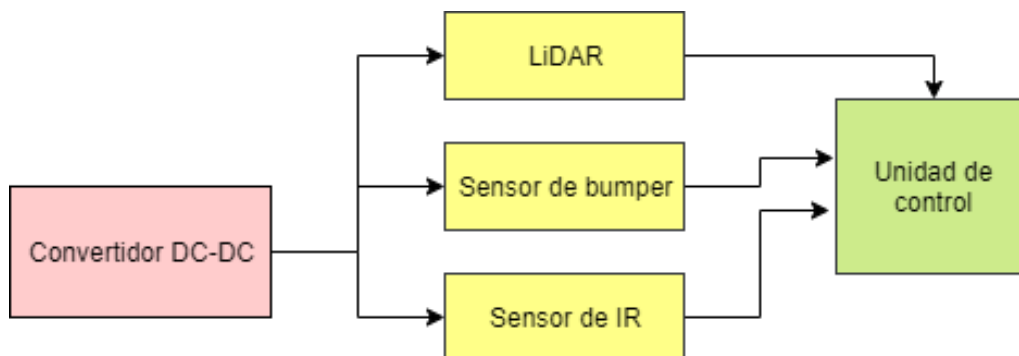


Ilustración 36: Diagrama de bloque del sistema de navegación y seguridad

Todos los sensores se alimentan a través del convertidor DC-DC LM2596 de 5V o 12V. La que necesita 3.3V se alimentan a través del microcontrolador Raspberry PI 4. Todas las salidas de los sensores se mandan al procesador para procesar la información y actuar las acciones correspondientes.

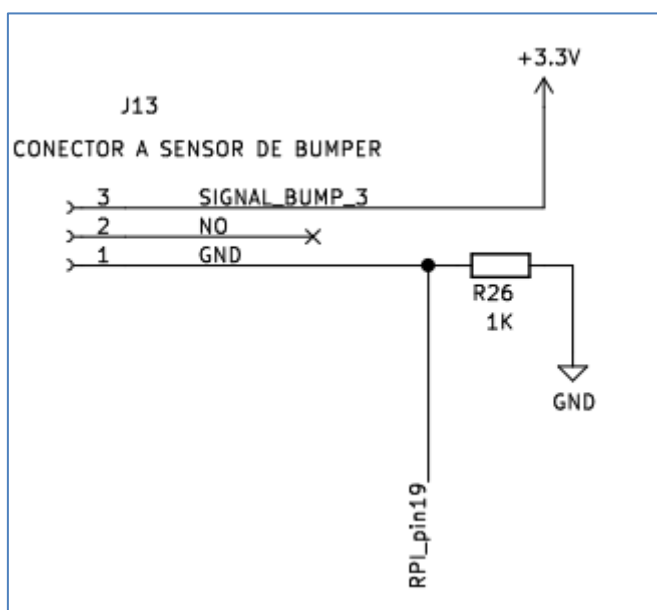


Ilustración 37: El trozo del esquema para el circuito del sensor de bumper

El sensor de bumper funciona como un interruptor y en este sistema se alimenta a 3.3V y se ha puesto una resistencia pull-down de 1KΩ para que se active y mande una señal al microcontrolador cuando está en 1.

Los sensores de LIDAR y de infrarrojo se pueden conectar directamente al microcontrolador sin necesidad de plantear más componentes.

4.1.2.4. Sistema de interfaz

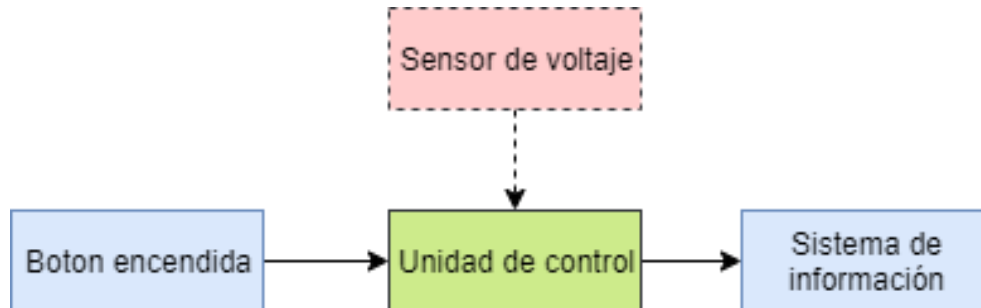


Ilustración 38: Diagrama de bloque del sistema de interfaz

El sistema de interfaz sirve para comunicarse los usuarios con el robot, por ejemplo, avisa a los usuarios si la batería del robot está agotando e insuficiente. En este sistema, la comunicación con el robot se aprovecha a través de una aplicación en el móvil mediante conexión bluetooth. Mediante aplicación, el robot va a notificar los usuarios si encuentra los obstáculos desesperados, si el contenedor de polvo está lleno y más cosas. Por otro lado, los usuarios pueden asignar tareas al robot, localizar su posición, revisar la batería y más cosas. No obstante, no vamos a entrar en más detalle el desarrollo de la aplicación.

4.1.2.5. Sistema de aspiración

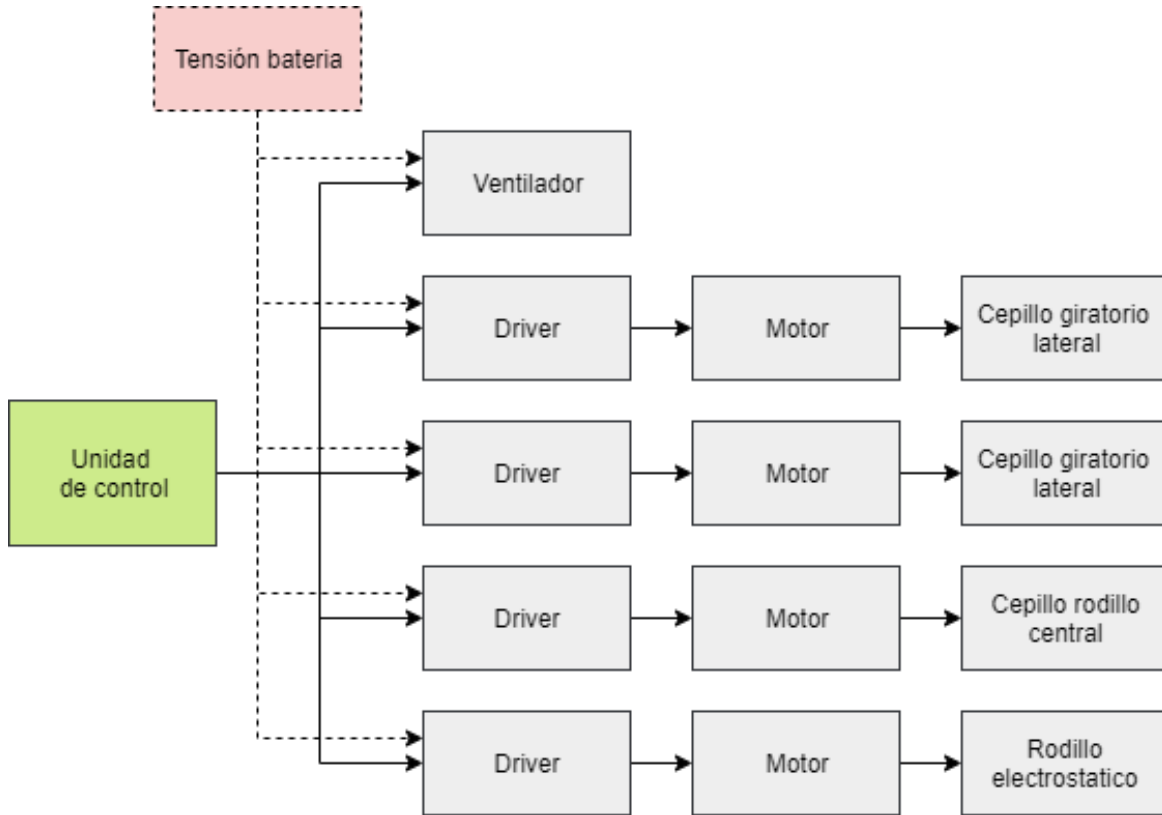


Ilustración 39: Diagrama de bloque del sistema de aspiración

El motor de brushless se usa para girar los cepillos y se controla mediante un driver DRV10970 que es adecuado para un motor BLDC de tres fases y tiene una tensión de funcionamiento de 5V hasta 18V. La ilustración 40 muestra la conexión del driver DRV10970 según la recomendación del fabricante en su datasheet [DRV10970](#).

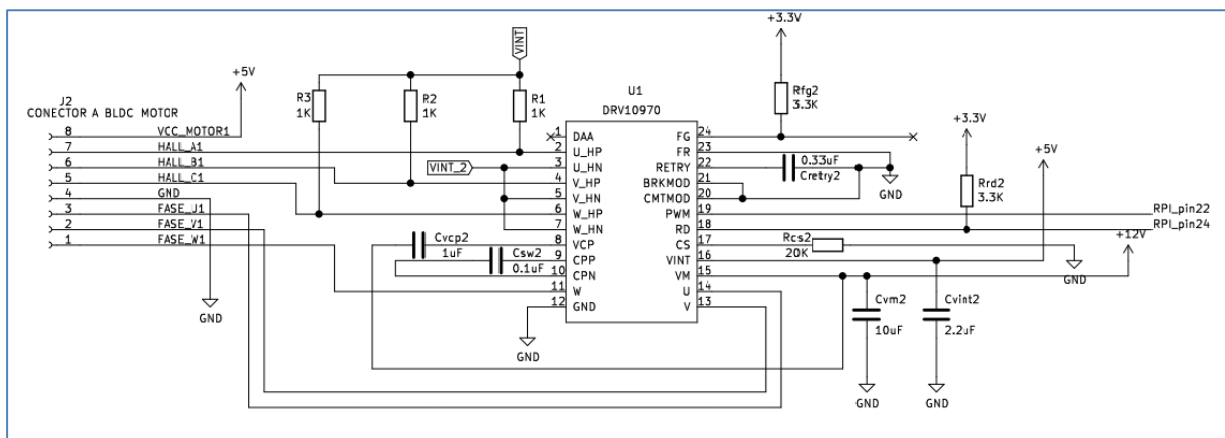


Ilustración 40: El trozo del esquema para el circuito del driver DRV10970

La tensión de alimentación de este sistema es de 12V y se conecta a través del pin VM. El Vint es una tensión regulada integrada que debe estar entre 4.5V y 5.5V puesto que la tensión de alimentación VM es de 12V. Se ha puesto un condensador by-pass (Cvint y Cvm) en cada una de las alimentaciones para estabilizar la tensión en la entrada. Los valores son los recomendados por el fabricante. El resto de los componentes se justifican en las siguientes tablas.

	Componentes	Valores	Justificación
Condensador	Cretry	0.33uF	Para ajustar el tiempo de bloqueo del rotor. Según el datasheet el valor de capacitancia se puede calcular mediante la Ecuación 7
	Csw	0.1uF	Para disminuir la tensión de ondulación de la bomba de carga (<i>charge pump voltage</i>). Los valores son los recomendados.
	Cvcp	1uF	
	Cvint	2.2uF	Condensadores by-pass
	Cvm	10uF	
Resistencia	R1	1kΩ	Valor típico para la conexión con el sensor de Hall y el driver
	R2	1kΩ	
	R3	1kΩ	
	Rcs1	20kΩ	Para limitar el corriente. El valor de resistencia se puede calcular mediante Ecuación 8
	Rfg1	3.3kΩ	Pull-up resistencia según la recomendación en el datasheet
	Rrd1	3.3kΩ	Pull-up resistencia según la recomendación en el datasheet

Tabla 20: Las selecciones de componentes para el circuito del driver DRV10970

Ecuación 7

$$t_{LOCK_EX} = 15.36 \times 10^6 \times C_{retry} \text{ (en segundos)}$$

Para un tiempo de liberación de bloqueo del rotor de 5 segundos,

$$C_{retry} = \frac{5}{15.36 \times 10^6} = 0.33\mu\text{F}$$

Ecuación 8

$$I_{LIMIT} = \frac{V_{ILIM_THR} \times A_{CL}}{R_{CS}}$$

Para una tensión VM de 12V, los valores típicos son:

Margen límite de corriente, I_{LIMIT} : 1.5A

Margen del comparador del circuito de límite de corriente, V_{ILIM_THR} : 1.2V

Factor de atenuación de corriente limite, A_{CL} : 25000

Entonces:

$$R_{CS} = \frac{1.2 \times 25000}{1.5} = 20k\Omega$$

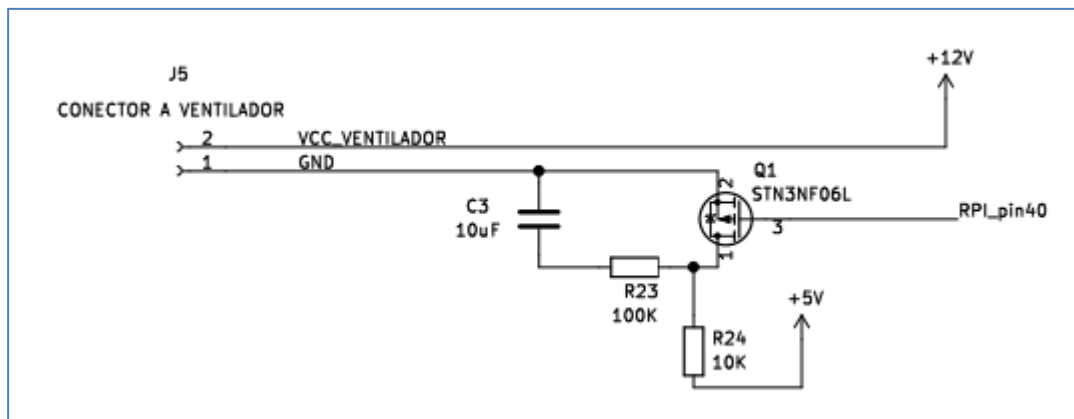


Ilustración 41: El trozo del esquema para el circuito del ventilador

La ilustración 41 muestra el circuito para controlar la velocidad del ventilador como proporciona el fabricante según la página 185 en el datasheet [ebmpapst ventilador](#). La resistencia Q1 se emplea para el control y regulación del ventilador. El condensador C3 es un valor típico para filtrar el ruido producido por Q1 además de que se ha puesto una resistencia pull-up R24 y R23 para limitar el corriente.

5. SISTEMA DE CONTROL

5.1. DIAGRAMAS UML

Los diagramas de UML o su abreviación en inglés, *Unified Modelling Language* es una forma de representar y visualizar la arquitectura, el diseño y la implementación de un sistema de software complejo. Estos diagramas ayudan a hacer un seguimiento de las relaciones y las jerarquías dentro de un sistema de software. Se dividen ese sistema de software en componentes y subcomponentes. Los diagramas de UML es un lenguaje de modelado estándar que se puede utilizar en diferentes lenguajes de programación y procesos de desarrollo.

Hay varios tipos de diagrama de UML, pero en este proyecto, solo se va a representar los diagramas de UML de tipo comportamiento: El diagrama de actividad y el diagrama de Caso de Uso.

El diagrama de actividad se trata de representar el aspecto dinámico del sistema. Ese diagrama ilustra como se coordinan las actividades para proporcionar un servicio que puede estar en diferentes niveles de abstracción. Por otro lado, el diagrama de caso de uso nos permite a visualizar los diferentes tipos de roles en un sistema y como esos roles interactúan con el sistema. Se permite resumir los detalles de los usuarios del sistema (actores) y sus interacciones con el sistema.

5.1.1. Diagrama de Actividad

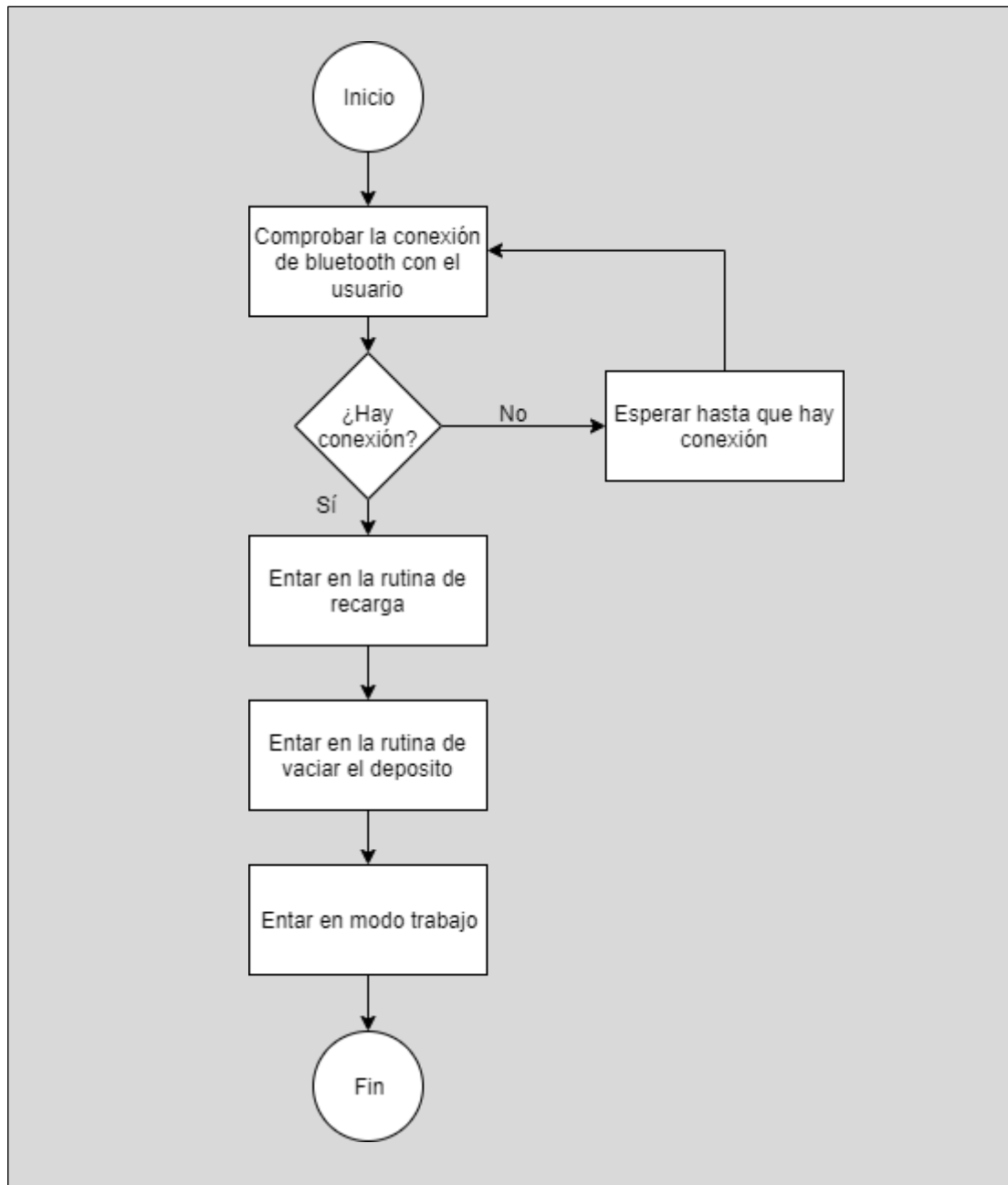


Ilustración 42: Diagrama de actividad general

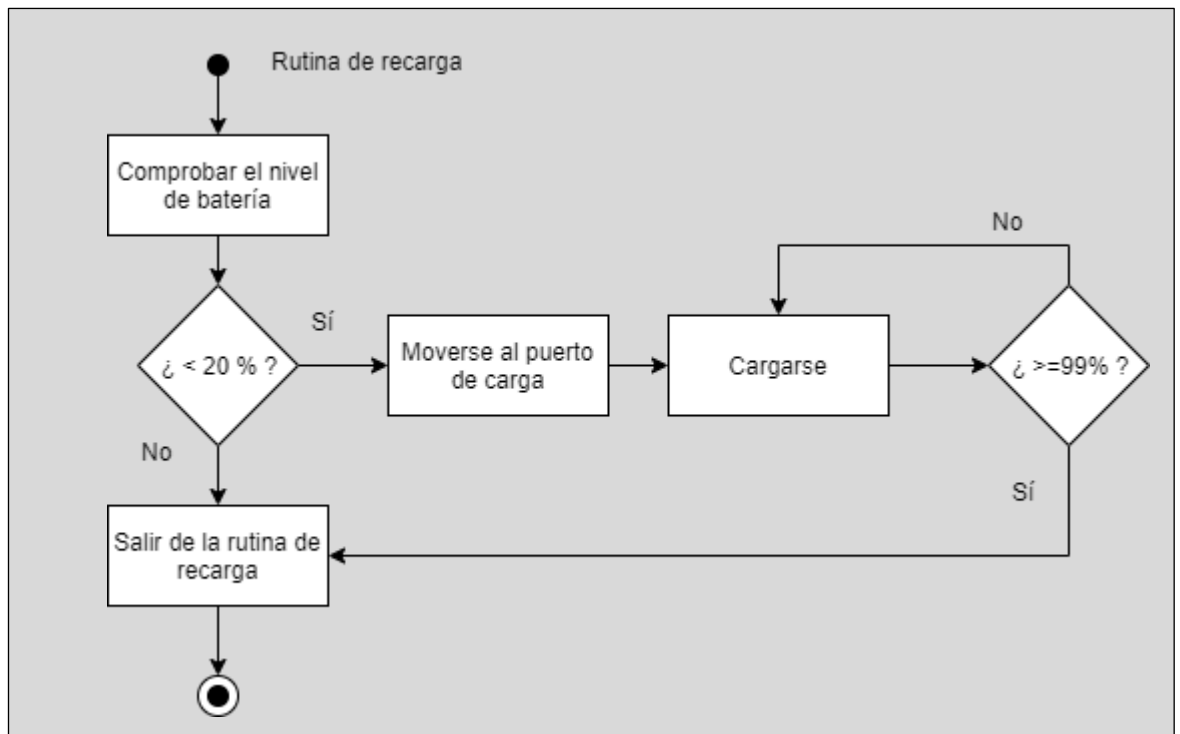


Ilustración 43: Diagrama de actividad de la rutina de recarga de la batería

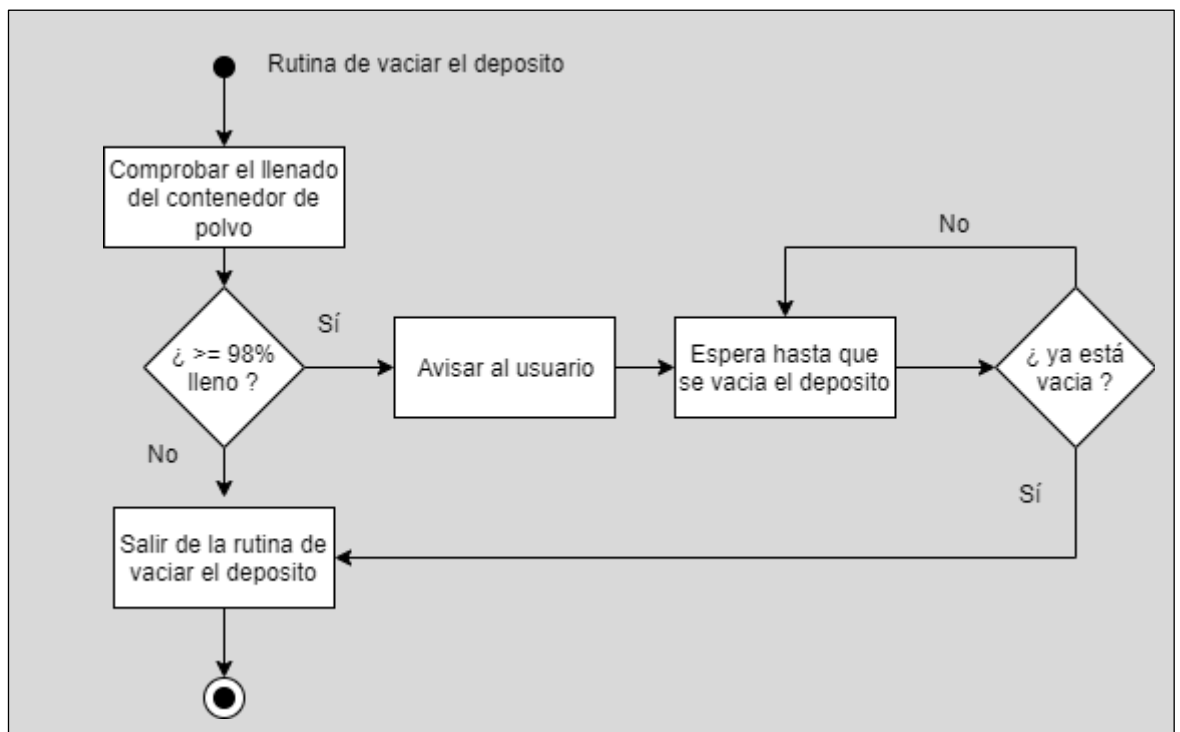


Ilustración 44: Diagrama de actividad de la rutina de vaciar el depósito

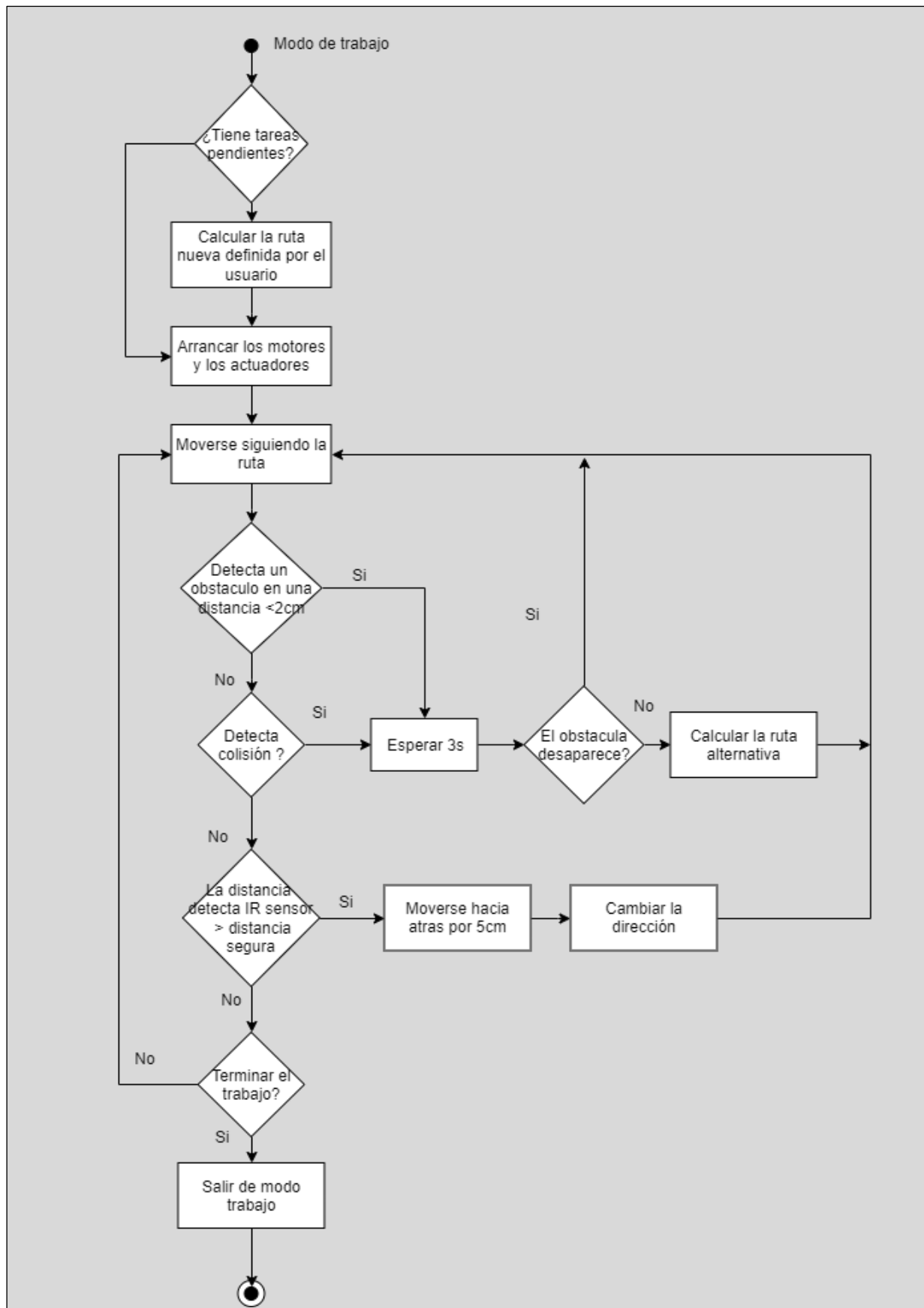


Ilustración 45: Diagrama de actividad del modo de trabajo

5.1.2. Diagramas de Casos de Usos

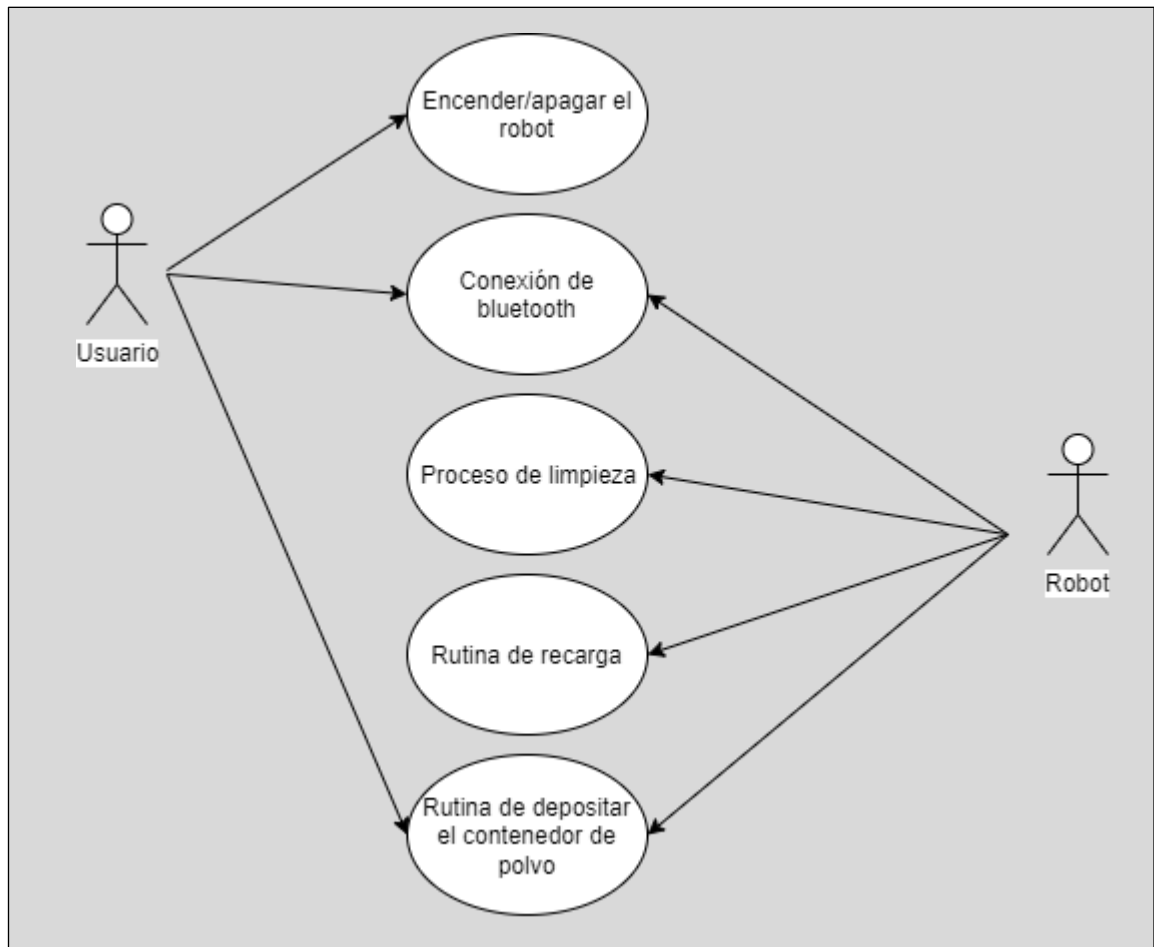


Ilustración 46: Diagrama de caso de uso del robot aspirador

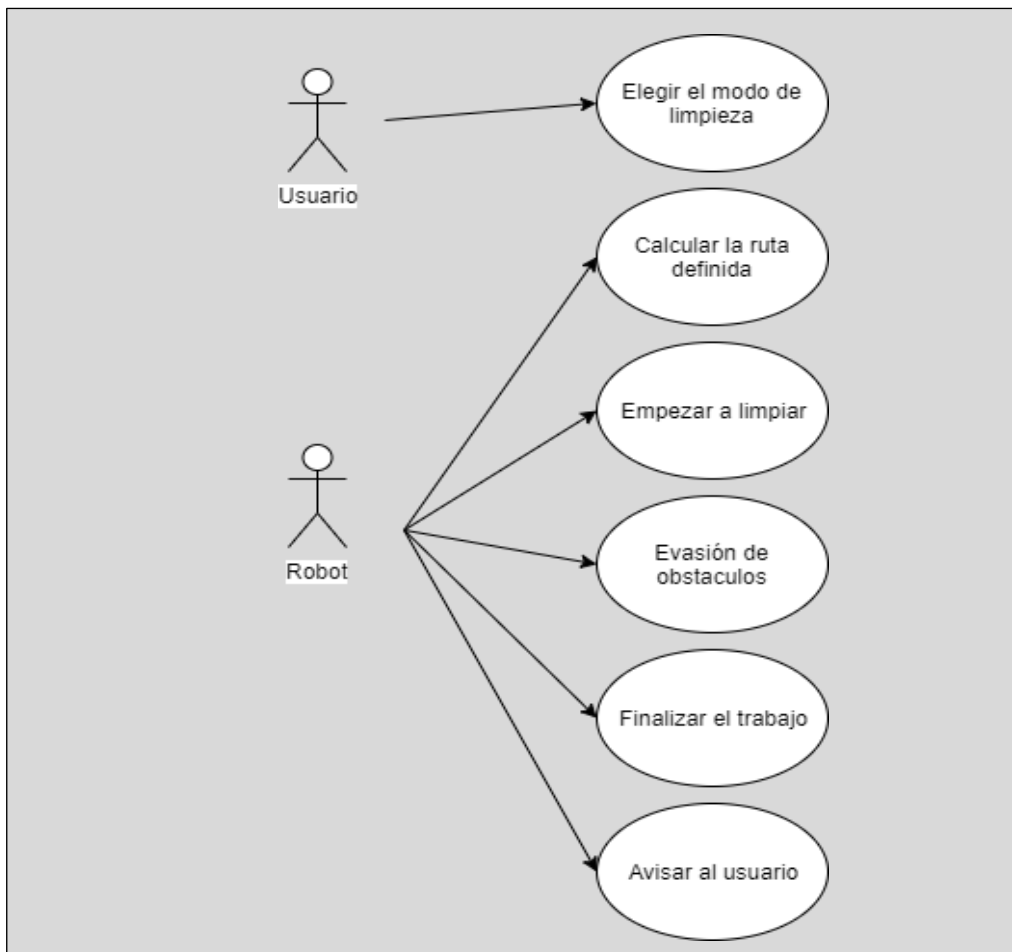


Ilustración 47: Diagrama de caso de uso (caso 1: proceso de limpieza)

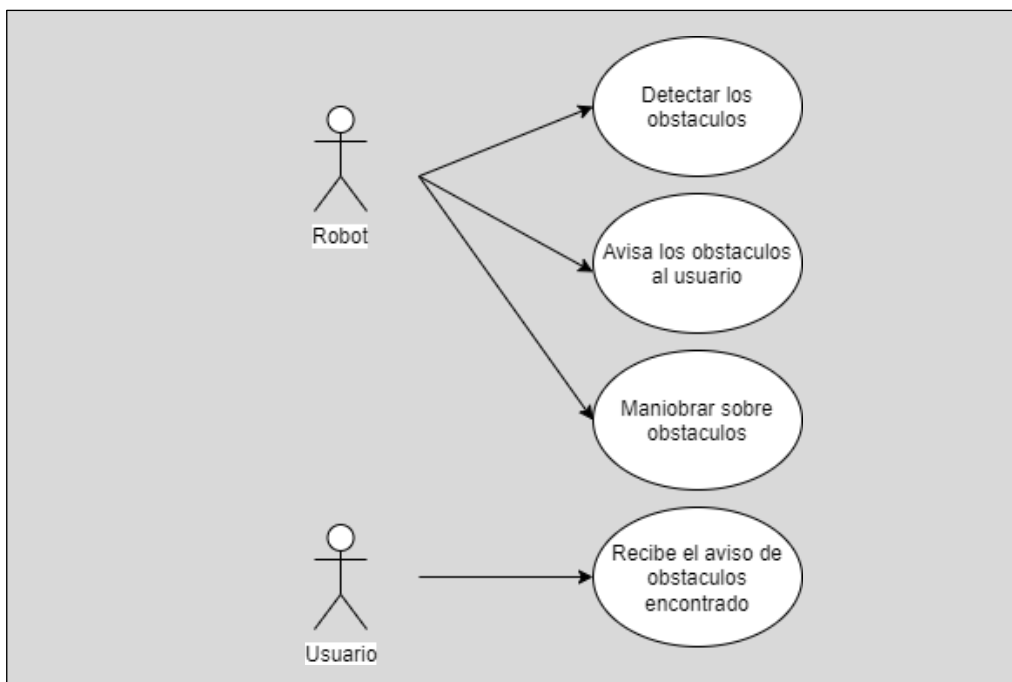


Ilustración 48: Diagrama de caso de uso (caso 2: evitación de obstáculos)

6. CONCLUSIONES

Las altas demandas de la aspiradora robótica dan como resultado la producción en masa de estos robots autónomos a medida que el mundo avanza hacia la automatización en la vida diaria. Sin duda, la evolución de las tecnologías implementadas en esos robots se vuelve aún más poderosa. Para favorecer la necesidad de todos en las tareas de limpiar el hogar, además de lo económico, el robot debe ser capaz de hacer múltiples cosas, como en este caso, limpiar el pelo de mascotas, ya que la cultura de las mascotas vive junta en el hogar es bien conocida y practicada por todo el mundo.

En este trabajo, se ha propuesto y diseñado una aspiradora robótica que es eficaz en la limpieza del pelo de mascotas. Tiene una forma de disco y hecho de vidrio acrílico o plástico PMMA en la cual es un buen material para absorber impactos. Se han seleccionado componentes económicos, funcionales y de fácil acceso en el diseño mecánico y eléctrico del robot. Al implementar el modo autónomo, el sensor LIDAR ayuda el robot a mapear el espacio de trabajo y navega por el para limpiar la habitación de acuerdo con el comando del usuario. El sensor ayuda el robot a detectar los obstáculos y mediante la implementación de algoritmos, el robot maniobra alrededor de los obstáculos para buscar una ruta alternativa a limpiar el espacio. En caso de que ocurra una falla en LIDAR, los sensores de bumper se ponen en funcionamiento para detectar las colisiones con obstáculos. También se implementó un sensor de acantilado que usa infrarrojos en la base del robot mirando hacia abajo para detectar escaleras y evitar caídas. Dentro de un cierto rango, el robot puede detectar las escaleras descendentes y cambiar la dirección del movimiento. Para procesar la información proveniente de los sensores, se utiliza Raspberry PI como microcontrolador que actúa como el cerebro de este robot autónomo.

El valor añadido de este robot en comparación con el existente es la capacidad del robot para limpiar el pelo suelto de la alfombra que generalmente proviene de las mascotas que se quedan en el hogar. Con esa idea en mente, se implementa el rodillo electrostático. Este rodillo rueda hacia adelante y hacia atrás unas cuantas veces para generar una carga electrostática y atraer el pelo suelto. Esta idea no ha sido probada; por lo tanto, no se pudo comprobar la eficiencia de esta función.

Entre las limitaciones que se pueden encontrar al diseñar el robot está, que solo hay dos sensores de bumper en el chasis frontal del robot. En el caso de que un obstáculo provenga de detrás del robot y por alguna razón LIDAR no funciona bien, el robot no puede detectar el obstáculo, y en consecuencia, se chocara con el robot y causara daños al robot. Además de eso, no hay sensor implementado en el cepillo que pueda

detectar la cantidad de polvo; por lo tanto, el robot no sabe qué lugares está más sucio para prestarle más atención. El robot tampoco hará nada si el cubo de basura está lleno hasta que el usuario lo vacíe.

Para los trabajos futuros, esas limitaciones que se han mencionado anteriormente se pueden mejorar integrando más sensores de bumper alrededor de chasis para enfrentar la probabilidad de obstáculos provenientes de cualquier otra dirección. También se puede implementar un sensor de polvo cerca del cepillo para que pueda detectar la cantidad de polvo aspirado y prestar más atención a la limpieza de esas áreas. La inteligencia del robot también se puede mejorar y avanzar para hacer que el robot vacíe su cubo de basura cuando esté lleno por sí mismo. La característica adicional, como fregar el piso, también es favorable para el usuario. Más funciones y sensores darán como resultado una alta eficiencia; no obstante, el costo y el consumo de energía del robot también se aumentará.

7. OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

Los objetivos de este Trabajo Fin de Grado están alineados con los siguientes Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y metas, de la Agenda 2030:

- Objetivo 11 – Lograr que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles.
- Meta 11.6 De aquí a 2030, reducir el impacto ambiental negativo per cápita de las ciudades, incluso prestando especial atención a la calidad del aire y la gestión de los desechos municipales y de otro tipo



8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] E. Prassler, A. Ritter, C. Schaeffer, y P. Fiorini, «A Short History of Cleaning Robots», *Auton. Robots*, vol. 9, n.º 3, pp. 211-226, dic. 2000, doi: 10.1023/A:1008974515925.
- [2] «Electrolux unveils prototype for robot vacuum cleaner», *Electrolux Group*, 1 de diciembre de 1997. <https://www.electroluxgroup.com/en/electrolux-unveils-prototype-for-robot-vacuum-cleaner-4359> (accedido 27 de febrero de 2022).
- [3] M. Hanlon, «Dyson's Robot Vacuum Cleaner - the DC06», *New Atlas*, 3 de junio de 2004. Accedido: 27 de febrero de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://newatlas.com/dyson-robot-vacuum-cleaner-the-dc06/1282/>
- [4] A. Krasne, «Your very own robotic butler - November 4, 1999», *CNN*, 4 de noviembre de 1999. Accedido: 27 de febrero de 2022. [En línea]. Disponible en: <http://edition.cnn.com/TECH/computing/9911/04/robot.help.idg/index.html>
- [5] O. Bendel, «LADYBIRD: The Animal-Friendly Robot Vacuum Cleaner», presentado en 2017 AAAI Spring Symposium Series, mar. 2017. Accedido: 27 de febrero de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.aaai.org/ocs/index.php/SSS/SSS17/paper/view/15277>
- [6] R. and Markets, «Global Robot Vacuum Cleaners Market (2021 to 2026) - Growth, Trends, COVID-19 Impact, and Forecasts», *GlobeNewswire News Room*, 26 de febrero de 2021. <https://www.globenewswire.com/news-release/2021/02/26/2183274/28124/en/Global-Robot-Vacuum-Cleaners-Market-2021-to-2026-Growth-Trends-COVID-19-Impact-and-Forecasts.html> (accedido 1 de marzo de 2022).
- [7] «Robots aspiradores Roomba® | iRobot». <https://www.irobot.es/roomba> (accedido 27 de febrero de 2022).
- [8] eufy, «RoboVac X8 Hybrid», *eufy*. <https://us.eufylife.com/products/t2261111> (accedido 28 de febrero de 2022).
- [9] Q. Zou, Q. Sun, L. Chen, B. Nie, y Q. Li, «A Comparative Analysis of LiDAR SLAM-Based Indoor Navigation for Autonomous Vehicles», *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, pp. 1-15, 2021, doi: 10.1109/TITS.2021.3063477.
- [10] «Fig. 7: This figure demonstrated the map, which was built by the SLAM...», *ResearchGate*. https://www.researchgate.net/figure/This-figure-demonstrated-the-map-which-was-built-by-the-SLAM-according-to-Section-II-B_fig4_321820963 (accedido 9 de marzo de 2022).
- [11] V. Hanumante, S. Roy, y S. Maity, «Low Cost Obstacle Avoidance Robot».
- [12] K. M. Hasan, Abdullah-Al-Nahid, y K. J. Reza, «Path planning algorithm development for autonomous vacuum cleaner robots», en *2014 International Conference on Informatics, Electronics Vision (ICIEV)*, may 2014, pp. 1-6. doi: 10.1109/ICIEV.2014.6850799.
- [13] A. Eren y H. Doğan, «Design and implementation of a cost effective vacuum cleaner robot», *Turk. J. Eng.*, vol. 6, n.º 2, Art. n.º 2, abr. 2022, doi: 10.31127/tuje.830282.

- [14] T. B. Asafa, T. M. Afonja, E. A. Olaniyan, y H. O. Alade, «Development of a vacuum cleaner robot», *Alex. Eng. J.*, vol. 57, n.º 4, pp. 2911-2920, dic. 2018, doi: 10.1016/j.aej.2018.07.005.
- [15] V. Berenz, F. Tanaka, y K. Suzuki, «Autonomous battery management for mobile robots based on risk and gain assessment», *Artif Intell Rev*, vol. 37, pp. 217-237, mar. 2012, doi: 10.1007/s10462-011-9227-9.
- [16] H. A. Kiehne, *Battery Technology Handbook*. CRC Press, 2003.
- [17] «Low Discharge Rate - an overview | ScienceDirect Topics». <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/low-discharge-rate> (accedido 14 de marzo de 2022).
- [18] «How to Calculate Battery Discharge Rate», *Sciencing*. <https://sciencing.com/calculate-battery-discharge-rate-6865220.html> (accedido 14 de marzo de 2022).
- [19] «A Guide to Understanding Battery Specifications», p. 3.
- [20] M. Biswas, M. Azim, T. K. Saha, U. Zobayer, y M. Urmi, «Towards Implementation of Smart Grid: An Updated Review on Electrical Energy Storage Systems», *Smart Grid Renew. Energy*, vol. 4, pp. 122-132, feb. 2013, doi: 10.4236/sgre.2013.41015.
- [21] J. Bergman y J. Lind, *Robot Vacuum cleaner*. 2019. Accedido: 20 de marzo de 2022. [En línea]. Disponible en: <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:kth:diva-264502>
- [22] «What To Know About The ChomChom Roller Fur Remover», *Neat-ish.com*, 1 de agosto de 2021. <https://neat-ish.com/products-and-reviews/chomchom-roller-fur-remover-review/> (accedido 20 de marzo de 2022).
- [23] Y. A. Badamasi, «The working principle of an Arduino», en *2014 11th International Conference on Electronics, Computer and Computation (ICECCO)*, sep. 2014, pp. 1-4. doi: 10.1109/ICECCO.2014.6997578.
- [24] A. Nayyar y V. Puri, «Raspberry Pi-A Small, Powerful, Cost Effective and Efficient Form Factor Computer: A Review», *Int. J. Adv. Res. Comput. Sci. Softw. Eng. IJARCSSE*, vol. 5, pp. 720-737, dic. 2015.
- [25] «Arduino vs Raspberry Pi», *OpenWebinars.net*, 4 de septiembre de 2019. <https://openwebinars.net/blog/arduino-vs-raspberry-pi/> (accedido 16 de marzo de 2022).
- [26] «Using_Lidar_for_Navigation_Anderson.pdf». Accedido: 9 de marzo de 2022. [En línea]. Disponible en: https://elinux.org/images/4/4e/Using_Lidar_for_Navigation_Anderson.pdf
- [27] L. M. L. is the F. of L. R. S. holds a B. S. in R. E. from W. L. has a multitude of robotics experiences ranging from being a R. R. at UPenn, I. at MIT, A. E. for U. T. L. writes technical tutorials, creates automation courses that anyone can follow H. tips, y tricks help engineers grow their careers L. has authored over 150 pieces of unique content on this site Y. can support her work here L. more about L. R. on our A. U. page, «IR Sensor vs. Ultrasonic Sensor: What is the difference?», *Learn Robotics*, 5 de octubre de 2019. <https://www.learnrobotics.org/blog/ir-sensor-vs-ultrasonic-sensor/> (accedido 18 de marzo de 2022).
- [28] A. Haidar, C. Benachaiba, y M. Zahir, «Software interfacing of servo motor with microcontroller», *Fac. Eng. Inf. Sci. - Pap. Part A*, pp. 84-99, ene. 2013.
- [29] G. Katal, S. Gupta, y S. Kakkar, «DESIGN AND OPERATION OF SYNCHRONIZED ROBOTIC ARM», p. 6.

- [30] «AN885, Brushless DC (BLDC) Motor Fundamentals», p. 20, 2003.
- [31] M. Yaz y E. Çetin, «Brushless Direct Current Motor Design and Analysis», vol. 2, sep. 2021, doi: 10.31031/COJEC.2021.02.000534.
- [32] E. Soriano Heras, F. Blaya Haro, J. M. De Agustín del Burgo, M. Islán Marcos, y R. D'Amato, «Filament Advance Detection Sensor for Fused Deposition Modelling 3D Printers», *Sensors*, vol. 18, n.º 5, Art. n.º 5, may 2018, doi: 10.3390/s18051495.
- [33] G. A. Aremice, «Design embedded system for safe car driving based Arduino», *J. AL-Turath Univ. Coll.*, n.º 27, 2019, Accedido: 20 de marzo de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.iasj.net/iasj/article/201864>