



Universidad
Zaragoza

Trabajo de proyecto integrado

Robot camarero

Autor

[Harsh Urgel, Ana Isabel Grima, Eduardo Pérez]

Director

[David Asian, Juan Diego]

Escuela Universitaria Politécnica La Almunia
2021



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

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

MEMORIA

Robot camarero

Autor: [Harsh Urgel, Ana Isabel Grima, Eduardo Pérez]

Director: [David Asian, Juan Diego]

Fecha: 28/01/2022

INDICE BREVE

1.	<i>Antecedentes</i>	1
2.	<i>Desarrollo</i>	62
3.	<i>Bibliografía</i>	125

INDICE DE CONTENIDO

1.	<i>Antecedentes</i>	1
1.1.	Robots camareros en la actualidad	1
1.2.	Ejemplos de robots camarero comerciales	2
1.2.1.	El Robot T6.....	2
1.2.2.	El Robot K2.....	5
1.2.3.	El Robot Camarero Lolita.....	7
1.2.4.	Robot T2 de Mingren.....	9
1.2.5.	Kettybot de pudurobotics.....	12
1.2.6.	Temi Temi	15
1.2.7.	Robot asistente para restaurante seguidor de líneas.....	17
1.2.8.	Robot HBOT101	19
1.2.9.	Robot de entrega comercial	21
1.2.10.	Análisis de antecedentes de robots camareros.....	1
1.3.	Ejemplos de robots AGV.....	3
1.3.1.	Seguidor de líneas Pololu 3pi.....	3
1.3.2.	Robot AGV HD-1500 de Omron	6
1.3.3.	Robot Pathfinder para logística en hospital	7
1.4.	Marco teórico.....	11
1.4.1.	Parte electrónica.....	11
1.4.1.1.	Sensores.....	11
1.4.1.2.	Actuadores.....	21
1.4.1.3.	Baterías	32
1.4.1.3.1.	Principio Químico de la batería	32

1.4.1.3.2. Tipos de Baterías	32
1.4.1.3.3. Parámetros técnicos importantes en baterías	34
1.4.1.3.4. ¿Cómo se calculan los amperios que necesitamos para proporcionar energía a un dispositivo?35	
1.4.2. Parte mecánica	36
1.4.2.1. Actuadores.....	36
1.4.2.2. Mecanismo de la tijera	46
1.4.2.2.1. Cinemática del elevador de tijera	46
1.4.2.2.2. Triángulos característicos.....	47
1.4.2.2.3. Análisis de un elevador de tijera con varios niveles.....	56
2. Desarrollo	62
2.1. Diseño conceptual	62
2.1.1. Diagramas de alto nivel	63
2.1.2. Diagramas de bajo nivel.....	64
2.1.3. Layout.....	70
2.1.4. Diagramas UML de Casos de Uso	74
2.1.5. Diagramas UML de actividades.....	77
2.2. Diseño mecánico	83
2.2.1. Diseño de ruedas motrices y elección de motor DC.....	83
2.2.2. Taco para compensar la altura de la rueda loca.....	86
2.2.3. Esfuerzo en tubos (método numérico).....	87
2.2.4. Esfuerzos en tubos (cálculo a mano)	89
2.2.5. Diseño de sujeción de tubos.....	91
2.2.6. Esfuerzo en eje de rueda motriz.....	93
2.2.7. Diseño de estructura sensores infrarrojos	94
2.2.8. Diseño de estructura sensores ultrasonidos	95
2.2.9. Diseño de la sujeción para batería	96
2.2.10. Ensamblaje final.....	97
2.3. Diseño eléctrico.....	101
2.4. Diseño electrónico.....	108
2.4.1. Fuente conmutada Buck.....	108
2.4.2. Circuito módulo ESP32	111
2.4.3. Micro USB, USB-UART, boot, enable y LED encendido.....	112
2.4.1. Circuito Driver MC33926	114
2.4.2. Módulo de expansión de I/O	115

2.4.3. Conectores.....	116
2.5. Diseño de la PCB.....	118
2.5.1. Definición de la PCB a diseñar	118
2.5.2. Ubicación de los componentes.....	118
2.5.3. Visualización de capas	119
2.5.4. PCB en 3D	123
3. Bibliografía	125

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Robot T6 (<i>Robot T6-Keenon Robotics</i> , s. f.)	2
Ilustración 2. Robot K2 (<i>Coolerstuff, Robot K2 on Alibaba.com</i> , s. f.)	5
Ilustración 3. Robot Camarero Lolita (<i>Robot camarero Lolita</i> , 2018).....	7
Ilustración 4. Robot Mingren T2 (<i>Buscando Distribuidor Mingren T2</i> , s. f.).....	9
Ilustración 5. Funcionamiento robot T2(<i>Buscando Distribuidor Mingren T2</i> , s. f.).....	10
Ilustración 6. Robot KettyBot (<i>Robot de entrega inteligente de Pudu robotics</i> , s. f.).....	12
Ilustración 7. Robot Temi(<i>Robot De Navegación Inteligente Para Catering</i> , s. f.)	15
Ilustración 8.Robot asistente camarero(<i>Robot Asistente</i> , s. f.)	17
Ilustración 9.Robot HBOT101(<i>China Factory</i> , s. f.)	19
Ilustración 10.Lidar Scan(<i>China Factory</i> , s. f.).....	20
Ilustración 11.Robot humanoide para restaurante(<i>Diseño humanoide Inteligente</i> , s. f.)	21
Ilustración 12.Robot Pololu 3pi (<i>Pololu 3pi Robot</i> , s. f.).....	3
Ilustración 13.Robot por dentro(<i>Pololu 3pi Robot</i> , s. f.).....	4
Ilustración 14. Robot HD-1500 (<i>HD-1500 OMRON, España</i> , s. f.).....	6
Ilustración 15. Robot AGV Pathfinder (<i>Bačík et al., 2017</i>)	7
Ilustración 16. Robot Pathfinder, esquema general de componentes electrónicos (<i>Bačík et al., 2017</i>)	9
Ilustración 17. Encoder. (<i>Encoder - ¿Qué es?</i> , 2020).....	17
Ilustración 18. Sensor Hall . (<i>Samata</i> , s. f.)	20
Ilustración 19. Formula bobinas de Helmholtz . (<i>Samata</i> , s. f.).....	20
Ilustración 20. Configuración de motor paso a paso de reluctancia variable (<i>Mecafenix</i> , 2017).....	22
Ilustración 21. Secuencia normal en motor paso a paso unipolar (<i>Motores paso a paso_2</i> , s. f.)	22
Ilustración 22. Secuencia Wave drive, paso completo en motor paso a paso unipolar (<i>Motores paso a paso_2</i> , s. f.).....	23

Ilustración 23. Secuencia de medio paso en motor paso a paso unipolar (<i>Motores paso a paso_2</i> , s. f.).....	23
Ilustración 24. Secuencia de activación de bobinas en motor paso a paso bipolar (Mecafenix, 2017)	24
Ilustración 25. Diagrama de bloque del funcionamiento del servomotor (González, 2016).....	25
Ilustración 26. Configuración del motor DC («Motor DC», s. f.).....	27
Ilustración 27. Puente en H para variación de velocidad y cambio de sentido de motor DC (<i>Drivers motor DC</i> , s. f.).....	28
Ilustración 28. Circuito driver de servomotor a modo de ejemplo (<i>Driver servoM</i> , s. f.)	29
Ilustración 29. Puente en H con Mosfets para motor paso a paso Bipolar (<i>Motores Arduino</i> , s. f.).....	30
Ilustración 30. Ondas del driver de motor paso a paso (<i>Motores Arduino</i> , s. f.).....	30
Ilustración 31. Modelo conceptual de motor paso a paso unipolar (<i>Motores Arduino</i> , s. f.)	31
Ilustración 32. Esquema electrónico driver motor paso a paso unipolar (<i>Motores Arduino</i> , s. f.).....	31
Ilustración 33. Formula velocidad angular (Sandoval-Castro et al., 2019)	39
Ilustración 34. Selección de correas en función de la velocidad y potencia (Sandoval-Castro et al., 2019)	40
Ilustración 35. Viga apoyada en sus extremos con carga media (Sandoval-Castro et al., 2019)	40
Ilustración 36. Ensamblaje de actuador lineal con correa dentada (Sandoval-Castro et al., 2019)	41
Ilustración 37. Factores a considerar en actuador lineal con husillo (motorcontinua, 2010).....	41
Ilustración 38. Actuador husillo-corona (<i>Mecanismos</i> , s. f.).....	42
Ilustración 39. Elementos del tornillo sinfín (s. f.)	43
Ilustración 40. Elementos de la rueda tipo A, en actuador husillo-corona (metalmecánica, 2018)	44
Ilustración 41. Autor Propio	46

Ilustración 42. Esfuerzos de la barra. Autor propio.....	46
Ilustración 43.(Zhang, Zhang, Yan, et al., 2015a).....	47
Ilustración 44.Triángulos característicos de 6 configuraciones de entrada diferentes .	48
Ilustración 45.Triángulo característico para calcular el vector de longitud de entrada I	48
Ilustración 46. Formula (1)	48
Ilustración 47.Formula(2)	49
Ilustración 48.(Zhang, Zhang, Yan, et al., 2015a).....	49
Ilustración 49.Formula(3)	49
Ilustración 50.Formula(4)	49
Ilustración 51.Formula(5)	49
Ilustración 52.Formula(6)	49
Ilustración 53.(Zhang, Zhang, Yan, et al., 2015a).....	50
Ilustración 54.Formula(7)	50
Ilustración 55.Formula (8a)	50
Ilustración 56. Formula (8b)	50
Ilustración 57. (Zhang, Zhang, Yan, et al., 2015a).....	51
Ilustración 58. Triangulo característico de fuerza de entrada P. (Zhang, Zhang, Yan, et al., 2015a).....	51
Ilustración 59. Formula (9)	51
Ilustración 60. Formula (10)	52
Ilustración 61.Formula(11)	52
Ilustración 62.Formula(12)	52
Ilustración 63.Formula(13)	52
Ilustración 64.Formula(14)	52
Ilustración 65. Formula (15)	52
Ilustración 66. Formula (16)	52
Ilustración 67. Formula (17)	53
Ilustración 68. Formula (18)	53

Ilustración 69. Formula (19)	53
Ilustración 70. Formula (20)	53
Ilustración 71. Formula (21)	53
Ilustración 72. Un ajuste especial en vertical y en horizontal de la configuración 1. (Zhang, Zhang, Yan, et al., 2015a).....	54
Ilustración 73. Cuatro ejemplos de configuraciones. (Zhang, Zhang, Yan, et al., 2015a).....	55
Ilustración 74.(Zhang, Zhang, Yan, et al., 2015a).....	55
Ilustración 75.Diagrama de esfuerzos de la estructura de un elevador de tijera. (Esfuerzos - Elevador Hidráulico * Grupo C, s. f.)	56
Ilustración 76.Diagrama de esfuerzos en la estructura. (Esfuerzos - Elevador Hidráulico * Grupo C, s. f.)	58
Ilustración 77. Ecuaciones de equilibrio. (Esfuerzos - Elevador Hidráulico * Grupo C, s. f.).....	58
Ilustración 78. Diagrama de esfuerzos en tijera superior. (Esfuerzos - Elevador Hidráulico * Grupo C, s. f.)	58
Ilustración 79. Ecuaciones de equilibrio. (Esfuerzos - Elevador Hidráulico * Grupo C, s. f.).....	59
Ilustración 80. Diagrama de esfuerzos en la barra EG. (Esfuerzos - Elevador Hidráulico * Grupo C, s. f.)	59
Ilustración 81.Esfuerzos de equilibrio. (Esfuerzos - Elevador Hidráulico * Grupo C, s. f.).....	59
Ilustración 82. Diagrama de esfuerzos en la barra BD. (Esfuerzos - Elevador Hidráulico * Grupo C, s. f.)	59
Ilustración 83. Ecuaciones de equilibrio. (Esfuerzos - Elevador Hidráulico * Grupo C, s. f.).....	60
Ilustración 84.Diagrama de esfuerzos cuando la barra alcanza la altura máxima. (Esfuerzos - Elevador Hidráulico * Grupo C, s. f.)	60
Ilustración 85.(Esfuerzos - Elevador Hidráulico * Grupo C, s. f.)	61
Ilustración 86.(Esfuerzos - Elevador Hidráulico * Grupo C, s. f.)	61
Ilustración 87. Diagrama de relación con elementos externos.....	62

Ilustración 88. Diagrama de alto nivel del robot camarero	63
Ilustración 89. Diagrama de bajo nivel controlador	64
Ilustración 90. Diagrama de bajo nivel de sensores.....	65
Ilustración 91. Diagrama de bajo nivel del elevador	66
Ilustración 92. Diagrama de bajo nivel de las ruedas.....	67
Ilustración 93. Diagrama de bajo nivel del sistema de alimentación	68
Ilustración 94. Diagrama de bajo nivel del HMI.....	69
Ilustración 95. Layout planta 0	70
Ilustración 96. Layout planta 1 y 2.....	71
Ilustración 97. Layout planta 3	72
Ilustración 98. Bandeja del robot	73
Ilustración 99. Diagrama de casos uso de interacción con el robot	74
Ilustración 100. Diagrama de actividades del funcionamiento general.....	77
Ilustración 101. Diagrama de actividades de navegación del robot	79
Ilustración 102. Diseño conceptual de las rutas posibles de ejemplo.....	80
Ilustración 103. Valores rozamiento de pavimento para neumáticos de goma (<i>Tabla de factores de rozamiento del pavimento para neumáticos de goma, s. f.</i>)	83
Ilustración 104. Valores típicos del coeficiente de rodadura (Piro, s. f.).....	84
Ilustración 105. Esquema para cálculo de momento motriz	84
Ilustración 106. Motor DC con reductor 12v DC (apuntes proyecto integrado)	85
Ilustración 107. Vista de la alineación de ruedas.....	86
Ilustración 108. Tubo separador de 30x26x300	87
Ilustración 109. Características mecánicas de aluminio 6063.....	87
Ilustración 110. Análisis estático de tubo separador	88
Ilustración 111. Diseño sujeción de tubos	91
Ilustración 112. Ensamblaje sujeción de tubos	92
Ilustración 113. Sujeción de sensores infrarrojos	94
Ilustración 114. Sección de sensores ultrasonidos	95
Ilustración 115. Sujeción de batería	96

Ilustración 116. Vista dimétrica del robot camarero	97
Ilustración 117. Vista en alzado robot camarero	98
Ilustración 118. Vista en perfil robot camarero	99
Ilustración 119. Vista isométrica del entorno de trabajo del robot	100
Ilustración 120. Conectores de la PCB principal	103
Ilustración 121. Circuito alimentación y paro de emergencia	104
Ilustración 122. Conexión con peine de infrarrojos	105
Ilustración 123. Conexión con HUB de ultrasonidos	105
Ilustración 124. Conexión con la PCB del elevador	106
Ilustración 125. Conexión con interface y motores	106
Ilustración 126. Conexión con PCB HMI	107
Ilustración 127. Fuente alimentación	108
Ilustración 128. Conversión 12V a 5V	109
Ilustración 129. Conversión 5V a 3V3	109
Ilustración 130. Valores de resistencias fuente Buck (<i>MP2359 datasheets, s. f.</i>)	110
Ilustración 131. Elección de las bobinas (<i>MP2359 datasheets, s. f.</i>)	110
Ilustración 132. Circuito ESP32	111
Ilustración 133. Circuito USB y conexión con EN y Boot del ESP32	112
Ilustración 134. Circuito USB	112
Ilustración 135. Circuito Boot y Enable ESP32	113
Ilustración 136. LED encendido	113
Ilustración 137. Circuito driver MC33926 motor 1	114
Ilustración 138. Circuito para expansión de I/O	115
Ilustración 139. Conectores alimentación, HMI, RGB	116
Ilustración 140. Conectores motores de ruedas motrices	116
Ilustración 141. Conectores sensores	117
Ilustración 142. Conector PCB elevador	117
Ilustración 143. Enrutado de la PCB y control DRC	118

Ilustración 144. Capa trasera de la PCB	119
Ilustración 145. Capa para 5V	120
Ilustración 146. Capa para GND de la PCB	121
Ilustración 147. Capa delantera	122
Ilustración 148. Vista en planta de la PCB	123
Ilustración 149. Vista trasera de la PCB	124

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Análisis general de antecedentes	1
---	---

1. ANTECEDENTES

Se va a realizar una búsqueda en diferentes referencias bibliográficas, para explicar la historia en la actualidad de los robots camareros.

Se mostrará distintos tipos de robots camareros comerciales de hoy en día, con el objetivo de realizar un análisis resumido en forma de tabla con las características técnicas más relevantes.

Estas características técnicas ayudarán a tomar unas decisiones u otras a la hora de continuar con el desarrollo del proyecto.

1.1. ROBOTS CAMAREROS EN LA ACTUALIDAD

Según lo que se comenta en el blog («Robótica hostelera», s. f.) publicado el 28/05/20 a cerca de la robótica en la hostelería, la robótica destinada a este sector ya era común en países punteros como China, Japón o Singapur o Estados Unidos. Sin embargo, también ha llegado a España, se puede ver en diferentes ciudades de España como Madrid, Sevilla o Zaragoza.

El buen servicio al cliente y la amabilidad son factores determinantes en la experiencia de un comensal cuando acude a un restaurante. En algunas ocasiones, un mal servicio (o la falta de amabilidad) por parte de uno de los camareros puede implicar la pérdida de un cliente, o incluso de muchos más teniendo en cuenta que cada vez se comparten más este tipo de experiencias a través de redes sociales.

La tecnología ha avanzado a tal ritmo que a día de hoy ni si quiera es necesario tener a una persona humana atendiendo las mesas de los restaurantes. De hecho, estos robots son capaces de hacer el mismo trabajo con mayor rapidez y eficacia, y el propietario del negocio tiene un mayor control sobre el servicio que se ofrece a sus clientes. En China, el dueño de un restaurante confesaba que adquirir uno de estos robots es muy rentable, ya que el precio de uno de estos equivale al salario anual de un camarero.

Algunos de estos robots ya son capaces de tomar pedidos, servir la comida y soportar y trasladar una carga de hasta 25kg. Además, están equipados con sensores ópticos que les permiten percibir objetos y personas y sortearlos, de manera que no tropiecen ni choquen con nada durante el servicio.

Otra ventaja es que se les puede programar para interactuar con los clientes en base a unas premisas concretas, y posteriormente controlarlos de forma manual o a través de un dispositivo (ordenador, tablet, móvil...). Aquí es donde entra en juego toda la parte de servicio y atención al cliente.

En España ya hay empresas que comercializan este tipo de robots y, aunque tampoco se han utilizado demasiado por el momento, la respuesta ha sido muy positiva. Muchos comensales lo describen como una experiencia divertida y curiosa, y otros se refieren a ello como si tuvieran la sensación de haber viajado en el tiempo.

1.2. EJEMPLOS DE ROBOTS CAMARERO COMERCIALES

Existen ya una gran variedad de robots camareros en la actualidad, a continuación, se va a mencionar algunos de ellos. Se ha selecciona diferentes tipos de robots, desde un diseño más humano para acercarse más a las personas, hasta otros con un diseño completamente diferente, siempre buscando la comodidad para transportar el alimento de un sitio a otro o mejorando la comunicación con las personas.

1.2.1. El Robot T6



Ilustración 1. Robot T6 (Robot T6-Keenon Robotics, s. f.)

Según lo que se ha podido observar en los videos (Keenon Robotics, 2021a), (Keenon Robotics, 2021b), (CareStar Robotics, 2021b), y tras a ver leído en la

página oficial de venta del producto (*Robot T6-Keenon Robotics, s. f.*), se observan distintas características.

se trata de un robot que posee 4 bandejas para transportar los alimentos, siendo las más utilizadas aquellas que más altas se encuentran ya que los más ergonómicas.

Comunicación con las personas

Utiliza una pantalla táctil para seleccionar las mesas donde deberán dirigirse. Los clientes deberán confirmar que ya han recogido sus alimentos, para poder seguir con su actividad. Esta pantalla también se utiliza para el mantenimiento y actualización del robot.

Detrás de la pantalla, lleva unos agujeros, que puede ser la ubicación de un altavoz, y puede que se utilice para avisar a los clientes a cerca de sus pedidos, por ejemplo.

Navegación

Totalmente autónomo, con capacidad de evitar obstáculos como personas, u objetos. A través de unos sensores es capaz de generar un mapa y calcular la ruta desde la posición actual hasta su punto objetivo.

Posee tracción diferencial ya que se puede observar en los videos que es capaz de girar sobre si mismo para dirigirse hacia otro lugar.

Entrega del pedido

Dispone de múltiples bandejas para realizar diferentes entregas seleccionadas al mismo tiempo. Una vez que el trabajador del restaurante deposita los alimentos en cada bandeja, y tras programar las mesas a las que se debe dirigir, el robot comienza a dirigirse a la primera mesa.

Al llegar a su destino, se detiene, el cliente recoja su comida y confirma a través de la pantalla de que su comida ha sido recogida. Tras la confirmación, el robot se dirige a la siguiente mesa, y así hasta completar todas sus entregas.

Una vez que termina con todas sus entregas, vuelve de forma autónoma a un punto de origen, y espera para volver a realizar sus próximas entregas.

Sistemas de seguridad

Capaz de detectar objetos mientras se desplaza.

Pose una seta de emergencia, en caso de descontrol del robot.

Este mismo Robot en este video (Keenon Robotics, 2021a), posee una caja transparente, el cuál puede evitar que la comida caiga al suelo. Pero en este caso, un trabajador deberá encargarse de abrir y cerrar la puerta. Además, el robot ya no se acerca tanto a las mesas como en otros casos.

Especificaciones técnicas del Robot T6

- Tamaño: 51.9x53.1x125.6 cm
- Peso: 52 kg
- Carga: 5kg el estante de arriba y 10kg el resto
- Velocidad: 1m/s
- Inclinación máxima en el desplazamiento: 5°
- Batería: 48V DC, 12Ah
- Consumo nominal: 50W
- Duración de la batería: >12h
- Duración en modo reposo: >48h
- Consumo en modo reposo: <0.5A
- Vida útil de la batería: 20000h

Análisis

Dispone de una pantalla táctil a través de la cual, tanto el trabajador, como el cliente puede comunicarse con el robot.

La cinemática del robot es diferencial, ya que gira sobre sí mismo. Al utilizar sensores para generar mapas, puede desplazarse de forma autónoma y generando rutas continuamente.

Para caso de emergencia, pose una seta para detener el robot. En caso de encontrarse obstáculos en su ruta, es capaz de esquivarlos, a través de sensores. Algunos de este modelo de robot, puede llevar una caja para proteger la comida.

1.2.2. El Robot K2



Ilustración 2. Robot K2 (*Coolerstuff, Robot K2 on Alibaba.com, s. f.*)

El Robot K2 se comercializa para construir uno mismo (DIY, Do It Yourself), comprando un paquete, donde se encuentran las piezas necesarias para su construcción. Las piezas son muy ligeras, al tratarse del aluminio y del plástico ABS.

Dispone de un interesante elevador en forma de tijera, para adaptarse a la altura deseada.

Comunicación con personas

La comunicación se establece a través de un mando de control a distancia.

Navegación

Totalmente manual, con un mando el cual dispone de botones, interruptores y un joystick.

Al disponer de orugas, permite el desplazamiento sobre superficies con algo de relieve, como, por ejemplo, una alfombra.

Entrega del pedido

La entrega es manual. Dispone de un elevador de tijera el cual puede adaptar la altura para realizar la entrega de forma más cómoda para el usuario final. El usuario final deberá recoger el pedido por su cuenta.

Sistemas de seguridad

No dispone de seta de emergencia, ni ninguna caja que pueda proteger la caída del alimento depositado.

Especificaciones técnicas del Robot K2

- Material: Aluminio y plástico ABS
- Tamaño: 27x19x15 cm
- Batería: 7.4v, 1200mAh
- Autonomía: 60mins
- Tiempo de carga: 50mins
- Distancia máxima de control: 30m

Análisis

La comunicación máquina-humano se realiza a través de un mando a distancia.

La cinemática del robot totalmente manual, y controlada por una persona.

Definiendo de esta manera cada movimiento tanto para el desplazamiento como para la elevación del elevador en tijera. Posee ruedas orugas para desplazarse a través de superficies con algo de relieve.

El tipo de entrega es totalmente manual.

No dispone de sistemas de emergencia.

1.2.3. *El Robot Camarero Lolita*



Ilustración 3. Robot Camarero Lolita (*Robot camarero Lolita*, 2018)

Este robot con una altura de 1.7 metros con forma de humanoide para acercarse más a personas.

Comunicación con personas

Posee una pantalla donde muestra diferentes caras. Posee un altavoz para reproducir frases programadas.

Navegación

Puede desplazarse mediante unas líneas magnéticas o líneas negras, ubicadas a lo largo del restaurante. Estas líneas son detectadas gracias a unos sensores situados en la parte inferior de su cuerpo.

También dispone de situaciones en las que se programan a los robots para navegar en el restaurante de forma independiente, evitando obstáculos o deteniéndose si es necesario.

Posee tracción diferencial, ya que en el video se puede ver como gira sobre si mismo.

Entrega del pedido

Dispone de 2 bandejas para transportar los alimentados que deposita un trabajador. Las bandejas son llevadas a través de sus brazos que no se mueven, están hechas para parecerse a los humanos simplemente.

Sistemas de seguridad

Se detiene para evitar cualquier obstáculo a través de sensores ultrasonidos en su camino.

Especificaciones técnicas del Robot Camarero Lolita:

- Altura: 1,7 metros
- Peso: 30 kg
- Autonomía: 4-6 horas
- Vida útil de la batería: 5 años
- Interacción: Tablet manejo a distancia, programación RFID
- Sensores: ultrasonidos,

Análisis

La comunicación máquina-humano se realiza a través de una pantalla táctil, y mediante un altavoz.

La cinemática del robot puede tanto la autónoma, desde una posición hasta el destino, como a través de cintas negras. Dependerá del entorno e que se encuentre a cada momento.

En la entrega puede transportar hasta 2 bandejas sujetados por brazos inmóviles.

Como sistema de seguridad, dispone de sensores para evitar obstáculos a través de sensores ultrasonidos.

1.2.4. Robot T2 de Mingren



Ilustración 4. Robot Mingren T2 (*Buscando Distribuidor*

Mingren T2 , s. f.)

El T2 se utiliza principalmente para la distribución de alimentos desde la cocina trasera hasta la mesa de comedor en el ambiente del Servicio de comidas. También admite el reciclaje de vajilla y clasificación de basura. Basándose en la consideración de seguridad de la distribución de alimentos, el producto adopta la estructura de la cabina cerrada en el aspecto para garantizar más la salud y seguridad de los alimentos. Está equipado con la tecnología de posicionamiento compuesto y navegación desarrollada de forma independiente por la empresa, que integra profundamente múltiples sensores como lidar, visión de máquina, visión de profundidad y sonar. Sus características de posicionamiento y navegación son autónomas y evita obstáculos. Puede funcionar estable y confiablemente en entornos complejos. (*Buscando Distribuidor Mingren T2, s. f.*)

Funcionamiento



Ilustración 5. Funcionamiento robot T2(Buscando Distribuidor Mingren T2 , s. f.)

Detalles Técnicos

- Marca: Mingren
- Material: Plástico
- Voltaje: 48V
- Certificación: ISO9001/CE
- Tipo: Totalmente automático
- Dimensiones 620x510x1320mm
- Tamaño de bandejas 550x420x253mm
- Dirección de tomar las comidas La izquierda y la derecha
- Carga máxima por bandeja 10kgs
- Velocidad máxima 1 m/s
- Max pendiente ≤ 5 grado
- Potencia nominal 500W
- De la batería DC 48V 0.5A
- La vida de la batería ≥ 10hrs
- Corriente de reposo <0.5A

- Tiempo de espera $\geq 48\text{hrs}$
- Ambiente de Trabajo Interior piso liso
- La temperatura ambiente $0 \sim 40 \text{ }^{\circ}\text{C}$

ANALISIS:

Viendo videos de su funcionamiento en restaurantes (Riva Huang, 2021) vemos que este robot va hasta la mesa del cliente y un camarero pone la comida, en el video no se ve al robot girando sobre si mismo, solo se le ve parar y luego continuar su camino por lo que no podemos concretar si su cinemática es diferencial o no.

También se ve que tiene tres bandejas (CareStar Robotics, 2021a) en las cuales puede llevar entre 8 y 9 comidas. En el video se ve como el camarero tiene que poner el destino del robot en la pantalla que tiene encima. Este robot solo se utiliza para transportar la comida, los restaurantes tienen un camarero colocando la comida para los clientes. También lo utilizan para llevar los platos sucios a la cocina.

1.2.5. *Kettybot de pudurobotics*



Ilustración 6. Robot KettyBot (*Robot de entrega inteligente de Pudu robotics, s. f.*)

KettyBot tiene un tamaño compacto y el cuerpo en forma de C inclinado hacia delante permiten al robot atravesar espacios con una separación de solo 55 cm, lo que lo convierte en una opción idónea en ambientes complejos y ajetreados. (*Robot de entrega inteligente de Pudu robotics, s. f.*)

La pantalla de anuncios centrada se adapta a la perfección al ángulo de visión del cliente y permite mostrar materiales promocionales en la zona personalizada.

Con la interacción de voz mediante IA, KettyBot saluda e interactúa de forma inteligente con los clientes que se le cruzan mediante la activación de su pantalla.

El módulo de interacción de voz integra localización del sonido de 360°, diálogos para situaciones exclusivos con cancelación de eco de vanguardia, supresión de ruido y tecnología de eliminación de reverberaciones.

La cubierta trasera extraíble de KettyBot presenta un diseño que lo vuelve más compacto. Gracias a la planificación autónoma de rutas, el robot puede llevar a los

clientes a sus mesas por el mejor recorrido posible para ofrecer una mejor experiencia del cliente y reducir la carga de trabajo de los camareros.

Cambio instantáneo entre bandejas extraíbles y cubierta trasera.

Con un posicionamiento preciso y una planificación óptima de rutas, se pueden servir varias mesas en una ronda.

KettyBot puede desplazarse por zonas específicas para servir a los clientes aperitivos gratuitos y bebidas, acompañados de transmisiones sobre servicios y promociones.

La solución de navegación doble visual y de láser ayuda a detectar obstáculos con mayor precisión, para mejorar la seguridad del robot.

KettyBot, con tecnología del sistema Programador de PUDU, incluye un modo para varios robots que le permite comunicarse directamente con cualquier robot de la misma red.

También emite automáticamente una alerta de voz y una notificación de interfaz cuando la batería está baja, y regresa a la estación de acoplamiento simultáneamente.

- Dimensiones de la máquina 451x436x1103mm
- Peso del robot 38kg
- Capacidad de carga máxima 30kg
- Duración de la batería >8h
- Tiempo de carga 4.5h
- Seguridad Velocidad Máx.1,2 m/s (ajustable)
- Distancia de separación 55cm
- Dimensión de la pantalla de anuncios 18.5"

ANALISIS:

En un video (EZBOT SG, 2021) hemos podido ver que el robot tiene cinemática diferencial, ya que pivota sobre si mismo para girar, a parte cuenta con un sensor que detecta si alguien está delante para pararse. Cuenta con una opción en la pantalla superior para mandarlo a recargarse solo y mientras tanto aparece su nivel de batería en la pantalla superior.

Se ve como interactúa con el cliente, reconociendo sus caras y hablando con ellos mediante la pantalla superior, también les ofrece las distintas opciones de comida y el cliente puede pedir directamente desde el robot.

En el video vemos como en la cocina le ponen el número de la mesa y luego un camarero la coloca en la mesa del cliente. Tiene dos bandejas para llevar comida y debajo se le puede poner un cubo para los platos sucios.

1.2.6. *Temi Temi*



Ilustración 7. Robot Temi(*Robot De Navegación Inteligente Para Catering*, s. f.)

Temi OS Un sistema operativo de robot patentado basado en software de código abierto. El sistema operativo de temi está diseñado principalmente para usuarios y utiliza tecnologías de inteligencia artificial líderes para conectar a sus usuarios con el mundo digital. (*Robot De Navegación Inteligente Para Catering*, s. f.)

Sistema de navegación ROBOXT La primera tecnología avanzada de interacción humano-robot del mundo que permite que el robot comprenda su entorno y reaccione activamente para servir a las personas.

Habilidades básicas

El diseño funcional de temi puede hacer frente fácilmente a un entorno complejo, convertirse en un asistente real.

- **MICRÓFONOS** Conjunto de 4 micrófonos digitales omnidireccionales que permiten la localización del usuario en tiempo real, la reducción del ruido ambiental y la cancelación del eco acústico.
- **PLANIFICACIÓN DE LA RUTA** La fusión de sensores en tiempo real y el análisis de datos garantizan una navegación segura y totalmente autónoma, mapeo 3D, detección de usuarios, evitación de obstáculos y planificación de rutas.

- INTERACCIÓN temi escucha, identifica, comprende y responde a la voz del usuario utilizando tecnología de voz de campo lejano, procesamiento de lenguaje natural, voz a texto y motores de texto a voz.
- PERCEPCIÓN Las cámaras RGB y el sensor registran la fecha y la hora de los datos, los fusionan y los convierten en un gráfico de conocimiento estructurado. Esto permite que temi comprenda lo que ve.

Tiene una excelente experiencia de usuario, reconocimiento de voz, ASR (reconocimiento automático de voz), NLP (procesamiento del lenguaje natural), reconocimiento de personas y reconocimiento de gestos de cuerpo completo.

Temi le permite conectarse a través de su teléfono inteligente desde cualquier lugar y le permite navegar de manera remota y fácil por su empresa tocando la pantalla para que pueda comunicarse con su compañero o verificar que todo esté seguro.

- CONTROLAR TEMI REMOTAMENTE

Enviar temi a ubicaciones guardadas Manejar temi en cualquier lugar del mapa
Telepresencia: ahora en la web

- MODO SALUDO

Definir el modo de detección de humanos de temi Personalizar el comportamiento de temi al saludar Controlar el movimiento de temi al interactuar

- SECUENCIAS

Haz que temi haga lo que quieras, ve a ubicaciones, muestra videos, reproduce música y hablar, todo automatizado

- PANTALLA DE INICIO

Cambiar el fondo de pantalla Alternar entre las opciones de visualización Crear su propia pantalla personalizada

- CONFIGURACIÓN DEL MAPA

Agregar / Editar ubicaciones y sus rutas Crear Muros Virtuales Guardar / Importar / Exportar su mapa

- CONTACTOS

Genere grupos de contactos para su tema Guarde y edite las funciones de reconocimiento facial Personalice los contactos para su tema

- Función: Compartir la pantalla, video llamada, control remoto, navegación móvil, habilidad e interacción
- Tamaño (Cm) 100x35x45
- El uso de control de voz, control remoto, control de pantalla táctil
- Peso 12 kg

ANALISIS:

Este robot tiene cinemática diferencial (Temi Robot, 2021). Tiene una bandeja para transportar comidas o bebida e informa por un altavoz al cliente cuando su pedido esta listo. La pantalla se inclina para mejor disponibilidad y en ella se le indica a donde tiene que ir después de la entrega.

1.2.7. Robot asistente para restaurante seguidor de líneas



Ilustración 8.Robot asistente camarero(Robot Asistente, s. f.)

Se trata de un robot comercial procedente de China, el cual como se puede apreciar en la imagen, a través de la línea negra de la izquierda, se trata de un seguidor de líneas, denominadas por el fabricante como tiras de navegación, se trata de líneas magnéticas respetuosas con el medio ambiente, el aspecto es humanoide con una bandeja estática, con la cual transporta la comida a la mesa correspondiente. Además, tiene capacidad de reproducir audios, los cuales pueden ser modificados convenientemente por los dueños. Además, cuenta con un sistema de prevención de choques y esquivo de obstáculos con un amplio rango de seguridad para evitar accidentes fortuitos o desprendimientos de platos durante su respectiva carga y traslado a las mesas.

- Velocidad: Regulable entre 0.2 – 0.5 m/s
- Dimensiones del robot: 158cm * 59cm
- Sistema de navegación: Seguidor de líneas magnéticas
- Voltaje: 24 V
- Duración de la batería: 20 horas
- Peso: 95 kg

ANALISIS:

Después de informarnos visualmente de su funcionamiento, podemos concluir que este robot, como muchos de los que hemos elegido, tiene cinemática diferencial, ya que pivota sobre si mismo para girar, como forma de orientarse por el restaurante utiliza un seguidor de líneas, en el video se puede comprobar además que tiene un sistema para evadir obstáculos, tiene una bandeja inmóvil, la cual no puede levantar o bajar con sus brazos, aunque a una altura perfecta para la ergonomía del robot. Se le pueden acoplar múltiples bandejas debajo de esta para que pueda transportar mas platos, aunque por lo que parece solo puede ir a una mesa y volver a cocina para que se le indique su siguiente destino.

1.2.8. Robot HBOT101



Ilustración 9.Robot HBOT101(*China Factory , s. f.*)

Se trata de un robot bandeja construido con hojalata , el cual ejerce una función de transporte de alimentos de un sitio a otro , para ello este robot en específico utiliza la tecnología de SLAM, que se basa en la construcción de un mapa sin errores acumulativos que se puede usar para el movimiento, posicionamiento y navegación , esto se crea por una compleja flota de sensores por láser, que permiten al robot moverse de forma autónoma a lo largo del local, además de ello también puede planificar rutas predeterminadas, tiene un sistema de esquivo de obstáculos que actúa en 0.5 segundos.

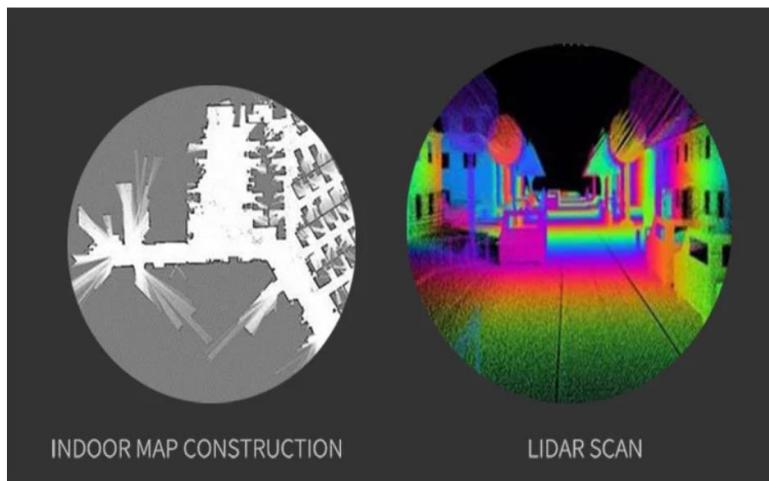


Ilustración 10.Lidar Scan(*China Factory*, s. f.)

- Velocidad: 0.2-0.8 m/s
- Carga que puede soportar: 60 kg
- Duración batería: 6 Horas
- Sistema de navegación: Construcción de mapa, a través de láseres
- Peso: 43,6 Kg
- Tamaño: 54 x 36 x 108,8 (todo en cm)
- Numero de ruedas: 4

(*China Factory Cheap Price Ai Smart Food Delivery Robot Restaurant Telecontrolled Robot.*, s. f.)

ANALISIS:

Visualizando videos sobre su funcionamiento , podemos observar en cuanto a la cinemática del robot que para girar, pivota sobre si mismo , por lo cual, se trata de cinemática diferencial, ofrece un pequeño display que adopta la forma de unos ojos típicos del dibujo japones para humanizar mas la relación humano-maquina, desde ahí puedes ordenar a que mesa quieres que vayan los platos, el robot puede ser programado para ser multimesa ya que además dispone de varias bandejas para ello, en total cuatro, aunque las dos de abajo no son nada ergonómicas, ya que se

encuentran muy por debajo de la altura de la mesa a la que sirven y dificulta mucho la sustracción por parte de los clientes de las mismas.

1.2.9. Robot de entrega comercial



Ilustración 11.Robot humanoide para restaurante(*Diseño humanoide Inteligente*, s. f.)

Se trata de un robot comercial de forma humanoide cuya función es la de robot camarero, se guía por 6 sensores de ultrasonidos , con los cuales construye un mapa del restaurante, puede ser controlado a través de voz o de un pequeño display, puede conectarse y controlarse a través de wifi o bluetooth, de interfaz gráfica, con una pantalla de opciones en el torso superior del robot, además después de acabar el servicio puede dirigirse automáticamente a la plataforma de carga, puede conectarse y controlarse a través de wifi o bluetooth, cuenta con numerosos sensores que le permiten tener visión de profundidad y hacen una combinación para evitar golpes u obstáculos y construir un mapa del restaurante a través de los sensores de ultrasonidos .

- Altura: 155 cm-
- Peso: 33kg-
- Modo de movimiento: con ruedas, adelante, atrás y girando
- Baterías y especificaciones: Batería de polímero de litio 24V12AH-
- Tiempo de carga (h): ≤8h (normal 6h)

- Tiempo de trabajo (h): ≥10h
- Voltaje de salida nominal (V): 24VDC
- Sistema operativo: Android 6.0
- Redes: Wifi / 4G / Bluetooth
- Método de funcionamiento: pantalla táctil, control remoto, voz, tableta, teléfono

(*Diseño humanoide Inteligente Robot de Entrega Comercial Restaurante Servicio de Comida Camarero : Amazon.es: Hogar y cocina, s. f.*)

ANALISIS:

Investigando sobre su funcionamiento hemos podido observar que su cinemática de trata de una cinemática diferencial, ya que pivota sobre si mismo, que solo puede transportar a una mesa, para después volver a cocina y coger el siguiente plato, sin embargo la altura de la bandeja si que es bastante ergonómica ya que por encima de la mesa a servir, donde un camarero o los mismos clientes pueden coger sus platos, ya que posee brazos pero estos son inmóviles , es incapaz de levantar o bajar la bandeja que transporta . Por ultimo lleva un pequeño interfaz en el centro del torso para la comunicación humano-máquina , algo que nos parece bastante incomodo ya que justo debajo se encuentra la bandeja con la comida.

1.2.10. Análisis de antecedentes de robots camareros

Tabla 1. Análisis general de antecedentes

Ánalisis de antecedentes											
Robots Camareros											
Nombre	Tamaño	Peso	Tensión (V)	Autonomía	Elevador	Carga max	Técnica de desplazamiento	Velocidad	Sensores	Actuadores	Tipo de Control
Robot T6	51.9x53.1x125.6cm	52kg	48	12h	NO	5-10kg	Inteligencia artificial	1m/s			Pantalla digital
Robot K2	27x19x15cm		7,4	60min	Tijerra		movimientos controlados manualmente			motor DC	Mando a distancia
Robot Lolita	altura 1,7m	30kg		4-6h	Brazo inmóvil		Seguidor de líneas, IA		ultrasonidos		Pantalla digital
Robot asistente restaurante	158x59cm	95kg	24V	20h	Brazo inmóvil		Seguidor de líneas, IA	0.6 m/s			Pantalla digital
Robot HBOT101	54 x 36 x 108,8 cm	43,6kg		6h	NO		Inteligencia artificial	0.8 m/s	laser, LIDAR		Pantalla digital
Robot entrega comercial	altura 1,55m	33kg	24V	9h	Brazo inmóvil		Inteligencia artificial		ultrasonidos		Pantalla digital , Wifi , Bluetooth
Robot Kettybot	451x436x1103mm	38kg		8h	NO	10kgs por bandeja 40kg total	Inteligencia artificial	0,5-1,2m/s	doble visual y láser		Pantalla digital
Robot Temi Temi	100x35x45cm	12kg	12V	8h	NO	3kgs	Inteligencia artificial	1m/s	lidar, cámaras y sensores lineares de tiempo de vuelo		Pantalla digital , Wifi , Bluetooth
Robot T2	620x510x1320mm	33kg	48V	10h	NO	10kgs por bandeja	Inteligencia artificial	1m/s	lidar, visión de máquina, visión de profundidad y sonar	Dos motores de CC sin escobillas de accionamiento directo	Pantalla digital , Wifi , Bluetooth

En la tabla anterior se muestra que, en cuanto al:

- **Tamaño.** Las dimensiones de los robots se ven afectado por el tamaño de sus componentes mecánicos y electrónicos, y la ergonomía de los clientes. Aquellos robots que presentan una forma más humanoide, como es el caso del Robot Lolita, pose una altura de 1,7m. Esta medida se aproxima a la media de hombres (176cm) y mujeres (162cm) en España. De esta forma el robot puede comunicarse cara a cara con las personas, y realizar la entrega de una forma más ergonómica para el cliente.

En robots con forma de estantería, son mucho más pequeño, para facilitar posicionar o recoger las bandejas.

En los robots con elevador de tijera, son más pequeños ya que posee la capacidad de variar su altura.

- **Peso.** Se busca por una parte que no sean muy pesados para elegir motores más económicos, y por otro lado, su peso ayuda a que el robot sea estable. Un mayor peso puede ayudar, a que el eje del momento de inercia no se vea tan afectada debido a la carga que transporta. El peso promedio de los robots estudiados, es de 42 kg
- **Tensión de nominal.** Está relacionada con el peso, la velocidad y la carga máxima a transportar. Donde se tiene en cuenta los actuadores que más potencia requieren, ya que son los motores para el desplazamiento y para elevar cargas.

Se puede apreciar en la tabla, que para robots de tipo estantería como el "Robot T6", con un peso de 52kg, con una velocidad de 1m/s, con carga máxima de 5-10kg por bandeja, requiere de una gran potencia usando 48v.

Mientras que el "Robot Temi Temi", que pesa solo 12kg, que se desplaza a la misma velocidad, y soporta una carga menor de 3kg, requiere de solo 12v.

También se puede considerar que la tensión se adapte a los actuadores o baterías comerciales, y a partir de estos usar reductores, para disminuir la velocidad de desplazamiento y aumentar su torque para levadas cargas.

- **Autonomía.** Por lo general, se intenta cumplir con una jornada laboral de 8h. Aunque hay otros con más duración, y otros para unas pocas horas.
- **Elevador.** En la tabla se muestra que el elevador en forma de tijera (condición inicial del proyecto), no es nada común en los robots camareros. Quizás el deseo de poder acercarse más a las personas mostrando un diseño más humano o uno tan práctico como el diseño de la estantería obliguen a no optar por la opción del elevador en forma de tijera. Los robots tipo estantería no

poseen elevador, y solo algunos del robot en forma humana, poseen brazos móviles como es el caso del Robot Lolita, ...

- **Carga max.** Se puede apreciar que los robots tipo estantería, al no poseer un actuador para variar su altura, soportan cargas mucho más grandes que aquellos que poseen variación en la altura. La carga suele adaptarse a los pesos que los camareros pueden transportar.
- **Técnica de desplazamiento.** La gran mayoría hacen uso de la inteligencia artificial, donde usan cámaras de visión artificial para generar sus propias trayectorias. Aunque también se utiliza la técnica de seguimiento de líneas, la cual, puede resultar mucho más simple.
- **Velocidad.** La mayoría de los robots se mueven con una velocidad de 1m/s, siendo algunos de estos robots regulables a la hora de elegir la velocidad y puede incrementarse o disminuirse algo. La velocidad elegida suponemos que se debe a que es la propicia en un recinto cerrado como un restaurante con paso continuo de personas, siendo similar a la velocidad de un camarero medio.
- **Sensores.** Los más usados son sensores por láseres y ultrasonidos, la mayoría usan cámaras y tienen sistemas de evasión de obstáculos, hemos visto que algunos usan tecnología LIDAR para construir un mapa interno del recinto y así posicionarse correctamente.
- **Actuadores.** Nos hemos encontrado con dificultad a la hora de analizar los actuadores debido a la confidencialidad de las empresas fabricantes, los que especificaban utilizan motores DC.
- **Tipo de control.** Para facilitar el control de estos productos, disponen pantallas digitales, para poder mostrar o introducir diferentes datos de forma cómoda e intuitiva.

Con la tabla de análisis de antecedentes se ha podido resumir algunas de las características técnicas de cada robot camarero, sin embargo, no se ha adquirido suficiente información específica sobre aspectos como, por ejemplo, los sensores, actuadores, cinemática del robot, microcontrolador, elevador en forma de tijera, ...

Por lo tanto, en el siguiente punto se va a estudiar estas características buscando robots AGV con una funcionalidad similar al camarero. De esta forma, se obtendrá una idea más clara de las características específicas que aún se desconocen.

1.3. EJEMPLOS DE ROBOTS AGV

Debido a que los robots camareros comerciales, no han aportado la información específica que se esperaba encontrar, se procede a estudiar robots con capacidades similares, aunque su funcionalidad no sea la de servir comidas en un restaurante.

El objetivo de esta búsqueda es conocer mejor como realizar las funciones básicas del robot objetivo, conociendo en robot similares:

- La Cinemática,
- Elevador en forma de tijera, así como, el actuador utilizado.
- Interfaz de comunicación,
- Microcontrolador,
- Sensores y actuadores,

1.3.1. Seguidor de líneas Pololu 3pi

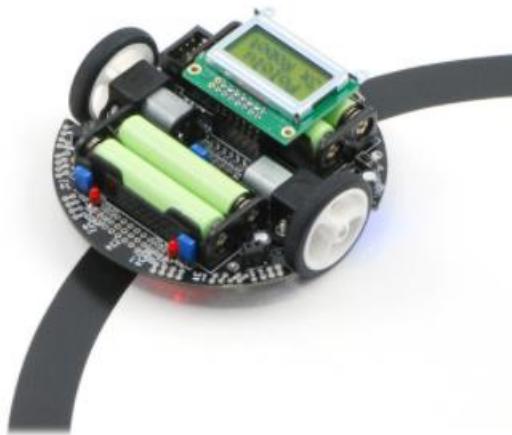


Ilustración 12.Robot Pololu 3pi (*Pololu 3pi Robot*, s. f.)

Robot seguidor de líneas Pololu 3pi fácilmente programable que contiene un chip AVR Atmega328 que usa el lenguaje C (*Pololu 3pi Robot*, s. f.), por lo que es compatible con Arduino, un microcontrolador open source, que luego barajaremos su uso en nuestro proyecto. He seleccionado este robot por que el hecho de ser seguidor de líneas, puede ayudar en un sitio cerrado como un restaurante, a que el robot camarero se oriente , reconociendo la línea y siguiéndola, esto además de que sería una opción no muy costosa , también ayudaría a los clientes por donde el robot puede pasar y por donde no, evitando así accidentes u choques, además contiene 5 sensores de reflexión, pulsadores, un LCD de 8x2 caracteres para

imprimir mensajes a gusto del usuario, un buzzer para poder emitir sonidos y dos motores con reductores lo que le permite alcanzar una velocidad de cerca de 1 m/s, con sólo un chasis circular de 9,7cm de diámetro.

- Microcontrolador: ATmega328
- Diámetro del chasis: 9,7cm
- Driver de motores: TB6612FNG
- Número de Motores: 2
- Interfaces I/O disponibles para el usuario: 21
- Voltaje mínimo: 3 V
- Voltaje máximo: 7 V
- Frecuencia PWM máxima: 80 kHz
- Protección contra polaridad invertida incluida

Especificando más en la razón por la cual nos ha resultado de interés este modelo de robot es debido a como explica y enseña los sensores que hacen falta para un seguimiento por líneas, usando cinco sensores de reflectancia, tres en la parte frontal y dos más en los laterales, específicamente el modelo QTR-RC, como se puede apreciar en la fotografía que publica el fabricante.

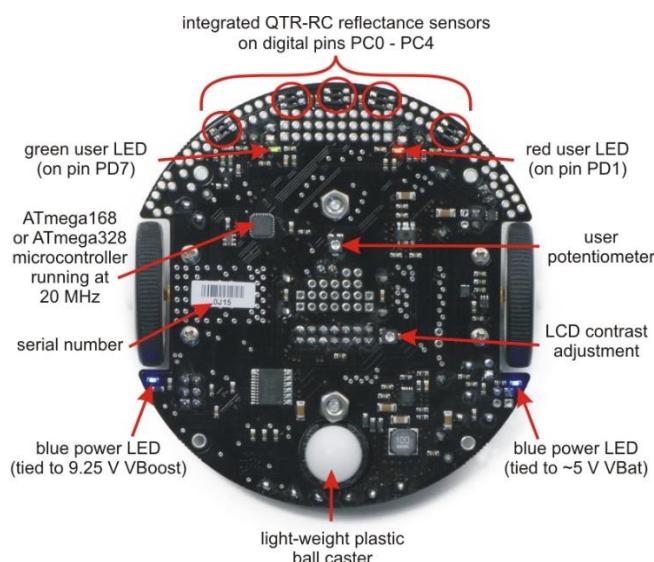


Ilustración 13.Robot por dentro(*Pololu 3pi Robot*, s. f.)

Los sensores de reflectancia se utilizan para diferenciar el contraste entre dos colores, en nuestro caso una línea negra y el suelo, para ello hay un led infrarrojo y un par de foto-transistores en él. Este

foto transistor está conectado a un condensador. El tiempo de descarga del condensador nos da los datos sobre la reflexión. Si el condensador se descarga rápidamente, esto significa que el sensor está en un área de alta reflexión. Así diferencia entre colores oscuros y claros y sigue los oscuros para ser un seguidor de líneas negras.

ANALISIS:

Viendo videos de su funcionamiento(BenPololu, 2008) podemos ver que es bastante eficaz en el seguimiento de líneas, incluso en la resolución de laberintos , su pequeña altura lo hace poco ergonómico, usa dos ruedas fijas con una cinemática tipo bicicleta (no gira sobre si mismo), esto tipo de configuración quizá no sea el adecuado para el entorno cerrado que es un local de comida, aunque el seguidor de líneas si que tiene muchas ventajas en estos espacios, hace que las personas que anden por el restaurante sepan que por ahí puede andar el robot y no ponerse cerca de las líneas negras y así evitar accidentes indeseados.

1.3.2. Robot AGV HD-1500 de Omron



Ilustración 14. Robot HD-1500 (*HD-1500 | OMRON, España, s. f.*)

Sistema de seguridad

Dispone de láseres de seguridad de 360º, dispositivos acústicos y LEDs para avisar.

Tecnología

Dispone de una batería de carga rápida (36 min), y 12,5h de autonomía.

Mapeado y software de navegación

Mediante láser explora el entorno y genera un mapa que se usa para la navegación. Este mapa es editable, con MobilePlanner. Además, es posible añadir puntos de recogida y entrega, también añade zonas restringidas.

MobilePlanner es un software basado en PC para la gestión de robots o flotas de robots. Crea y distribuye mapas para aplicaciones de robots móviles. Proporciona herramientas para ajustar parámetros, sensores, cámaras, ... Y por último, asigna tareas y programas las rutas.

Este software también está disponible para dispositivo Tablets.

El Sistema de posicionamiento para la alineación (CAPS), evalúa las funciones reales para alinear los robots de forma eficaz para procesos de entrega y recogida de alta precisión.

El sistema HAPS, permite que el robot móvil, se desplace por rutas fijas en aplicaciones que requieren tolerancias estrictas en su trayectoria.

El seguimiento dinámico de obstáculos, permite al robot controlar el movimiento de un objeto móvil. Mejora la toma de decisiones del robot, así como su planificación de rutas. (*HD-1500 | OMRON, España, s. f.*)

Controlador integrado

Se trata de una plataforma de automatización diseñada para optimizar todo el ciclo de vida de la automatización, basada en datos y control integrados. Manejo de E/S a través de la plataforma Sysmac de Omron. Accesorios de control y periféricos para el usuario gracias al controlador de máquinas de la serie NX. Dispone también de seguridad integrada.(*HD-1500 | OMRON, España, s. f.*)

Gestión de flotas

Enterprise Manager es un dispositivo de red que permite coordinar varios robots móviles. Distribuye las tareas entre los robots, optimiza el flujo de tráfico. Usa interfaces de control y datos que permite aumentar la inteligencia con RESTful, SQL, RabbitMQ

1.3.3. Robot Pathfinder para logística en hospital

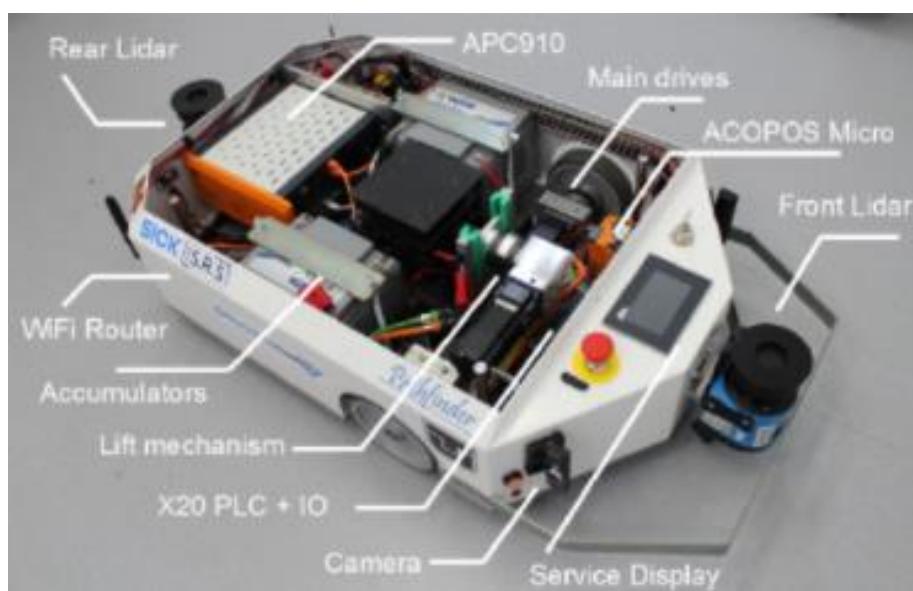


Ilustración 15. Robot AGV Pathfinder (Bačík et al., 2017)

En esta referencia bibliográfica (Bačík et al., 2017) reciente, de octubre de 2017, se explica las características técnicas de este tipo de robot AGV.

Este robot se encarga de transportar materiales dentro de un hospital. Equipado con últimos componentes de la industria, así como el software más reciente para localización autónoma, y navegación. La contribución más significativa para el

desarrollo de este robot, es la interfaz Powerlink permitiendo transferir datos entre Robot Operating System (ROS) y el hardware de Powerlink.

Los proyectistas de este robot, dicen que la combinación de Powerlink y ROS, es el mejor conocimiento que han publicado, y que está disponible en Github.

El robot ha sido experimentado en un hospital, y se ha podido confirmar que puede moverse hasta su destino detectando objetos estáticos y en movimiento.

El desarrollo de este tipo de robots busca como objetivo, máquinas que sean robustas y económicas.

Actuadores para desplazamiento y elevador

El robot se desplaza con tracción en 2 ruedas y una que simplemente soporta soporte el peso.

Para desplazarse utiliza 2 servo motores B&R de la serie 8LVA23 con reductor planetario de 1:15

La velocidad máxima alcanzada es de 0,65m/s, limitada en el hospital con una velocidad de 0,15m/s.

La carga la puede llevar sujetada en una cabina, o en una estantería que se puede elevar. La estantería se eleva mediante un motor paso a paso B&R 80MPF, el cual dispone de un encoder incremental.

Componentes hardware

Componentes de control. Utiliza componentes de hardware B&R. El núcleo del sistema entero es APC90, un PC de automatización equipado con un procesador i3, 3120ME. APC hace funcionar Ubuntu 14.04 LTS y proporciona poder computacional requerido para la pila de navegación. Se parece al PLC X20CP, el cual es el principal dispositivo de E/S. Además de controlar E/S, también, posee un módulo para motor pasos a paso X20SM1436, permitiendo el control de elevador. Dispone de una segunda pantalla táctil, el cual se controla con una Raspberry Pi, mediante el cual se selecciona el destino. (Bačík et al., 2017)

Comunicación. Para la comunicación utiliza el protocolo Ethernet Powerlink. El Powerlink conecta APC910 con ACOPOS (unidad de micro drive) y X20CP1486 PLC. Proporciona una comunicación robusta. La información recogida por los escáneres laser es transferida a la pila de APC de navegación mediante el protocolo TCP/IP, 25 veces por segundo. La red TCP/IP y la conexión inalámbrica se realiza a través de un router de 2.4GHz y 5GHz. (Bačík et al., 2017)

Alimentación. Usa 2 baterías de plomo de 12V con una capacidad de 55Ah conectados en serie (24V). Dura una media de 8 horas. El tiempo requerido para su recarga es de 2 horas.

Sensor. Con los encoder incrementales de 16 líneas, se calcula su odometría directamente en el PLC. Utiliza 2 sensores LIDAR SICK LMS100, quienes transfieren los datos para la localización y navegación del robot. Se conectan mediante TCP/IP, los escáneres laser

HMI. Utiliza una pantalla táctil, A4.3, el cual está montado directamente en el robot. Es la interfaz de servicio y mantenimiento.(Bačík et al., 2017)

Sensores y actuadores. Dispone de 2 cámaras de en frente a los lados, para transmitir un video, y para reconocer sujetos. El motor paso a paso dispone de encoder incremental. 2 sensores LIDAR.

Se muestra en la siguiente figura un esquema de los diferentes componentes electrónicos, así como la manera en la que irían conectados (Bačík et al., 2017).



Ilustración 16. Robot Pathfinder, esquema general de componentes electrónicos (Bačík et al., 2017)

Localización y mapeo

Para simplificar esta actividad se solía usar cintas magnéticas o técnicas similares.

Aunque este robot no usa la intervención del entorno, para navegar. Utiliza la tecnología SLAM, el cual genera y actualiza continuamente un mapa del entorno, mientras crear sus caminos.

Los 2 LIDARs son los encargados de recoger la información, los cuales escanean el entorno hasta 18 metros y 270º FOV a 25Hz. Debido a que la suma de los ángulos de los LIDARs es mayor de 360º, se utiliza un transformador de algoritmo escaner laser, el cual matemáticamente los ángulos de LIDAR frontal y el trasero, para generar el mapa correctamente. (Bačík et al., 2017)

Generador de rutas

Una vez conocidos la posición actual y la de destino, se procede a calcular una ruta. Existen muchas aproximaciones, y estas dependen de cada robot, entorno, condiciones, ... por esa razón, la técnica más conveniente es implementar planificador de trayectos adaptativo, el cual evita obstáculos, mientras se aproxima al destino. Existen en la solución muchas aproximaciones para llegar al destino, el más popular es "Pure Pursuit Path Tracking Algorithm". Originalmente, se basaba en la geometría basándose en la curvatura que realiza el robot hacia la ruta elegida.

Interfaz Usuario

Usa un panel táctil que se encuentra encima de la base, y permite a los usuarios cambiar el tipo de control:

- Modo manual, para tareas concretas.
- Tablet ODE, donde hace uso de ROS Java y ROS interfaz Android, y control mediante Wifi.
- Modo automático. A través de un mapa virtual, genera sus propios caminos para desplazarse.

1.4. MARCO TEÓRICO

1.4.1. Parte electrónica

La parte electrónica del marco teórico se divide en:

- Sensores,
- Actuadores,

1.4.1.1. Sensores

– Tipos:

◆ SENSOR DE CONTACTO O BUMPER: El bumper es un conmutador de 2 posiciones con muelle de retorno a la posición de reposo y con una palanca de accionamiento más o menos larga según el modelo elegido. Funcionamiento: En estado de reposo la patilla común (C) y la de reposo (R) están en contacto permanente hasta que la presión aplicada a la palanca del bumper hace saltar la pequeña pletina acerada interior y entonces el contacto pasa de la posición de reposo a la de activo (A). Usos: Se usan para detección de obstáculos por contacto directo. No son adecuados para robots de alta velocidad ya que cuando detectan el obstáculo ya están encima y no da tiempo a frenar el robot. (López, s. f.-a)

◆ SENSOR DE INFRARROJOS: Es un pequeño dispositivo que puede alojar en su interior un diodo emisor de infrarrojos que trabaja a una longitud de onda determinada y un receptor, que puede ser un fototransistor (detección de línea o proximidad) que se dispone en paralelo al emisor apuntando ambos en la misma dirección, puede ser un sensor lineal (medidor de distancias), dependiendo del modelo su salida puede ser analógica, digital o booleana. O puede ser un detector modulado de infrarrojos, este sensor incorpora un modulador/demodulador integrado en su carcasa y a través de una patilla controla un diodo LED de infrarrojos externo, modulando la señal que este emitirá, para ser captada por el receptor. Cuando un objeto se sitúa enfrente del conjunto emisor/receptor parte de la luz emitida es reflejada y demodulada para activar la salida que pasará a nivel bajo si la señal captada es suficientemente fuerte. El uso de luz IR modulada tiene por objeto hacer al sensor relativamente inmune a las interferencias causadas por la luz normal de una bombilla o la luz del sol. Funcionamiento: El dispositivo emite luz infrarroja por medio de un led emisor de IR y dependiendo del receptor, tenemos los siguientes funcionamientos: Si se trata de un fototransistor, contra más luz reflejada del emisor capte por su base más conducirá el fototransistor (una

superficie blanca refleja mucho más que una negra). La salida de este dispositivo es analógica y viene determinada por la cantidad de luz reflejada (López, s. f.-b)

◆ **SENSOR DE TEMPERATURA:** Los sensores de temperatura son componentes eléctricos y electrónicos que, en calidad de sensores, permiten medir la temperatura mediante una señal eléctrica determinada. Dicha señal puede enviarse directamente o mediante el cambio de la resistencia. También se denominan sensores de calor o termo sensores.

Usos: Se usan para detección de la temperatura ambiente que tiene a su alrededor, pudiendo activar módulos refrigeradores.

Un sensor de temperatura se usa, entre otras aplicaciones, para el control de circuitos. Los sensores de temperatura también se llaman sensores de calor, detectores de calor o sondas térmicas.

Dependiendo de su funcionamiento y de la manera en la que transforman la señal, existen distintos tipos de sensores de temperatura. Principalmente, se encuentran tres categorías: sensores basados en silicio , termopares e infrarrojos .(Aragonés et al., s. f.)

1. Termopares

El termopar es el sensor más empleado en los sistemas de medición de temperatura. Estos sensores económicos, de sencilla instalación y con una precisión ajustada a distintos procesos. Aunque su funcionamiento cumple con suficiencia, su respuesta puede ser algo lenta en comparación con otros tipos de sensores de temperatura.

El funcionamiento de los termopares se basa en dos hilos metálicos de diferentes materiales unidos por un extremo, el cual se conoce como junta caliente o junta de medición. Cuenta con otro extremo separado, llamado junta fría. La diferencia de temperatura entre ambas juntas produce un diferencial de tensión, que será la señal enviada al dispositivo electrónico.

Dentro de estos sensores, se encuentran diferentes tipos de termopares según los materiales de los que estén compuestos. Los más comunes son los siguientes:

Termopar Tipo J: Hecho de una combinación de hierro y constatan (aleación de cobre y níquel). De uso limitado en entornos oxidantes. Cuenta con un rango de temperatura entre los 0°C y los 750°C.

Termopar Tipo T: Se compone de un alambre de cobre y otro de constatan. De uso recomendado en entornos de humedad. Su rango de temperatura se encuentra entre los -250°C y los 350°C.

Termopar Tipo K: Compuesto de una junta de chromega (aleación de cromo y níquel) y alomega (aleación de aluminio y níquel), es el sistema de captación de temperatura más extendido. Y es que su rango de temperatura es muy amplio, situándose entre los -200°C y los 1250°C, aunque se recomienda para medidas entre 300 y 1100°C.

Termopar Tipo E: Su combinación de materiales incluyen chromega y constatan. Su rango de temperaturas se sitúa entre los -200°C y los 900°C.

Además de estas cuatro formas comunes de termopares, existen otras muchas variantes. Destacables son los formatos para altas temperaturas, como el Termopar Tipo S (entre 0°C y 1650°C) o el Termopar Tipo R (entre 0°C y 1750°C). (Aragonés et al., s. f.)

2.Sensores basados en silicio

Los sensores de temperatura basados en silicio son circuitos integrados que aprovechan la variación predecible del voltaje de la unión base-emisor (VBE) de los transistores bipolares para realizar mediciones confiables y exactas de temperatura. Se caracterizan por su pequeño tamaño y son especialmente apropiados para aplicaciones de medición y control de temperatura en el rango de -55°C a +150°C. Además, no requieren de etapas de linealización, amplificación ni compensación externas debido a que incorporan en la misma pastilla sus propios circuitos de procesamiento de señales.

La mayoría de sensores de silicio proporcionan como salida un voltaje que varía linealmente con la temperatura en grados Kelvin (°K), Celsius (°C) o Fahrenheit (°F). (Aragonés et al., s. f.)

3.Infrarrojos

Los termómetros Infrarrojos pueden medir la temperatura de un objeto sin tocarlo. Hay muchos casos en los que la medida de temperatura sin contacto es crítica: cuando el objeto medido es pequeño, móvil o inaccesible; para procesos dinámicos que requieren respuesta rápida; o para temperaturas >1000°C. La mayoría de los termómetros más conocidos debe ponerse en contacto directo con la fuente de temperatura, y tiene un rango útil de -100 °C à 1500°C. En contraste, los termómetros infrarrojos determinan la temperatura de la superficie de un objeto interceptando y midiendo la radiación infrarroja emitida. El rango típico de temperatura para estos termómetros es de -50°C a 3000°C de un sitio remoto. Las distancias de trabajo pueden variar desde una fracción de centímetro a varios kilómetros en aplicaciones aerotransportadas. La tecnología subyacente para los Pirómetros de Radiación Infrarroja está basada en el principio que dice que todos los objetos emiten radiación a longitudes de onda ubicadas en la región infrarroja del espectro de radiación electromagnética. Los termómetros infrarrojos miden esta radiación y proporcionan una señal de salida calibrada en una variedad de rangos según los requisitos del cliente. (Aragonés et al., s. f.)

◆ SENSOR DE LUZ: La LDR (Light Dependent Resistor) o resistencia dependiente de la luz, como su propio nombre indica es una resistencia que varía su valor en función de la luz que incide sobre su superficie. Contra más sea la intensidad de luz que incida en la superficie de la LDR menor será su resistencia y contra menos luz incida mayor será la resistencia. Para hacer un medidor de luz ambiental o una fotocélula se puede construir según el circuito siguiente. El circuito consta de un

visor de tensión formado por la LDR, una resistencia y un disparador trigger schmitt inversor modelo 74LS14. Como la LDR varía en función de la luz, la señal de salida del divisor también lo hará y cuando pase el umbral de disparo del trigger schmitt este cambiará el estado de su salida según corresponda(0-5V). (López, s. f.-b)

◆ **SENSOR DE ULTRASONIDOS:** Los ultrasonidos son vibraciones del aire de la misma naturaleza que el sonido audible, pero de una frecuencia más elevada que parte de 20 000 Hz hasta 5.108 Hz. no audibles estos por el oído humano. Se alcanzan longitudes de onda que se aproximan a la luz visible. Ejemplo: SRF235 SENSOR ULTRASONIDOS ALTA FRECUENCIA SRF235 es un medidor de distancias por ultrasonidos de alta frecuencia y haz estrecho con conexión I2C de múltiples aplicaciones dentro de la robótica. Este sensor de ultrasonidos destaca por utilizar un sensor ultrasónico industrial que funciona a una frecuencia de 235Khz y tiene un haz de solo 15 grados, lo que proporciona una medida de altísima precisión y gran direccionalidad. Debido a su alta frecuencia, puede efectuar hasta 100 mediciones por segundo, siendo toda la memorización totalmente interna liberando al microcontrolador de retardos y tiempos de espera. Gracias a su bus I2C se pueden conectar hasta 16 unidades con solo dos líneas de entrada y salida, permitiendo montar un completo sonar perimetral en cualquier robot con solo dos pines libres. Este sensor se puede utilizar a la vez que otros sensores de 40 KHz. como el srf8 ya que no se hacen interferencias entre sí. El sensor de distancias por ultrasonidos SRF235 dispone de un transductor industrial de alta frecuencia que opera a 235KHz utilizado para transmitir y recibir. El ultrasonido a 235KHz no se transmite tan fácilmente a través del aire como el ultrasonido a 40KHz, por lo que el alcance del SRF235 está limitado a aproximadamente 1 metro para objetos normales y a un máximo de 1,2 para superficies extensas. El uso de un solo transductor para transmitir y recibir implica que hay una zona de ángulo muerto de 10cm, por lo que el alcance efectivo es de 10cm a 1,2m. El haz estrecho de 15° a 235KHz se comporta más como una luz en un espejo que como sensores a 40KHz, por lo que al mirar a una superficie llana dura en un ángulo de más de 8° o 9° no generará un eco procedente de dicha superficie. El sensor SRF235 detecta a la perfección objetos redondos duros, como por ejemplo patas de mesas o sillas. De modo que resulta ideal SRF235 para trazar recorridos locales para el robot, pero no tanto para detectar distancias. Un sensor SRF235 utilizado junto a un sonar de 40KHz crea una combinación de detección de gran eficacia. Ejemplo: SRF04 SENSOR DISTANCIAS POR ULTRASONIDOS SRF04 es un sensor de distancias por ultrasonidos capaz de

detectar objetos y calcular la distancia a la que se encuentra en un rango de 3 a 300 cm. El sensor funciona por ultrasonidos y contiene toda la electrónica encargada de hacer la medición. Su uso es tan sencillo como enviar el pulso de arranque y medir la anchura del pulso de retorno. De muy pequeño tamaño, SRF04 destaca por su bajo consumo, gran precisión y bajo precio por lo que está reemplazando a los sensores polaroid en los robots más recientes. El sensor SRF04 funciona emitiendo impulsos de ultrasonidos inaudibles para el oído humano. Los impulsos emitidos viajan a la velocidad del sonido hasta alcanzar un objeto, entonces el sonido es reflejado y captado de nuevo por el receptor de ultrasonidos. Lo que hace el controlador incorporado es emitir una ráfaga de impulsos ya continuación empieza a contar el tiempo que tarda en llegar el eco. Este tiempo se traduce en un pulso de eco de anchura proporcional a la distancia a la que se encuentra el objeto. Las aplicaciones del detector srf04 son múltiples, pero sobre todas ellas, destaca su utilización como detector de obstáculos en robots con navegación autónoma, es decir, en aquellos robots que se mueven encontrando el camino a seguir y sorteando obstáculos. En los robots de pequeño tamaño, es suficiente con un solo detector, ya que su cono de detección de unos 30 grados es suficiente para cubrir el frontal del robot. En las plataformas de mayor tamaño, es necesario varias unidades para cubrir de una forma segura todo el perímetro. Para un robot de unos 30 cm. es necesario un mínimo de 2 unidades, para cubrir solo el frontal. Si queremos cubrir todo el perímetro de avance, es necesario de 3 a 5 unidades para el mismo tamaño. Una posibilidad es la de montar el sensor en un servo y mover este 180 grados a la vez que se efectúan diversas mediciones a modo de radar.(López, s. f.-b)

◆ SENSOR INCODER: Los encoders son componentes que se añaden a un motor de corriente continua para convertir el movimiento mecánico en pulsos digitales que puedan ser interpretados por el sistema de electrónica de control integrado. El principal objetivo de los distintos tipos de encoders es el de transformar información de un formato a otro, con el propósito de estandarización, adecuación de la velocidad o control de la seguridad.

Los motores DC tienen un complejo control de posición y de la velocidad, su comportamiento es no lineal y depende mucho de la carga que soportan; por este motivo necesitan de la aplicación de un encoder (que puede estar integrado o no) que permita conocer y asegurar la correcta posición del eje.

Para explicar cómo funciona un encoder debemos mencionar que un encoder se compone básicamente de un disco conectado a un eje giratorio.

El disco está hecho de vidrio o plástico y se encuentra “codificado” con unas partes transparentes y otras opacas que bloquean el paso de la luz emitida por la fuente de luz (típicamente emisores infrarrojos). En la mayoría de los casos, estas áreas bloqueadas (codificadas) están arregladas en forma radial.

A medida que el eje rota, el emisor infrarrojo emite luz que es recibida por el sensor óptico (o foto-transistor) generando los pulsos digitales a medida que la luz cruza a través del disco o es bloqueada en diferentes secciones de este. Esto produce una secuencia que puede ser usada para controlar el radio de giro, la dirección del movimiento e incluso la velocidad.(Encoder - ¿Qué es?, 2020)

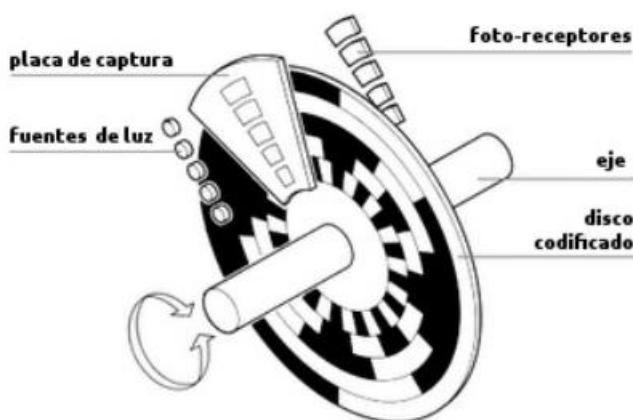


Ilustración 17. Encoder. (Encoder - ¿Qué es?, 2020)

Existen varios tipos de encoder , como puede ser el óptico ,lineal , absoluto , incremental o de cuadratura , para este trabajo nos centramos en los ópticos y magnéticos rotativos

1.Optico

El encoder óptico es el tipo de encoder más comúnmente usado y consta básicamente de tres partes: una fuente emisora de luz, un disco giratorio y un detector de luz conocido como “foto detector”.

El disco está montado sobre un eje giratorio y cuenta con secciones opacas y transparentes sobre la cara del disco. La luz que emite la fuente es recibida por el foto-detector o interrumpida por el patrón de secciones opacas produciendo como resultado señales de pulso.

El código que se produce con dichas señales de pulso es entonces leída por un dispositivo controlador el cual incluyen un microprocesador para determinar el

ángulo exacto del eje.(*¿Qué es un encoder? | Tipos de codificadores ópticos y magnéticos, s. f.*)

2. Magnético

Los encoders magnéticos funcionan a partir de tres elementos: un sensor, un disco magnético y un circuito electrónico. El disco del encoder está magnetizado y contiene varios polos de imán a lo largo de su circunferencia. Un sensor es capaz de detectar los cambios que se producen en el campo magnético a medida que el disco rota. El circuito electrónico recibe los pulsos del sensor y transforma estos en una señal eléctrica de onda senoidal.

La resolución de un codificador magnético depende principalmente de dos cosas:

- Del número de polos magnéticos en el disco: el codificador será más preciso cuanto mayor sea el número de polos magnéticos.
- Del número de sensores: cuanto mayor sea el número de sensores, mayor la resolución del codificador.

Si el codificador es absoluto, se asigna un número único a cada posición medida, lo que permite saber las coordenadas exactas del codificador, incluso tras una interrupción de la corriente eléctrica

La ventaja de un sensor absoluto es que su valor es siempre el mismo, por lo que no depende de otros valores o circunstancias externas, sin embargo, el principal inconveniente de este tipo de sensores es que no sirve cuando pierden su posición, en cuyo caso es necesario reposicionarlos mecánicamente.

Por el contrario, Los sensores relativos miden la diferencia entre dos magnitudes.

En el caso de un encoder de posición relativa, éste no tiene una posición inicial o final, sino que puede girar libremente en cualquier sentido. Lo único que hace es entregar una serie de impulsos cuando se desplaza. Estos pulsos varían en función del sentido de giro, por lo que un sistema digital decodifica estos impulsos para convertirlos en una magnitud manejable, como distancia o grados de giro.

La gran ventaja de estos dispositivos es que no se necesita saber su valor absoluto, por lo que, en caso de desajustarse, solamente debemos reconfigurarlos mediante software, comparándolo con una magnitud conocida.

El principal inconveniente de este tipo de sensores es que es necesario instalar adicionalmente un sensor para detectar la posición de origen, como un interruptor de final de carrera. Sin embargo, habitualmente es más sencillo hacer esto que

montar un sensor de valor absoluto, porque en caso de desajustes es más fácil calibrarse. (*¿Qué es un encoder? | Tipos de codificadores ópticos y magnéticos, s. f.*)

◆ SENSOR NFC:

La NFC es una tecnología inalámbrica de alta frecuencia que, como su propio nombre indica, emite señales de corto alcance. Esto significa que, para poder llevar a cabo la transmisión de datos entre dos dispositivos, estos deben estar situados a menos de 10 centímetros el uno del otro.

Gracias a la elevada frecuencia de las ondas y a la cercanía entre los aparatos, la tecnología NFC ofrece la posibilidad de comunicar equipos de manera instantánea; además, la brevedad de las señales dificulta las posibles interferencias de agentes externos, lo que permite a esta tecnología ofrecer mayor seguridad que otros sistemas.

La tecnología NFC presenta dos modos de funcionamiento: activo y pasivo. En el modo activo, ambos dispositivos cuentan con un chip NFC que crea un campo electromagnético y permite el intercambio bidireccional de los datos. En el modo pasivo, solamente uno de los dispositivos dispone de esta tecnología, creando un campo del que el otro aparato puede hacer uso para transmitir la información.

◆ SENSOR LiDAR:

La tecnología LiDAR es un sistema que permite la medición precisa de distancias emitiendo pulsos de luz (invisibles al ojo humano). Dispara una pulsación de luz, mide el tiempo que tarda en llegar rebotado y lo manda al microprocesador. Allí se interpretan los datos de una nube de puntos generada a partir de los diferentes disparos realizados por el LiDAR para conocer con exactitud la distancia a un plano u objeto. Todo ese proceso se lleva a cabo en nanosegundos, este tipo de sensores es sin duda el más novedoso, implantándose cada vez más en el sector automovilístico o en el de los móviles, así como el de los autómatas, que es en el cual este trabajo se encuentra.

◆ SENSOR HALL:

El sensor de efecto Hall o simplemente sensor o sonda Hall (denominado según Edwin Herbert Hall) se sirve del efecto Hall para la medición de campos magnéticos, corrientes o para la determinación de la posición en la que está. Si fluye corriente por un sensor Hall y se aproxima a un campo magnético que fluye en dirección vertical al sensor, entonces el sensor crea un voltaje saliente proporcional al

producto de la fuerza del campo magnético y de la corriente. Si se conoce el valor de la corriente, entonces se puede calcular la fuerza del campo magnético; si se crea el campo magnético por medio de corriente que circula por una bobina o un conductor, entonces se puede medir el valor de la corriente en el conductor o bobina (Samata, s. f.)

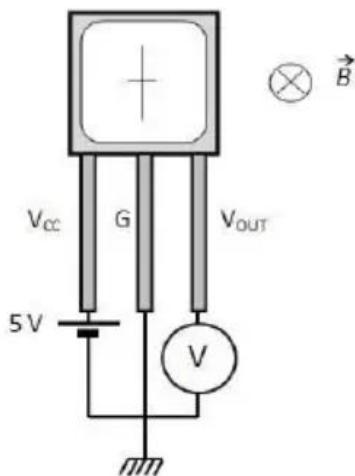


Ilustración 18. Sensor Hall . (Samata, s. f.)

Para probar la linealidad del sensor debe medirse V_{OUT} para diferentes intensidades de campo magnético. Para ello puede medirse V_{OUT} ubicando al sensor en el centro de un par de bobinas de Helmholtz, donde el campo magnético generado por la corriente que circula por las bobinas es aproximadamente homogéneo. El campo magnético en el centro del par está dado por La ecuación que proviene de las bobinas de Helmholtz, nos muestra esta relación directa de medición de la corriente o del campo magnético.

$$B_z = \mu_0 \frac{8}{\sqrt{125}} \frac{NI}{R}.$$

Ilustración 19. Formula bobinas de Helmholtz . (Samata, s. f.)

1.4.1.2. Actuadores

Se explican a continuación, los diferentes actuadores que han utilizado los robots en los antecedentes.

Motores paso a paso

Este motor también es conocido también como "Stepper motor", es un dispositivo electromecánico cuyo eje gira en pasos angulares siguiendo unos impulsos eléctricos ordenados en número y velocidad.

Los motores paso a paso son ideales para la construcción de mecanismos en donde se requieren movimientos muy precisos. La característica principal de estos motores es el hecho de poder moverlos un paso a la vez por cada pulso que se le aplique.

El motor puede mantenerse en una posición angular concreta si está energizado.

Principio de funcionamiento

Se basa principalmente en 2 componentes:

- Rotor: que puede girar libremente en el estator.
- Estator: construido por varias bobinas que rodean un material ferromagnético. Como se ha mencionado anteriormente, estas bobinas se alimentan de forma ordenada para provocar un movimiento en el rotor.

Tipos de motores paso a paso

Existen 3 tipos: de reluctancia variable, imán permanente y híbridos. A continuación, se explican brevemente cada uno de ellos.

- **Motor paso a paso de reluctancia variable.** el motor no utiliza un campo magnético permanente, lo que proporciona movimientos sin limitaciones o sin un par de parada. Este montaje es el menos común, y se utilizan en aplicaciones que no requieren un alto grado de fuerza.
Se consigue un paso angular más reducido, sin aumentar considerablemente el número de bobinas. El estator presenta su forma cilíndrica habitual, con generalmente 3 devanados separados con 120º entre 2 de ellos.
Si el estator del motor tiene tres bobinas conectadas, con un terminal común, a todas las bobinas, será probablemente un motor de reluctancia variable. El conductor común se conecta habitualmente al borne positivo y las bobinas son alimentadas siguiendo una secuencia consecutiva.

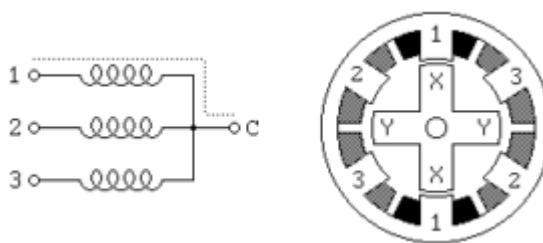


Ilustración 20. Configuración de motor paso a paso de reluctancia variable
(Mecafenix, 2017)

- **Motor paso a paso de imán permanente.** Son los más utilizados en la robótica, y pueden ser unipolares o bipolares.

Unipolares. Disponen de 5 o 6 cables de salida, de los cuales 4 reciben los pulsos que indican la secuencia y duración de los pasos y los demás alimentan el motor. Este tipo motor es simple de controlar. Existen 3 secuencia de manejo.

1. **Secuencia normal.** Siempre existen 2 bobinas activadas, se consigue un alto torque y retención.

PASO	Bobina A	Bobina B	Bobina C	Bobina D	
1	ON	ON	OFF	OFF	 A: red bar, B: grey bar, C: black bar, D: red bar
2	OFF	ON	ON	OFF	 A: black bar, B: red bar, C: grey bar, D: black bar
3	OFF	OFF	ON	ON	 A: black bar, B: black bar, C: red bar, D: red bar
4	ON	OFF	OFF	ON	 A: red bar, B: black bar, C: black bar, D: red bar

Ilustración 21. Secuencia normal en motor paso a paso unipolar (*Motores paso a paso_2, s. f.*)

2. **Secuencia Wave drive (paso completo).** Solo se activa una bobina a la vez. Gira de forma más suave, aunque se reduce el torque de paso y retención.

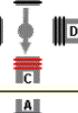
PASO	Bobina A	Bobina B	Bobina C	Bobina D	
1	ON	OFF	OFF	OFF	
2	OFF	ON	OFF	OFF	
3	OFF	OFF	ON	OFF	
4	OFF	OFF	OFF	ON	

Ilustración 22. Secuencia Wave drive, paso completo en motor paso a paso unipolar
(*Motores paso a paso_2, s. f.*)

3. **Secuencia de medio paso.** Se activan las bobinas de tal manera que se combinan las secuencias anteriores. Se obtiene paso más corto. Primero se activa 2 bobinas y luego solo 1, y así repetidamente.

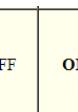
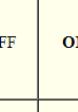
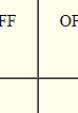
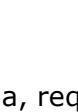
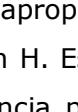
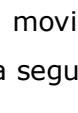
PASO	Bobina A	Bobina B	Bobina C	Bobina D	
1	ON	OFF	OFF	OFF	
2	ON	ON	OFF	OFF	
3	OFF	ON	OFF	OFF	
4	OFF	ON	ON	OFF	
5	OFF	OFF	ON	OFF	
6	OFF	OFF	ON	ON	
7	OFF	OFF	OFF	ON	
8	ON	OFF	OFF	ON	

Ilustración 23. Secuencia de medio paso en motor paso a paso unipolar (*Motores paso a paso_2, s. f.*)

Bipolares. Generalmente tienen 4 cables de salida, requieren del cambio de dirección de flujo de corriente en la secuencia apropiada para realizar el movimiento, se requiere además de un puente en H. Es más caro, y su uso no es tan común como los unipolares. La secuencia para su manejo es la siguiente. Cada inversión de polaridad provoca el movimiento del eje en un paso, el sentido está determinado por la secuencia seguida.

Paso	A+	A-	B+	B-
1	+V	-V	+V	-V
2	+V	-V	-V	+V
3	-V	+V	-V	+V
4	-V	+V	+V	-V

Ilustración 24. Secuencia de activación de bobinas en motor paso a paso bipolar
(Mecafenix, 2017)

- **Motor paso a paso híbrido.** Su funcionamiento se basa en el principio de funcionamiento del motor de reluctancia variable y el motor de magnetización permanente.

Características comunes de los motores paso a paso

- Voltaje: se especifica en su hoja de características. A veces es preciso exceder el voltaje nominal para obtener el par deseado, pero ello contribuye a un mayor calentamiento e incluso al acortamiento de la vida del motor.
- Resistencia: La resistencia por bobina determina la corriente del estator y, por tanto, afecta a la curva característica del par y a la velocidad máxima.
- Resolución: El ángulo de giro es fundamental para una aplicación u otra. La operación de medio paso dobla el número de pasos por revolución. Números grados/pasos habituales son: 0.72, 1.8, 3.6, 7.5, 15 e, incluso, 90.

Servomotores

Las empresas utilizan mucho los servomotores por lo compactos y potentes que son. A pesar de su tamaño, generan una gran cantidad de potencia y son conocidos por su increíble eficiencia energética. («Servomotor_1», 2019)

Introducción al servomotor

Un servomotor es un actuador rotativo de bucle cerrado que utiliza la retroalimentación de posición para controlar su velocidad de rotación y posición. La señal de control es la entrada, ya sea analógica o digital, que representa el comando de posición final para el eje.

Hay varios tipos de servos como los que utilizan motores de corriente continua y de corriente alterna.(«Servomotor_1», 2019)

Funcionamiento del servomotor

Los servomotores se controlan enviando un pulso eléctrico de ancho variable, o modulación de ancho de pulso (PWM), a través del cable de control. Hay un pulso mínimo, un pulso máximo y una frecuencia de repetición.

Por lo general, un servomotor sólo puede girar 90° en cualquier dirección para un movimiento total de 180° . La posición neutra del motor se define como la posición en la que el servo tiene la misma cantidad de rotación potencial tanto en el sentido de las agujas del reloj como en el sentido contrario.

Cuando se les ordena a los servos que se muevan, estos se moverán a la posición y mantendrán esa posición gracias a la retroalimentación.(«Servomotor_1», 2019)

En otra fuente de información se representa de forma gráfica un diagrama del funcionamiento del servomotor, aunque faltaría el reductor mecánico justo después del motor, como se puede ver en la siguiente ilustración.

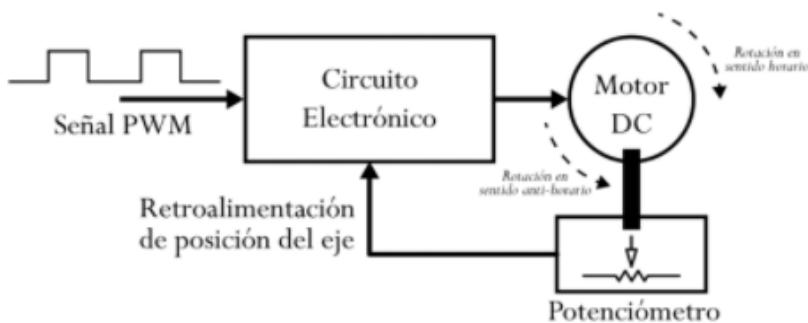


Ilustración 25. Diagrama de bloque del funcionamiento del servomotor (González, 2016)

Componentes de un servomotor

Los servos incluyen tres componentes principales:

- motor,
- caja de engranajes,
- controlador,

Los servomotores pueden ser de tipo CA o CC, siendo los servomotores CA los más adecuados para aplicaciones de velocidad constante y los servomotores CC para aplicaciones de velocidad variable.

La retroalimentación es proporcionada normalmente por un codificador o encoder - ya sea interno o externo al motor- o por un resolver.

El servo controlador (también conocido como controlador de movimiento) puede ser considerado como el cerebro del sistema del servomotor. Aquí es donde reside el perfil de movimiento, incluyendo la aceleración, velocidad y deceleración deseadas.(«Servomotor_1», 2019)

Tipos de servomotores

Los servos vienen en muchos tamaños y en tres tipos básicos: rotación posicional, rotación continua y lineal.(«Servomotor_1», 2019)

- Servo de rotación posicional: Este es el tipo más común de servomotor. El eje de salida gira aproximadamente la mitad de un círculo, o 180 grados. Tiene topes físicos colocados en el mecanismo de engranaje para evitar que se gire más allá de estos límites para proteger el sensor de rotación.

Estos servos comunes se encuentran en coches y aviones con control remoto de agua, juguetes, robots y muchas otras aplicaciones.

- Servo de rotación continua: Este tipo es muy similar al servomotor de rotación posicional común, excepto que puede girar en cualquier dirección indefinidamente. La señal de control, en lugar de ajustar la posición estática del servo, se interpreta como la dirección y la velocidad de rotación.

El rango de posibles comandos hace que el servo gire en el sentido de las agujas del reloj o en sentido contrario a las agujas del reloj según se desee, a una velocidad variable, dependiendo de la señal de comando. Este tipo de servo se puede utilizar en un plato de radar si se monta en un robot. O se puede utilizar como motor de accionamiento en un robot móvil.

- Servo lineal: Es similar al servomotor de rotación posicional descrito anteriormente, pero con engranajes adicionales (normalmente un mecanismo de cremallera y piñón) para cambiar la salida de circular a vaivén. Estos servos no son fáciles de encontrar, pero a veces se pueden encontrar en tiendas de modelismo donde se utilizan como actuadores en aviones de modelos más grandes.

Motores DC

El funcionamiento del motor DC, se basa en el alineamiento de 2 campos magnéticos. Dispone de un estator (parte fija del motor), y de un imán permanente que genera un campo magnético.

En su interior, se introduce una espira, por la cual se hace circular una corriente por ella, y se genera un campo magnético. El desfase angular entre ambos campos

magnéticos genera un par, y provoca el movimiento hasta que los campos magnéticos que alineen.

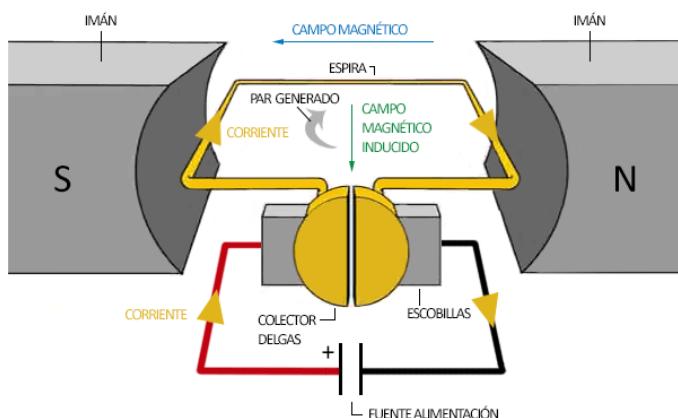


Ilustración 26. Configuración del motor DC («Motor DC», s. f.)

Cuando los campos magnéticos se alinean el motor se para. Para que gire de forma continua, se invierte la polaridad del campo magnético de la espira, cambiando la polaridad de la corriente que lo alimenta mediante las escobillas.

Los contactos que alimentan las espiras están constituidos por un anillo partido que desliza sobre los contactos eléctricos. Al anillo partido se le denomina colector de delgas, y los contactos sobre los que desliza el anillo se le denominan escobillas.

Tras superar cierto ángulo de giro en el anillo, las delgas pasarán a estar conectadas de una escobilla a la siguiente. Esto provoca la inversión mecánica de la corriente, y por lo tanto cambia el sentido del campo magnético, permitiendo que el eje gire de forma continua.

La ventaja es la sincronización perfecta. El inconveniente es que el rozamiento de las delgas con las escobillas provoca pérdidas en la eficiencia y reducen la vida útil del motor.

Hay otros motores de DC que en el estator poseen otra bobina para generar el campo magnético.

Las bobinas se enrollan sobre núcleos magnéticos ferromagnéticos, llamados armaduras, lo que aumenta la potencia del motor y disminuye pérdidas por dispersión magnética.(«Motor DC», s. f.)

Drivers para motores

Un controlador (Driver) de motor es un pequeño amplificador de corriente; la función de los Drivers de motor es tomar una señal de control de baja corriente y luego convertirla en una señal de corriente más alta que pueda conducir un motor (carakenio73, 2018).

Drivers para Motor DC

El control de un motor de corriente continua es sencillo, principalmente debido a la incorporación del conmutador dentro del motor. (carakenio73, 2018)

Algunos motores DC usan, puente en H, según la fuente (*Drivers motor DC, s. f.*) es un sistema para controlar el sentido de giro de un motor DC usando cuatro transistores y también para variar la velocidad del motor. En la ilustración de abajo, se ve que los transistores se comportan como interruptores y dependiendo que transistores conducen y cuáles no, cambia la polarización del motor y con esto el sentido de giro.

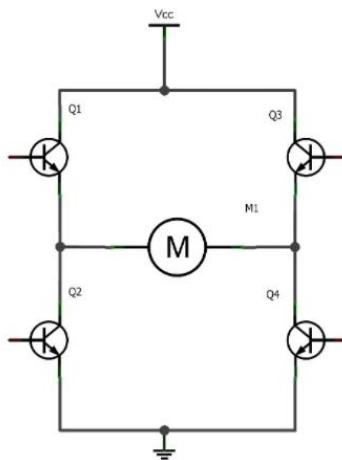


Ilustración 27. Puente en H para variación de velocidad y cambio de sentido de motor DC (*Drivers motor DC, s. f.*)

Drivers para servo motor

Para controlar un servo, uno de los sistemas más empleados es mediante una señal PWM. Consiste en generar una onda cuadrada en la que se varía el tiempo que el pulso está a nivel alto, manteniendo el mismo periodo, con el objetivo de modificar la posición del servo según se deseé. (*Driver servoM, s. f.*)

Para la generación de una onda PWM en un microcontrolador, lo más habitual es usar un timer y un comparador (interrupciones asociadas), de modo que el microcontrolador quede libre para realizar otras tareas, y la generación de la señal

sea automática y más efectiva. El mecanismo consiste en programar el timer con el ancho del pulso (el período de la señal) y al comparador con el valor de duración del pulso a nivel alto. Cuando se produce una interrupción de overflow del timer, la subrutina de interrupción debe poner la señal PWM a nivel alto y cuando se produzca la interrupción del comparador, ésta debe poner la señal PWM a nivel bajo. En la actualidad, muchos microcontroladores, como el 68HC08, disponen de hardware específico para realizar esta tarea, eso sí, consumiendo los recursos antes mencionados (timer y comparador) (*Driver servoM*, s. f.).

A continuación, se muestra una versión de un driver para controlar un servomotor de bajo voltaje, a modo de ejemplo. Puede usarse para jugar con servos, para verificar que funcionan, o para conectarle servos a un Robot. Lo primero para este montaje es encontrar los pulsos requeridos con un osciloscopio para programarlo en un microcontrolador.

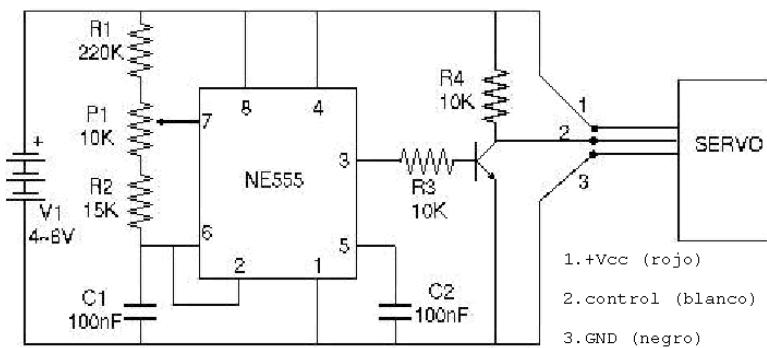


Ilustración 28. Circuito driver de servomotor a modo de ejemplo (*Driver servoM*, s. f.)

Drivers para motor paso a paso

Estos motores suelen utilizar puente en H, a través de los cuales, se activa el interruptor deseado en una secuencia concreta para girar el eje del motor.

A continuación, se muestra un driver con puente en H con Mosfet.

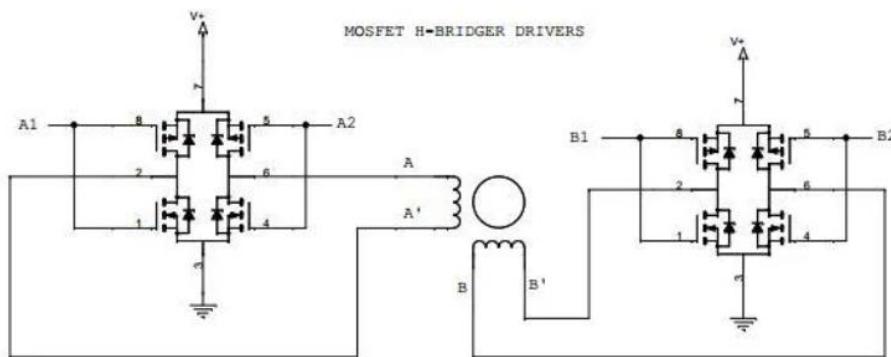


Ilustración 29. Puente en H con Mosfets para motor paso a paso Bipolar (*Motores Arduino, s. f.*)

Como se puede ver en la ilustración anterior, en los bornes 2 y 6 de cada puente en H, se conectan las bobinas del motor para que circule la corriente. Los mosfets se deberán activar y desactivar siguiendo una secuencia, el cual será definida a través de un microcontrolador.

En la siguiente ilustración se puede ver la secuencia de activación-desactivación de cada bobina.

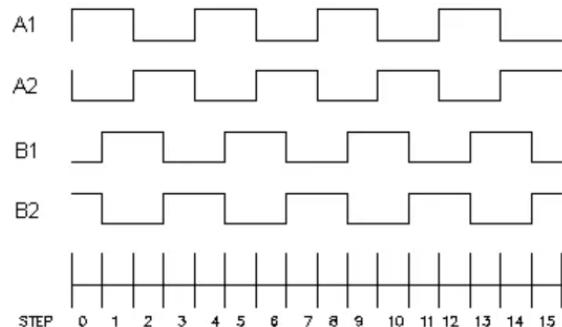


Ilustración 30. Ondas del driver de motor paso a paso (*Motores Arduino, s. f.*)

En el caso de motor paso a paso unipolar, solo se necesitarían unos transistores o unos pares Darlington.

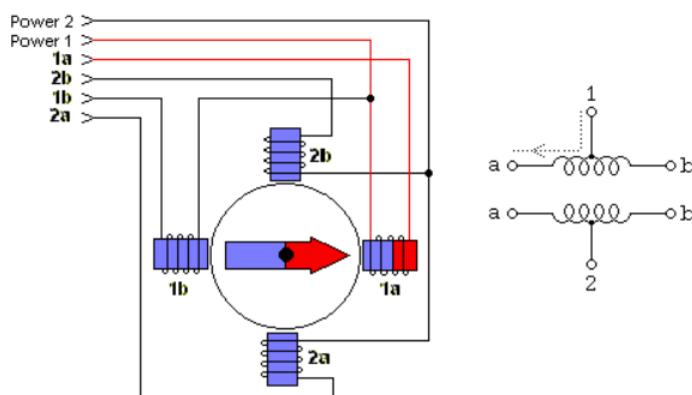


Ilustración 31. Modelo conceptual de motor paso a paso unipolar (*Motores Arduino*, s. f.)

En el siguiente esquema se puede ver los 4 transistores mosfet, los cuales se activarán mediante un pulso controlado, y la forma de conectar la alimentación y las bobinas del motor unipolar.

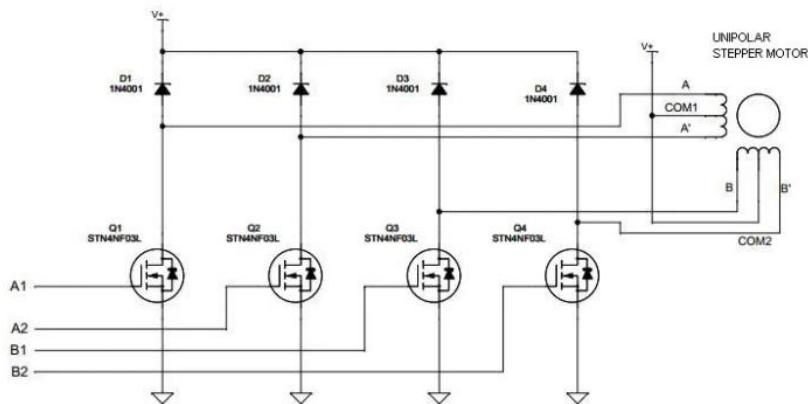


Ilustración 32. Esquema electrónico driver motor paso a paso unipolar (*Motores Arduino*, s. f.)

1.4.1.3. Baterías

Una batería eléctrica, también llamada pila o acumulador eléctrico, es un artefacto compuesto por celdas electroquímicas capaces de convertir la energía química en su interior en energía eléctrica. Así, las baterías generan corriente continua y, de esta manera, sirven para alimentar distintos circuitos eléctricos, dependiendo de su tamaño y potencia.

1.4.1.3.1. Principio Químico de la batería

Todos los tipos de baterías contienen un electrodo positivo y uno negativo sumergidos en un electrolito, y el conjunto completo se encuentra dentro de un recipiente. La mayoría de las baterías de utilizadas son de plomo-ácido, lo que significa que tienen electrodos positivos y negativos formados por compuestos de plomo en un electrolito de ácido sulfúrico diluido. Las baterías de plomo-ácido son baterías secundarias, lo que significa que pueden recargarse después de que se hayan descargado. El principio fundamental de una batería consiste en las reacciones de oxidación-reducción (redox) de ciertas sustancias químicas, una de las cuales pierde electrones (se oxida) mientras la otra gana electrones (se reduce), pudiendo retornar a su configuración inicial dadas las condiciones necesarias: la aplicación de electricidad (carga) o el cierre del circuito (descarga).

Las baterías contienen celdas químicas que presentan un polo positivo (ánodo) y otro negativo (cátodo), así como electrolitos que permiten el flujo eléctrico hacia el exterior. Dichas celdas convierten la energía química en eléctrica, mediante un proceso reversible o irreversible

1.4.1.3.2. Tipos de Baterías

- Plomo-ácido (Pb-ácido): es el tipo de batería recargable más común por su buena relación de desempeño-costo aunque es la de menor densidad de energía por peso y volumen. Esta batería cuenta con varias versiones: La versión shallow-cycle o de ciclo corto es usada en automóviles, en los cuales se necesita una corta explosión de energía que es forzada desde la batería para encender el motor. La versión deep-cycle o de ciclo profundo, diseñada para repetidos ciclos de carga y descarga. La mayoría de las aplicaciones requiere este tipo de baterías, ej., vehículos industriales embarcaciones, energía fotovoltaica. La versión sellada "gel-cell" con aditivos, los cuales vuelven el electrolito en un gel antiderames, está pensada para ser montada de lado o de invertido pero su alto costo la limita aplicaciones en aviones militares. Además, debido a su gran tamaño y peso puede usarse como contrapeso o estabilizador dependiendo de lo que requiera la situación.

- Niquel-cadmio (NiCd): se caracteriza por sus celdas selladas, por tener la mitad del peso y por ser más tolerante a altas temperaturas, que una batería de plomo-acido convencional. Tiene el efecto de memoria lo cual acelera su proceso de descarga. En los últimos 5 años ha entrado en total desuso, el encarecimiento de estas ha hecho que las baterías de ion-litio salgan mucho más rentables y por lo cual, no sean objeto de nuestro estudio

- Ion Litio: Es la más eficiente y la más comúnmente usada, la cual ofrece una densidad de energía de 3 veces la de una batería plomo-ácido. Esta gran mejora viene dada por su bajo peso atómico 6,9 vs 209 para la de plomo. Además, cuenta con un voltaje por celda de 3.5 [V], lo cual disminuye el número de celdas en serie para alcanzar cierto voltaje, reduciendo su costo de manufactura. Tiene una muy baja tasa de autodescarga. Sin embargo, su rápida degradación y sensibilidad a las elevadas temperaturas, que pueden resultar en su destrucción por inflamación o incluso explosión, requieren en su configuración como producto de consumo, la inclusión de dispositivos adicionales de seguridad, resultando en un coste superior que ha limitado la extensión de su uso a otras aplicaciones, tiene especial interés por su reducido tamaño que es compatible con las dimensiones del robot que vamos a utilizar y en la que vamos a profundizar en los siguientes apartados.

(*InformeBaterias.pdf*, s. f.)

2.2.3.3 Gestión de Carga y Sistema BMS

Para el sistema de carga, los más utilizados son los BMS, debido a que las baterías de litio una vez que se degradan a partir a que la eficacia de su ciclo completo es del 92%, el proceso de carga de las baterías de plomo-ácido se vuelve particularmente ineficiente cuando se alcanza el estado de carga del 80%, que resulta en eficiencias del 50%, por eso es importante tener algún sistema de gestión de carga

Un sistema de administración de batería (BMS) es un circuito capaz de monitorear un paquete de baterías para que funcionen en los parámetros seguros de operación (voltaje, corriente y temperatura) durante su carga y descarga. Estos circuitos siguen el estado de cada una de las baterías, es decir, alarman o desconectan si el paquete de baterías se encuentra fuera de los parámetros seguros de operación además de equilibrar o igualar el voltaje, por lo que aparte de optimizar el funcionamiento de la batería, ejerce una función de protección o seguridad.

Dependiendo de la aplicación es importante especificar cada uno de los bloques necesarios para diseñar un BMS. En este caso se implementaron las siguientes funciones:

Además de equilibrar las celdas, un BMS:

- Evitará la subtensión en las celdas desconectando la carga cuando sea necesario.
 - Evitará la sobretensión en las celdas reduciendo la corriente de carga o deteniendo el proceso de carga.
 - Desconectará el sistema en caso de sobrecalentamiento.
- Por lo tanto, un BMS es indispensable para evitar que se produzcan daños en banco de baterías Li-Ion de gran tamaño. (*LAS BATERÍAS DE LITIO Y BMS, ¿COMO FUNCIONAN? – Partes y Refacciones para Vehículos Eléctricos*, s. f.)

1.4.1.3.3. Parámetros técnicos importantes en baterías

Vamos a definir algunos parámetros técnicos de interés en las baterías, como la capacidad de carga, máxima descarga y máxima energía por volumen y peso.

- Máxima Capacidad de carga: es una medida (normalmente en Amp-hr) de la carga almacenada por la batería, y está determinada por la masa de material activo contenido en la batería. La capacidad de la batería representa la cantidad máxima de energía que puede ser extraída de la batería bajo ciertas condiciones especificadas. No obstante, el consumo real de energía puede variar bastante de la capacidad nominal final que consume debido a que la edad y otros parámetros como la historia pasada de la batería influyen en gran medida en su funcionamiento.
- máxima capacidad de descarga de una batería: se mide en amperios y es la corriente que puede dar la batería al descargarse. Multiplicando esta corriente de descarga máxima por el voltaje, tendremos la potencia que podrá suministrar (dependerá de la velocidad con la que queramos descargar la batería). (admin, 2018)
- Máxima energía por volumen y peso: La energía liberada por una batería por unidad de volumen o masa. Si es la unidad de volumen, es decir, la densidad de energía volumétrica (Wh / L), muchos lugares se denominan directamente densidad de energía.

Si es una unidad de masa, es la densidad de energía de la masa en Wh / kg, que en muchos lugares también se llama energía específica

Si una batería de litio pesa 300 g, el voltaje nominal es de 3,7 V y la capacidad es de 10 Ah, su energía específica es de 123 Wh / kg.

- Ciclo de vida de una batería: Es el número de cargas que la batería puede realizar hasta que su utilidad sea demasiado baja. Depende del tipo de batería y del modelo de esta. las baterías de iones de Litio de reducido tamaño, actuales tienen una duración de 300 a 500 ciclos de

carga. Cuando se llega a ese límite, las baterías pueden perder alrededor de un 20% de su capacidad, dependiendo del fabricante. (*¿Cuáles son los principales parámetros técnicos de las baterías eléctricas? - industry-news | Gran poder, s. f.*)

- ¿Cómo afecta la temperatura a la batería? La temperatura puede afectar el desempeño de una batería debido a las siguientes causas:

Las altas temperaturas aceleran la corrosión de las rejillas y la degradación de los materiales activos.

A bajas temperaturas, la capacidad de entregar corrientes de arranque importantes disminuye y esto se evidencia porque al motor le cuesta más arrancar. Cuando una batería ya esté sobre el final de su vida útil, la falla se hará evidente cuando las temperaturas sean bajas (por debajo de 5-10°C).

Sin embargo, si bien el rendimiento disminuye, una batería de plomo-acido dura más tiempo en climas fríos. Esto se debe a que todos los procesos de corrosión interna se hacen más lentos.

A la inversa, si bien "vivirán" menos tiempo, el rendimiento de las baterías se incrementa con las altas temperaturas. (*¿Afecta la Temperatura el funcionamiento de una Bateria? - Ayuda Electronica | Circuitos Electronicos, Ingenieria Electronica, s. f.*)

1.4.1.3.4. ¿Cómo se calculan los amperios que necesitamos para proporcionar energía a un dispositivo?

Calculamos la capacidad en amperios-hora según la siguiente fórmula:

$$C = X \cdot T$$

Donde X son los amperios que necesita la aplicación y T el tiempo en horas que queremos que funcione. Por ejemplo, si queremos alimentar una bomba que consume 140mA durante 24 horas, realizaremos el siguiente cálculo:

$$C = 0,14 \text{ amperios} \cdot 24 \text{ horas} = 3,36 \text{ Ah}$$

Por último tenemos que calcular la capacidad que necesitaremos de la batería, sin llegar a descargarla del todo. Las descargas completas, hasta llegar a cero, no son recomendables. Por ejemplo, si se va a utilizar una batería de plomo acido en muchos ciclos no se recomienda que extraiga más del 50% de su carga, es decir, que siempre quede un 50% de la carga en la batería. De esta manera la batería se

degrada menos y se alarga su vida útil. Se realiza el siguiente cálculo, donde C es la capacidad, teniendo estas consideraciones sobre la batería:

$$C^* = C/0,5; C^* = 3,36/0,5 = 6,7 \text{ Ah}$$

Por lo que necesitaremos una batería que nos proporcione una capacidad de 7Ah , por poner un ejemplo práctico

(*¿Cómo calcular la capacidad de las baterías?, s. f.*)

1.4.2. Parte mecánica

La parte mecánica del marco teórico, se divide en:

- Actuadores,
- Mecanismo de la tijera,
- Cinemática para desplazamiento

1.4.2.1. Actuadores

Se explican a continuación, los diferentes actuadores o conceptos teóricos relevantes que se han utilizado los robots en los antecedentes.

Actuadores lineales

El actuador lineal eléctrico es un sistema que transforma la energía del movimiento rotatorio de un motor en un movimiento de tracción o de empuje. De forma muy resumida, su funcionamiento consiste en aplicar una fuerza sobre un eje que, mediante una serie de mecanismos específicos, realiza esta función. Así se consigue convertir la electricidad en un movimiento lineal.

Su uso está ampliamente extendido para el manejo de diferentes tipos de carga y es adecuado para una gran cantidad de aplicaciones industriales. (info34383, 2020)

Funcionamiento y criterio de elección de actuador lineal eléctrico

La transformación del movimiento rotatorio de un motor eléctrico en movimiento lineal se puede realizar mediante diferentes conjuntos de mecanismos internos. La elección de uno u otro depende del campo de aplicación para el que haya sido diseñado el actuador lineal.

Para elegir el actuador correcto se deben tener en cuenta estas características:

- Fuerza, es decir, el peso que se va a manipular (en N). Se deben valorar dos aspectos: la carga dinámica (o peso que se va a mover) y la carga estática (o peso que se va a mantener).

- Velocidad, que es el factor distancia/tiempo necesario para completar la carrera (en mm/s).
- Carrera o distancia lineal que va a recorrer (en mm).
- Control, que permite una retroalimentación constante y precisa sobre el movimiento. Para el control hay que tener en cuenta finales de carrera, potenciómetro y codificador.
- Fuente de alimentación, que puede ser motor DC (12 o 24 V) o AC (monofásico o trifásico).
- Caja de cambios, con engranaje helicoidal o planetario.
- Tornillo, que puede ser TPN (trapezoidal) o VRS (tornillo de bola).
- Ciclo de trabajo, es decir, la alternancia entre fases de trabajo y reposo. El ciclo de trabajo se determina por la relación entre el tiempo de trabajo bajo carga y el período establecido. Este valor se expresa en porcentaje: Con $F_s \leq 30\%$, se recomienda un TPN, y con $F_s \geq 30\%$ se recomienda un VRS.

Considerando todos estos datos, la elección del actuador lineal eléctrico será precisa y acertada. (info34383, 2020)

Tipos de actuadores eléctricos

- Actuadores eléctricos paralelos. El motor es paralelo al tornillo sin fin. Estos actuadores suelen ser impulsados por engranajes rectos. Permiten un gran rango de cargas y velocidades, aunque no son tan silenciosos que los engranajes helicoidales.
- Actuadores eléctricos en ángulo recto o en forma de "L". El motor es perpendicular al tornillo sin fin. Normalmente impulsados por engranajes helicoidales. Ofrece una mayor fuerza de bloqueo.
- Actuadores eléctricos en paralelo. El motor se encuentra en paralelo con el tornillo sin fin. Poseen mayor longitud de retracción. Normalmente impulsados por un sistema de engranajes planetarios.
- Motorreductores. Es un sistema económico y versátil cuando se combina con 1 o más tornillos sin fin.
- Motores dobles. Permiten el movimiento en 2 direcciones diferentes de forma independiente o simultánea.
- Actuadores eléctricos de tipo corredera. Permiten un movimiento lineal sin necesidad de un tubo exterior. La fijación frontal esta conectada a la tuerca que se mueve a lo largo del tornillo sin fin.

- Actuador eléctrico lineal por correa dentada. Permite el desplazamiento lineal, a través de un elemento denominado carro deslizante, el cual puede soportarse sobre unas vías mediante rodamientos. Posee una buena precisión en el posicionamiento de la carga.
- Columnas eléctricas elevadoras. Se fabrican para aplicaciones industriales, médicas y ergonómicas. Permiten el movimiento de cargas altas manteniendo un nivel de estabilidad. (Timotion, s. f.)

Actuador lineal guiado

Un actuador electromecánico lineal convierte el movimiento rotativo de un motor en un movimiento lineal en un plano, los actuadores usados comúnmente están formados por un motor eléctrico, la caja de engranajes y una correa dentada o un tornillo sin fin para transmitir el movimiento.

En el movimiento de tornillo, a medida que esta gira por la acción del motor o la caja de engranajes, la tuerca accionada se mueve a lo largo del tornillo sin fin, arrastrando la carga hacia delante o hacia atrás, según sea el sentido de giro del motor.

En el movimiento de correa dentada, a medida que la polea gira por acción del motor o por caja de engranajes, la banda dentada recorre cierta distancia entre dientes llamada paso, arrastrando hacia adelante o hacia atrás la carga. (Sandoval-Castro et al., 2019)

Parámetros a tener en cuenta para el diseño del actuador.

- Velocidad lineal,
- Torque,
- Carrera,
- Precisión

Tipo de motor eléctrico

Los motores eléctricos, producirán la potencia rotativa, sin embargo, funcionan a gran velocidad, entregan un par torsional pequeño en comparación a la demanda de la carga a mover. Por lo tanto, se considerará importantes factores como velocidad, torque y precisión del motor. Se suele usar en este caso, un motor a pasos, aunque se puede usar algún otro.

Para conocer la relación de velocidad-par, se consulta en el datasheet del motor en cuestión. (Sandoval-Castro et al., 2019)

Velocidad angular

La siguiente formula se usa para calcular la velocidad angular en RPM requerida en un motor a pasos en base a los pulsos por segundos teniendo en cuenta el límite del torque.

$$\omega = \frac{F*P*60}{360\omega}$$

Ilustración 33. Formula velocidad angular (Sandoval-Castro et al., 2019)

Donde, F es la frecuencia, y P es el ángulo mínimo de paso (grados). (Sandoval-Castro et al., 2019)

Polea dentada

La relación de velocidades angular se representa como la siguiente igualdad.

$$(w_1/w_2) = (D_2/D_1)$$

Es decir, si la relación de velocidad es 1, el diámetro de ambas poleas sería el mismo, por lo tanto,

$$w_1=F*w_2 \text{ ó también } D_1=F*D_2$$

Recordar, que uno de los diámetros será el de la polea del motor.

Como lo que interesa, es la velocidad lineal de la correa, se obtendrá que:

$$V_t = F * (\pi * D_2 * N) / (60 * 1000)$$

Donde, V_t es la velocidad lineal de la correa (m/s), N, es revoluciones de la polea menor (RPM), D₂, es el diámetro de la polea menor(mm).

Despejando, se obtiene el diámetro necesario de la polea para obtener la velocidad mínima lineal propuesta, quedando la siguiente ecuación.

$$D_2 = (V_t * 60 * 1000) * (\pi * N * F)$$

Es importante considerar que la velocidad no debe ser muy alta para evitar que la correa no se salga de la polea. (Sandoval-Castro et al., 2019)

Correa dentada

En base a la velocidad del motor en RPM (N₀), y la potencia transmitida (P_c) en la polea, se realiza la selección de la correa dentada usando la ilustración siguiente. La selección de la correa está limitada a las poleas del fabricante.

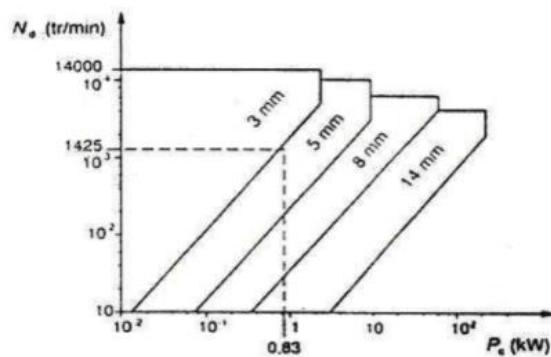


Ilustración 34. Selección de correas en función de la velocidad y potencia (Sandoval-Castro et al., 2019)

Desviación del sistema lineal guiado

Excelente sistema para aplicaciones de precisión de posicionamiento con alta velocidad de aceleración y desaceleración. El parámetro importante para la selección del sistema lineal es la desviación del eje, para determinar el diámetro mínimo necesario se usa la siguiente fórmula.

$$\delta_{max} = \frac{P * l^3}{48 * E * I}$$

Con esta fórmula, se obtiene la desviación que tendrá una barra redonda simplemente apoyada en sus extremos. Este parámetro repercute en la precisión del posicionamiento.

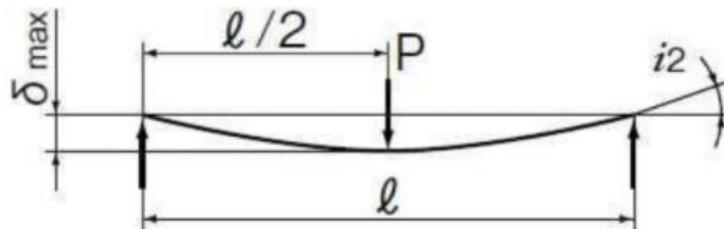


Ilustración 35. Viga apoyada en sus extremos con carga media (Sandoval-Castro et al., 2019)

Actuador electromecánico lineal con correa dentada

Con los datos anteriores y los componentes seleccionados se procede al diseño y ensamblaje de los elementos, para obtener el actuador final.

Se conocerá en este momento, la velocidad lineal (m/s), el torque (Nm), la carrera (mm) y la resolución (mm).

El diseño final se muestra en la siguiente ilustración.

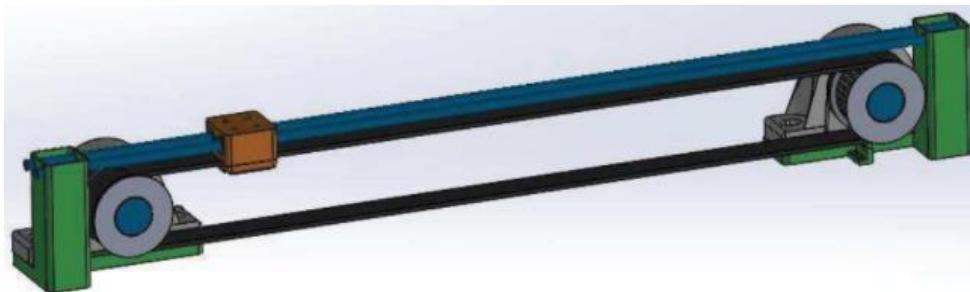


Ilustración 36. Ensamblaje de actuador lineal con correa dentada (Sandoval-Castro et al., 2019)

El ensamblaje cuanta con un elemento adicional, el cual se denomina carro deslizante, en color naranja. Este elemento se ensambla con la carga a desplazar. En él se pueden encontrar los rodamientos deslizantes que soportan dicha carga. La carga esta limitada por el torque de los motores.

Actuador lineal con husillo

Es necesario conocer la fuerza de empuje requerida por la carga (FL), su velocidad de avance (vL) y el paso del husillo (p) para calcular el par de salida (MB) y la velocidad de salida (nB) que ha de tener el motor.

En este tipo de transmisión puede haber pérdidas muy importantes según la combinación del tipo de rosca del husillo y la tuerca deslizante. La eficiencia (n) de una tuerca deslizante (sin bolas) puede estar entre 20 y 50 %. En cambio, una tuerca con recirculación de bolas puede alcanzar una eficiencia del 95 %. Otro tema importante a considerar es el tipo de perfil de la rosca. Una rosca métrica o trapezoidal con tuerca deslizante puede ser útil para bloquear la carga incluso aunque el motor no la retenga.(motorcontinua, 2010)

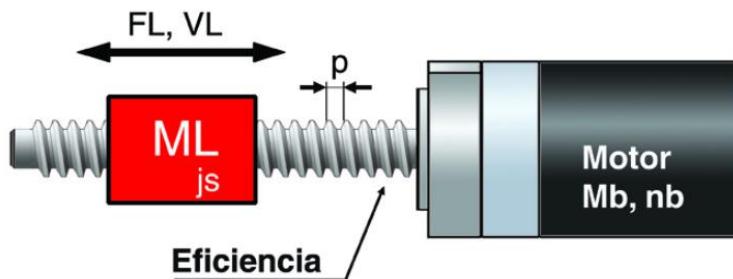


Ilustración 37. Factores a considerar en actuador lineal con husillo (motorcontinua, 2010)

Si el husillo de bolas tuviese una inercia (J_S) considerable, también se debería introducir en los cálculos dinámicos.

Fórmulas para la elección de componentes

Par de salida (para la carga en cuestión)

El motor junto con una posible reducción deberá utilizar la siguiente ecuación para cuantificar el par necesario para desplazar la carga.

$$M_b = (p)/(2 * \pi) * (FL/n)$$

Velocidad del motor

Conociendo la velocidad a la que debe moverse la carga, junto con otros parámetros, se conocerá la velocidad angular (N_b , en RPM) que se moverá el motor.

$$N_b = (60/p) * V_L$$

Potencia mecánica útil

Es la potencia que realmente se utiliza, y se utiliza la siguiente fórmula.

$$P = (\pi/30.000) * M * n$$

Donde, "M" es el par generado por el motor, y "n" es la velocidad angular en rpm del motor. (motorcontinua, 2010)

Actuador husillo y corona

El sistema de Tornillo Sin fin y su rueda, se utiliza para transmitir movimiento entre ejes perpendiculares, además se utilizan como mecanismos reductores, ya que acoplan relaciones de transmisión menor a la unidad.



Ilustración 38. Actuador husillo-corona (Mecanismos, s. f.)

Es importante recalcar que este tipo de mecanismo no es reversible, es decir, al girar el tornillo sinfín, produce un giro en la corona, y nunca al revés.

Relación de transmisión

Los tornillos sin fin tienen roscas múltiples, al nº de rocas de un tornillo sin fin se le llama nº de entradas (e). Este valor determina la velocidad de giro de la corona de salida. Si el sínfin es de una sola entrada, por cada vuelta la corona avanza un diente, obteniendo así una relación de transmisión i, de:

$$i = 1/z$$

Por ejemplo, para 2 entradas, la corona girará 2 dientes, y así sucesivamente.

De forma generalizada, la velocidad de giro de ambos ejes dependerá del número de dientes de la corona (z), como el número de entradas (e) del tornillo sínfin y viene dada por la siguiente fórmula,

$$n_1 \cdot e = n_2 \cdot z$$

Por lo tanto, la relación de transmisión del sistema será:

$$i = (n_2/n_1) = e/z$$

La relación de transmisión siempre será menor a la unidad, es decir, el mecanismo producirá siempre una reducción de velocidad, y aumento de torque. (*Actuador sinfin-corona, s. f.*)

Principales elementos y fórmulas del tornillo sin fin

Este elemento roscado nunca se acompaña con una tuerca y sí con una rueda dentada. Se puede considerar como una rosca trapezial con un ángulo entre flancos de 40° y con un paso igual al paso de la rueda con la que va a engranar, es decir, el paso es modular o múltiplo de, por lo que sus expresiones están expresadas en función del módulo y del diámetro primitivo dp. (s. f.)

En la siguiente ilustración se identifican algunos de los elementos del tornillo sin fin.

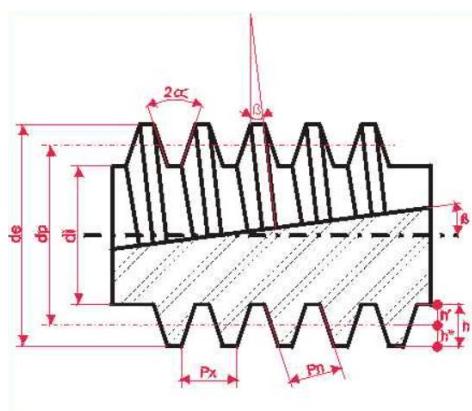


Ilustración 39. Elementos del tornillo sin fin (s. f.)

Identificación de cada elemento:

- B, ángulo de la hélice. Ángulo formado por la tangente al filete con un plano perpendicular al eje del tornillo.
- Ph, Paso de la hélice. Distancia entre 2 hilos pertenecientes a un mismo filete, medida en el sentido axial.
- Px, Paso normal. Distancia entre 2 hilos consecutivos, medida según un plano normal al filete. A este paso, le corresponde un módulo m, que será considerado en los cálculos.
- n, número de entradas. Número de filetes tallados.

Considerando que se dispone como datos: el módulo m, el número de entradas n, y el diámetro primitivo dp (15*m, aproximadamente), el cálculo de las dimensiones de un tornillo sinfín, se hace de acuerdo a las siguientes fórmulas:

- Altura de cabeza, $h' = m$
- Altura del pie del hilo, $h'' = 1.25 * m$
- Altura del hilo o profundidad de la rosca, $h = h' + h'' = 2.25 * m$
- Diámetro exterior, $de = dp + 2 * m$
- Diámetro interior, $di = dp - 2.5 * m$
- Paso normal, $Pn = \pi * m$
- Espesor del hilo en diámetro primitivo, $e = Pn / 2 = 1.57 * m$
- Ángulo entre flancos, 40°
- Ángulo de la hélice, $\text{sen}(B) = (Pn * n) / (dp * \pi) = m * n / dp$

Elementos y fórmulas para la rueda tipo A

Los elementos principales de la rueda tipo A, se identifican en la siguiente ilustración (metalmecánica, 2016).

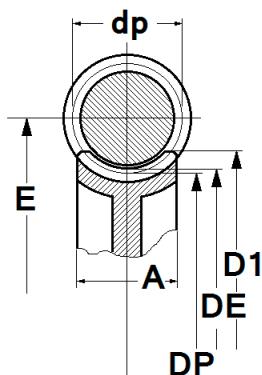


Ilustración 40. Elementos de la rueda tipo A, en actuador husillo-corona
(metalmecánica, 2018)

Considerando que se dispone como datos: el módulo m , el número de dientes de la rueda (N), y el número de entradas de la rosca (n) las fórmulas a usar para el diseño de la rueda son las siguientes:

- Diámetro primitivo, $d_p = m * N$
- Diámetro exterior, $d_e = d_p + 2m$
- Pas, $P = n * m$
- Altura de diente, $H = 2.1767 * m$
- Diámetro mayor y sobre aristas para tornillo sínfín simple y doble, $d_1 = d_e + 0.477P$
- Diámetro mayor y sobre aristas para tornillo sínfín triple y cuádruple, $d_1 = d_e + 0.8138P$
- Ancho de rueda, $A = 5 + 2.15P$
- Concavidad periférica, $R = 0.5d_p - M$
- Radio de la cabeza = $0.25P$
- Distancia entre centros, $E = (D_p + d_p) / 2$

Fórmulas para la elaboración del tornillo sin fin y su rueda tipo A

Existen dos tipos de engranajes que acoplan tornillo sin fin, el tipo A y el tipo B, en esta ocasión me ocuparé por proporcionarles todo lo referente al tornillo sin fin y su rueda del TIPO A.

1.4.2.2. Mecanismo de la tijera

1.4.2.2.1. Cinemática del elevador de tijera

Conjunto de la subestructura sobre la que actúan fuerzas externas

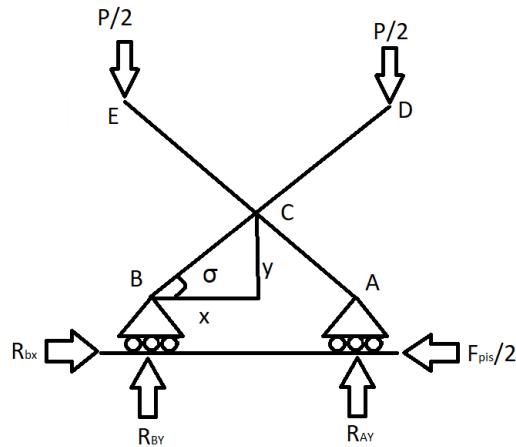


Ilustración 41. Autor Propio

$$\sum F_x = R_{Bx} - \frac{F_{pis}}{2} = 0 \rightarrow R_{Bx} = \frac{F_{pis}}{2}$$

$$\sum F_y = R_{Ay} + R_{By} - \frac{P}{2} - \frac{P}{2} = 0 \rightarrow R_{Ay} = \frac{P}{2}$$

$$\sum M_z(A) = R_{By} \cdot 2x - \frac{P}{2} \cdot 2x = 0 \rightarrow R_{By} = \frac{P}{2}$$

Barra BD

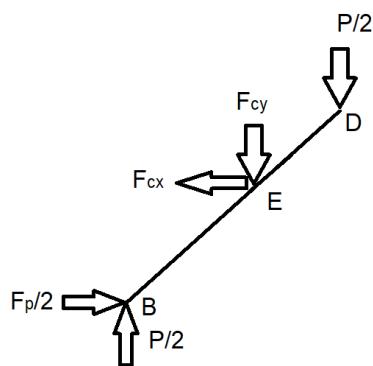


Ilustración 42. Esfuerzos de la barra. Autor propio

$$\sum F_x = 0 \rightarrow F_{C_x} = \frac{F_{pis}}{2}$$

$$\sum F_y = F_{C_y} + \frac{P}{2} - \frac{P}{2} = 0 \rightarrow F_{C_y} = 0$$

$$\sum M_z(B) = F_{C_x} \cdot y - \frac{P}{2} \cdot 2x - F_{C_y} \cdot x = 0 \rightarrow F_{C_x} = \frac{P}{\tan(\theta)}$$

1.4.2.2.2. Triángulos característicos

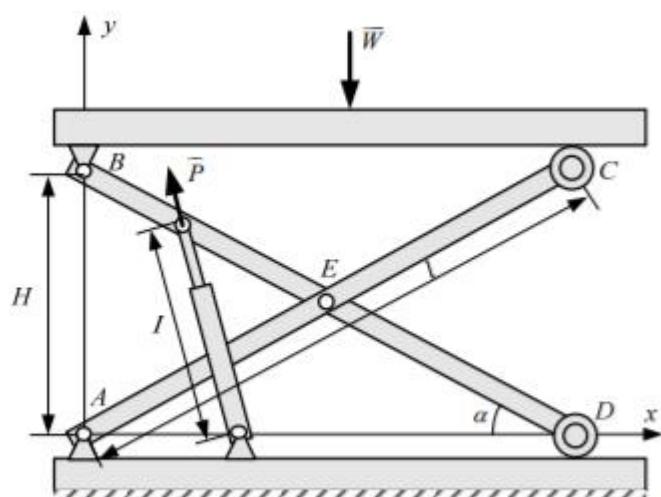


Fig. 1 Principal Schematic diagram of a scissor lift unit

Ilustración 43.(Zhang, Zhang, Yan, et al., 2015a)

Triángulos característicos de 6 configuraciones de entrada diferentes

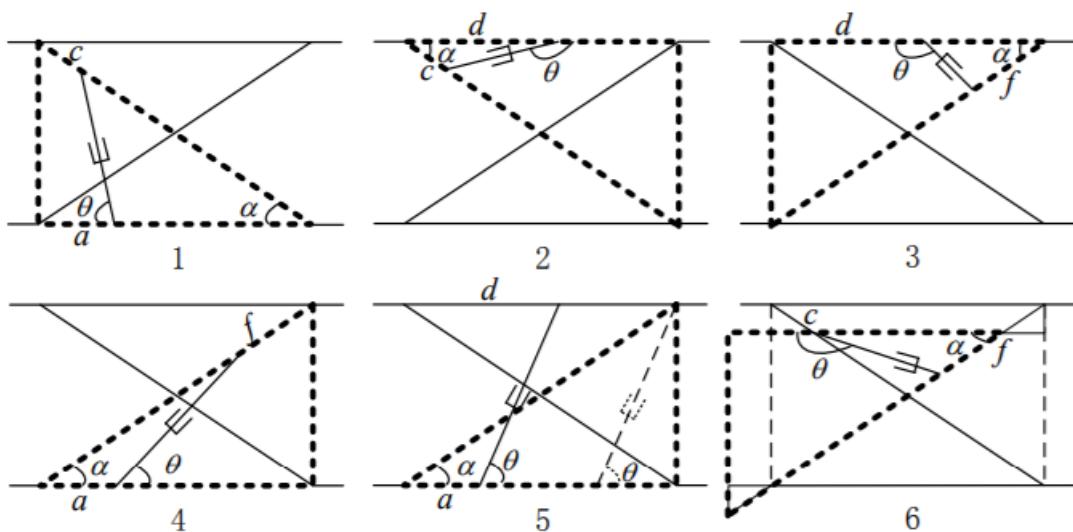


Ilustración 44.Triángulos característicos de 6 configuraciones de entrada diferentes

Como se muestra unificado en la siguiente figura, cada triángulo característico descrito en la imagen anterior tiene un lado AB en ángulo recto cuya longitud es H. La hipotenusa BC es un brazo SLU con una longitud de l. La longitud del vector de entrada I se expresa mediante el segmento B'B''.

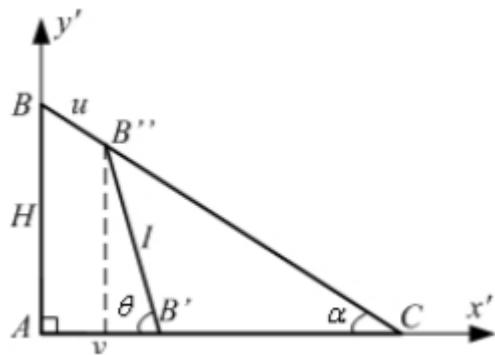


Ilustración 45.Triángulo característico para calcular el vector de longitud de entrada I

Longitud del vector de entrada I

Por la ley de los cosenos y la figura anterior, el vector de longitud de entrada se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$I = \sqrt{(l^2 - 2lu) \sin^2 \alpha + v^2 + u^2 - 2vu \cos \alpha}$$

Ilustración 46. Formula (1)

También se puede expresar como:

$$I = \sqrt{(l-u)^2 \sin^2 \alpha + (v-u \cos \alpha)^2}$$

Ilustración 47. Formula(2)

En la siguiente tabla se muestran los valores de u y v para cada una de las 6 configuraciones mostradas anteriormente.

Table 1. Values of v and u under different input configurations

Configuration	1	2	3	4	5	6
u	c	$l-c$	$l-f$	f	0	$l-f+c$
v	a	$l \cos \alpha - d$	d	$l \cos \alpha - a$	$d-a$	$2c \cos \alpha$

Ilustración 48.(Zhang, Zhang, Yan, et al., 2015a)

Suponemos

$$v = K \cos \alpha - J$$

Ilustración 49. Formula(3)

Al sustituir en la ecuación anterior nos queda:

$$I = \sqrt{(l-u) \sin^2 \alpha + ((K-u) \cos \alpha - J)^2}$$

Ilustración 50. Formula(4)

También tenemos que:

$$\begin{cases} M = K - u \\ N = l - u \end{cases}$$

Ilustración 51. Formula(5)

Volvemos a sustituir y la ecuación nos queda como la siguiente:

$$I = \sqrt{(N \sin \alpha)^2 + (M \cos \alpha - J)^2}$$

Ilustración 52. Formula(6)

En la tabla siguiente se muestran los diferentes valores que toman K , J , M y N dependiendo de que configuración se trate.

Table 2. Values of K , J , M and N under different input configurations

Configuration	1	2	3	4	5	6
K	0	l	0	l	0	$2c$
J	$-a$	d	$-d$	a	$a-d$	0
M	$-c$	c	$f-l$	$l-f$	0	$c+f-l$
N	$l-c$	c	f	$l-f$	l	$f-c$

Ilustración 53.(Zhang, Zhang, Yan, et al., 2015a)

Expresión del ángulo de entrada

En la figura del triángulo se ve que el ángulo de entrada es:

$$\theta = \angle AB'B''$$

Usando la ecuación 6 los ángulos de entrada quedan como los mostrados a continuación.

$$\left\{ \begin{array}{l} \sin \theta = \frac{N}{I} \sin \alpha \\ \cos \theta = \frac{M \cos \alpha - J}{I} \end{array} \right.$$

Ilustración 54.Formula(7)

Expresión del vector de longitud de entrada I

La expresión del vector de longitud de entrada en el sistema de referencia $\{x,y\}$ es:

$$\vec{I} = \{-I \cos \theta \quad I \sin \theta\}^T$$

Ilustración 55.Formula (8a)

$$\vec{I} = \{J - M \cos \alpha \quad N \sin \alpha\}^T$$

Ilustración 56. Formula (8b)

De acuerdo con la figura de las distintas configuraciones, la expresión del vector de longitud de entrada I en el sistema de referencia fijo se puede lograr mediante el sistema de referencia rotatorio o en espejo de triángulos característicos de la figura del triángulo. Las relaciones de transformación se dan en la siguiente tabla.

Table 3. Transformation of input length vector I in fixed reference system

coordinate transform	$\{\bar{I}\}_{xy} = \{\bar{I}\}_{x'y'} \quad \{\bar{I}\}_{xy} = -\{\bar{I}\}_{x'y'} \quad I_x = I_{x'}, I_y = -I_{y'} \quad I_x = -I_{x'}, I_y = I_{y'}$		
Input configuration	1	2	3,6

Ilustración 57. (Zhang, Zhang, Yan, et al., 2015a)

Expresión universal del vector de fuerza de entrada

La dinámica es innecesaria ya que la aceleración del mecanismo de elevación siempre es pequeña. Un estado quasi-estático de SLM es investigado como se muestra en la primera figura, la carga W es paralela al vector de longitud de salida H. Mientras tanto, el miembro de entrada es una barra de dos fuerzas. El vector de longitud de entrada I es paralelo al vector de fuerza de entrada P. Suponiendo que SLU es una restricción ideal sistema, la función del vector de fuerza de entrada P también se puede lograr en un triángulo característico como el siguiente.

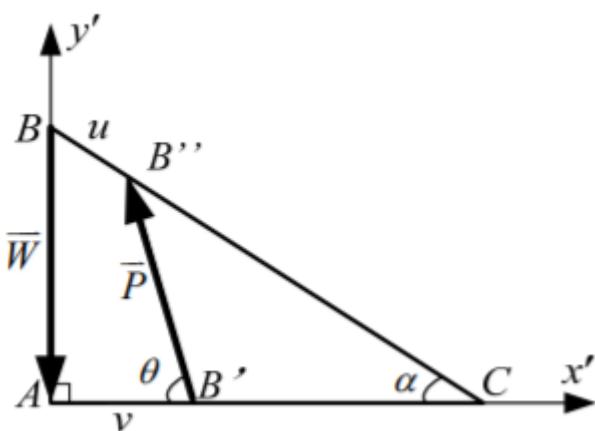


Ilustración 58. Triangulo característico de fuerza de entrada P. (Zhang, Zhang, Yan, et al., 2015a)

Como podemos ver en la imagen anterior

$$\begin{cases} \bar{W} = \{0 \quad -W\}^T \\ \bar{P} = \{-P \cos \theta \quad P \sin \theta\}^T \end{cases}$$

Ilustración 59. Formula (9)

Según el principio de desplazamiento virtual:

$$\sum \bar{F}_i \cdot \delta \bar{r}_i = 0$$

Ilustración 60. Formula (10)

En un sistema de sujeción ideal, solo funcionan las fuerzas activas.

$$\bar{W} \cdot \delta \bar{H} + \bar{P} \cdot \delta \bar{I} = 0$$

Ilustración 61. Formula(11)

Consideramos $\bar{H} = \{0 \quad l \sin \alpha\}^T$ y nos sale:

$$\delta \bar{H} = \{0 \quad l \delta \alpha \cos \alpha\}^T$$

Ilustración 62. Formula(12)

Sustituimos con la ecuación 8

$$\delta \bar{I} = \delta \alpha \cdot \{M \sin \alpha \quad N \cos \alpha\}^T$$

Ilustración 63. Formula(13)

Ahora vamos a usar las ecuaciones 9, 12 y 13 y las sustituimos en la 11, haciendo eso nos queda la siguiente ecuación.

$$-lW \cos \alpha - P \cos \theta M \sin \alpha + P \sin \theta N \cos \alpha = 0$$

Ilustración 64. Formula(14)

Despejamos

$$P(N \sin \theta \cos \alpha - M \cos \theta \sin \alpha) = lW \cos \alpha$$

Ilustración 65. Formula (15)

Si suponemos

$$N \sin \theta \cos \alpha - M \cos \theta \sin \alpha \neq 0$$

Ilustración 66. Formula (16)

Nos queda

$$P = \frac{IW \cos \alpha}{N \sin \theta \cos \alpha - M \cos \theta \sin \alpha}$$

Ilustración 67. Formula (17)

Utilizando la ecuación 6 y 7, el valor de la fuerza de entrada es una función del ángulo de elevación,

$$P = \frac{IWI}{(N^2 - M^2) \sin \alpha + MJ \tan \alpha}$$

Ilustración 68. Formula (18)

También se puede expresar como:

$$P = \frac{IW \sqrt{(N \sin \alpha)^2 + (M \cos \alpha - J)^2}}{(N^2 - M^2) \sin \alpha + MJ \tan \alpha}$$

Ilustración 69. Formula (19)

Según la ecuación 9, la fuerza de entrada es

$$\bar{P} = \frac{IW}{(N^2 - M^2) \sin \alpha + MJ \tan \alpha} \cdot \begin{Bmatrix} J - M \cos \alpha & N \sin \alpha \end{Bmatrix}^T$$

Ilustración 70. Formula (20)

También se puede expresar como:

$$\bar{P} = \frac{IW}{(N^2 - M^2) \sin \alpha + MJ \tan \alpha} \bar{I}$$

Ilustración 71. Formula (21)

De hecho, el triángulo característico informado se puede encontrar en cualquier mecanismo de tijera accionado lineal.

(Zhang et al., 2015)

Validación de funciones de entrada

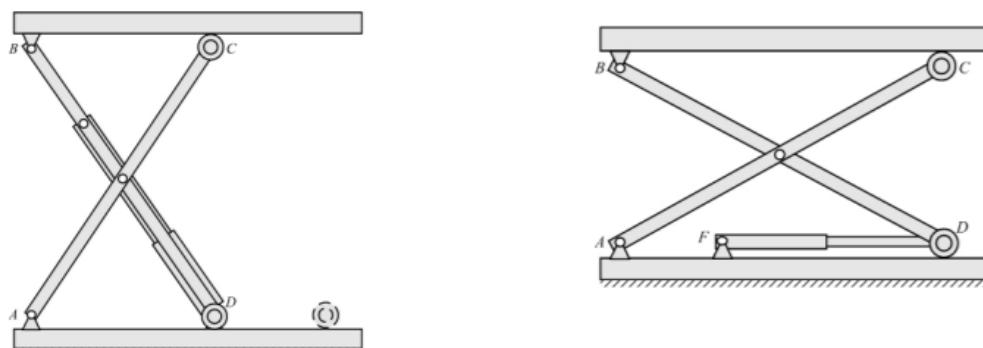


Ilustración 72. Un ajuste especial en vertical y en horizontal de la configuración 1.

(Zhang, Zhang, Yan, et al., 2015a)

Para la imagen de la izquierda el varillaje de accionamiento de entrada tiene una longitud mínima en una posición especial después de coincidir con el brazo BD en una línea y mueve la rueda D al punto A. Esto hace la unidad de entrada no puede extenderse más, no importa cuanto sea P.

La imagen de la derecha es un ajuste horizontal especial. Este no es como un punto muerto como el quinto parámetro ajustes. Pero, difícilmente se selecciona una solución de transmisión para forzar el paso de D de la rueda al punto F sin descanso.

Una solución es que la fuerza de entrada disminuye a medida que aumenta el ángulo de elevación, lo que coincide $N^2 - M^2 = 0$.

Otra solución es una función del valor de la fuerza de entrada por la altura de salida se dibuja en la curva. En este ejemplo, había llegado a la conclusión de que la fuerza de entrada es disminución monótona. Según su configuración $N = k + a$, $M = k - a$. Por tanto, $N^2 - M^2 = 4ak > 0$. Esto demuestra $N^2 - M^2 > 0$.

También se puede resolver a través de un conjunto de parámetros prácticos, se logran resultados de 18 posiciones de puntos. El máximo de la fuerza de entrada y su posición se encuentra. En este ejemplo, concluyó que la fuerza de entrada es monótona decreciente. Aquí, $N = \frac{l}{2} + l' - b$, $M = \frac{l}{2} - l' - b$, es decir $N^2 - M^2 = 2l'(l - 2b) > 0$. Esto también pertenece a $N^2 - M^2 > 0$.

En la última manera se discutieron las diferencias de las fuerzas de entrada y los rangos de trabajo válidos entre la configuración 1 y configuración 4 bajo la misma carga y parámetros simétricos.

σ

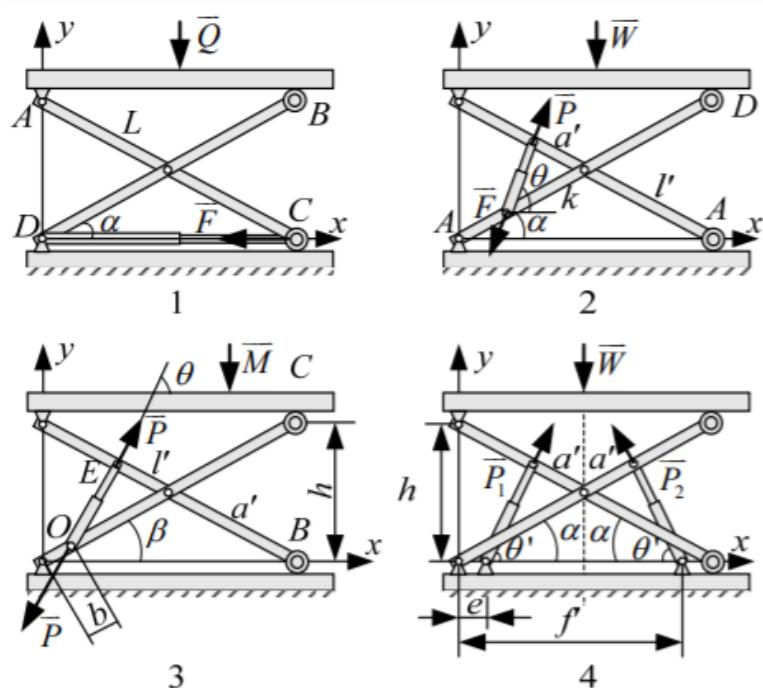


Ilustración 73. Cuatro ejemplos de configuraciones. (Zhang, Zhang, Yan, et al., 2015a)

Es fácil ver que todos los resultados coinciden con la ecuación presentada, si se sustituyen las notaciones originales en ajustes de parámetros correspondientes y configuraciones utilizadas.

Table 9. Results come from different examples

Samples	Configuration	Notation substitution
1	1	$a = 0, c = l$
2	6	$c = \frac{l}{2} - a, f = \frac{l}{2} + k$
3	6	$c = \frac{l}{2} - l', f = l - b$
4	1	$a = 770\text{mm}, c = 1465\text{mm}$
4	4	$a = 3210\text{mm}, f = 1465\text{mm}$

Ilustración 74.(Zhang, Zhang, Yan, et al., 2015a)

1.4.2.2.3. Análisis de un elevador de tijera con varios niveles

Vamos a analizar la siguiente estructura formada por brazos unidos mediante pasadores.

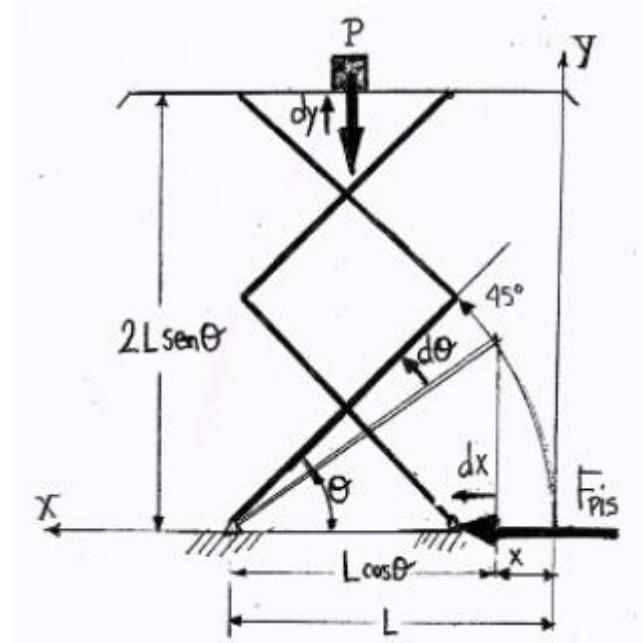


Ilustración 75. Diagrama de esfuerzos de la estructura de un elevador de tijera.

(Esfuerzos - Elevador Hidráulico * Grupo C, s. f.)

Cuando se despliega el elevador θ sufre una rotación en el sentido opuesto a las agujas del reloj las fuerzas que trabajan son las siguientes:

- La fuerza del actuador al desplazarse a lo largo del eje x.
- El peso al desplazarse a lo largo de la dirección y.
- El peso del elevador y los rozamientos, que vamos a despreciar.

Para un desplazamiento $d\theta$ por el principio de conservación de la energía, el trabajo desarrollado por el actuador al empujar la estructura desplazándose una distancia dx ,

$$dT_{pis} = F_{pis} \cdot d_x$$

Es la energía que se utiliza para elevar el peso en un incremento de altura más la energía perdida para vencer los rozamientos, la cual vamos a despreciar

$$dE_{pot} = P \cdot d_y$$

$$dE_{pot} = dT_{pis}$$

$$P \cdot d_y = F_{pis} \cdot d_x$$

De la imagen obtenemos:

$x = L - L \cdot \cos(\theta)$ y derivando con respecto a θ : $dx = L \sin(\theta) \cdot d\theta$

$y = 2L \cdot \sin(\theta)$ y derivando con respecto a θ : $dy = 2L \cos(\theta) \cdot d\theta$

Remplazamos estas ecuaciones en las anteriores

$$F_{pis} \cdot L \sin(\theta) \cdot d\theta = P \cdot 2L \cos(\theta) \cdot d\theta$$

$$F_{pis} \cdot \sin(\theta) = 2P \cdot \cos(\theta)$$

$$F_{pis} = \frac{2P}{\tan(\theta)}$$

De esto deducimos que la fuerza disminuye cuando aumenta θ .

$$\theta = 0^\circ \rightarrow F_{pis} = \infty \text{ (bloqueo)}$$

La mayor fuerza es necesaria cuando el elevador vence la inercia y comienza el movimiento de subida. Habrá un ángulo mínimo, ponemos $\theta_{min} \sim 6^\circ$ para que el elevador no se bloquee. Cuando empieza el movimiento la energía que necesitamos es $F_{pis} \sim 20P$. En cambio, si queremos que esté con elevación máxima, es decir $\theta_{max} = 45^\circ$ la fuerza requerida es $F_{pis} = 2P$.

De estas ecuaciones sacamos que requerimos mayor fuerza cuando empieza el movimiento de elevación. Por lo tanto, vamos a calcular las reacciones en los apoyos y de los pasadores cuando el elevador está en el instante inicial.

(Esfuerzos - Elevador Hidráulico * Grupo C, s. f.)

Reacciones en los apoyos y en las articulaciones de la estructura.

Para simplificar los cálculos y como la estructura es simétrica vamos a estudiar una de las dos subestructuras paralelas que componen el elevador. Por lo tanto, solo les afectara la mitad de la fuerza del cilindro.

Primero calcularemos los esfuerzos en los apoyos y articulaciones a la que está sometida la subestructura en equilibrio estático para una elevación de ángulo con respecto a la horizontal. Vamos a hacer el estudio del equilibrio estático en diferentes bloques aislados.

Conjunto de la subestructura

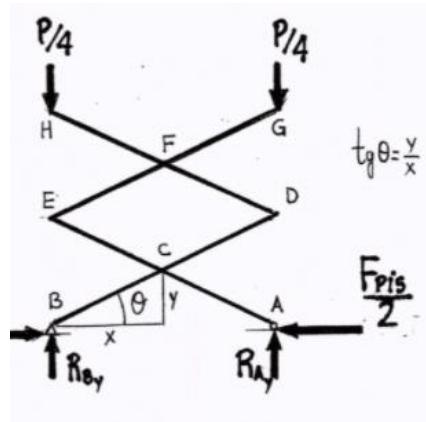


Ilustración 76. Diagrama de esfuerzos en la estructura. (Esfuerzos - Elevador Hidráulico * Grupo C, s. f.)

Aplicando las ecuaciones de equilibrio:

$$\begin{cases} \sum F_x = R_{B_x} - \frac{F_{pis}}{2} = 0 \\ \sum F_y = R_{A_y} + R_{B_y} - \frac{P}{4} - \frac{P}{4} = 0 \\ \sum M_B = R_{A_y} \cdot 2x - \frac{P}{4} \cdot 2x = 0 \end{cases} \rightarrow \begin{aligned} R_{B_x} &= \frac{F_{pis}}{2} \\ R_{B_y} &= \frac{P}{4} \\ R_{A_y} &= \frac{P}{4} \end{aligned}$$

Ilustración 77. Ecuaciones de equilibrio. (Esfuerzos - Elevador Hidráulico * Grupo C, s. f.)

Tijera superior

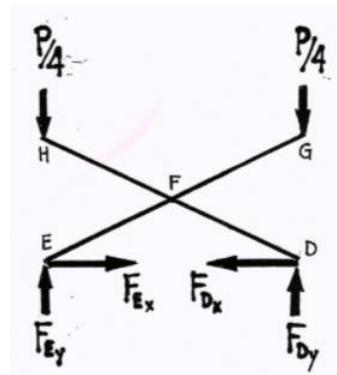


Ilustración 78. Diagrama de esfuerzos en tijera superior. (Esfuerzos - Elevador Hidráulico * Grupo C, s. f.)

$$\begin{cases} \sum F_x = 0 \\ \sum F_y = 0 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} F_{E_x} = F_{D_x} \equiv F_1 \\ F_{E_y} + F_{D_y} = \frac{P}{4} + \frac{P}{4} \end{cases} \rightarrow \begin{cases} F_{E_y} = F_{D_y} = \frac{P}{4} \\ \text{Por simetría: } F_{E_y} = F_{D_y} \end{cases}$$

Ilustración 79. Ecuaciones de equilibrio. (Esfuerzos - Elevador Hidráulico * Grupo C, s. f.)

Barra EG

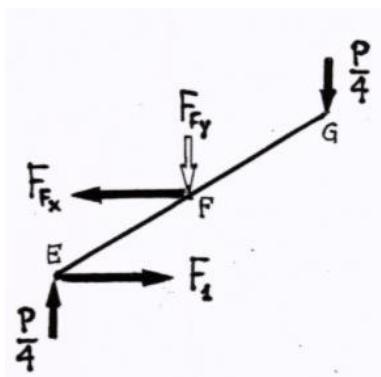


Ilustración 80. Diagrama de esfuerzos en la barra EG. (Esfuerzos - Elevador Hidráulico * Grupo C, s. f.)

$$\begin{cases} \sum F_x = 0 \\ \sum F_y = F_{F_y} + \frac{P}{4} - \frac{P}{4} = 0 \\ \sum M_E = F_1 \cdot y - \frac{P}{4} \cdot 2x = 0 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} F_{F_x} = F_1 \\ F_{F_y} = 0 \\ F_1 = \frac{P}{2 \tan \theta} \end{cases}$$

Ilustración 81. Esfuerzos de equilibrio. (Esfuerzos - Elevador Hidráulico * Grupo C, s. f.)

Barra BD

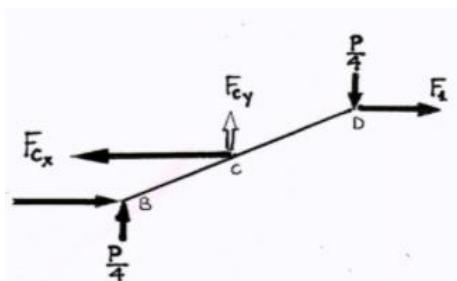


Ilustración 82. Diagrama de esfuerzos en la barra BD. (Esfuerzos - Elevador Hidráulico * Grupo C, s. f.)

$$\begin{cases} \sum F_x = \frac{F_{pis}}{2} - F_{Cx} + F_1 = 0 \\ \sum F_y = F_{Cy} + \frac{P}{4} - \frac{P}{4} = 0 \\ \sum M_B = F_2 \cdot y - F_1 \cdot 2y - \frac{P}{4} \cdot 2x = 0 \end{cases} \rightarrow \begin{aligned} & (como se dedujo en 2.1) \quad F_{pis} = 4F_1 = \frac{2P}{\tan \theta} \\ & F_{Cy} = 0 \\ & F_2 = 3F_1 = \frac{3}{4}F_{pis} = \frac{3P}{2\tan \theta} \end{aligned}$$

llamando a $F_{Cx} \equiv F_2$

Ilustración 83. Ecuaciones de equilibrio. (Esfuerzos - Elevador Hidráulico * Grupo C, s. f.)

Posición en la que la estructura alcanza la altura máxima.

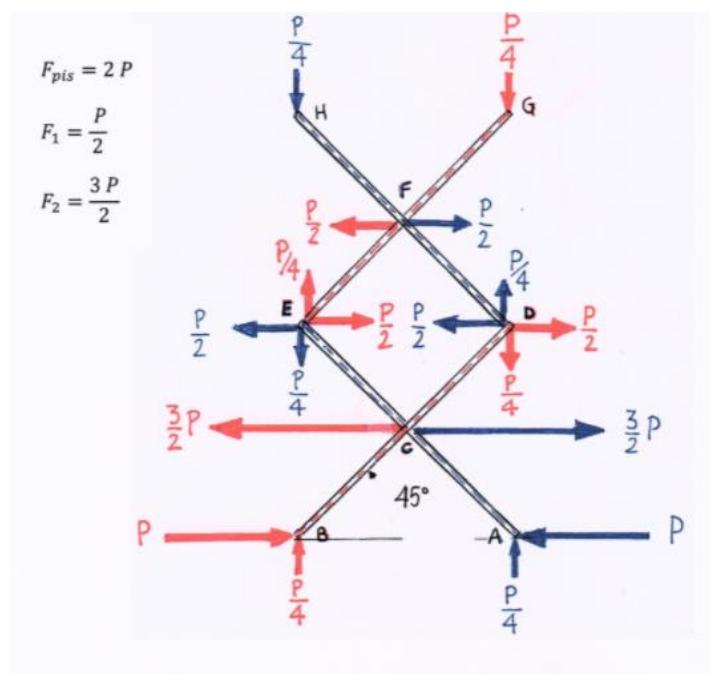


Ilustración 84. Diagrama de esfuerzos cuando la barra alcanza la altura máxima.
(Esfuerzos - Elevador Hidráulico * Grupo C, s. f.)

Esfuerzos en la situación más desfavorable

Como hemos deducido la mayor fuerza se requiere cuando comienza la elevación, el instante inicial con el elevador plegado $\theta_{min} \approx 6^\circ$

$$F_{pis} = 20P$$

$$F_1 = 5P$$

$$F_2 = 15P$$

Pasador sometido a un mayor esfuerzo cortante

Cálculo del diámetro mínimo \emptyset_{min} del pasador en función del peso P

τ_w = Tensión admisible a cortadura del material de que están construidos los pasadores

$$\tau_w = \frac{F_c}{\pi \frac{\emptyset_{min}}{4}^2}$$

a) Para $\theta = 45^\circ$

$$\emptyset_{min} = \sqrt{\frac{6P}{\pi \tau_w}}$$

$$Si \tau_w = 1000 \rightarrow \emptyset_{min}(mm) = 0.43 \sqrt{P}$$

$$P = 10 kgf \rightarrow \emptyset_{min} = 1.36 mm$$

b) Para $\theta \approx 6^\circ$ (interesa conocerlo en la peor situación)

$$\emptyset_{min} = \sqrt{\frac{60P}{\pi \tau_w}}$$

$$Si \tau_w = 1000 \frac{kgf}{cm^2} \rightarrow \emptyset_{min}(mm) = 1.38 \sqrt{P}$$

$$P = 10 kgf \rightarrow \emptyset_{min} = 4.36 mm$$

Ilustración 85.(Esfuerzos - Elevador Hidráulico * Grupo C, s. f.)

Cálculo del Peso máximo admisible para un pasador de un diámetro \emptyset

a) Para $\theta = 45^\circ$:

$$P_{max} = \frac{\pi \emptyset^2 \tau_w}{6}$$

$$Si \tau_w = 1000 \frac{kgf}{cm^2} \rightarrow P_{max}(kgf) = 5.23 \emptyset^2$$

$$\emptyset = 8 mm \rightarrow P_{max} = 335 kgf$$

b) Para $\theta \approx 6^\circ$:

$$P_{max} = \frac{\pi \emptyset^2 \tau_w}{60}$$

$$Si \tau_w = 1000 \frac{kgf}{cm^2} \rightarrow P_{max}(kgf) = 0.52 \emptyset^2$$

$$\emptyset = 8 mm \rightarrow P_{max} = 33.5 kgf$$

Ilustración 86.(Esfuerzos - Elevador Hidráulico * Grupo C, s. f.)

(Esfuerzos - Elevador Hidráulico * Grupo C, s. f.)

2. DESARROLLO

La estructura del apartado del desarrollo constará de los siguientes puntos:

- Diseño,
- División de áreas,
- Prototipo,
- ...

2.1. DISEÑO CONCEPTUAL

En el siguiente diagrama se describe de forma gráfica, la relación que mantiene el robot camarero con los elementos externos que le rodean.

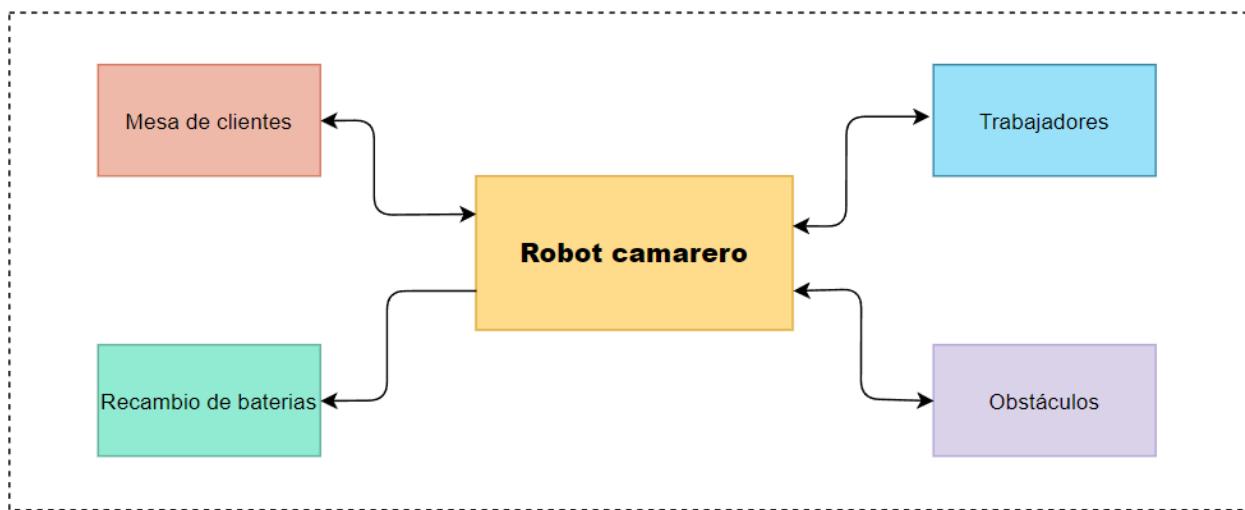


Ilustración 87. Diagrama de relación con elementos externos

En el diagrama se muestra los siguientes elementos:

- Mesa de cliente: donde deberá moverse para cumplir con los pedidos.
- Recambio de batería: lugar donde se ubican las baterías de recambio. El robot deberá ir hasta el lugar cuando le quede poca batería. Los trabajadores serán los encargados de cambiarle las baterías.
- Trabajadores: Encargados de depositar los platos o bandejas sobre el robot. También se encargan de programar al robot para indicarle a qué mesa debe ir.

- Obstáculos: durante su movimiento por las diferentes zonas puede encontrarse con obstáculos fijo o móviles (personas). El robot será capaz de detenerse hasta que el obstáculo desaparezca.

Se procede a describir diagramas de alto y bajo nivel del robot camarero.

2.1.1. Diagramas de alto nivel

En el siguiente diagrama se muestra ya un diagrama de alto nivel, donde se da a conocer los distintos elementos que intervienen para el funcionamiento del robot camarero.

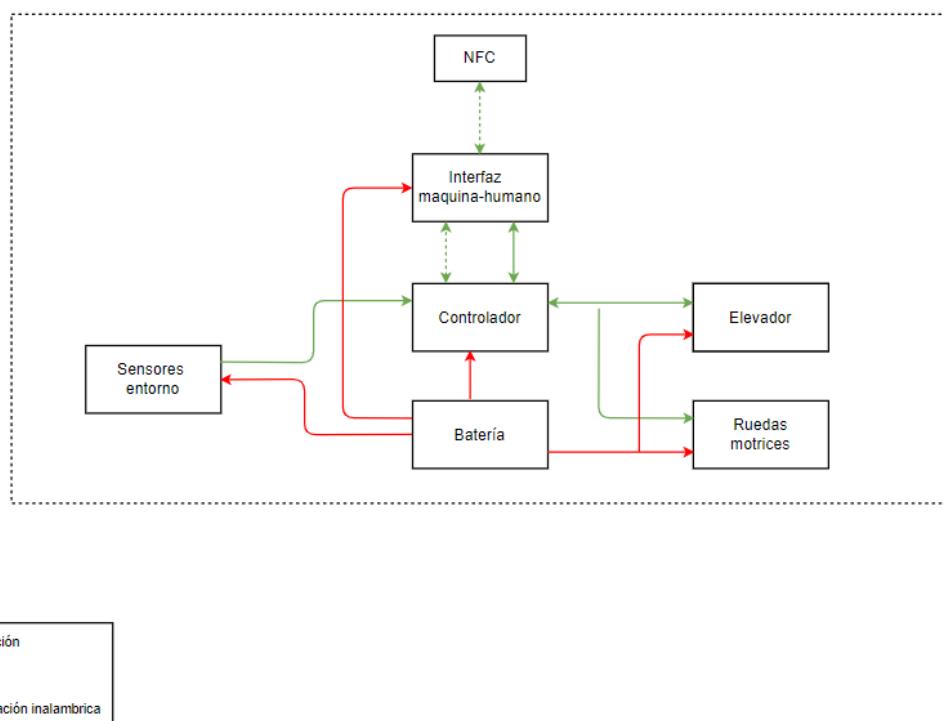


Ilustración 88. Diagrama de alto nivel del robot camarero

En el diagrama se distinguen los siguientes elementos:

- **Controlador**: Procesa la información y envía órdenes al resto de sistemas.
- **Interfaz Hombre-Maquina**: interactúa con el cliente y el personal y manda la información al controlador.
- **Batería**: Alimenta a los sensores, al controlador, al elevador y a las ruedas.
- **Sensores de entorno**: recogen información del entorno y se la mandan al controlador.
- **Elevador**: modifica la posición de una bandeja dependiendo de las necesidades de ese momento. La información se la envía el controlador.

- Ruedas motrices: sirven para que el robot se desplace por el restaurante.
- NFC: recoge y manda la información a la interfaz.

2.1.2. Diagramas de bajo nivel

A continuación, se muestra cada uno de los diagramas de bajo nivel que surgen del diagrama de alto nivel del robot camarero.

En la siguiente ilustración se muestra el diagrama del controlador.

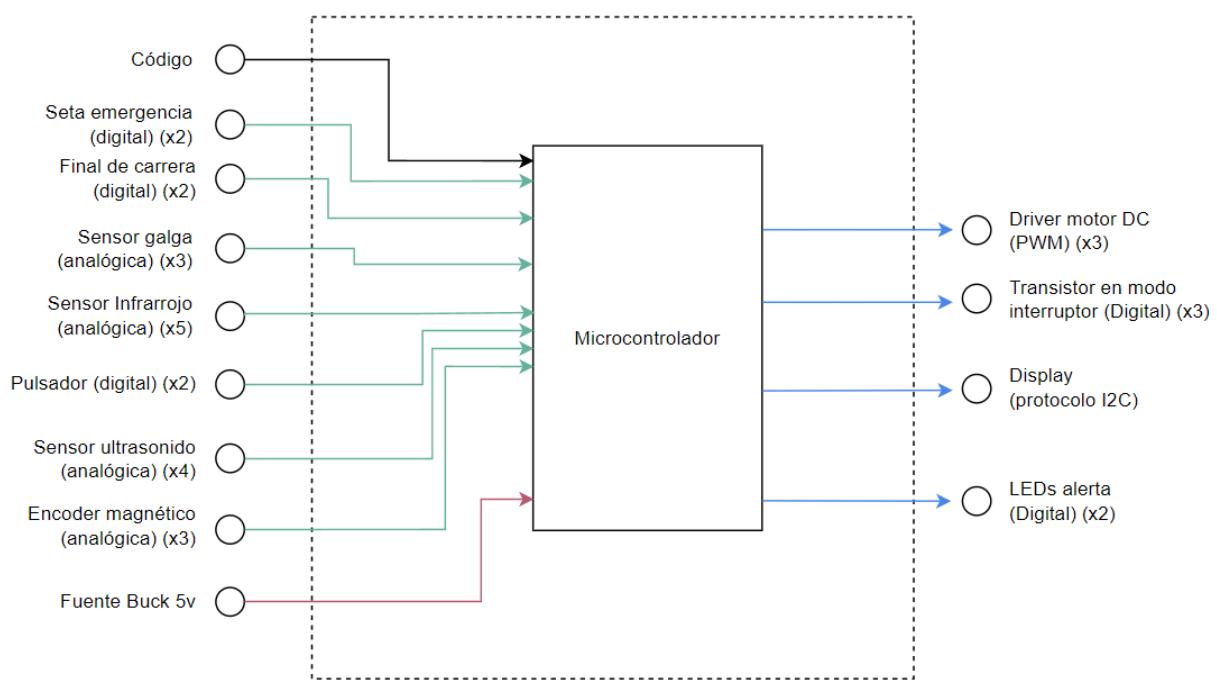


Ilustración 89. Diagrama de bajo nivel controlador

En el diagrama anterior se muestra los siguientes elementos:

- Microcontrolador: Al cual se conectarán distintos dispositivos electrónicos. Estos están conectados en color verde, las entradas analógicas y digitales, en color azul las salidas digitales y PWM, en color negro para cargar el código, y en color rojo la alimentación del microcontrolador.

En el siguiente diagrama se muestra el diagrama de sensores.

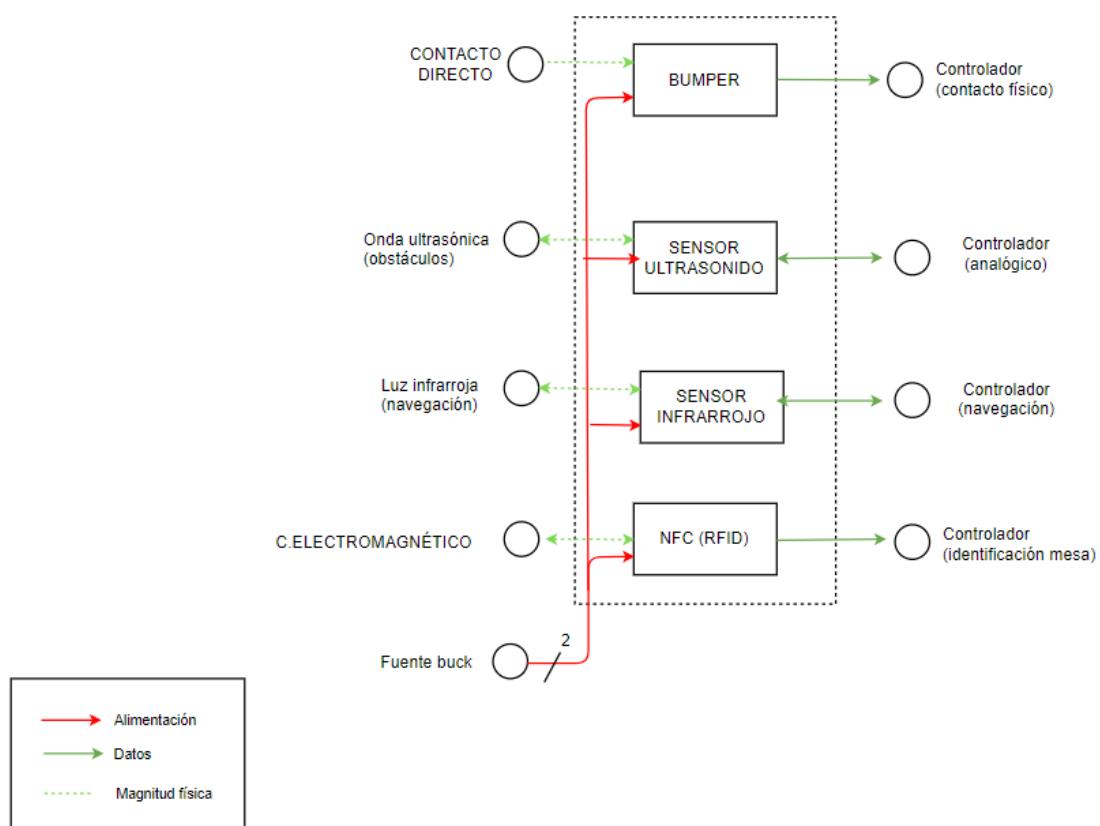


Ilustración 90. Diagrama de bajo nivel de sensores

En el diagrama anterior se muestra los siguientes elementos:

- Bumper detecta si se choca con algún objeto y manda la información al controlador para que se pare.
- Sensor infrarrojo utiliza luz infrarroja para detectar objetos y manda la información a un controlador.
- Sensor ultrasonido utiliza una onda ultrasónica para detectar objetos y manda la información a un controlador.
- NFC usa un campo electromagnético para detectar la mesa y le manda la información al controlador para identificar que mesa es.
- La fuente Buck alimenta a todos los sistemas descritos anteriormente.

En el siguiente diagrama se muestra el diagrama del elevador de bajo nivel

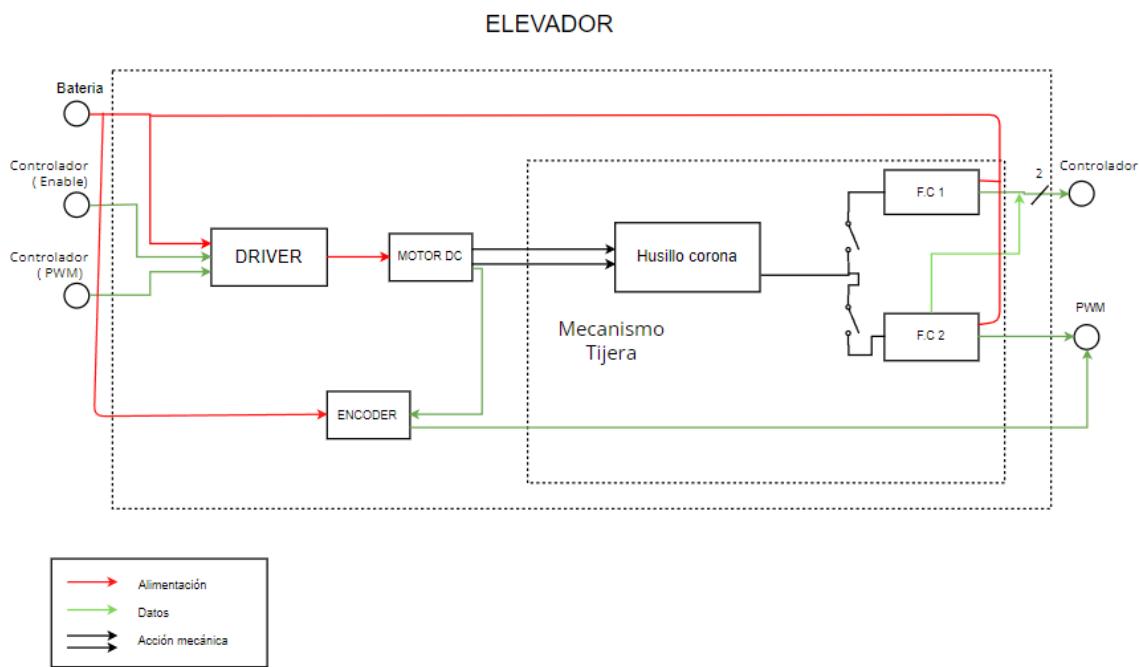


Ilustración 91. Diagrama de bajo nivel del elevador

En el diagrama anterior se muestra los siguientes elementos:

- Driver: Indispensable para el manejo del motor, amplifica la señal de corriente para el correcto funcionamiento del motor DC que elevara la tijera
- Motor DC: El motor de corriente continua sirve para transformar la energía eléctrica en energía mecánica y así poder elevar la tijera.
- Encoder: Sensor que cierra la realimentación al microcontrolador, muy importante para ganar precisión en los movimientos del motor.
- Mecanismo tijera: Es el conjunto de mecanismos que componen la elevación, en este caso el actuador lineal es un husillo corona, además cuenta con dos finales de carrera para chequeo de seguridad, uno en cada extremo de la tijera.

En el siguiente diagrama se muestra el diagrama de las ruedas diferenciales

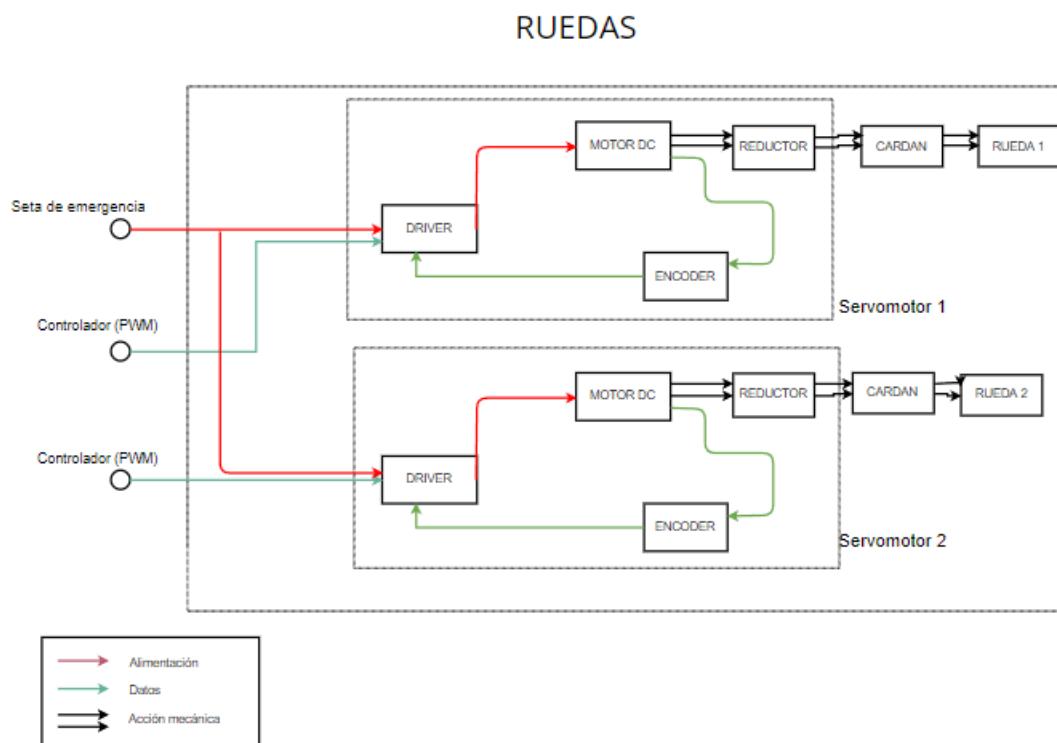


Ilustración 92. Diagrama de bajo nivel de las ruedas

En el diagrama anterior se muestra los siguientes elementos:

- Servomotor: Está compuesto de un driver, un motor de DC, la realimentación cerrada mediante un encoder para el control de posición, y una reductora que disminuya la velocidad de giro a cambio de incrementar el par.
- Cardan: Un tipo de acoplamiento mecánico que nos servirá para unir el servomotor con la rueda, tienes tres piezas, Pieza de acople al eje motor, eje conductor y pieza de acople al eje conducido.
- Ruedas: Se trata de ruedas diferenciales conectadas al motor a través de un acoplamiento cardan, se colocarán cerca del centro de gravedad del robot

En el siguiente diagrama se muestra el diagrama del sistema de alimentación

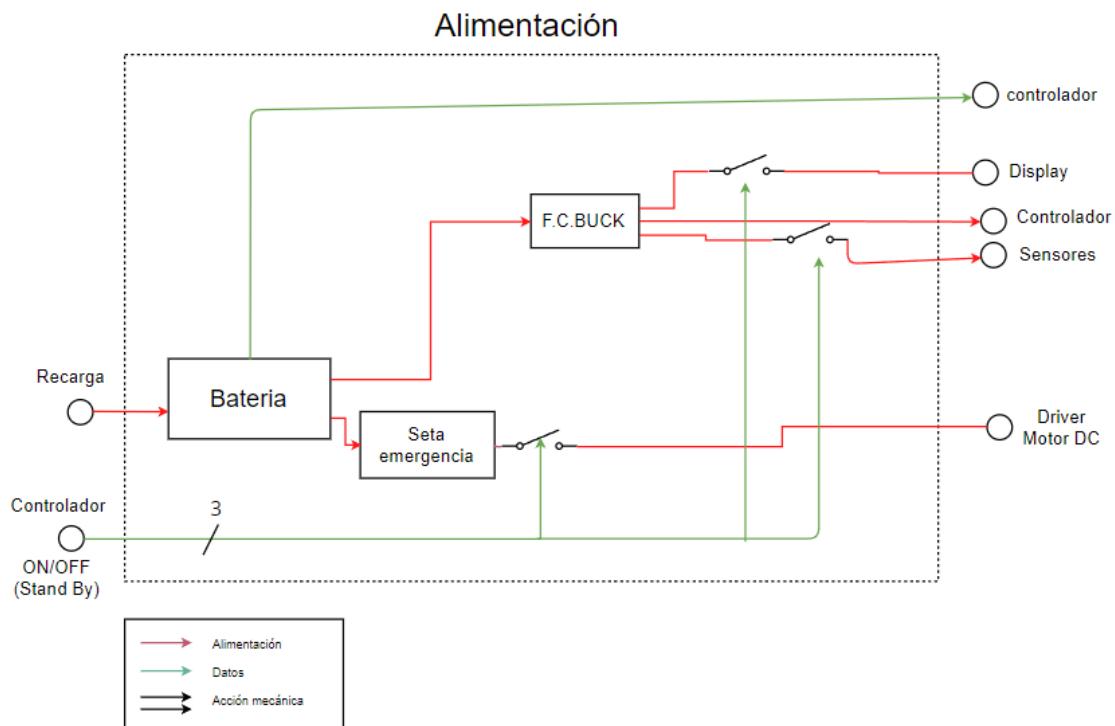


Ilustración 93. Diagrama de bajo nivel del sistema de alimentación

En el diagrama anterior se muestra los siguientes elementos:

- **Batería:** Es el elemento encargado de aportar voltaje entre sus bornes y de alimentar el robot, alimenta al controlador , a los sensores , al display y mediante una seta de emergencia al motor DC , además envía en forma de datos al controlador su estado para su optimización (en caso de que se apaguen ciertas elementos del circuito) , esto también administrado por el controlador que da la señal de si cerrar o no los interruptores para apagar parcialmente el sistema dependiendo de lo que se necesite
- **Seta de emergencia:** Es un mecanismo de seguridad que permite el paro del motor en caso de que sea necesario.
- **Fuente BUCK:** Es una fuente conmutada que permite rebajar el voltaje para que pueda alimentar adecuadamente a algunos elementos que requieren de un voltaje menos que la fuente, como el caso del display, el controlador o los sensores

En el siguiente diagrama se muestra el diagrama del HMI

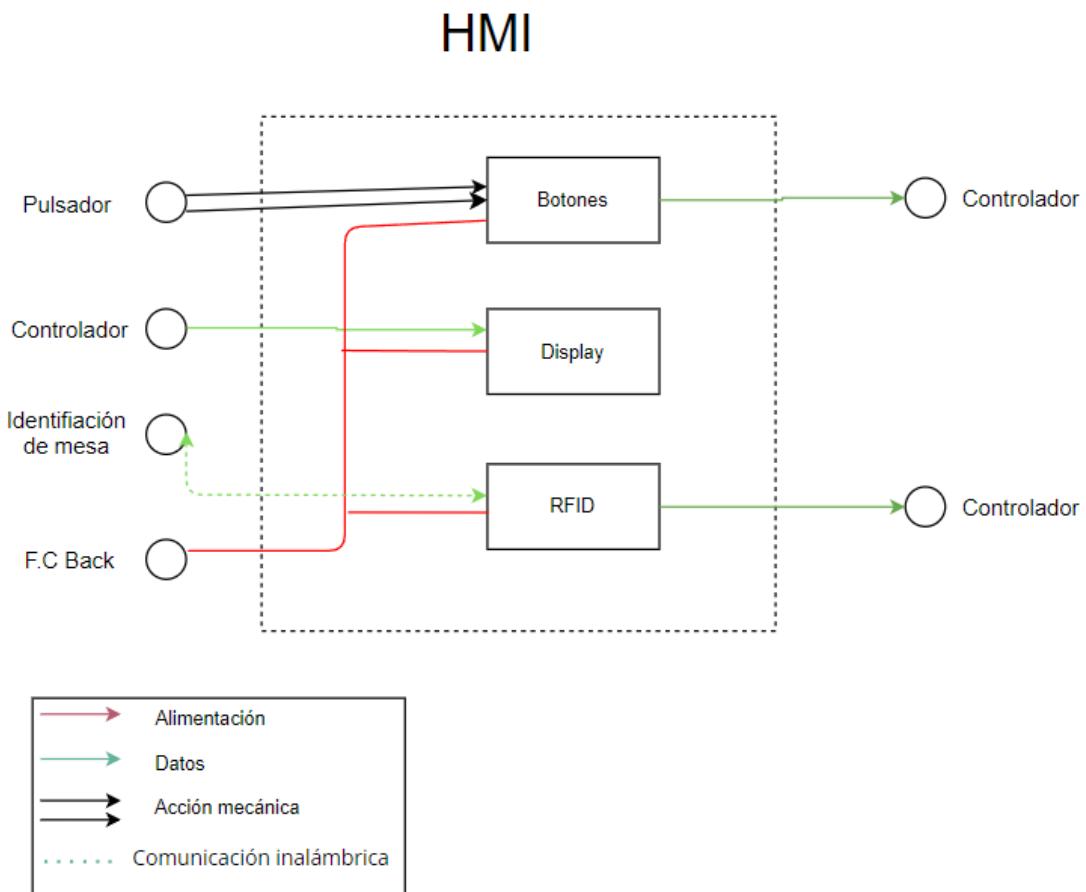


Ilustración 94. Diagrama de bajo nivel del HMI

En el diagrama anterior se muestra los siguientes elementos:

- **Botones:** Que mediante un pulsador (acción mecánica) permite adquirir datos enviados al controlador según lo que quiera el usuario, son alimentados mediante una Fuente Buck, ya que requieren menor voltaje de que aporta la batería.
- **Display:** Pequeña interfaz gráfica, que hace más simple la comunicación humano-maquina, es administrado por el controlador y alimentado por la fuente Buck
- **RFID:** Sistema de comunicación inalámbrico que permite la identificación de la mesa , permite una gran comunicación con el entorno exterior y esta información la envía al controlador , también esta alimentada por la fuente back

2.1.3. Layout

En las siguientes plantillas se muestran en 2D la integración de los componentes mecánicos y electrónicos. De esta forma se obtiene una idea general de dónde irán ubicadas, así como las dimensiones y formas de cada uno de los componentes.

Para este tipo de robot, será necesario distribuir los diagramas en diferentes plantas, debido ya a que se muestra la vista de la planta, para mostrar que hay en cada planta.

En el siguiente layout se muestra la planta 0.

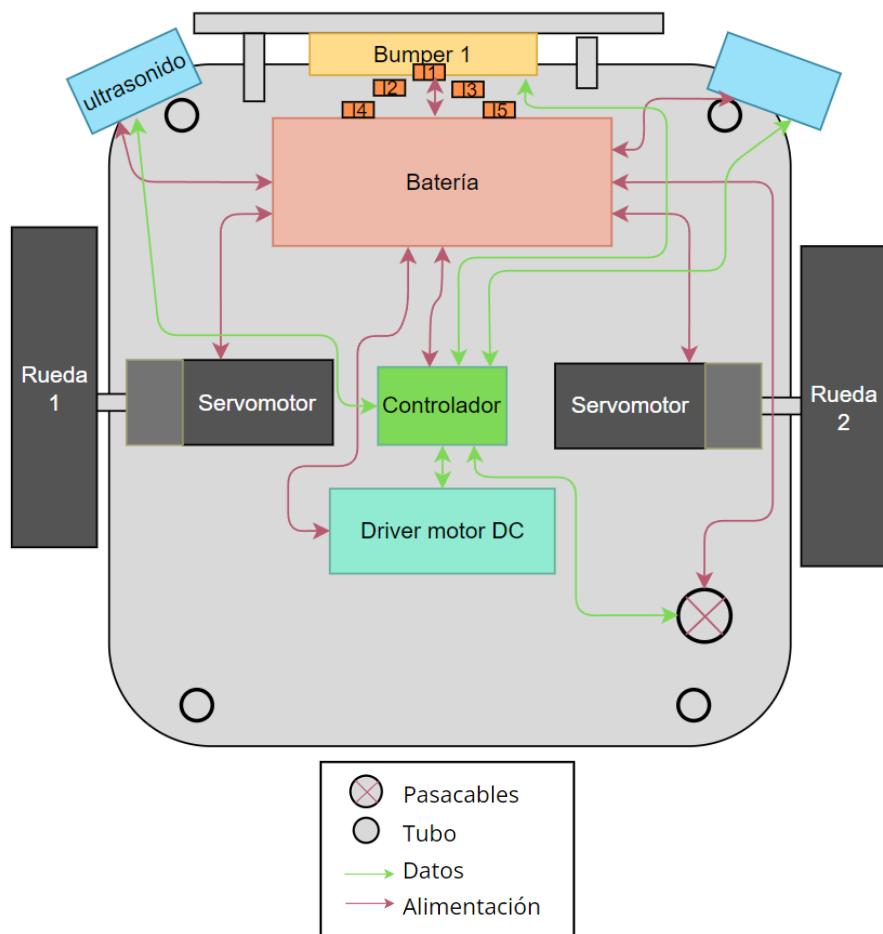


Ilustración 95. Layout planta 0

En esta planta se ubica la alimentación y la mayoría de los componentes electrónicos del robot camarero. También se ubican aquí los servomotores para la mover las ruedas motrices y también algunos de los sensores que se comunican con el exterior, como, por ejemplo, el ultrasonido, el sensor bumper, y los sensores infrarrojos para detectar la intensidad de luz.

En la leyenda, se hace referencia al pasacables, para distribuir la alimentación y la comunicación con el controlador a las plantas superiores. El tubo, será la estructura que separa una planta de otra, y se disponen de 5 de ellos.

En la planta 1 y 2 se dispone de espacios huecos para depositar los platos sucios, a continuación, se muestra cómo se reparte este espacio.

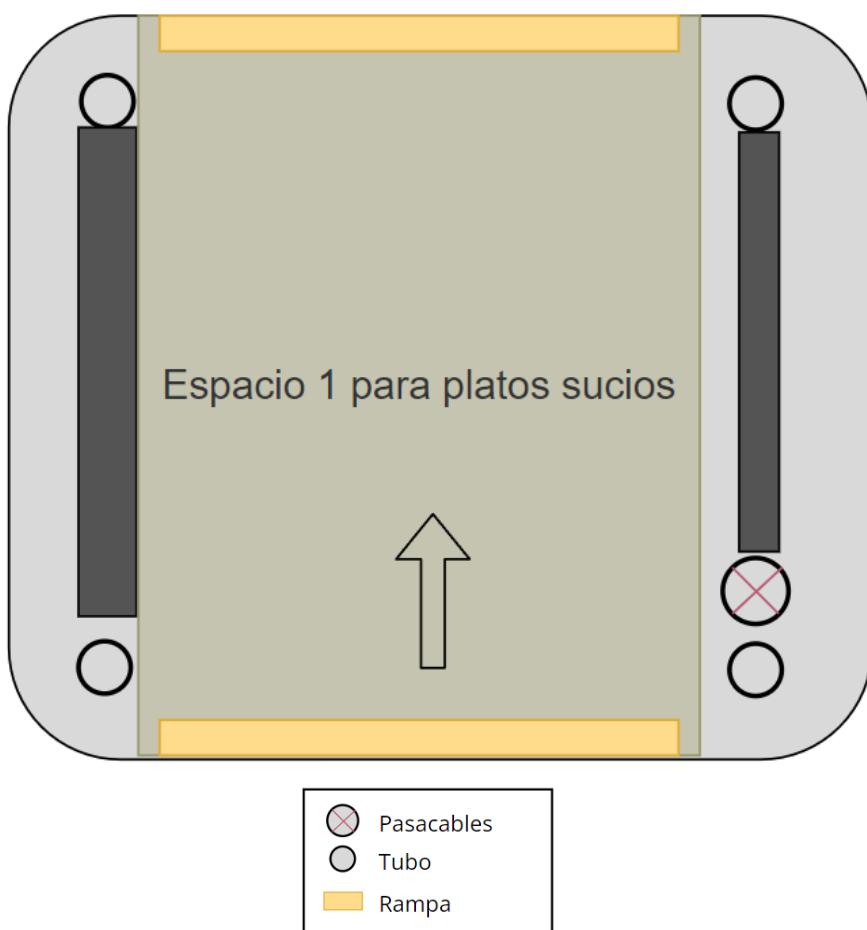


Ilustración 96. Layout planta 1 y 2

Al poseer de 2 plantas con 2 espacios para platos sucios cada uno, se disponen de 4 espacios para platos sucios en total. Se estos espacios, para cuando el cliente pueda depositar los platos sucios, o también puede servirle al trabajador del restaurante para depositar los platos y que el robot se dirija hacia la cocina.

La última planta, número 3, se encuentra el reto de elementos mecanismo y electrónicos. A continuación, se muestra la distribución de cada elemento.

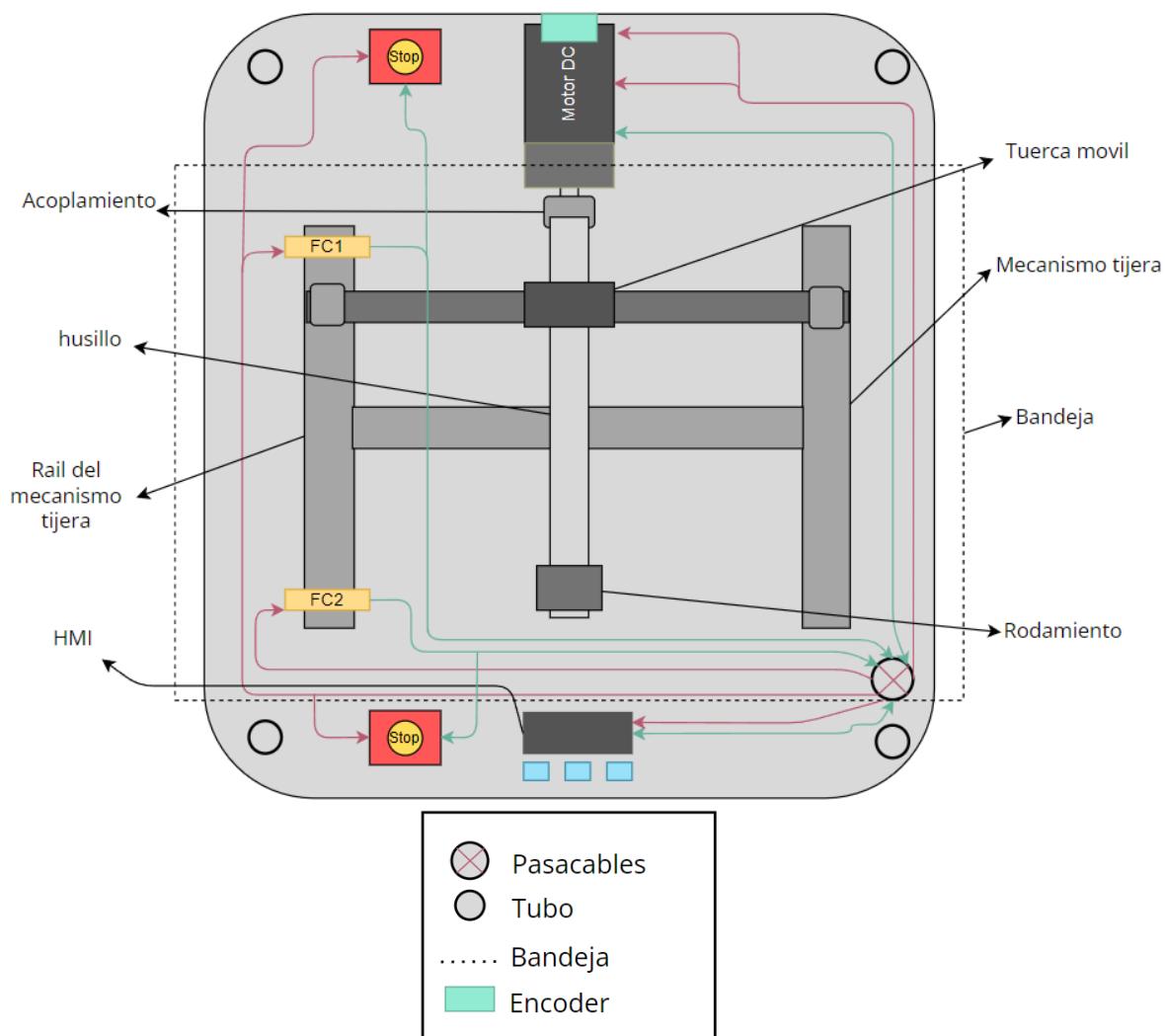


Ilustración 97. Layout planta 3

En la planta anterior se encuentran los siguientes elementos:

- El mecanismo de tijera,
- Los finales de carrera 1 y 2, para detectar los límites al mover el mecanismo de tijera.
- El motor DC, con el acoplamiento y el encoder
- HMI formada por un display unos botones.
- Las 2 setas de emergencia, para detener el robot en cualquier momento.

Y en la siguiente ilustración se muestra la electrónica que posee la bandeja para detectar la carga.

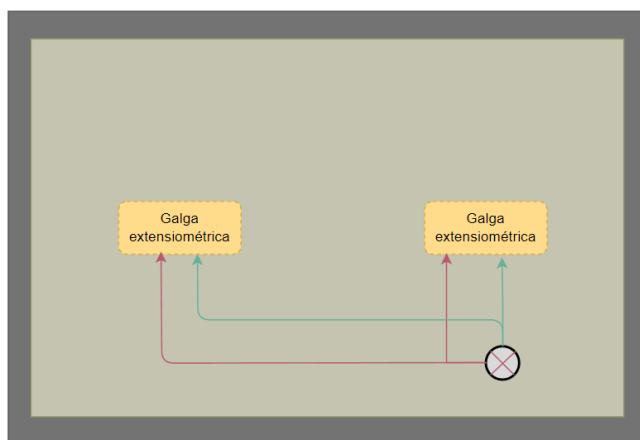


Ilustración 98. Bandeja del robot

La bandeja utiliza 2 sensores de presión para detectar cuando hay carga.

En este último layout se muestra la vista de perfil, el cual aporta una perspectiva para comprender mejor la estructura global del robot camarero.

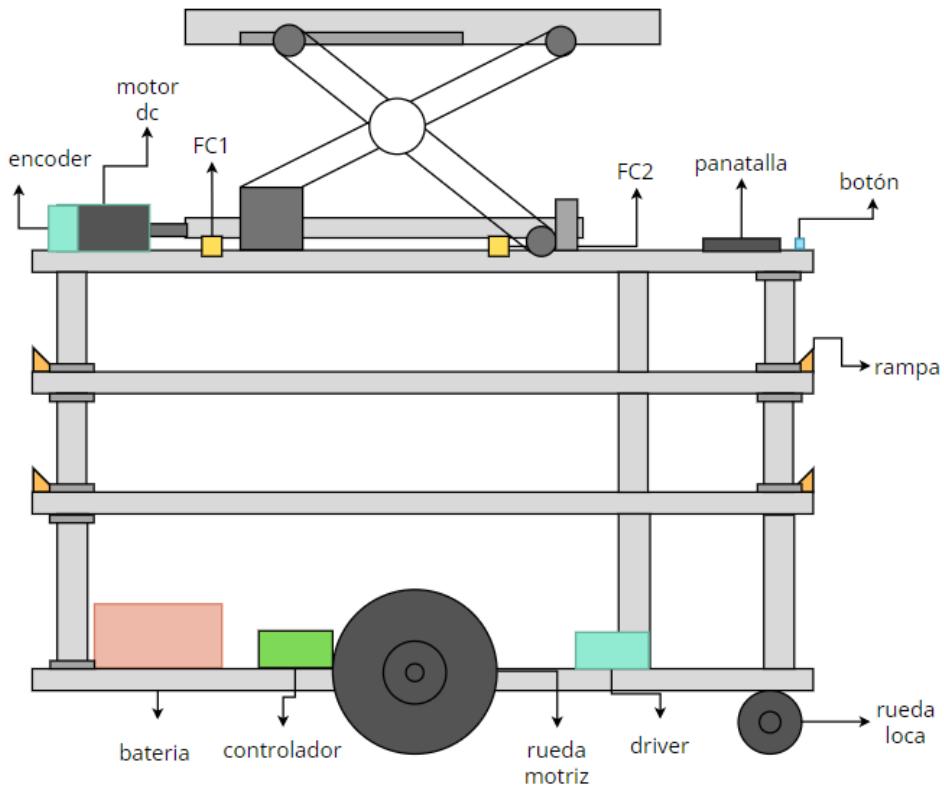


Ilustración 99. Layout perfil

2.1.4. Diagramas UML de Casos de Uso

En el siguiente diagrama se describe la interacción del robot con los elementos externos.

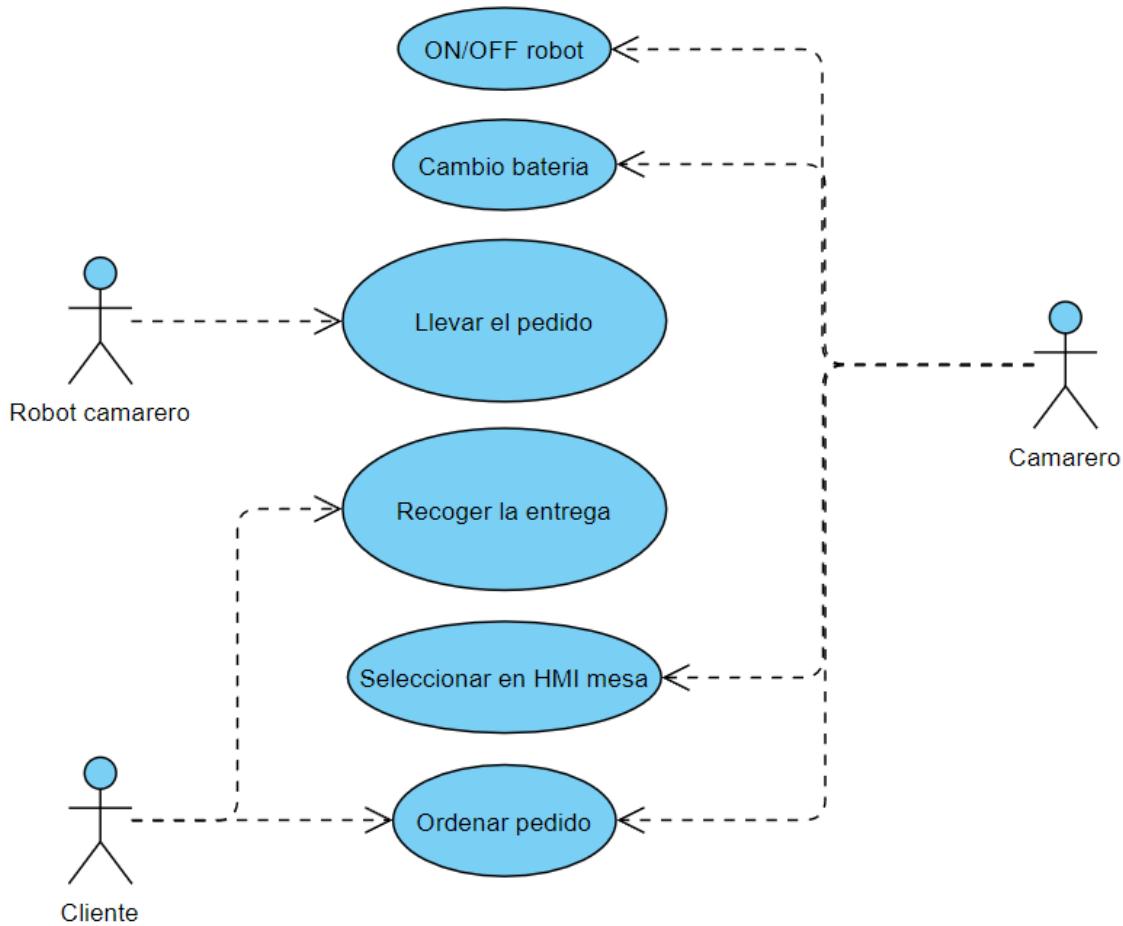


Ilustración 99. Diagrama de casos uso de interacción con el robot

En el diagrama anterior se puede ver que:

- El robot, realiza la entrega del pedido llegando la mesa seleccionada.
- El cliente, ordena u pedido al camarero, y recoge la bandeja cuando llega el pedido a su mesa.
- El camarero, se encarga del resto de las tareas, que son, encender le robot, cambio del batería, seleccionar la mesa ordenando el pedido en el robot.

Comportamiento anómalo

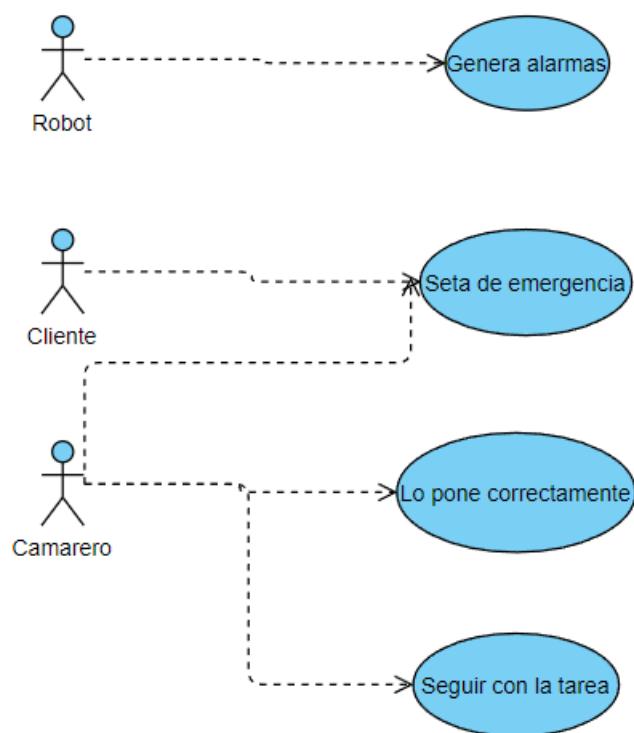


Ilustración 100. Diagrama comportamiento anómalo

- En este diagrama de uso exponemos el reparto de tareas que tiene que realizar cada actor, en caso de que el robot empiece a funcionar de forma anómala, el robot mediante el modo alarma y los displays genera una alarma visual para indicar que no funciona correctamente, el cliente o el camarero tienen la posibilidad mediante la seta de emergencia de detener al robot en caso de que este no responda, por su parte, el camarero también se encarga de ponerlo adecuadamente en caso de que se haya perdido o desorientado y de seguir con la tarea si el robot no responde.

Fallo en la carga

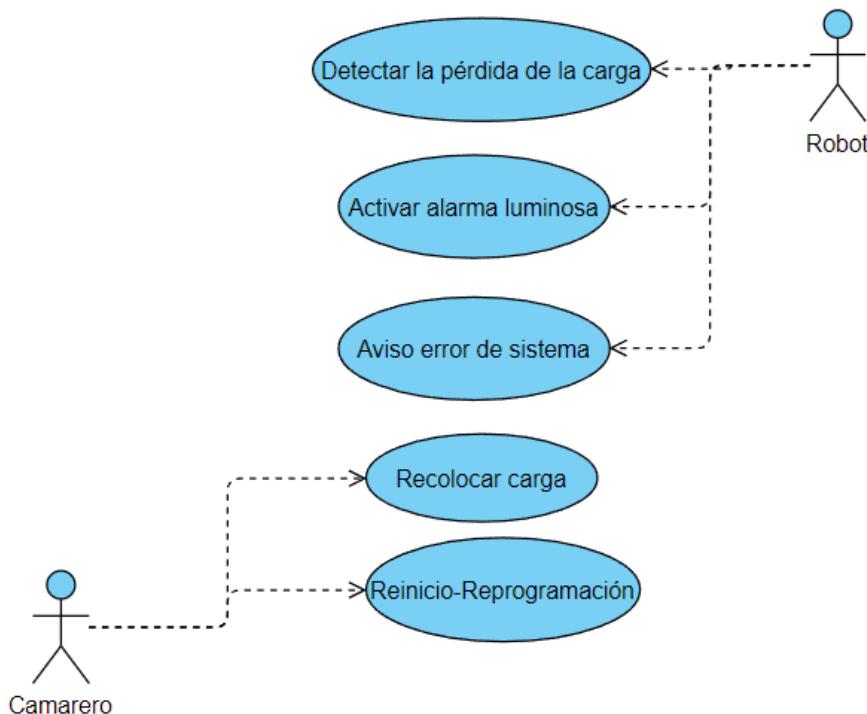


Ilustración 101. Diagrama fallo de carga

- En este diagrama de uso exponemos el reparto de tareas que tiene que realizar cada actor, en caso de que el robot pierda la carga. El robot mediante los sensores el robot detecta si a perdido las bandejas que lleva y activa una alarma luminosa y un aviso de error de sistema para que un camarero vaya a recolocar la carga que ha perdido y a reiniciar o reprogramar el robot para que vuelva a la ruta que debía realizar en un principio.

2.1.5. Diagramas UML de actividades

En el siguiente diagrama de actividades, se describe de forma general el funcionamiento del robot.

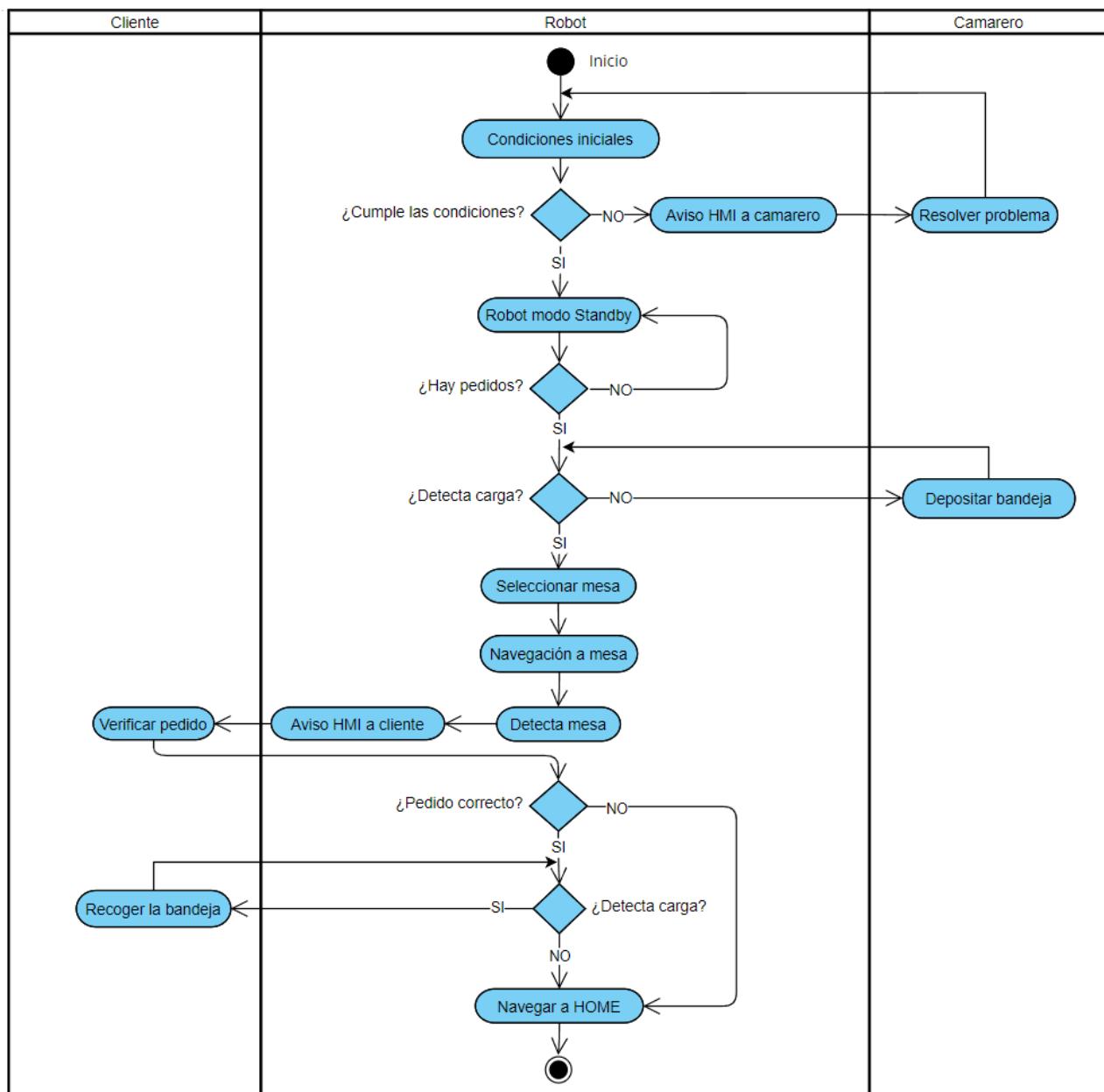


Ilustración 100. Diagrama de actividades del funcionamiento general

El diagrama anterior para describir el funcionamiento general del robot, se basa en las siguientes variables de estados:

Condiciones iniciales: seta de emergencia desactivada, nivel de batería correcta, sensor 1 detectando línea, sensor bumper sin estar activado.

Robot modo standby: mantiene los drivers, display y sensores desactivados.

Orden de pedidos: cuando el camarero acude a una mesa, y toma el pedido, se dirige a continuación a la cocina y deposita la bandeja sobre el robot.

Selección de mesa: tras depositar la bandeja, selecciona la mesa destino, y el robot se encarga de navegar a la mesa.

Navegación a mesa seleccionada: el robot, desde la posición HOME, se mueve hasta la mesa. En su camino se puede encontrar con obstáculos móviles, cuya respuesta será esperar un breve tiempo y continuar con su ruta. También puede existir obstáculos fijos, en los cuales, el robot tras esperar el tiempo asignado, activará la alarma lumínica hasta que el camarero quite el obstáculo y confirme la continuación de su tarea.

Detección de mesa: mediante el sensor bumper, el robot detecta que ha llegado a su destino. Y lanza un aviso por la HMI, el cual pregunta si el pedido es correcto. Si el pedido es correcto, manda otro, mensaje diciendo que recoja la bandeja, hasta que detecta que ya no hay ninguna carga. Tras levantar la bandeja, el robot vuelve a HOME. Si el pedido es incorrecto, vuelve a HOME directamente.

Navegación a HOME: El robot vuelve a navegar hacia HOME estableciendo el mismo comportamiento para gestionar los obstáculos. Cuando llega a la posición HOME, se enviará un mensaje por HMI, si la entrega se ha realizado con éxito o no.

En el siguiente diagrama se explica de forma detallada como se realiza la navegación del robot, a través de los sensores infrarrojos.

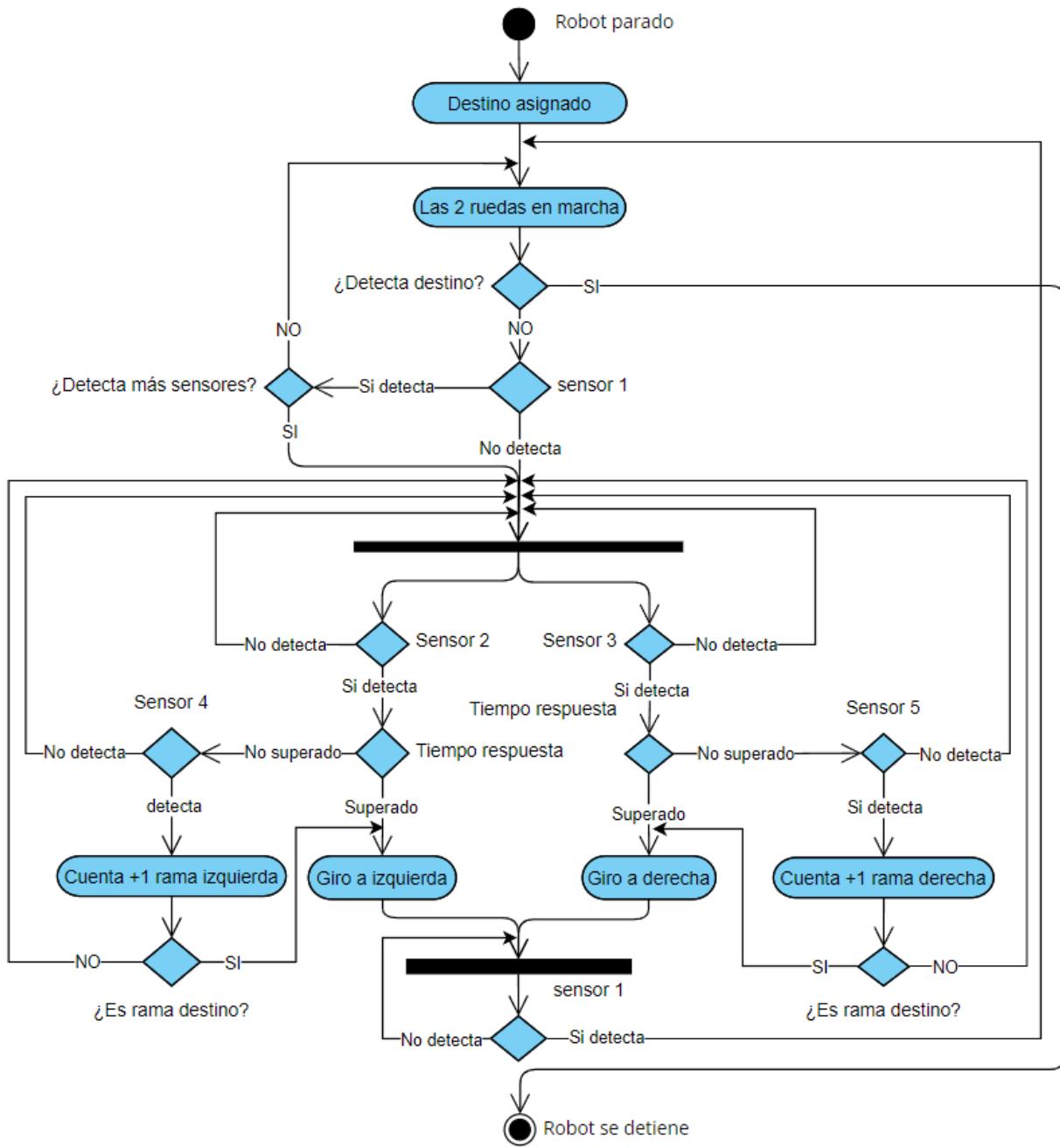


Ilustración 101. Diagrama de actividades de navegación del robot

En el diagrama anterior se puede ver que sucede mientras el sensor 1 detecta o no la línea, o si además se detectan otros sensores al mismo tiempo.

También se muestra en qué momentos el robot se desvía de su camino y cómo se reorienta de forma automática, tras esperar un tiempo.

A través de la siguiente ilustración, se puede poner un ejemplo de cómo el robot llegaría a su destino, a través del conteo de paso por rama izquierda o derecha.

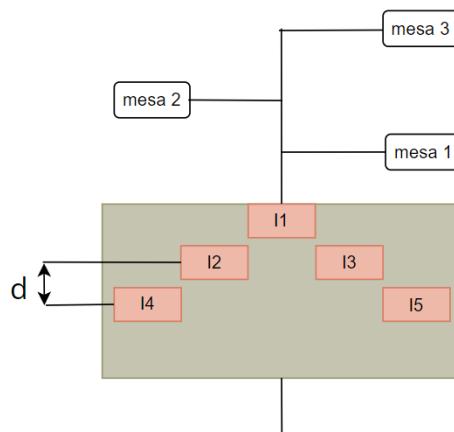


Ilustración 102. Diseño conceptual de las rutas posibles de ejemplo

Como se muestra en la ilustración anterior, se puede ver que el robot dispone de los 5 sensores infrarrojos, y la distancia "d" junto la velocidad del robot (conocida), con los cuales se calculará el tiempo que se nombra en diagrama de actividades, el tiempo de respuesta. El primer sensor detectará al iniciar la ruta. Ahora, si el destino se encuentra en llegar desde la posición HOME hasta la mesa 3, deberá detectar varias ramas laterales que deberá cruzar sin desviarse.

- **Ruta hasta mesa 3:** rama derecha + rama izquierda + rama derecha.

Y para volver a posición HOME, la ruta será:

- **Ruta hasta HOME desde mesa 3:** rama izquierda + rama derecha + rama izquierda

Pérdida de navegación

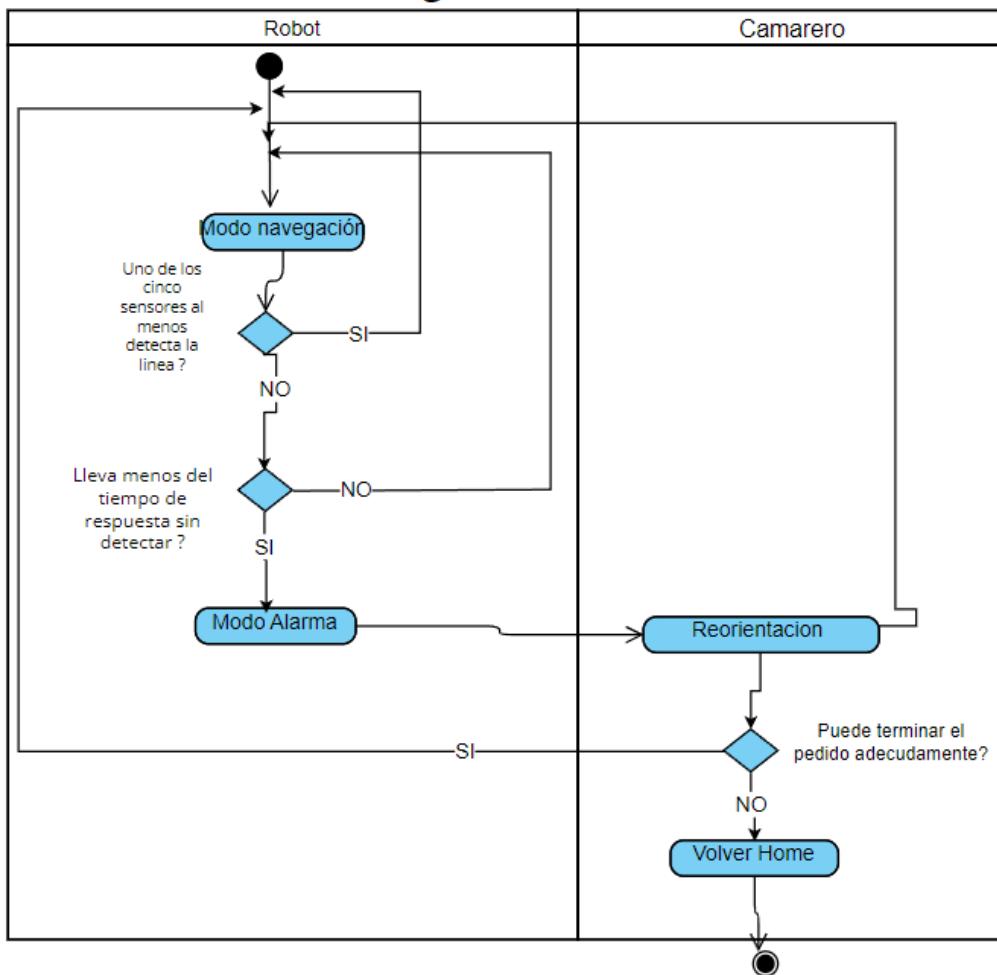


Ilustración 102. Diagrama pérdida de navegación

- En este diagrama de actividades hemos descrito el protocolo a seguir en caso de que el robot pierda el sentido de la navegación, definiendo dos estados, como el modo navegación, en el cual el robot se está desplazando hacia la mesa elegida y el modo alarma, en el cual se detiene y envía una alarma lumínica al camarero, que es el encargado de reorientarlo a la línea o mandarlo a mantenimiento, en caso de que tenga daños provocados por un golpe fortuito o por fallos del sistema. Del modo navegación pasa al modo alarma si ninguno de los cinco sensores detecta la línea durante un tiempo de respuesta, lo que quiere decir que ha sido desplazado por algún agente externo que ha hecho perder el seguimiento de la línea al robot.

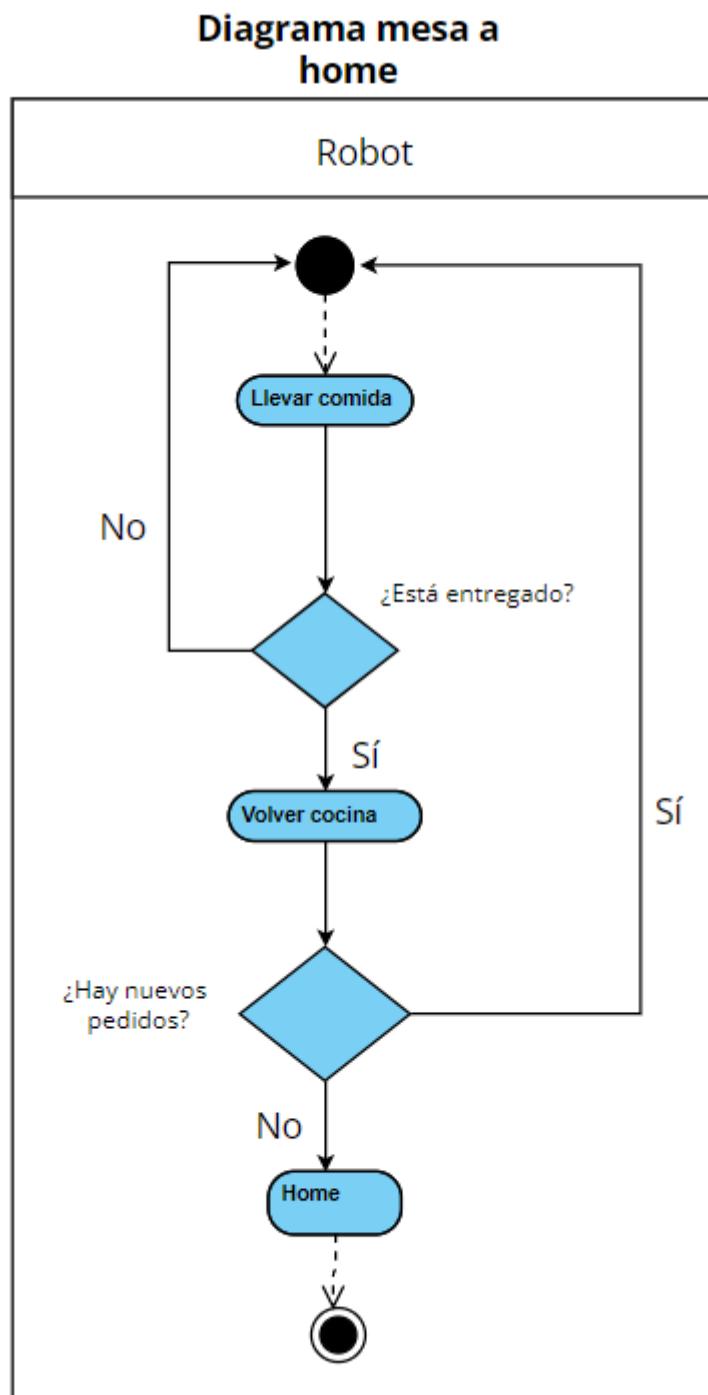


Ilustración 103. Diagrama mesa a home

- En este diagrama de actividades hemos descrito el protocolo que tiene que seguir el robot para ir desde la mesa a home. Este diagrama tiene tres estados, como son el llevar la comida, en el cual el robot irá a entregar la comida, el modo volver a la cocina, en el cual el robot se está desplazando hacia la cocina después de haber hecho la entrega y el modo home, en el

cual estará en la estación de carga hasta que se vuelvan a requerir sus servicios.

2.2. DISEÑO MECÁNICO

En este punto se irá explicando los diseños de algunos de los componentes más relevantes de la plataforma móvil.

2.2.1. *Diseño de ruedas motrices y elección de motor DC*

Para conocer los valores típicos de coeficiente de rozamiento de un neumático con diferentes tipos de pavimento, se muestra la tabla que aparece a continuación, en este caso interesa la superficie de cemento, y suelo mojado, ya que el suelo mojado es la situación más desfavorable.

POSIBLES VALORES DE LOS FACTORES DE ROZAMIENTO DEL PAVIMENTO PARA NEUMÁTICOS DE GOMA								
Descripción de la superficie	SECA				HÚMEDA			
	Velocidad:	Menos de 50 km/h.		Más de 50 km/h.		Menos de 50 km/h.	Más de 50 km/h.	
		De	a	De	a		De	a
Cemento								
Nuevo, liso	0.80	1.20	0.70	1.00	0.50	0.80	0.40	0.75
Usado	0.60	0.80	0.60	0.75	0.45	0.70	0.45	0.65
Pulimentado por el tráfico	0.55	0.75	0.50	0.65	0.45	0.65	0.45	0.60
Asfalto o alquitrán								
Nuevo, liso	0.80	1.20	0.65	1.00	0.50	0.80	0.45	0.75
Usado	0.60	0.80	0.55	0.70	0.45	0.70	0.40	0.65
Pulimentado por el tráfico	0.55	0.75	0.45	0.65	0.45	0.65	0.40	0.60
Con exceso de alquitrán	0.50	0.60	0.35	0.60	0.30	0.60	0.25	0.55
Adoquín								
Nuevo, liso	0.75	0.95	0.60	0.85	0.50	0.75	0.45	0.70
Pulimentado por el tráfico	0.60	0.80	0.55	0.75	0.40	0.70	0.40	0.60
Piedra compacta								
Nuevo, liso	0.75	1.00	0.70	0.90	0.65	0.90	0.60	0.85
Pulimentado por el tráfico	0.50	0.70	0.45	0.65	0.30	0.50	0.25	0.50

Ilustración 103. Valores rozamiento de pavimento para neumáticos de goma (*Tabla de factores de rozamiento del pavimento para neumáticos de goma*, s. f.)

Como el fabricante no proporciona el valor del coeficiente de rodadura (Crr), se ha encontrado una tabla de valores típicos, y en este caso se elige el de la 4 fila ya que es el que más se aproxima.

C_{rr}	μ_r	Descripción
0,0010 a 0,0024	0,5 mm	Ruedas de ferrocarril de acero sobre rieles de acero
0,0010 a 0,0015	0,1 mm	Rodamientos de bolas en acero sobre acero
0,0025		Neumáticos especiales Michelin para automóvil solar/eco-marathon
0,005		Rieles estándar de tranvía
0,0055		Neumáticos BMX de bicicleta usados para automóviles solares
0,010 a 0,015		Neumáticos ordinarios de automóvil sobre hormigón
0,030 a 0,035		Neumáticos ordinarios de automóvil sobre alquitrán o asfalto
0,3		Neumáticos ordinarios de automóvil sobre arena

Ilustración 104. Valores típicos del coeficiente de rodadura (Piro, s. f.)

A partir de aquí se conocen los siguientes datos:

- Carga máxima (considerando un coeficiente de seguridad), $Q = 20\text{kg}$
- Velocidad de desplazamiento, $v = 0.5\text{m/s}$
- Duración del arranque = 1s
- Diámetro de la rueda = 250mm = 0.25m
- Coeficiente de rozamiento, $\mu = 0.5$
- Coeficiente de rodadura, $C_{rr} = 0.010$

En la ilustración siguiente se puede ver los parámetros a tener en cuenta para el cálculo de momento motriz.

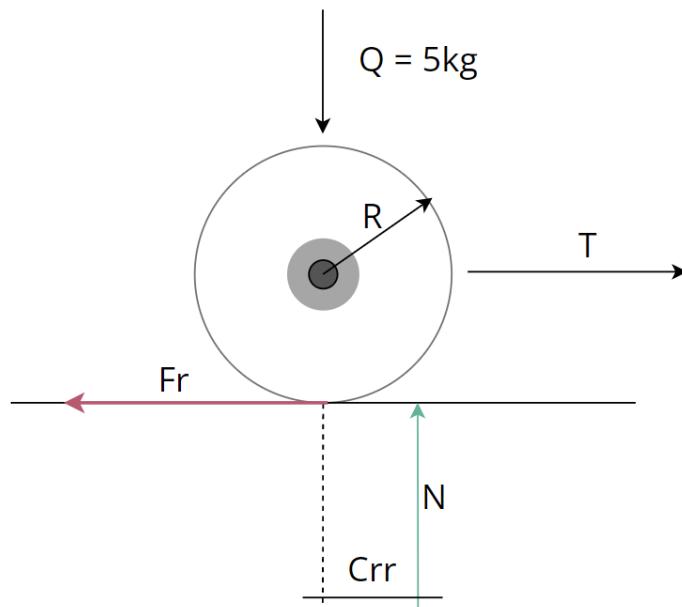


Ilustración 105. Esquema para cálculo de momento motriz

El momento motriz se obtiene con la siguiente fórmula

$$M_{motriz} = T * R = N * Crr + F_i * R$$

Con los datos ya conocidos se obtiene que:

- $M_{motriz} = N * Crr + F_i * R = (5\text{kg} * 9.8\text{m/s}^2) * 0.010 + (0.5\text{s}/1\text{s}) * 0.125 = 0.55 \text{ Nm}$

Para que la rueda pueda avanzar, se debe cumplir que la fuerza de rozamiento sea mayor a la de avance, es decir,

$$F_r > T$$

Donde T y Fr serán:

$$T = (\mu/R) = (0.5/0.125) = 4\text{N}$$

$$F_r = \mu * N = 0.5 * 5 * 9.8 = 24.5\text{N}$$

Se cumple la desigualdad.

Se busca un motor que puede superar el par generado en la rueda motriz.

En este caso, se elige el siguiente motor.



Ilustración 106. Motor DC con reductor 12v DC (apuntes proyecto integrado)

Este motor funciona a 12v DC y posee un par de 1Nm

Como el par del es superior al par del momento motriz, se elige este motor para las 2 ruedas motrices.

2.2.2. Taco para compensar la altura de la rueda loca

En el diseño de este robot, gracias a la altura de la rueda motriz, no se ha necesitado ningún taco, ya que la rueda loca es 2mm más grande que la altura que adopta la rueda motriz desde el suelo hasta el eje del motor.

Por lo tanto, lo único que se hará es eliminar 3mm de los 6mm que tiene la tabla base, con 2 objetivos:

- Compensar la altura con las ruedas motrices
- Soldar una chapa de acero soldable en la parte superior de la rueda loca, para atornilla run tornillo de M4, y poder sujetar la rueda a la tala base.

En la siguiente ilustración se puede ver la alineación de las ruedas.

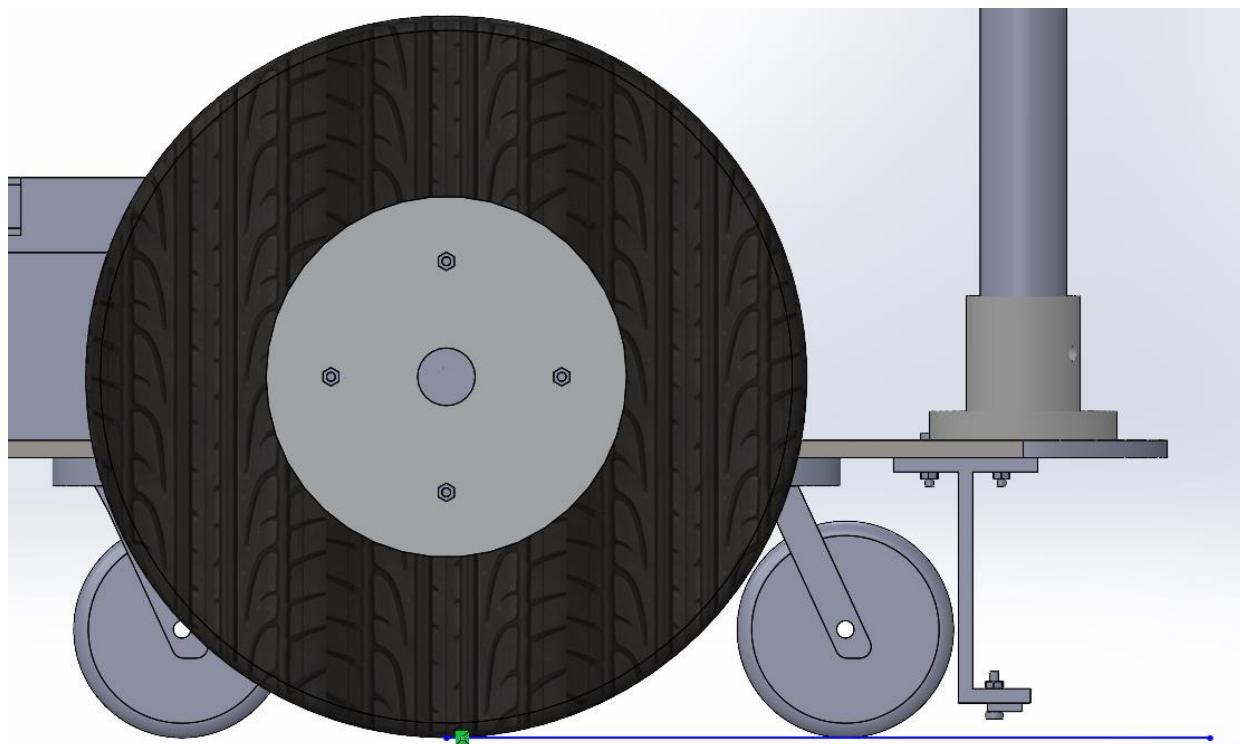


Ilustración 107. Vista de la alineación de ruedas

Se puede ver en más detalle donde se encuentra la chapa de unión en los planos de sección.

2.2.3. Esfuerzo en tubos (método numérico)

Se ha elegido un tubo para separar las planchas de acero, con las siguientes características:

- Diámetro exterior, $D = 30\text{mm}$
- Diámetro interior, $d = 26\text{mm}$
- Material: aluminio 6063
- Espesor, $e = 4\text{mm}$
- Altura, $h = 300\text{mm}$

Nota: debido a que hay 2 tipos de tubos (de 300m, y 150mm), se ha elegido el tubo, que se encuentra en la situación más desfavorable, tanto en dimensiones como ubicación en el robot.

Se procede a verificar si el tubo soporta la carga a la que se somete mediante el método de cálculo numérico.

En la siguiente ilustración se la pieza en planta y el alzado.



Ilustración 108. Tubo separador de 30x26x300

Se procede a seleccionar el material de aluminio 6063, y se obtiene las siguientes características mecánicas.

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	6.9e+10	N/m ²
Coeficiente de Poisson	0.33	N/D
Módulo cortante	2.58e+10	N/m ²
Densidad de masa	2700	kg/m ³
Límite de tracción	90000000	N/m ²
Límite de compresión		N/m ²
Límite elástico	50000000	N/m ²
Coeficiente de expansión térmica	2.34e-05	/K
Conductividad térmica	218	W/(m·K)
Calor específico	900	J/(kg·K)
Cociente de amortiguamiento del material		N/D

Ilustración 109. Características mecánicas de aluminio 6063

Se somete al cálculo numérico identificando la parte fija y la carga que soporta.

Donde los vectores en verde identifican la parte fija, y en morado la carga externa, en este caso, se somete a una carga de 15kg dividido para 4 tubos, es decir,

$$(15\text{kg}/4) * 9.8 = 36.75\text{N}$$

En la simulación se debe mallar la pieza adecuadamente, en este caso de 1mm para tener en cuenta los 2 agujeros de 4mm que posee la pieza.

Al elegir el criterio de falla Von Mises, se obtiene los siguientes resultados de tensiones (primer análisis), y de desplazamiento (segundo análisis).

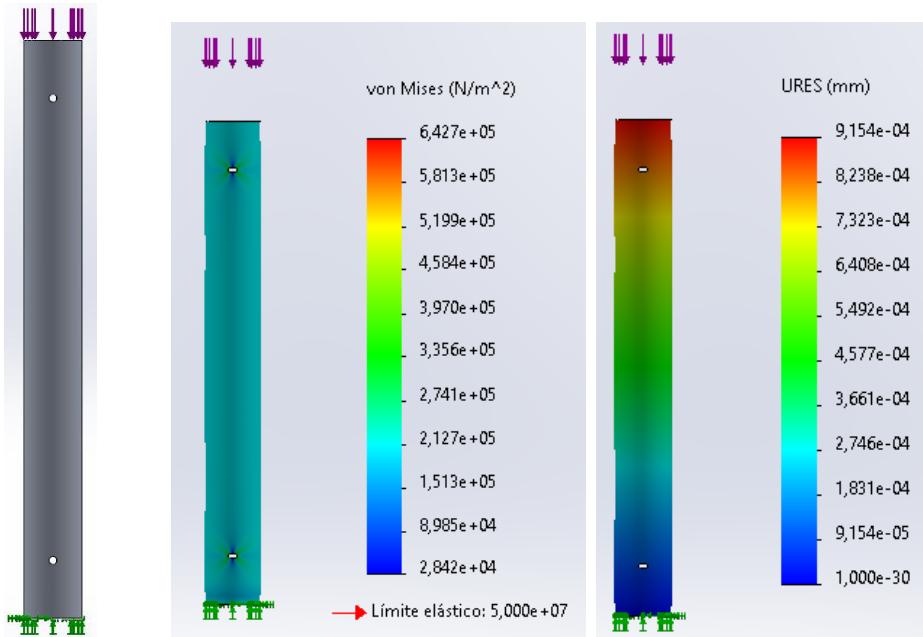


Ilustración 110. Análisis estático de tubo separador.

- Tensiones: Al visualizar el color de la pieza, se puede distinguir las zonas más afectadas debido a la carga, siendo estas los agujeros de 4mm, ya que hay una concentración de tensiones, sin embargo, según la escala de tensiones mostrada y el límite elástico, la pieza puede soportar la carga a la que se somete.
- Desplazamientos: se obtiene en la parte superior un desplazamiento máximo de $9.15 \times 10^{-4}\text{mm}$, el cual es prácticamente despreciable.

Por lo tanto, se ha hecho una buena elección con las dimensiones y el material del tubo.

2.2.4. Esfuerzos en tubos (cálculo a mano)

Se identifica la sección más desfavorable, el cual se encuentra en los agujeros a los extremos del tubo, el cual se encuentra a 272 mm de donde se aplica la fuerza.

Donde los vectores en verde identifican la parte fija, y en morado la carga externa, en este caso, se somete a una carga de 15kg dividido para 4 tubos, es decir:

$$(15\text{kg}/4) * 9.8 = 36.75\text{N}$$

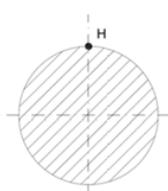


Las fuerzas que soportara el tubo son el esfuerzo axial que provoca F sobre el tubo y el momento de inercia que experimentara el agujero del tubo ($F=N$)

$$\sigma = N/A = 36,75 / (3,1416 * (0,02)^2) = 29244,65 \text{ Pa}$$

$$M = F \cdot x = 36,75 * 0,272 = 10 \text{ N/m}^2$$

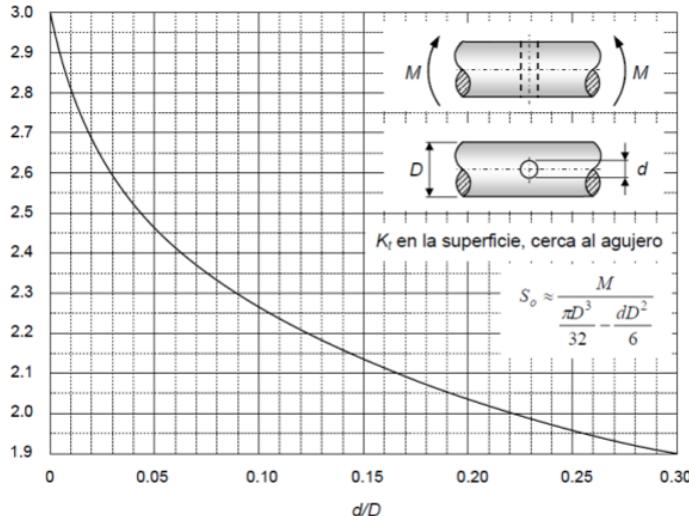
Identificamos el punto de la sección que más sufriría el ser el punto H



$$\sigma = \frac{(M \cdot c)}{I} = \frac{4M}{3.14 * 0.02^3} = 1,59M \text{ Pa}$$

$$1,59 \text{ M Pa} + 29244 = 1,619 \text{ M Pa}$$

A estas fuerzas les tenemos que sumar el efecto del concentrador de tensiones que tiene sobre ambas fuerzas, el tipo de concentrador de tensiones es un eje de sección circular con agujero sometido a flexión.



Eje de sección circular con agujero pasante (apuntes cálculo y diseño de máquinas)

$$D/d = 4/30 = 0,133$$

$$K_t = 2,2$$

Ahora procedemos a calcular el índice de sensibilidad de la entalla, con la siguiente formula:

$$q = \frac{1}{1 + \sqrt{\frac{a}{r}}} = 0,9146$$

$$K_f = 1 + q(K_t - 1) = 1 + 0,9146(2,2 - 1) = 2,0975$$

$$\sigma_{\text{correg}} = 2,09 * 1,61 \text{ MPa} = 3,36 \text{ MPa}$$

Por las especificaciones del aluminio elegido, este material se encuentra muy holgadamente dentro de los límites y no hay duda que los tubos aguantaran el peso.

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	6.9e+10	N/m ²
Coeficiente de Poisson	0.33	N/D
Módulo cortante	2.58e+10	N/m ²
Densidad de masa	2700	kg/m ³
Límite de tracción	90000000	N/m ²
Límite de compresión		N/m ²
Límite elástico	50000000	N/m ²
Coeficiente de expansión térmica	2.34e-05	/K
Conductividad térmica	218	W/(m·K)
Calor específico	900	J/(kg·K)
Cociente de amortiguamiento del material		N/D

Por las especificaciones del aluminio elegido, este material se encuentra muy holgadamente dentro de

2.2.5. Diseño de sujeción de tubos

La misión de estos elementos es:

- Sujetar los tubos mediante el paso forma perpendicular de un tornillo en la parte inferior y superior del tubo.
- Une las diferentes tablas de acero necesarias.

En la siguiente ilustración se muestra la sujeción de tubos de soporte.

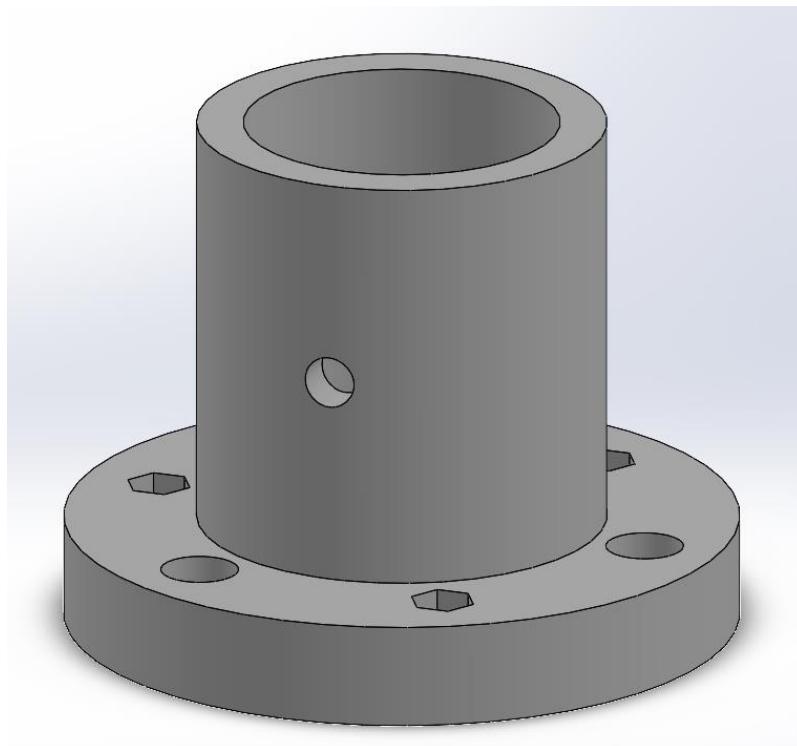


Ilustración 111. Diseño sujeción de tubos

Se puede ver que posee 6 agujeros:

- 3 son para roscar los tornillos por debajo de la tabla de acero, donde también se podrá incluir las tuercas para fijar dicha tuerca. Estos 3 agujeros permiten sujetar una sola sujeción.
- 3 para roscarlos por encima, en estos, los agujeros son más grandes que las cabezas de los tornillos, con el objetivo que atravesar la sujeción, y se consigue fijar a la tabla de acero y la siguiente sujeción.

En las siguientes ilustraciones se muestran la unión de: sujeción 1 - tabla de acero
– sujeción 2

Donde se comprende mejor el sentido de los 6 agujeros.

En la siguiente ilustración se puede ver el sentido en el que se introducen los tornillos. Las tuercas permitirán fijar el tornillo, y retener las posiciones de los componentes del ensamblaje.

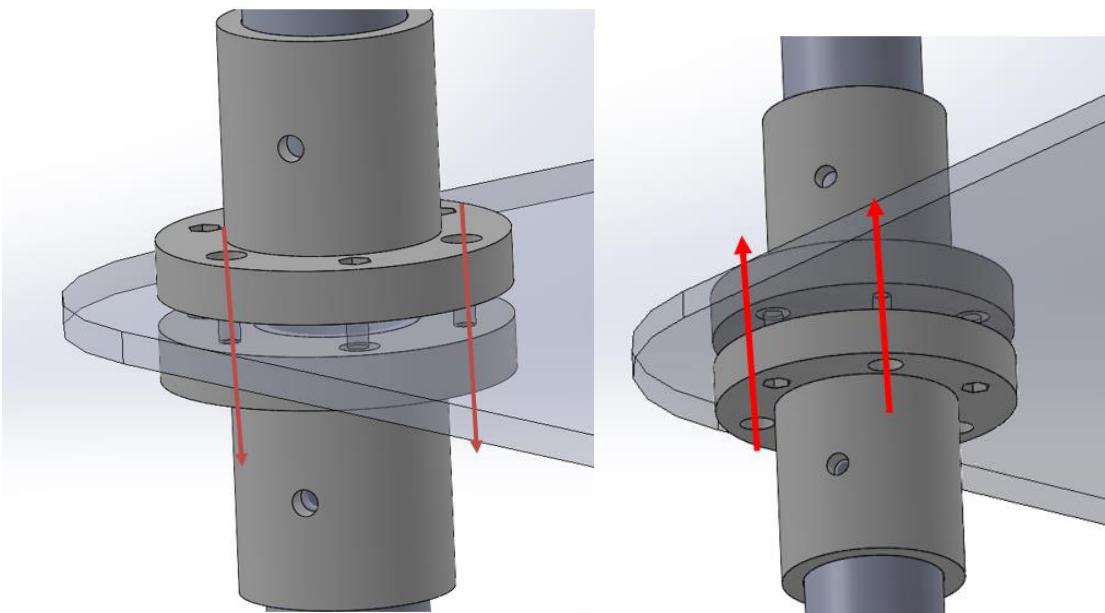
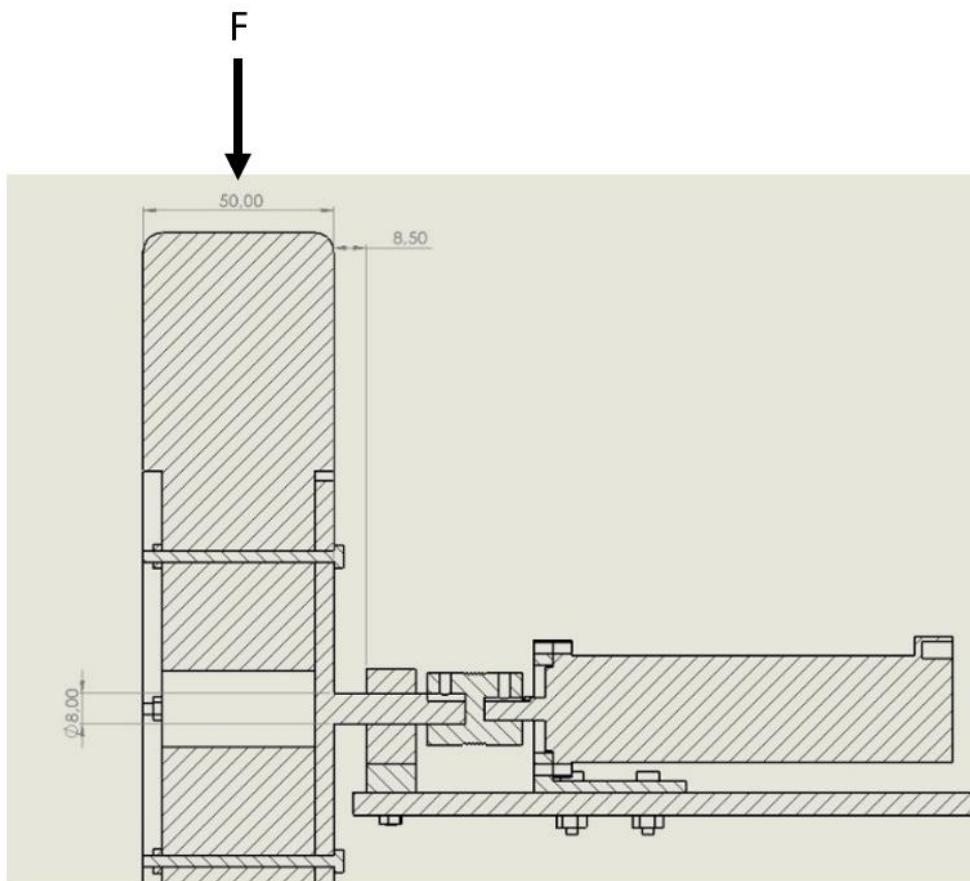


Ilustración 112. Ensamblaje sujeción de tubos

2.2.6. Esfuerzo en eje de rueda motriz

Queremos calcular si el eje de la rueda motriz aguanta el peso de la estructura más un peso adicional que simula la carga de los platos que se transportan en la bandeja:



Calculamos el momento de inercia como Fuerza por distancia, suponiendo un peso de 20 kg aplicándose encima de la rueda:

$$F = 20 * 9,8 = 196 \text{ N}$$

$$M = F.d = 196 * 0.0085 = 1,666 \text{ N/m}$$

$$\sigma = \frac{(M.c)}{I} = \frac{4M}{3,14 * (0,008)^3} = 4,1 \text{ MPa}$$

Es una tensión bastante pequeña que casi cualquier material es capaz de soportar, por lo que el robot y el eje no tendrán ningún problema en hacerlo.

2.2.7. Diseño de estructura sensores infrarrojos

Se trata de una pieza el cual no está soportando grandes cargas, por lo tanto, su misión será básicamente sujetar y poder enganchar los sensores de forma fácil.

En la siguiente ilustración se muestra la estructura de sujeción de sensores infrarrojos.

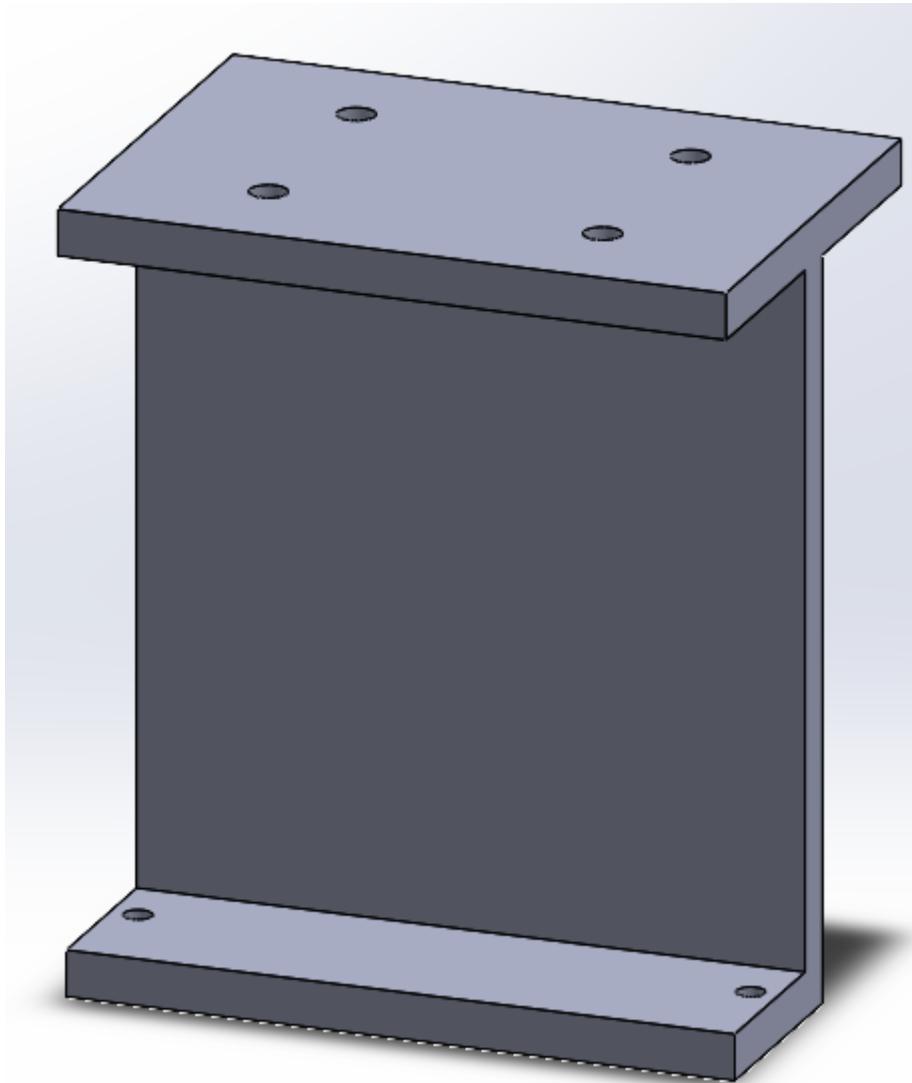


Ilustración 113. Sujeción de sensores infrarrojos

2.2.8. Diseño de estructura sensores

ultrasonidos

Se trata de una pieza el cual no está soportando grandes cargas, por lo tanto, su misión será básicamente sujetar y poder enganchar los sensores de forma fácil.

En la siguiente ilustración se muestra la estructura de sujeción de sensores infrarrojos.

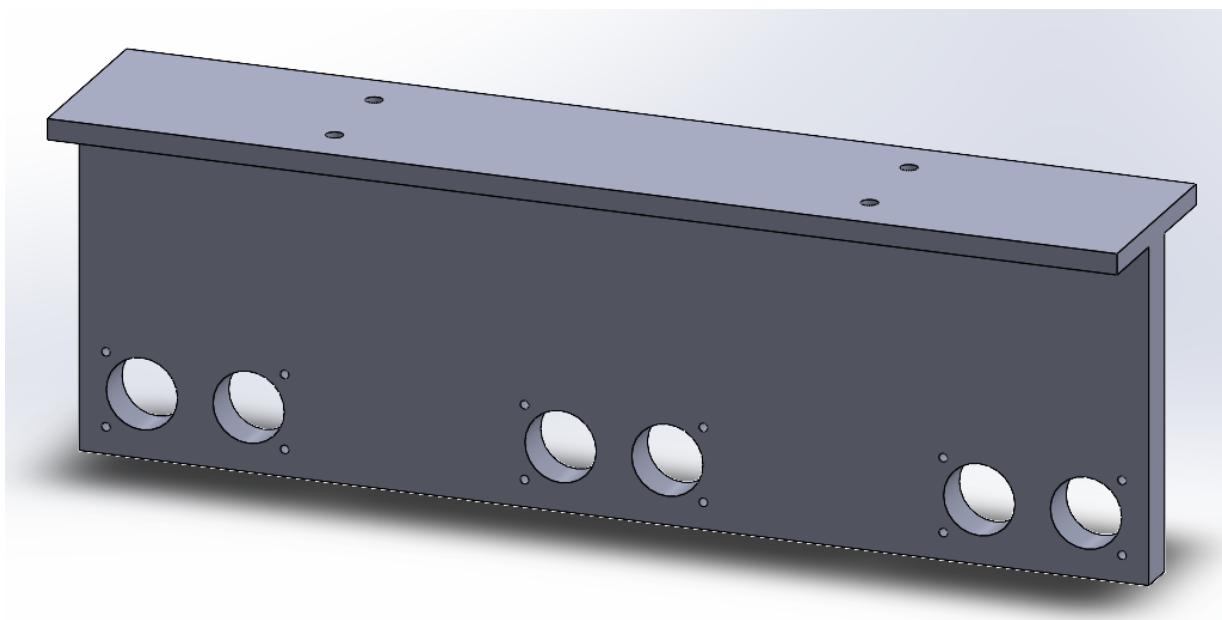


Ilustración 114. Sección de sensores ultrasonidos

Como se puede ver en la ilustración anterior, se ubicarán 3 sensores para cubrir al menos 180º de "visión".

2.2.9. Diseño de la sujeción para batería

Su misión es mantener fija la posición de la batería en la parte inferior del robot, ya que es un elemento donde el peso si es relevante.

En la siguiente ilustración se puede visualizar el elemento que mantiene fijo la posición de la batería.

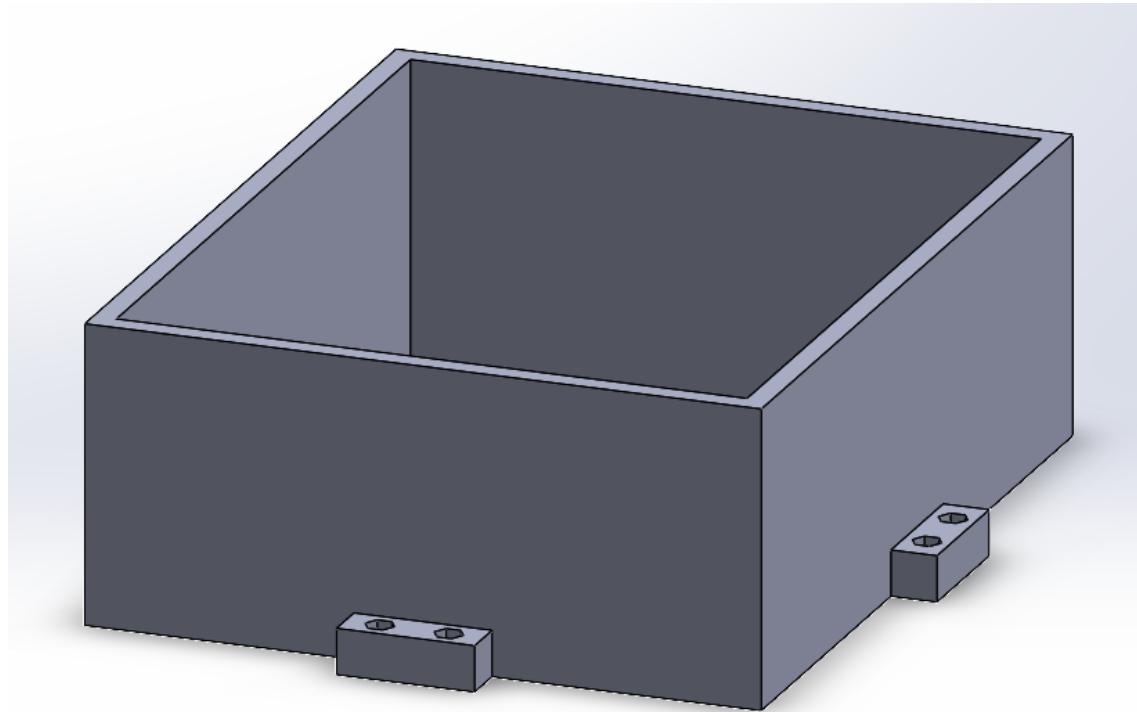


Ilustración 115. Sujeción de batería

Como las dimensiones de la estructura son muy ajustadas a las dimensiones de la batería, la altura de esta sujeción está por encima que la altura de la batería en posición horizontal, y considerando el propio peso de la batería, la batería podrá permanecer en su ubicación correspondiente.

Además, se dispone de espacio suficiente para conectar los bornes de la batería, los cuales se muestran en uno de los planos.

2.2.10. *Ensamblaje final*

A continuación, se muestran varias vistas del Robot camarero, para visualizar la forma final del robot, así como la ubicación de cada uno de los componentes.

Se ha utilizado el software KeyShot, para darle un perspectiva más realista de los materiales.

En la siguiente ilustración se ve la vista dimétrica del robot.

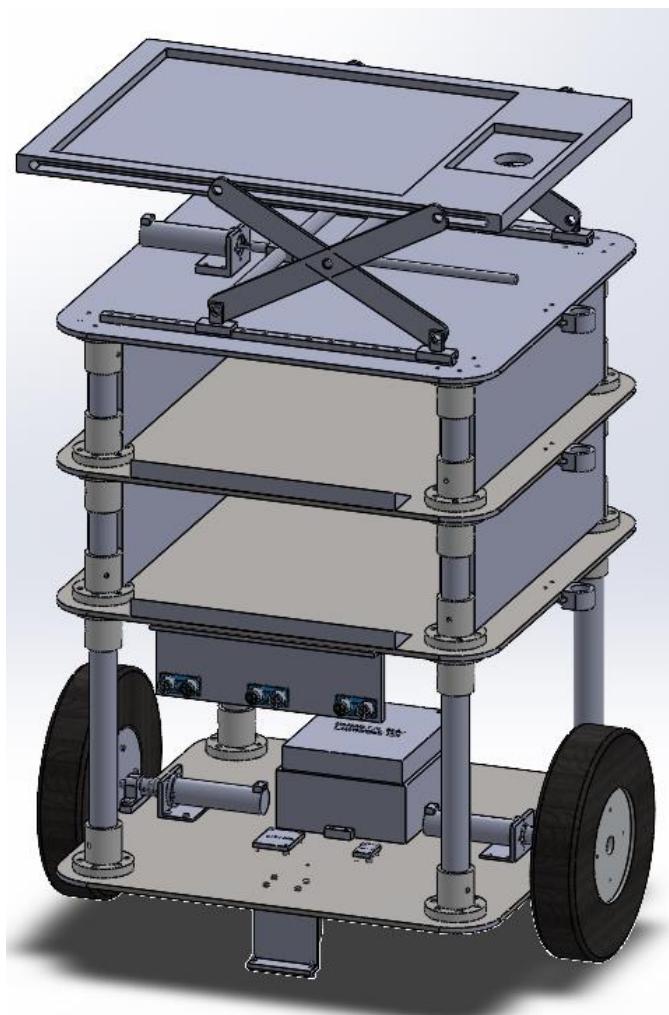


Ilustración 116. Vista dimétrica del robot camarero

En la siguiente ilustración se puede ver la vista en alzado.



Ilustración 117. Vista en alzado robot camarero

En la siguiente ilustración se puede ver la vista en perfil.



Ilustración 118. Vista en perfil robot camarero

Y finalmente, se puede ver en la siguiente ilustración las dimensiones del robot, junto a una mesa de aproximadamente 1m de alto.

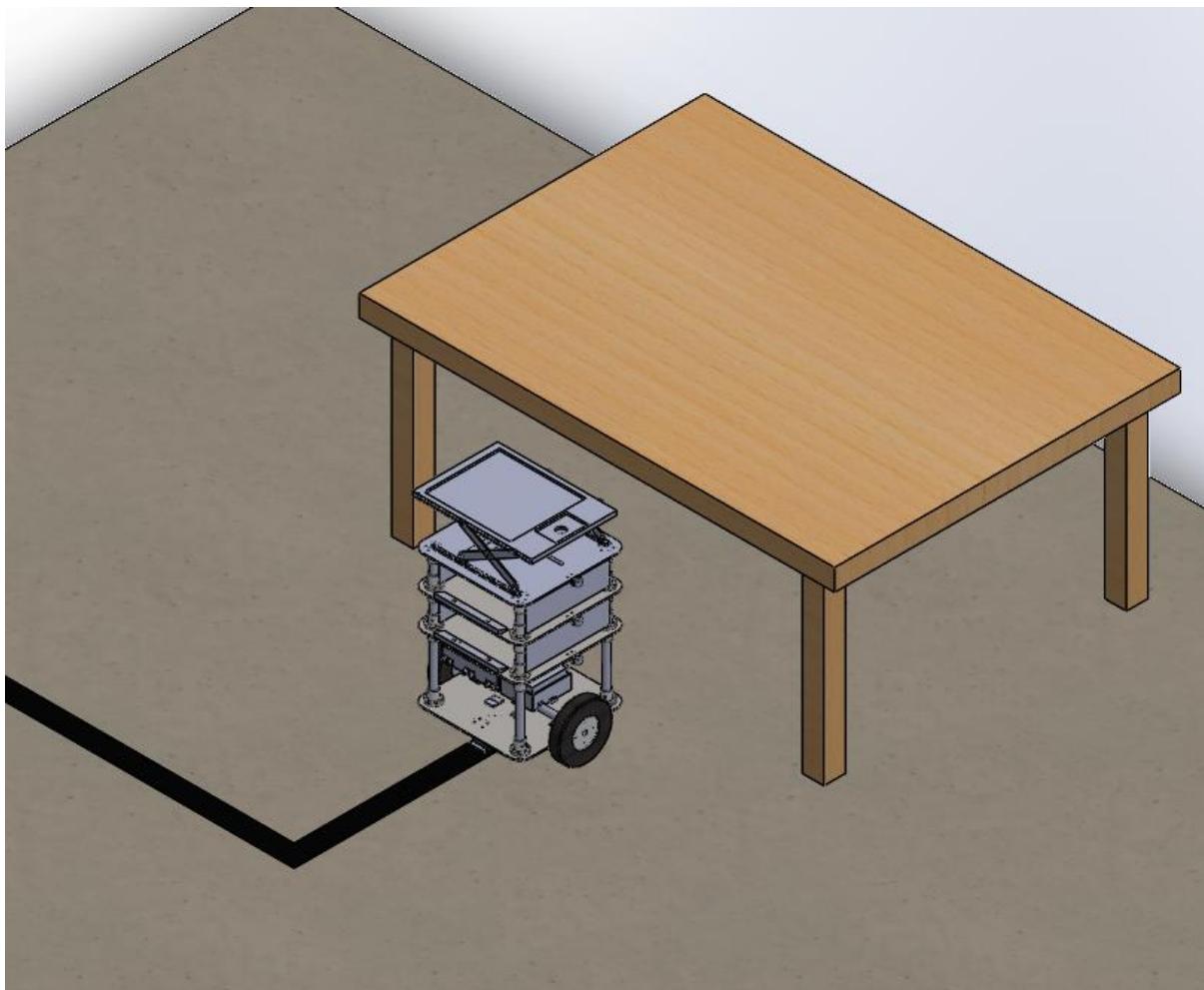


Ilustración 119. Vista isométrica del entorno de trabajo del robot

2.3. DISEÑO ELÉCTRICO

En el centro del esquema hemos colocado una representación de la PCB donde se encuentran la fuente Buck y el microcontrolador, a los que van unidos el resto de los componentes del circuito.

En la parte derecha del esquema se encuentran los leds, los tres están dentro de una PCB, la cual va conectada a la PCB principal. Debajo hemos colocado los motores de las ruedas motrices, estos motores van directamente conectados a la PCB donde se encuentra el microcontrolador y la fuente Buck.

En la parte superior del esquema hemos colocado los tres ultrasonidos cuyas salidas van a una placa PCB y de ahí van a otra PCB donde se encuentra el microcontrolador y la fuente Buck.

- Leds: Neopixel LED Ring 16-LED
- Motores: 28PA51G
- Ultrasonidos: ultrasonido 2805REV

En la parte arriba a la derecha , podemos ver una PCB dedicada al elevador, con sus distintos conectores, que incluyen cuatro alimentaciones de 5V y GND para las galgas, así como dos finales de carrera con cuatro conectores, los cuales nos permitirán saber cuándo se ha llegado a la posición de la tijera deseada y el motor DC con reductor que ya incluye el encoder y el driver correspondiente, con 6 pines, dos del motor, dos de alimentación (12 V y GND) y otros dos de datos, a continuación procedemos a describir los distintos componentes comerciales que vamos a utilizar:

- Galga extensiométrica: modelo FSR402
- Finales de carrera: SPDT-NA/NC
- Motor: 28PA51G
- Driver: MC33926

Abajo a la derecha, hemos puesto un Display con dos botones, que sigue un protocolo I2C, con cuatro pines, uno SDA, otro SDA, otro de 5V y otro de tierra, a eso hay que sumarle otros dos conectores para los botones.

- Display: modelo ERM2004FS-2
- Botones: GTIWUNG 12

En el centro abajo podemos ver el subsistema de alimentación con dos conectores de recarga, dos para la batería (+ y -) que ambos están unidos al sistema BMS, este unido en serie se encuentra el relé + contactor y unido a través de una corriente pequeña al micro, están las setas de emergencia.

- Batería: modelo YB14L-A2
- BMS: A70122055UK
- Relé: 4260581550202
- Seta de emergencia: XB4BS8444

En la parte izquierda aparecen los cinco sensores de ultrasonidos de tres terminales unidos a un peine de sensores, el cual es para 8 sensores, con 10 cables unidos a la PCB general, 8 para cada sensor + 2 de alimentación, pero como nuestro robot solo tiene 5 sensores, solo necesitamos unir 7 conectores del peine a la PCB.

- Peine de sensores: QTR-8A

En las siguientes páginas se muestran partes de los esquemas eléctricos, ya que, al copiar y pegar el plano, no es posible distinguir con claridad los pines de cada conector.

En la siguiente ilustración se puede ver los conectores de la PCB principal, la cual controla la plataforma móvil, y se conecta con el resto de las PCBs.

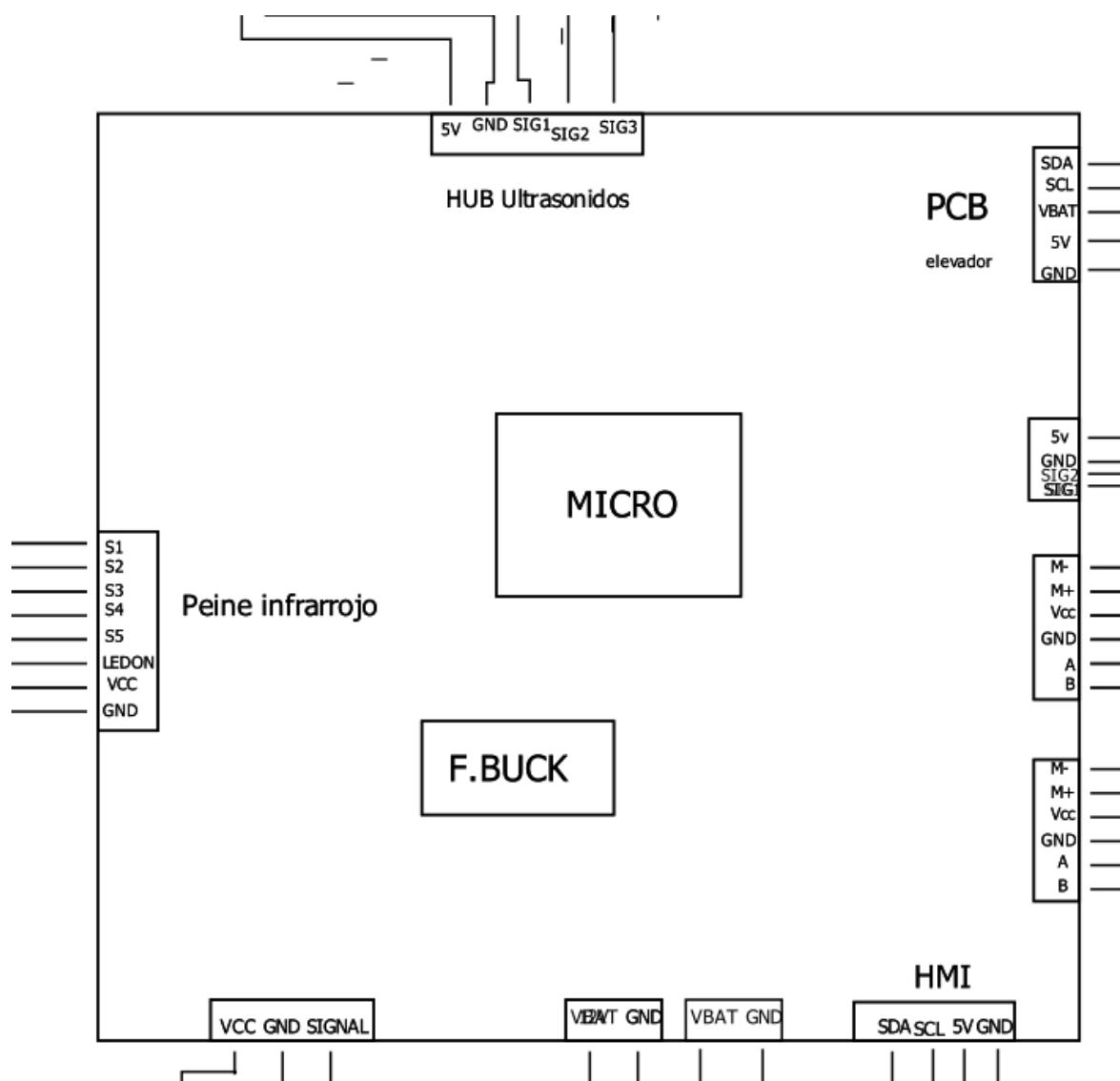


Ilustración 120. Conectores de la PCB principal

Se puede ver que los elementos externos que se conectarán mediante conectores JST que se muestran junto al contorno de la PCB.

En la siguiente ilustración se pude el sistema de alimentación y sistema de paro de emergencia, mediante un control por hardware.

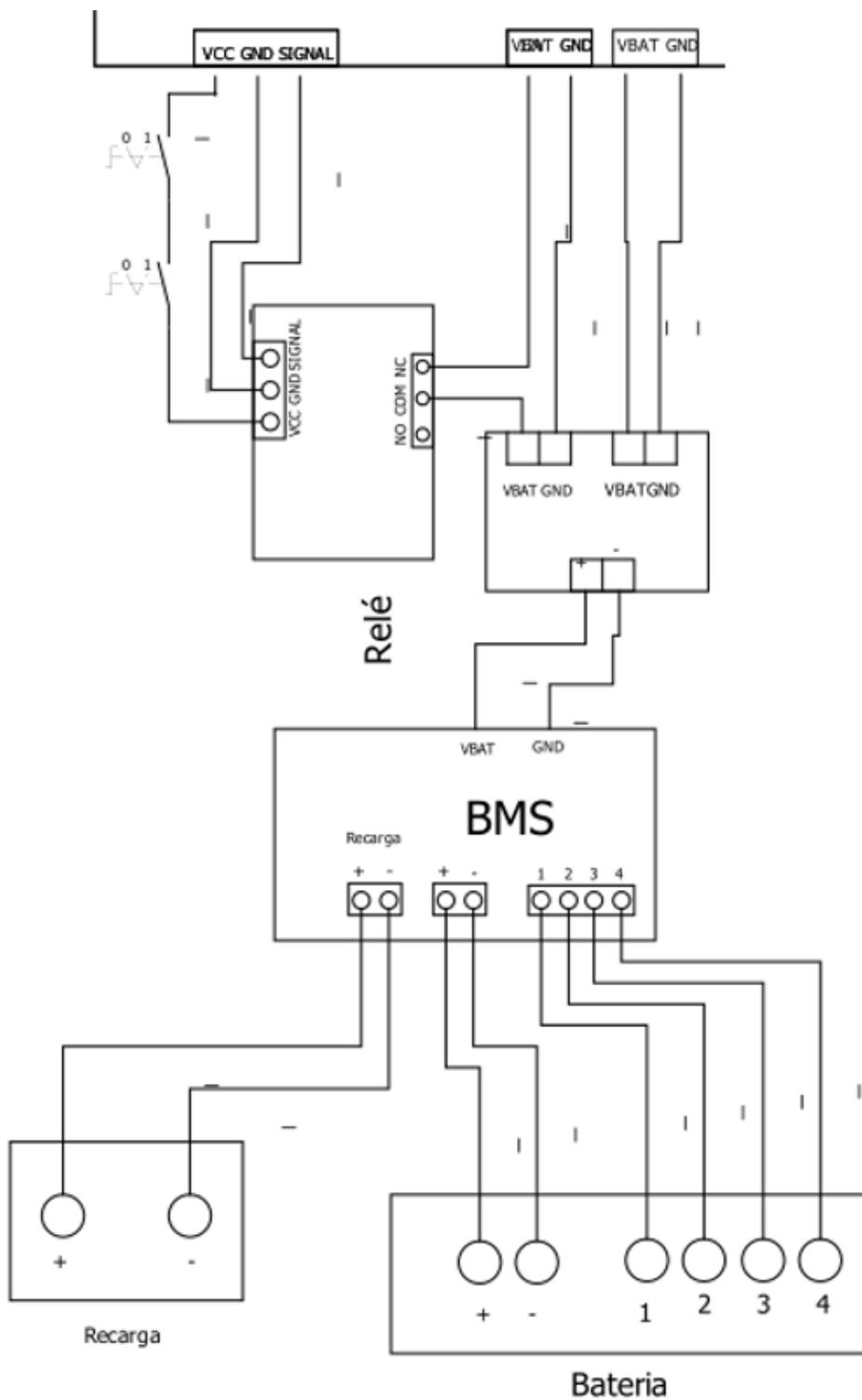


Ilustración 121. Circuito alimentación y paro de emergencia

En la siguiente ilustración se puede ver el peine de sensores infrarrojos.

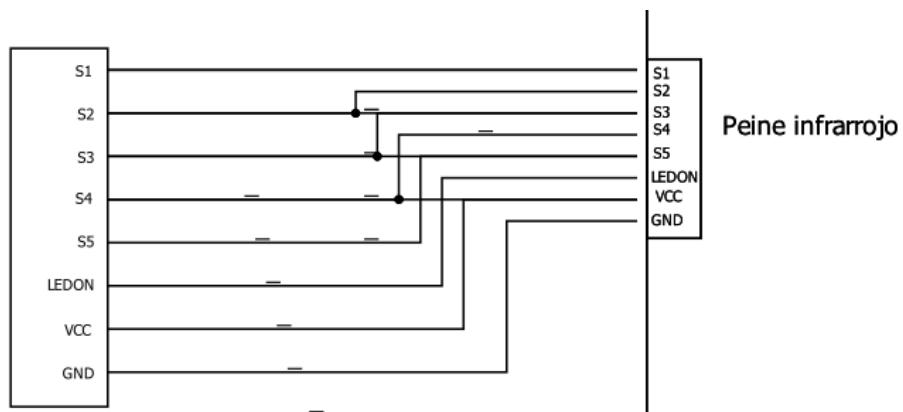


Ilustración 122. Conexión con peine de infrarrojos

En la siguiente ilustración se puede ver el Hub de los sensores de ultrasonidos.

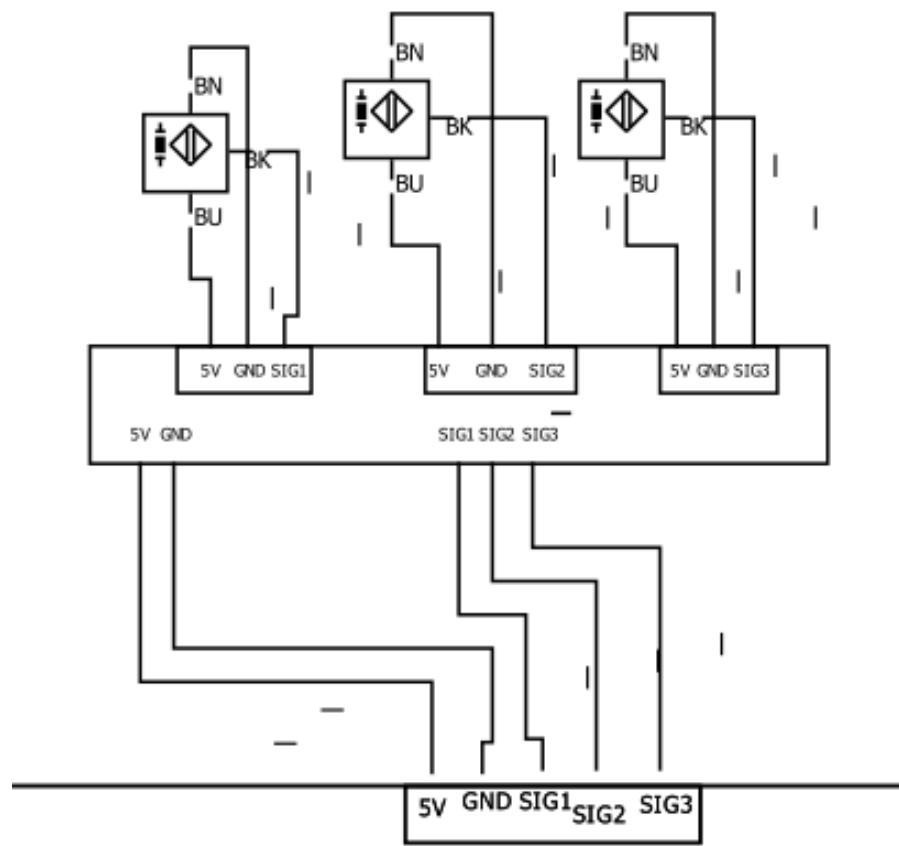


Ilustración 123. Conexión con HUB de ultrasonidos

En la siguiente ilustración se puede ver la conexión con la PCB del elevador, la cual llevará otro microcontrolador.

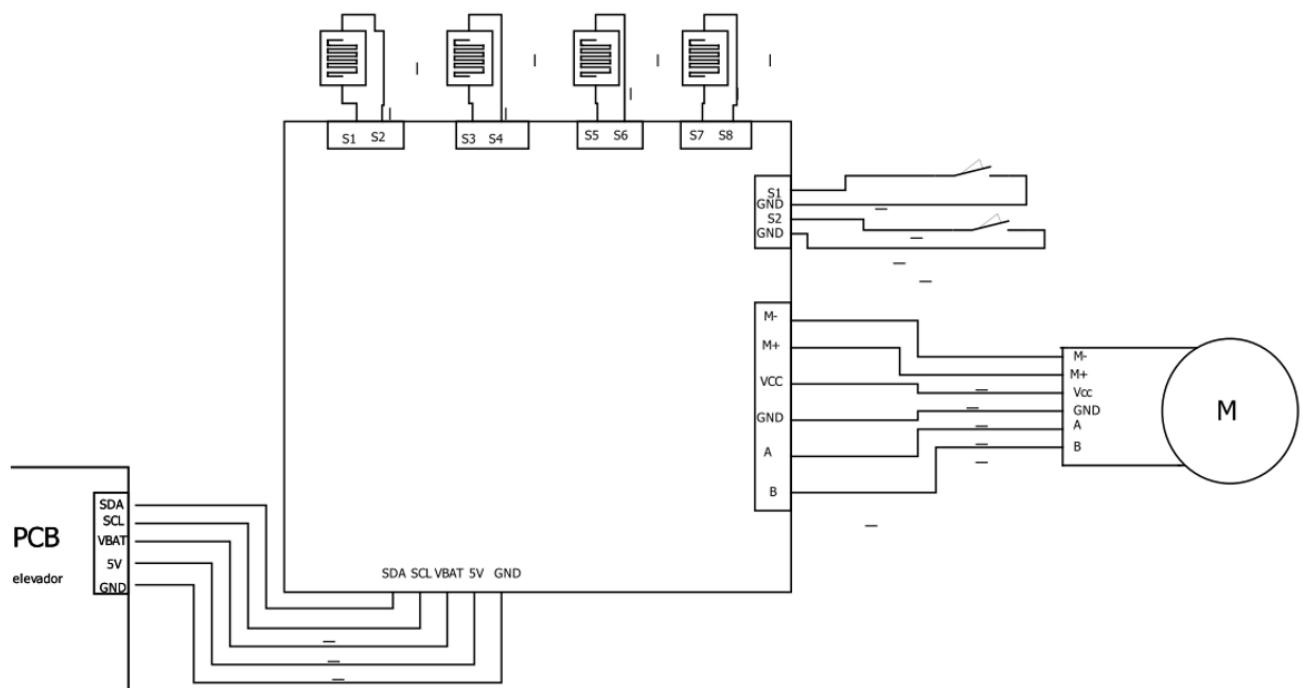


Ilustración 124. Conexión con la PCB del elevador

En la siguiente ilustración se puede ver la conexión con la interface RGB y los motores que moverán las ruedas motrices.

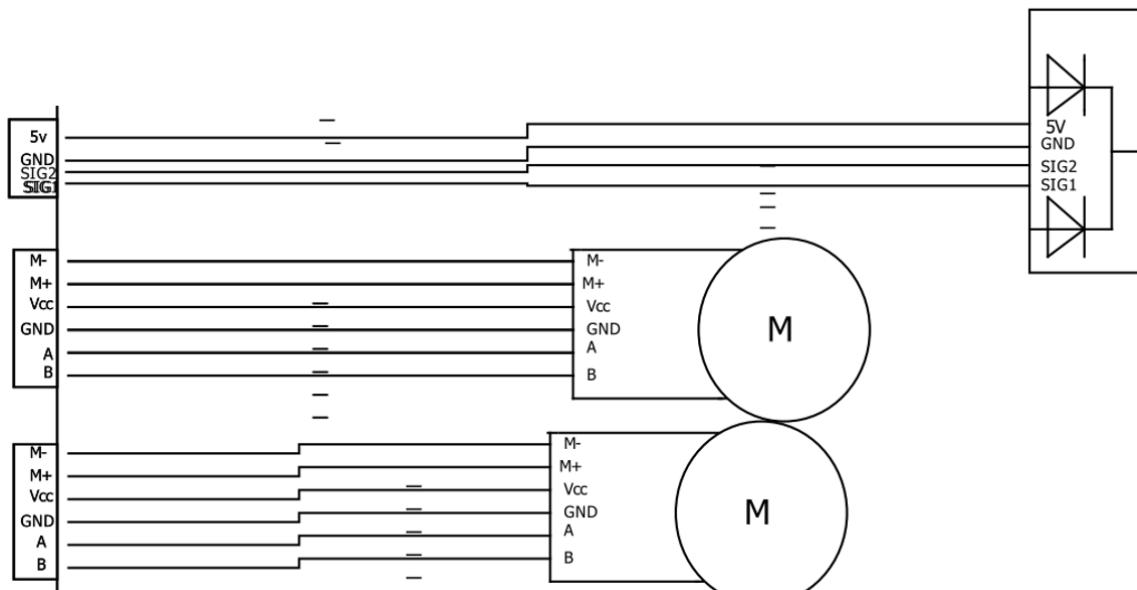


Ilustración 125. Conexión con interface y motores

Y finalmente se muestra la conexión con la PCB de la HMI, la cual llevará el display LCD 16x2, los botones de control con sus respectivas resistencias para los circuitos de Pull Up.

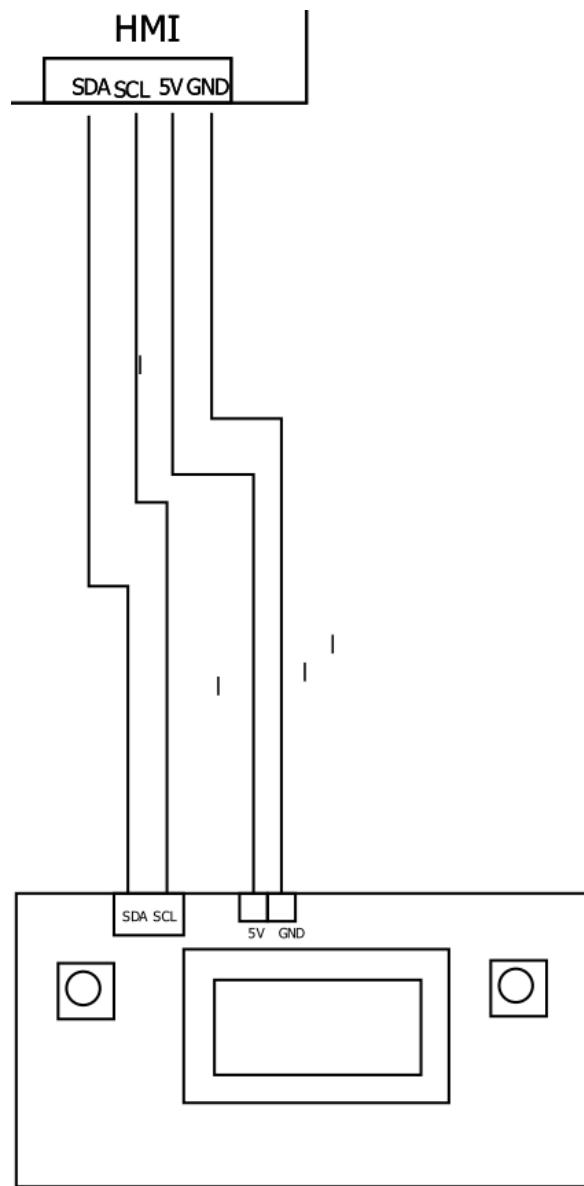


Ilustración 126. Conexión con PCB HMI

2.4. DISEÑO ELECTRÓNICO

En este apartado se explicará cómo se ha obtenido los circuitos necesarios para el control de los componentes electrónicos, para después diseñar una PCB donde quedará ubicada cada uno de los componentes y el circuito impreso.

2.4.1. Fuente conmutada Buck

Por un lado, se necesita la tensión del ESP32, el cual funciona con 3.3V y, por otro lado, se necesita alimentar a los componentes que funcionan con 5v.

El integrado, MP2359, incorpora ya un circuito, el cual aporta la señal PWM, y el mosfet que actúa de interruptor para una fuente buck. Sin embargo, es necesario, tratar la señal en la entrada y en la salida del integrado.

En la entrada se dispone de un circuito de protección contra polaridad (mosfet AO341A), reducción de ruidos de altas frecuencias (núcleo de ferrita), y fusibles tanto para la generación de 5V, como para la de 3V3.

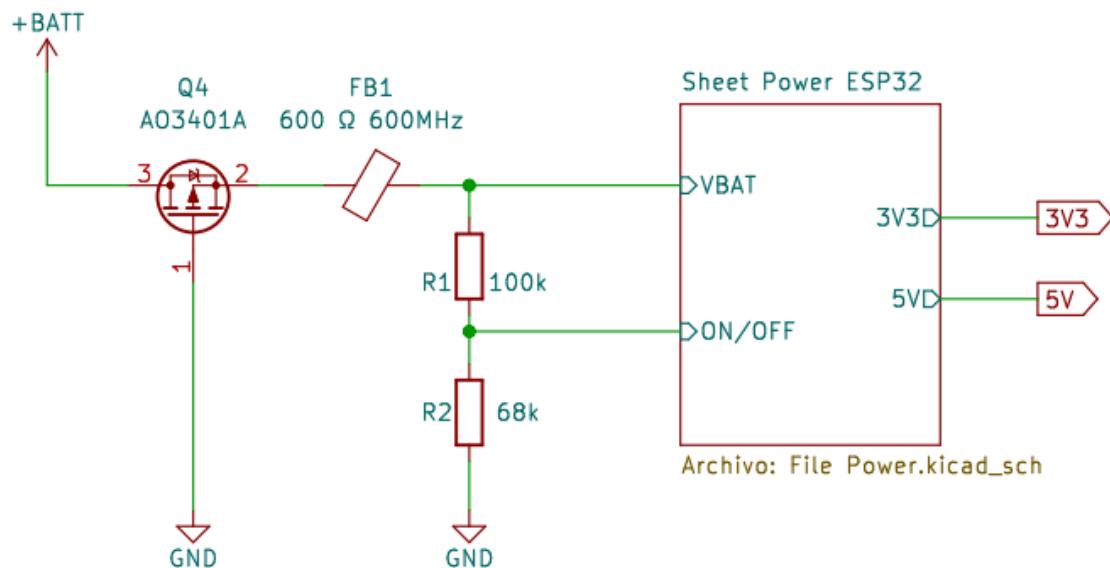


Ilustración 127. Fuente alimentación

Y dentro del bloque “Sheet power”, se trata la señal de entrada y la de salida del integrado MP2359.

En la siguiente ilustración se muestra la conversión de 12v a 5v.

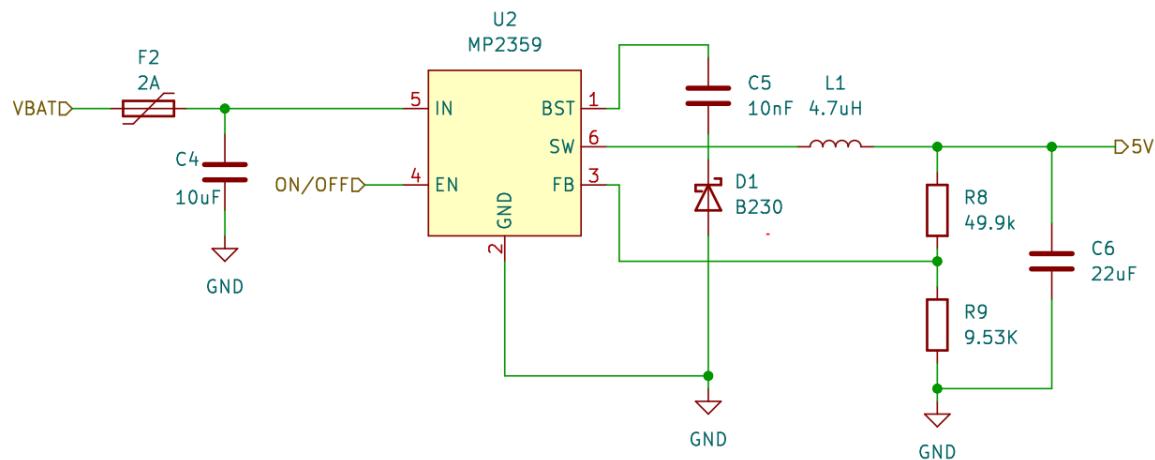


Ilustración 128. Conversión 12V a 5V

En la siguiente ilustración se muestra la conversión de 5v a 3v3.

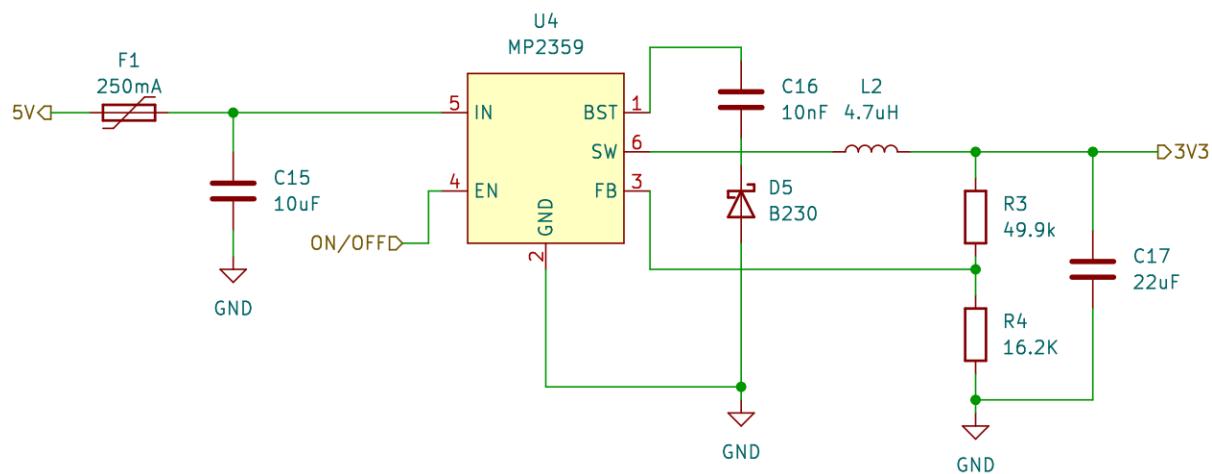


Ilustración 129. Conversión 5V a 3V3

El circuito que se acaba de mostrar es el recomendado por el datasheet (*MP2359 datasheets, s. f.*) del propio circuito integrado.

La diferencia entre las 2 fuentes radica en los valores los fusibles y de las resistencias R1 y R2.

Los valores de las resistencias para los voltajes habituales se muestran en la siguiente ilustración, aportada por el datasheet.

Table 1—Resistor Selection for Common Output Voltages

V _{OUT} (V)	R1 (kΩ)	R2 (kΩ)
1.8	80.6 (1%)	64.9 (1%)
2.5	49.9 (1%)	23.7 (1%)
3.3	49.9 (1%)	16.2 (1%)
5	49.9 (1%)	9.53 (1%)

Ilustración 130. Valores de resistencias fuente Buck (*MP2359 datasheets, s. f.*)

De acuerdo a la siguiente explicación se seleccionan las bobinas,

Selecting the Inductor

A 1µH to 10µH inductor with a DC current rating of at least 25% percent higher than the maximum load current is recommended for most applications. For highest efficiency, the inductor's DC resistance should be less than 200mΩ. Refer to Table 2 for suggested surface mount inductors. For most designs, the required inductance value can be derived from the following equation.

$$L = \frac{V_{OUT} \times (V_{IN} - V_{OUT})}{V_{IN} \times \Delta I_L \times f_{SW}}$$

Ilustración 131. Elección de las bobinas (*MP2359 datasheets, s. f.*)

Se elige en este caso, una de 4.7uH.

Y los condensadores usados en la entrada y en la salida, son los recomendados por el datasheet.

La patilla de Enable estará siempre activo y se habilitará con la misma fuente de 12v, pero reduciendo el voltaje a través de un divisor de tensión.

2.4.2. Circuito módulo ESP32

Para proteger y alimentar el módulo ESP32, se conectan los componentes que se muestran en el esquema, cuyos valores las facilita el fabricante (*esp32_devkitc_v4-sch.pdf*, s. f.)

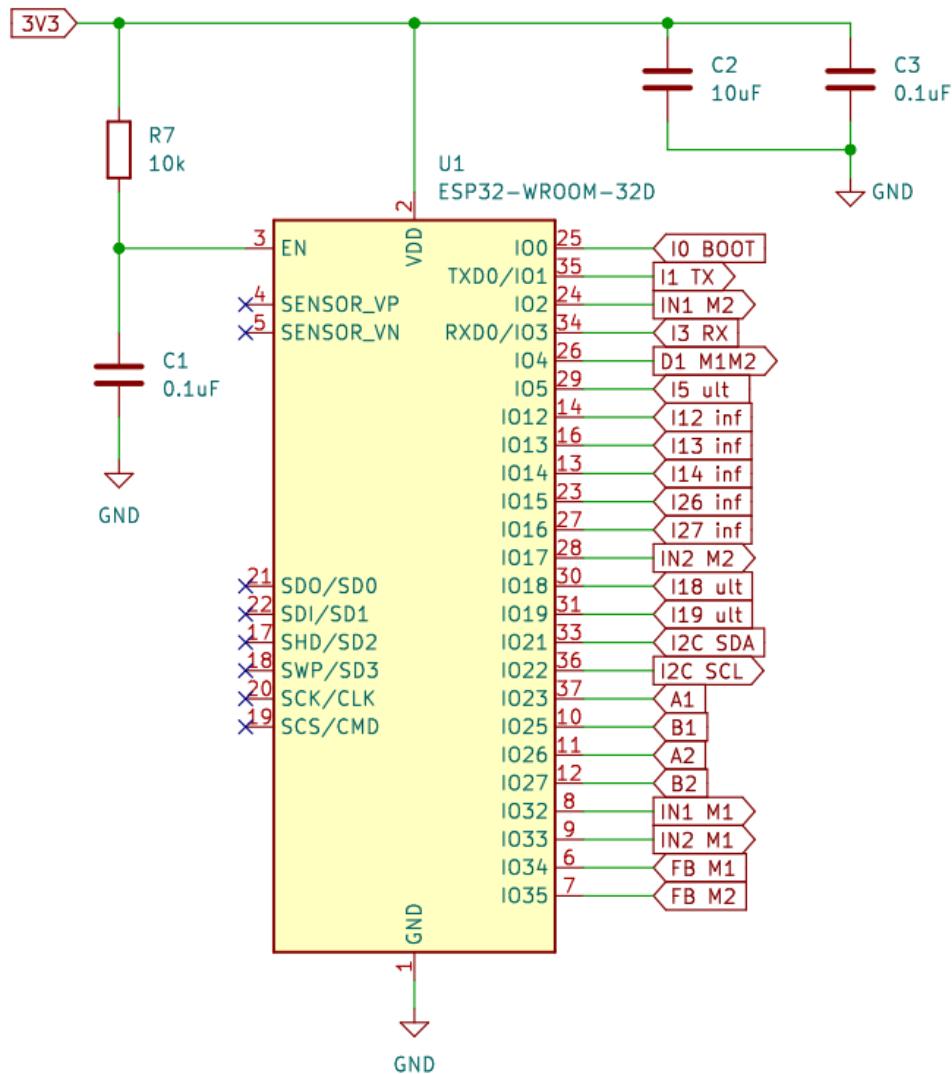


Ilustración 132. Circuito ESP32

También se muestra los pines que se van a utilizar para controlar los componentes electrónicos.

2.4.3. Micro USB, USB-UART, boot, enable y LED encendido

Para comunicarse con el ESP32, se utiliza una micro USB, el cual presenta el siguiente circuito.

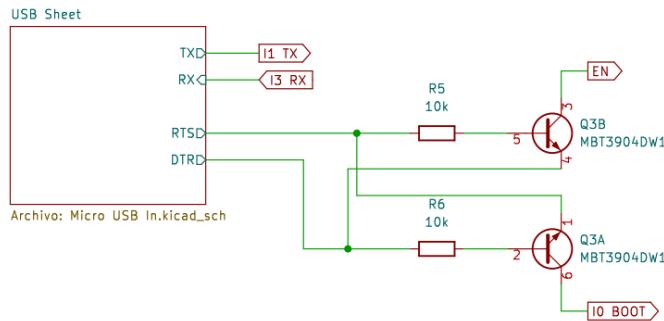


Ilustración 133. Circuito USB y conexión con EN y Boot del ESP32

Y dentro del bloque se realizan los siguientes circuitos.

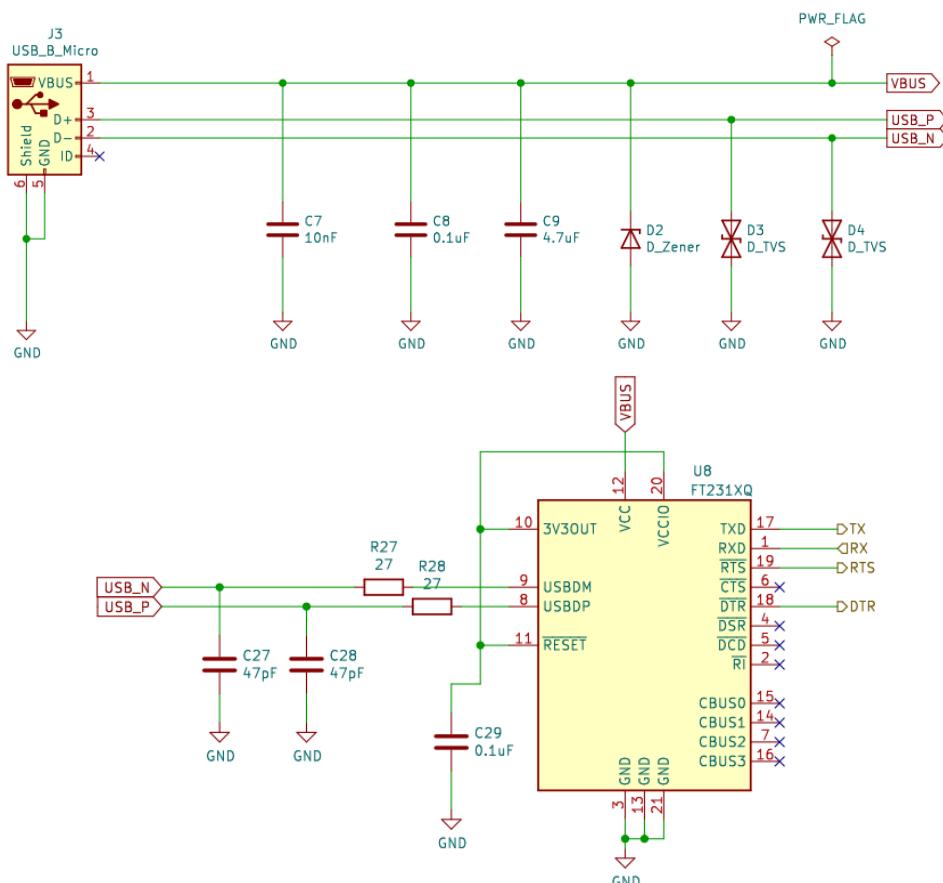


Ilustración 134. Circuito USB

En el siguiente circuito se puede ver las conexiones para activar/desactivar el boot y enable del módulo ESP32, a través de 2 pulsadores.

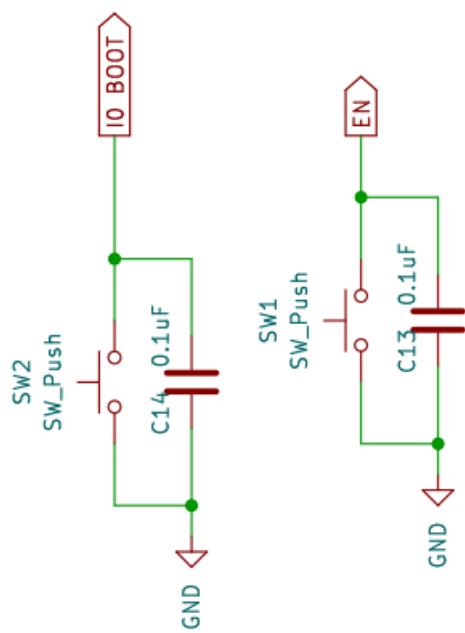


Ilustración 135. Circuito Boot y Enable ESP32

El siguiente circuito se usará para indicar que el ESP32 está alimentado.

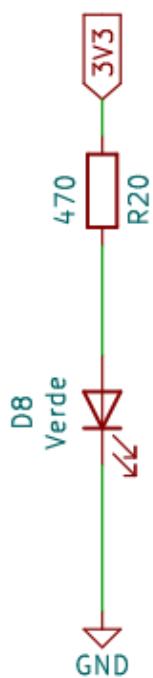


Ilustración 136. LED encendido

2.4.1. Circuito Driver MC33926

El robot, usará 2 ruedas motrices, por lo tanto, se usará los drivers MC33926, los cuales soportan una corriente de 5A de pico, con esto se cubre la corriente de funcionamiento de los motores, cuyo valor ronda los 3.6A.

Y en la siguiente ilustración se puede ver los componentes necesarios para alimentación del driver, su protección y los pines que se usarán para llevar a cabo su control indicados por etiquetas.

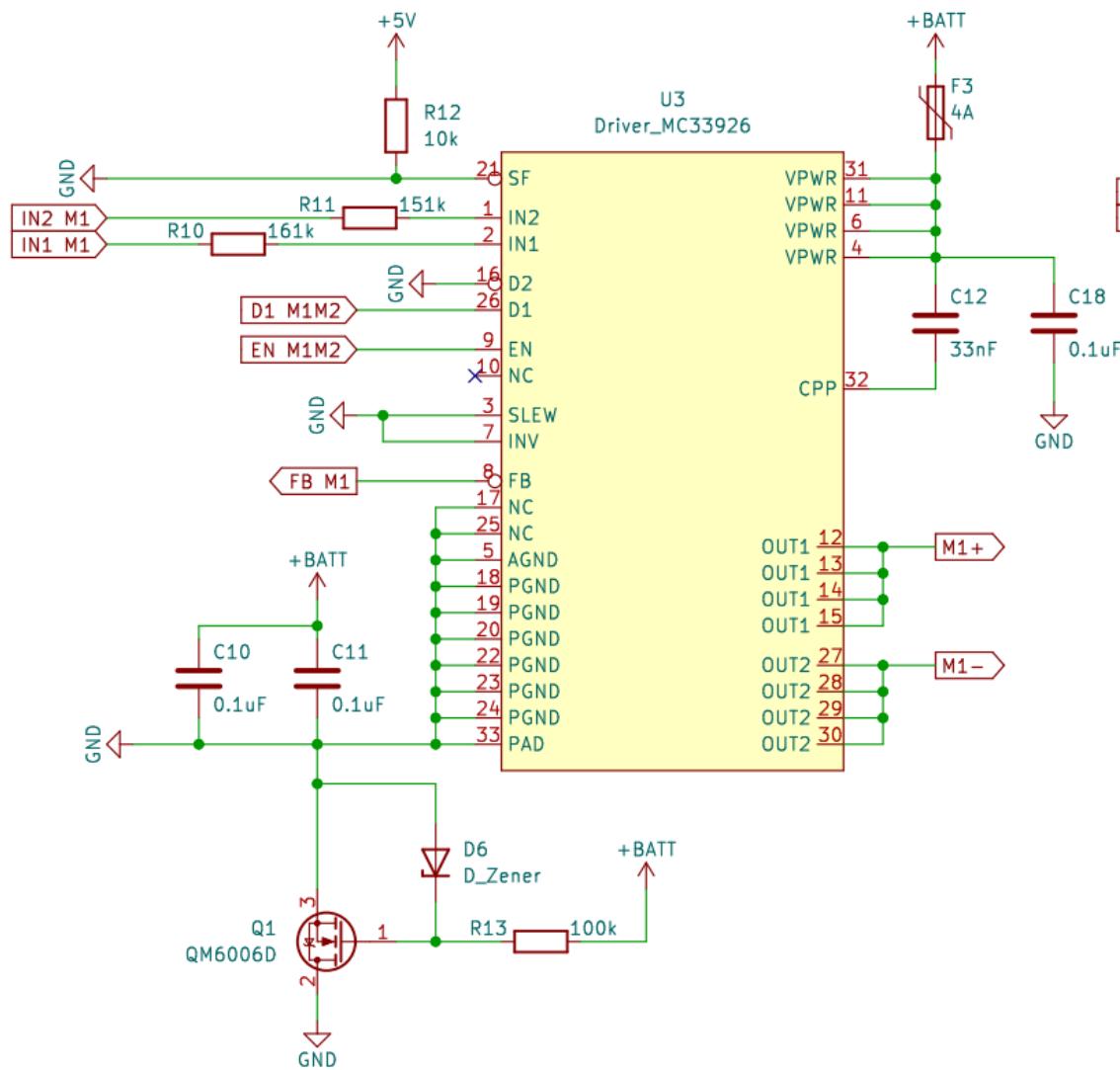


Ilustración 137. Circuito driver MC33926 motor 1

El circuito también se puede encontrar en el datasheet (*MC33926 pdf, s. f.*) del componente.

2.4.2. Módulo de expansión de I/O

Se usará debido a que el microcontrolador ya no dispone de más pines. El circuito montado es el recomendado por el datasheet. Además, se añaden 2 diodos TVS para protegerlos los pines de sobrevoltajes.

Se muestra el circuito necesario.

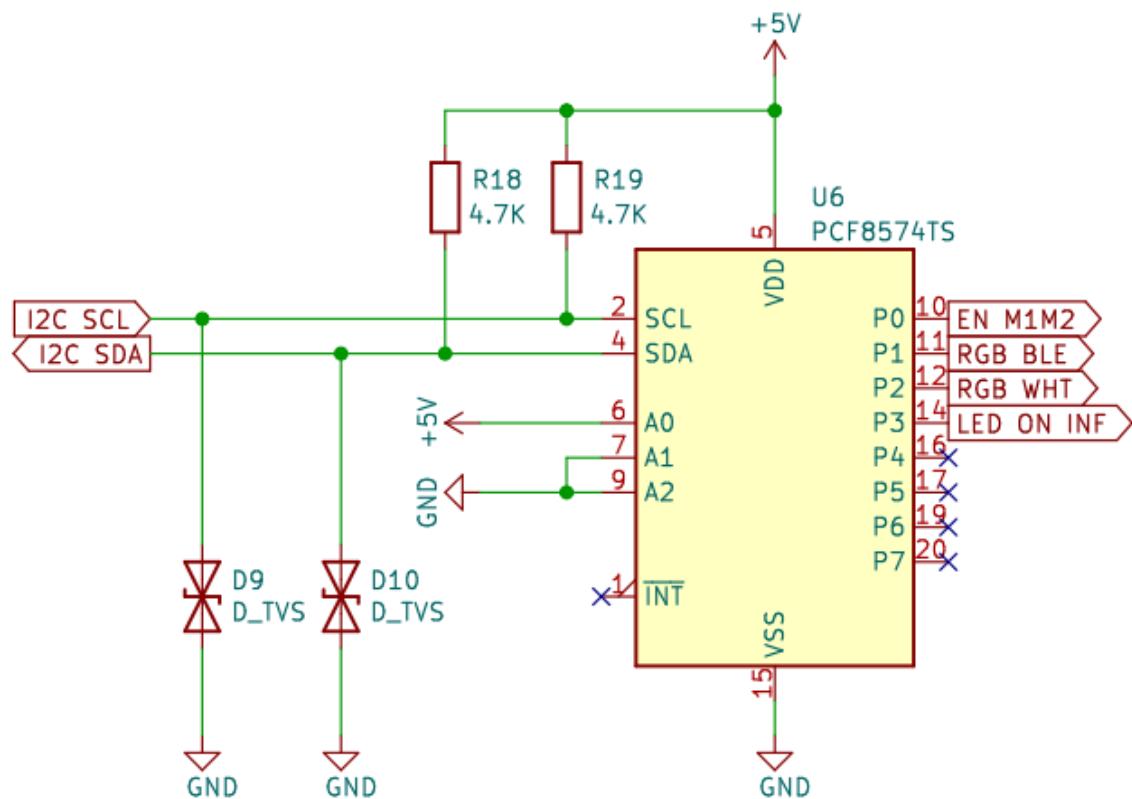


Ilustración 138. Circuito para expansión de I/O

Es importante aclarar, que este integrado aporta más pines de entradas y salidas, sin embargo, la velocidad ya no es la misma que posee el ESP32, por lo tanto, este integrado no se usará, por ejemplo, para controlar las patillas "IN1" Y "IN2" las cuales requieren de una señal PWM, y el protocolo I2C no podría generar la señal demandada. Por esa razón, se usarán solo para componentes que requieren un control más simple, como el encendido de LEDs RGB, o el encendido del peine de infrarrojos.

También se debe proteger los pines del protocolo I2C con diodos TVS contra sobrevoltajes.

2.4.3. Conectores

A continuación, se muestra los conectores que se usan en la PCB principal para comunicarse con el resto de PCBs.

En la gran mayoría de estos conectores, llevarán un fusible para proteger el resto de los componentes.

Para la alimentación 12v y la HMI, y la interface RGB, se utilizan los siguientes conectores.

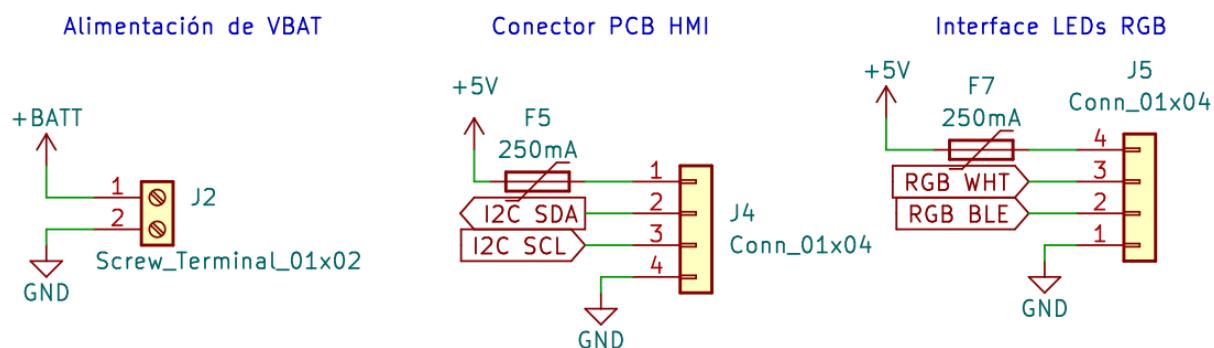


Ilustración 139. Conectores alimentación, HMI, RGB

Para los motores de las ruedas motrices.

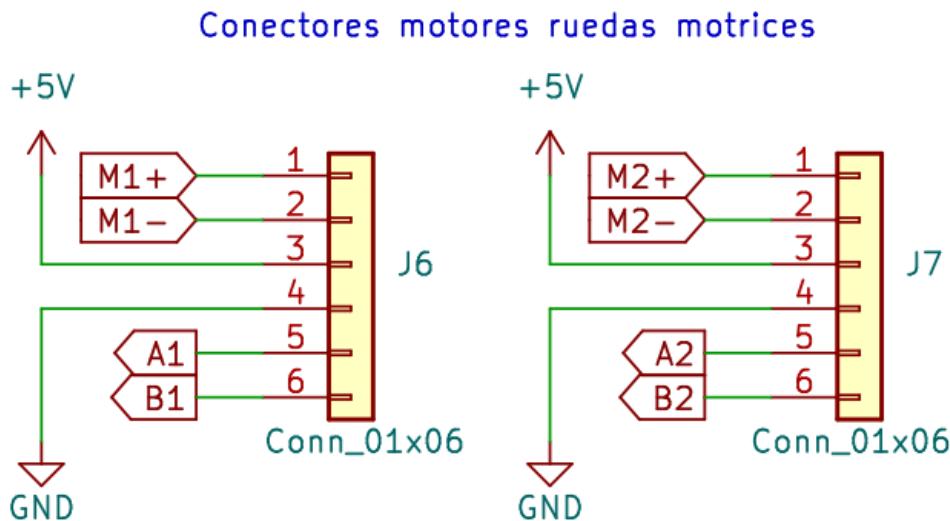


Ilustración 140. Conectores motores de ruedas motrices

Para conectar los sensores.

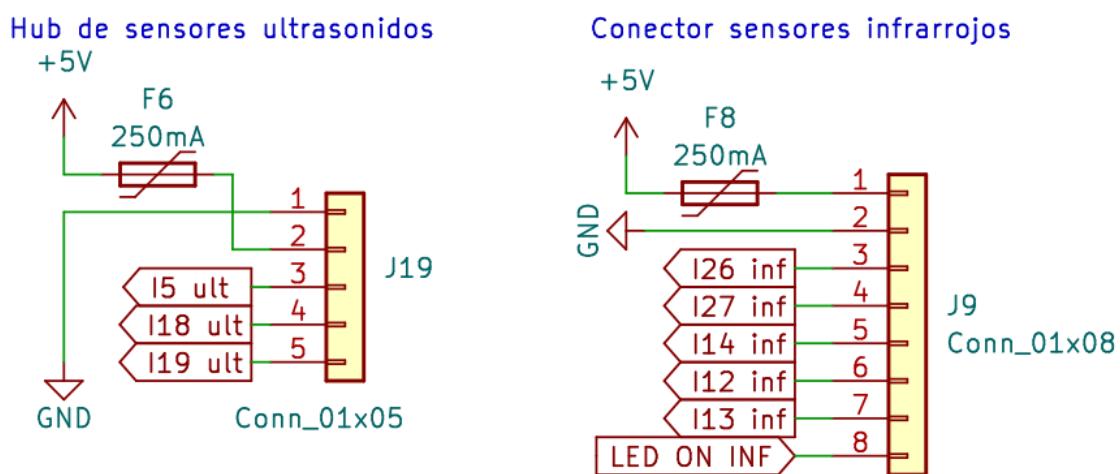


Ilustración 141. Conectores sensores

Y finalmente para conectar la PCB del elevador.

Conector para PCB elevador

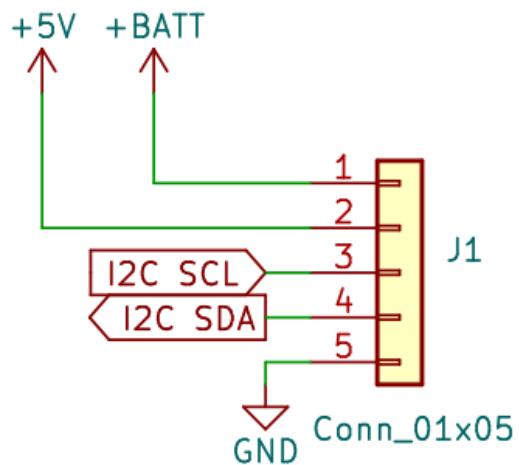


Ilustración 142. Conector PCB elevador

2.5. DISEÑO DE LA PCB

2.5.1. Definición de la PCB a diseñar

La parte de la PCB que se va diseñar es en este caso, es la PCB principal, donde se encuentran los siguientes elementos: Módulo ESP32, fuente Buck para 5v y 3.3v, indicador encendido. Conector al Hub de sensores de ultrasonidos, y de infrarrojos. Conectores para drivers MC33926. Conector para interface RGB y conector para comunicarse con la PCB del control del elevador. Por último, el conector para comunicarse con la HMI y el conector para la alimentación a 12V.

2.5.2. Ubicación de los componentes

En la siguiente ilustración se muestra el circuito realizado al cargar la lista de componentes y conexiones, y tras ubicar cada componente en un lugar más adecuado, para facilitar el proceso de enrutado. Junto al circuito se puede ver el control DRC, para verificar las conexiones, así como márgenes entre vías y líneas de enrutado, pines si conectar, ...

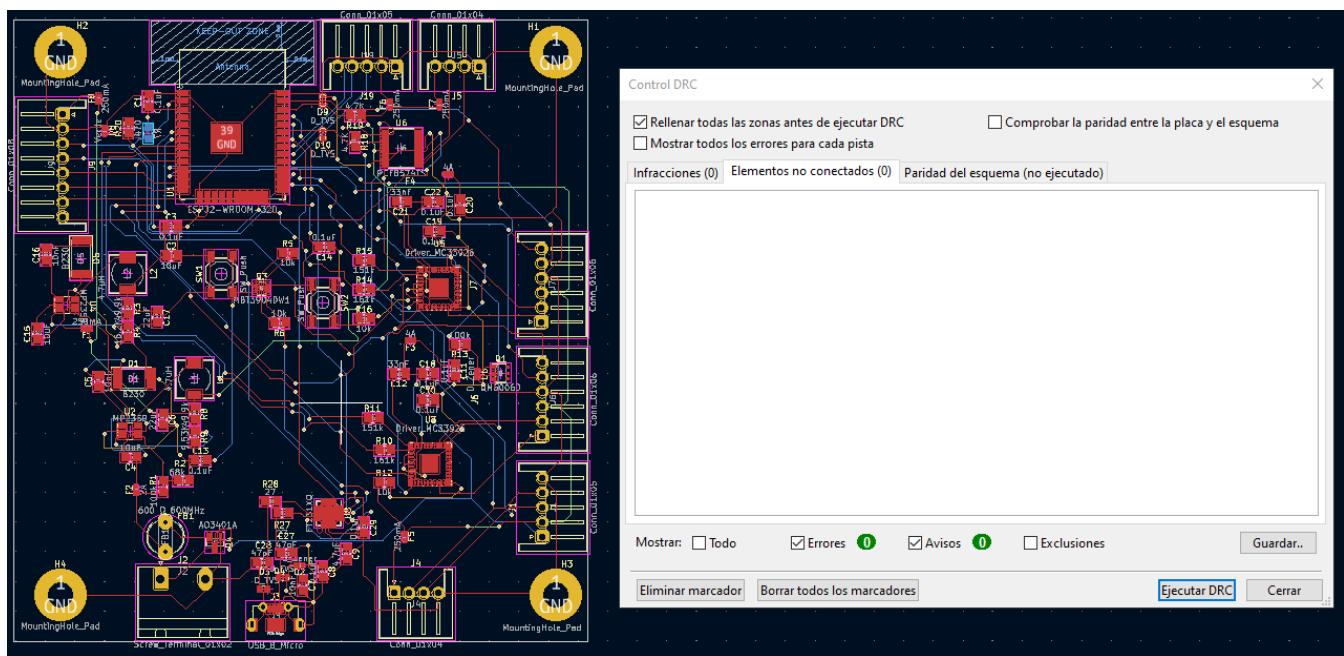


Ilustración 143. Enrutado de la PCB y control DRC

2.5.3. Visualización de capas

La PCB está compuesta por 4 capas diferentes, la cuales se usarán para realizar todo el cableado.

En la siguiente ilustración se puede ver la capa de la parte trasera de la PCB. Esta capa ha facilita la conexión de componentes que no han sido posibles de conectar en la capa delantera.

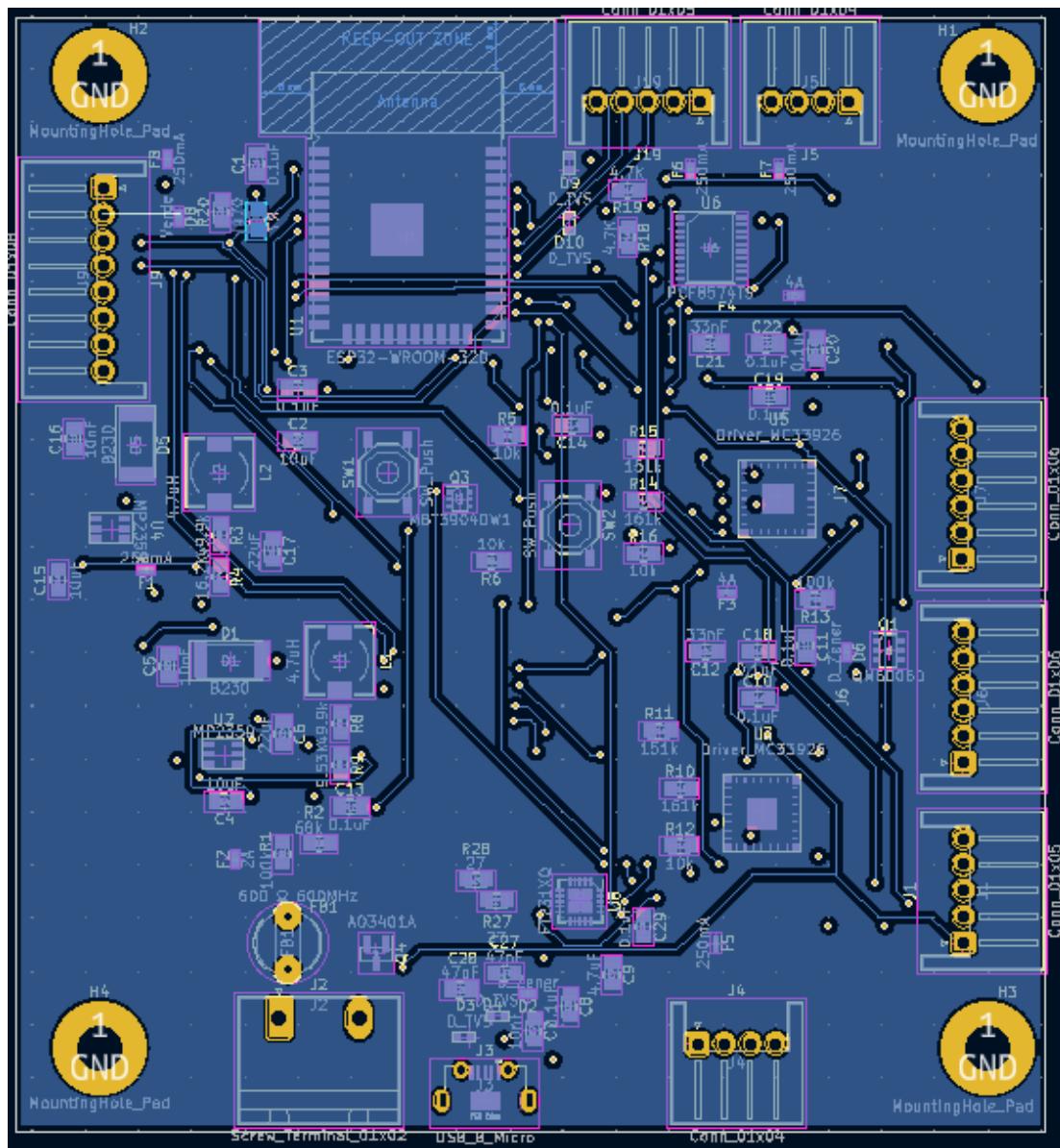


Ilustración 144. Capa trasera de la PCB

En la siguiente ilustración se puede ver la capa 5V. Se usa una capa dedicada a los 5V ya que se poseen un gran número de conexiones para ello.

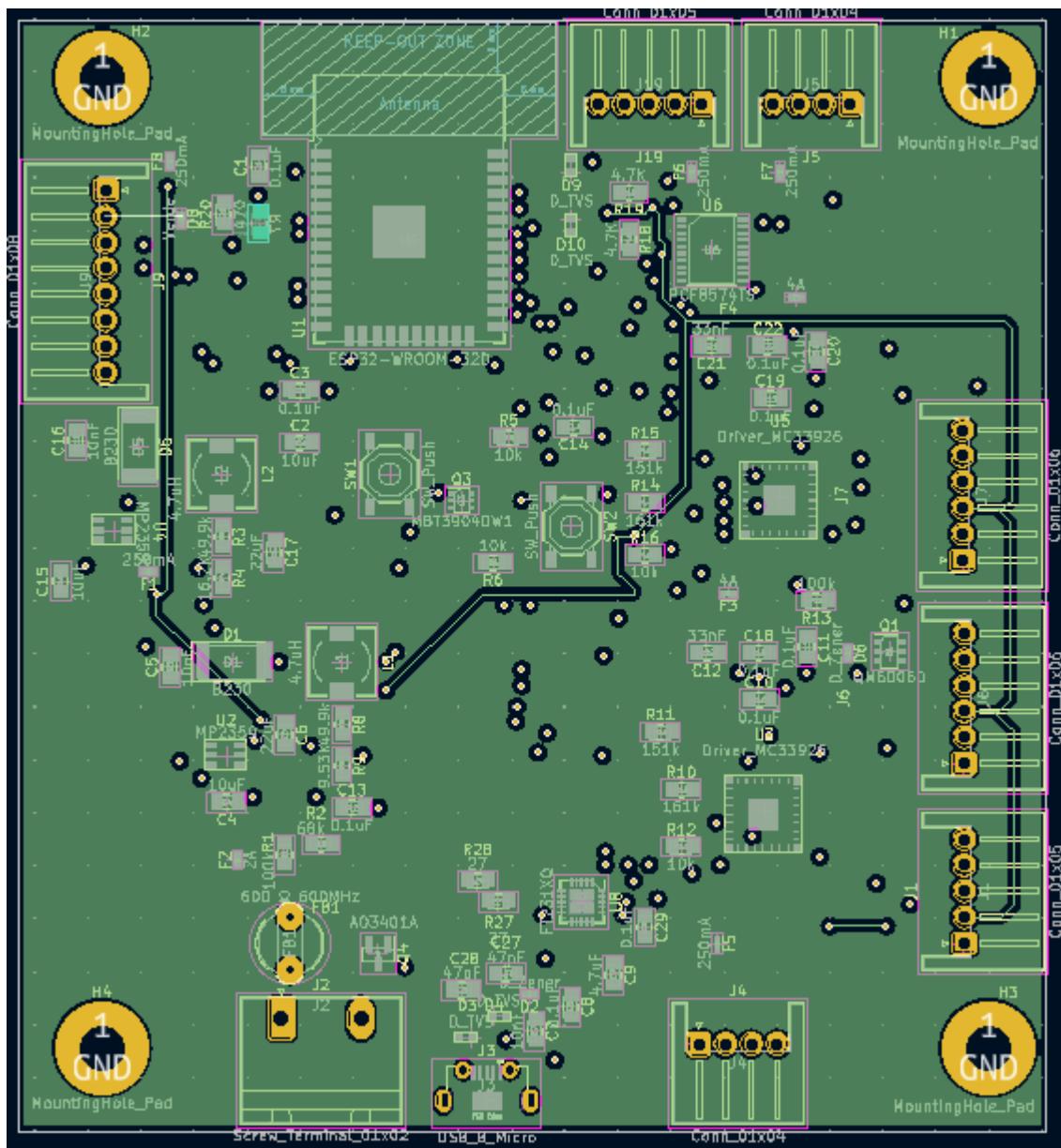


Ilustración 145. Capa para 5V

En la siguiente ilustración se puede ver la capa GND. Se usa una capa dedicada a los GND ya que se poseen un gran número de conexiones a GND.

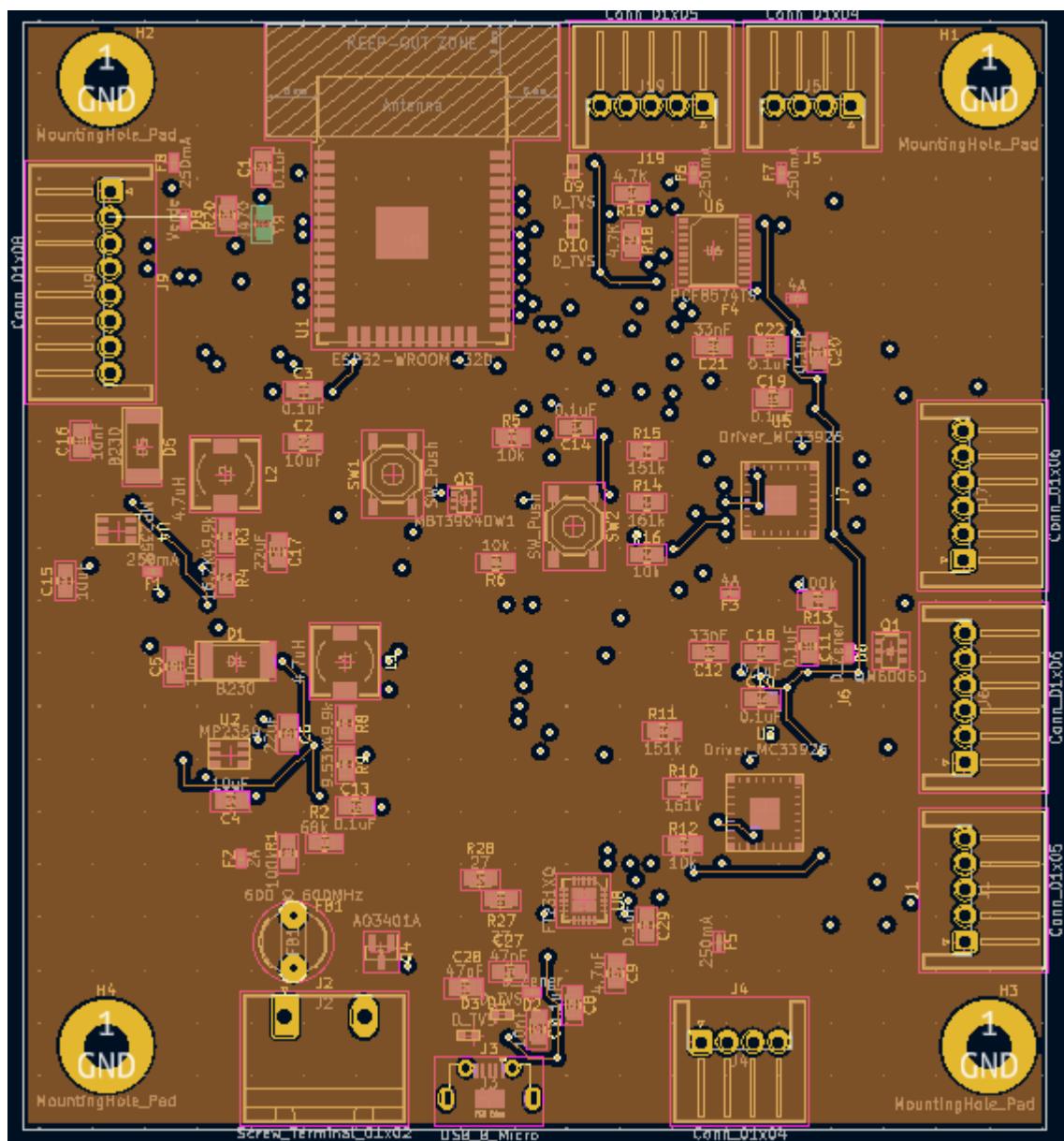


Ilustración 146. Capa para GND de la PCB

Por último, se puede ver la capa delantera, donde se ubican la gran mayoría de las capas.

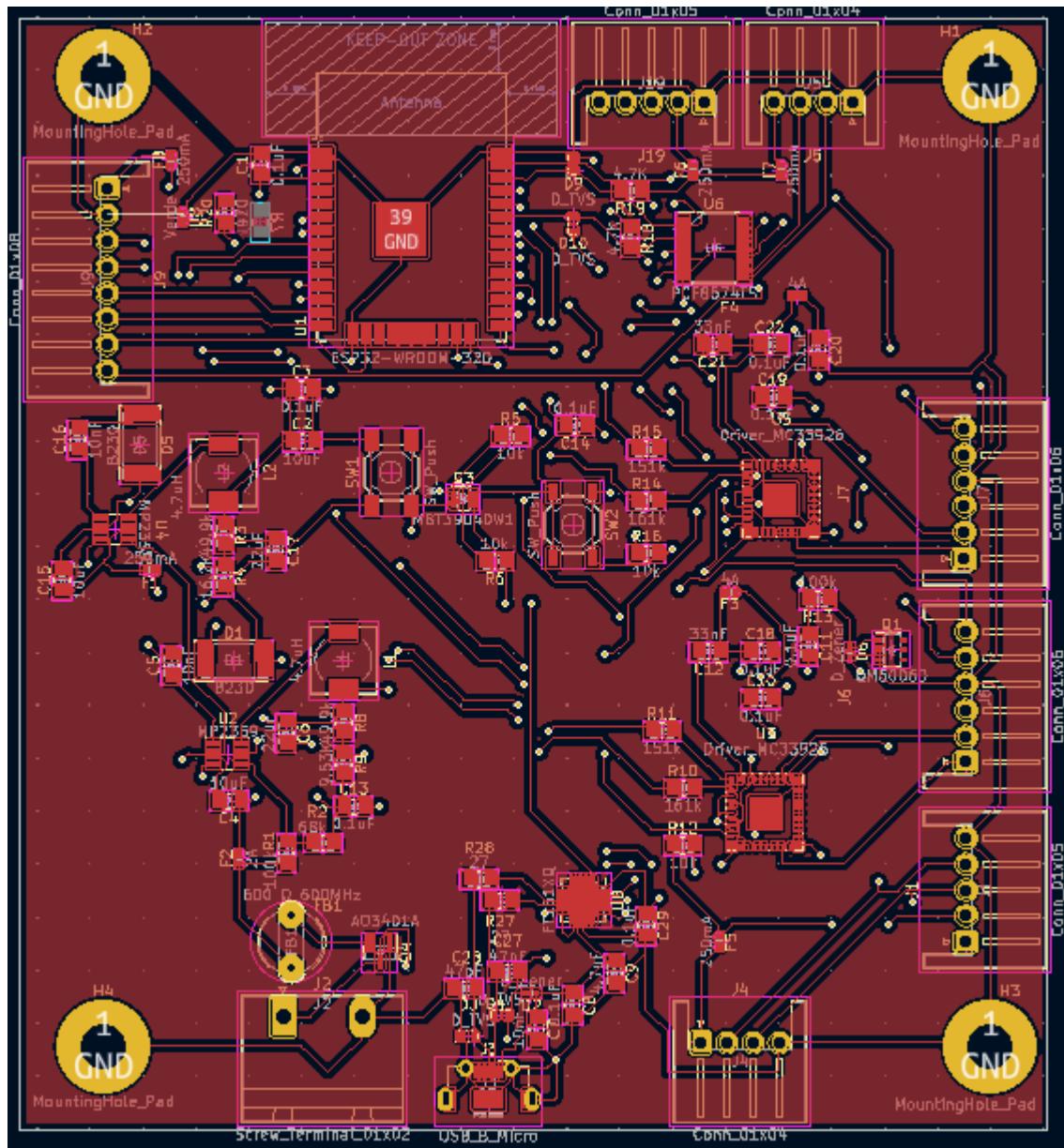


Ilustración 147. Capa delantera

2.5.4. PCB en 3D

Y en la siguiente ilustración se puede ver la PCB en 3D, para conocer con más detalle que forma y tamaños tendrán los componentes que se incorporarán tras generar el circuito impreso.

Se podrá ver que se ha diseñado nuevas huellas, como, por ejemplo, para los drivers, sin embargo, no se disponen de su modelo en 3D. Aunque con la huella, puede ser suficiente para conocer ubicación y el espacio que ocupa en la PCB.

En la siguiente ilustración se puede ver la vista en planta.

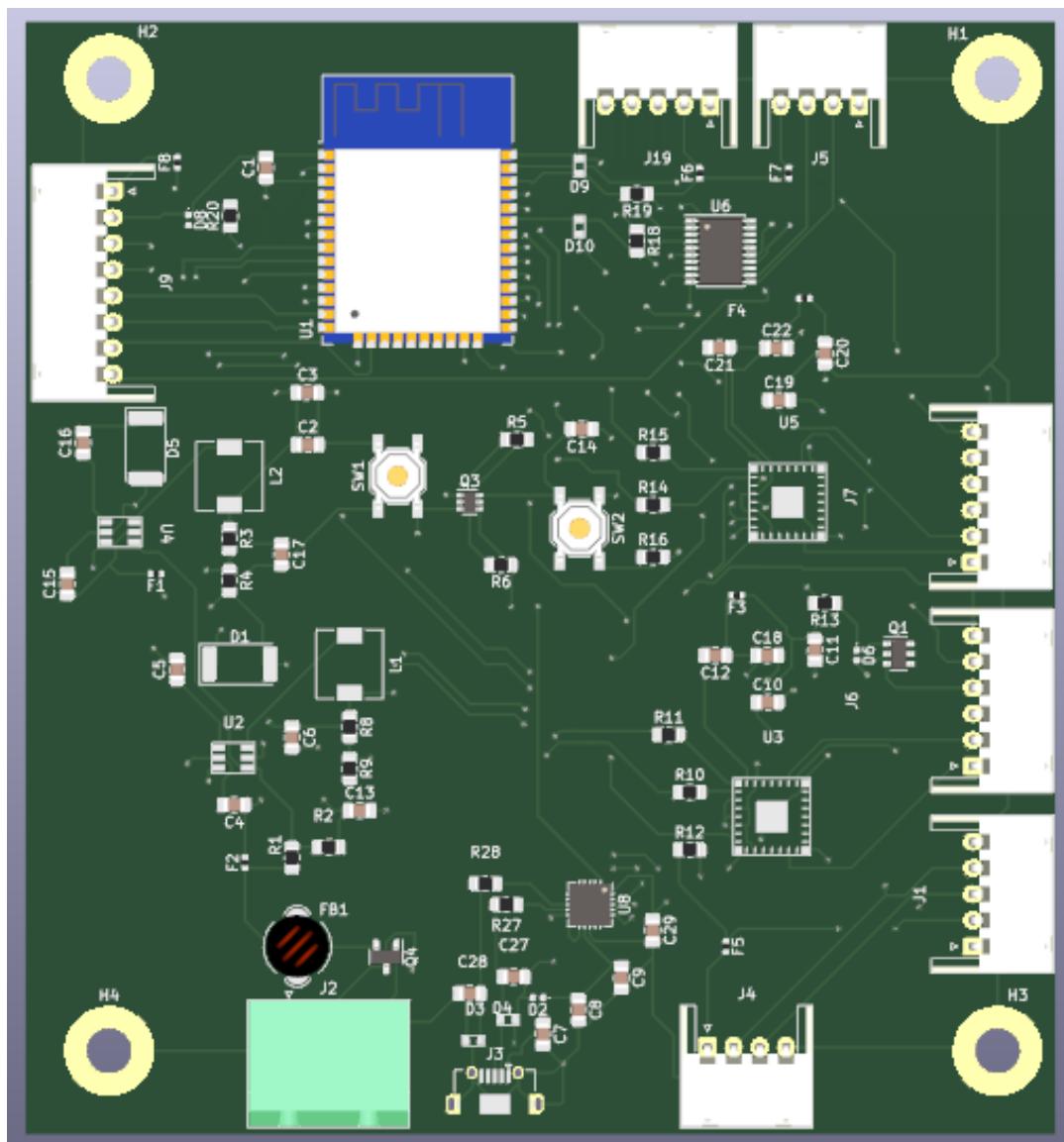


Ilustración 148. Vista en planta de la PCB

Se puede distinguir con claridad componentes como los conectores con distintas cantidades de pines que conectarán a PCB individuales, o directamente a un actuador, como es el caso de los motores para ruedas motrices.

Se puede ver también las vías pasantes que se han utilizado para lograr conectar los componentes, así como, las rutas que hay en la capa delantera de la PCB.

En la siguiente ilustración se puede ver la capa trasera, donde se ubican algunos componentes y se ven las vías y rutas.

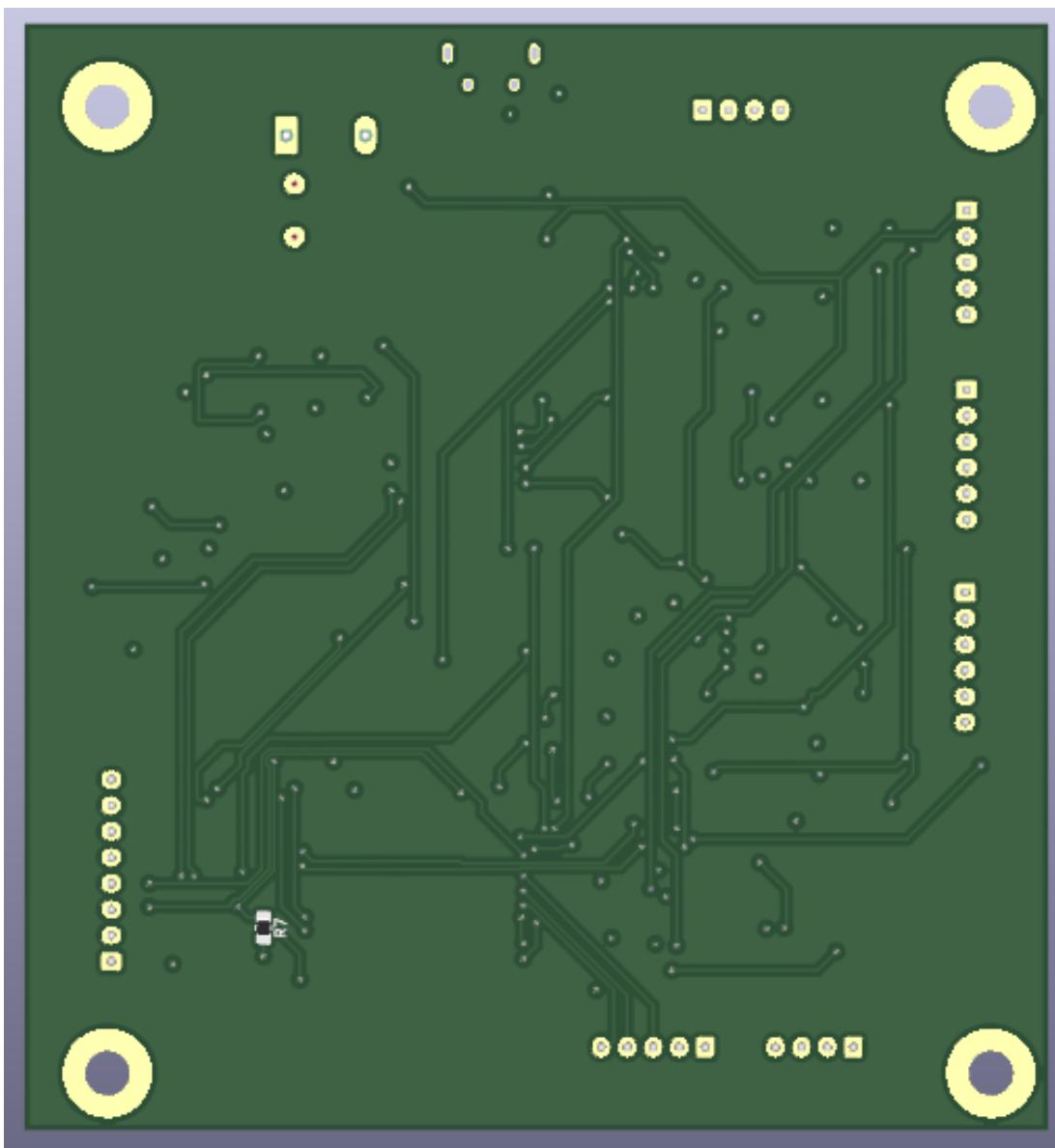


Ilustración 149. Vista trasera de la PCB

3. BIBLIOGRAFÍA

Actuador sinfin-corona. (s. f.). Recuperado 23 de octubre de 2021, de https://www.cienciasfera.com/materiales/tecnologia/tecno01/tema14/2_tornillo_sinfncorona.html

admin. (2018, marzo 12). *Como Calcular la Capacidad de las Baterías*. Solareo.Es. <https://solareo.es/como-calcular-la-capacidad-de-las-baterias/>

¿Afecta la Temperatura el funcionamiento de una Bateria? – Ayuda Electronica | Circuitos Electronicos, Ingenieria Electronica. (s. f.). Recuperado 21 de octubre de 2021, de <http://ayudaelectronica.com/afecta-temperatura-funcionamiento-bateria/>

Aragonés, J. B., Gómez, C. G., Zaragozí, B. Z., Martínez, A. G., Campos, D. M., & Llinares, A. G. (s. f.). *SENSORES DE TEMPERATURA*. 51.

Bačík, J., Durovsky, F., Biros, M., Kyslan, K., Perdukova, D., & Sanjeevikumar, P. (2017). Pathfinder – Hospital Logistics. *IEEE Access*, 5, 26892-26900. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2767899>

BAIZ. (s. f.). *Calculo Tornillo sinfín*. Recuperado 23 de octubre de 2021, de <http://www.baiz.net/es/productos-sinfines-y-coronas/--tornillo-sinfin-definiciones-y-formulas>

BenPololu. (2008). Presentamos el robot Pololu 3pi. <https://www.youtube.com/watch?v=TxxYvlARPqk>

Buscando Distribuidor Mingren T2, Robot Camarero Inteligente Personalizado Para Restaurante, Equipo De Servicio De Hotel—Buy Robot Waiter, Odm OEM Robot Waiter, Restaurant Robot Waiter Product on Alibaba.com. (s. f.). Recuperado 12 de octubre de 2021, de <https://spanish.alibaba.com/product/>

detail/finding-distributor-mingren-t2-customized-intelligent-robot-waiter-for-
restaurant-hotel-service-equipment-62476483788.html

carakenio73. (2018, abril 26). Drivers. *dademuchconnection.*

<https://dademuch.com/2018/04/26/driver-de-motor-dc-electronica-de-potencia/>

CareStar Robotics. (2021a, junio 25). Keenon T2 Delivery Robot.

<https://www.youtube.com/watch?v=jnnTEPmSZ5o>

CareStar Robotics. (2021b, junio 25). Keenon T6 Delivery Robot.

<https://www.youtube.com/watch?v=C-HDDLxT-W8>

China Factory Cheap Price Ai Smart Food Delivery Robot Restaurant Telecontrolled Robot. (s. f.). Recuperado 10 de octubre de 2021, de

https://www.alibaba.com/product-detail/China-Factory-Cheap-Price-Ai-Smart_1600171395617.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_title_af4f74ffPOaTTM

¿Cómo calcular la capacidad de las baterías? | AutoSolar. (s. f.). Recuperado 27 de octubre de 2021, de <https://autosolar.es/blog/baterias-placas-solares/como-calcular-la-capacidad-de-las-baterias>

Coolerstuff, Robot K2 on Alibaba.com. (s. f.). Recuperado 27 de septiembre de 2021, de https://www.alibaba.com/product-detail/Coolerstuff-2-4Ghz-Aluminum-Alloy-Rc_1600110929171.html

¿Cuáles son los principales parámetros técnicos de las baterías eléctricas?-industry-news | Gran poder. (s. f.). Recuperado 19 de octubre de 2021, de <https://es.large.net/news/7hu43ms.html>

Diseño humanoide Inteligente. (s. f.). Recuperado 10 de octubre de 2021, de https://www.amazon.es/humanoide-Inteligente-Comercial-Restaurante-Servicio/dp/B08SQRR69M/ref=sr_1_5?__mk_es_ES=%C3%85M%C3%85%

C5%BD%C3%95%C3%91&dchild=1&keywords=robot+camarero&qid=1633

160795&sr=8-5

Diseño humanoide Inteligente Robot de Entrega Comercial Restaurante Servicio de Comida Camarero: Amazon.es: Hogar y cocina. (s. f.). Recuperado 10 de octubre de 2021, de <https://www.amazon.es/humanoide-Inteligente-Comercial-Restaurante->

Servicio/dp/B08SQRR69M/ref=sr_1_5?__mk_es_ES=%C3%85M%C3%85%

C5%BD%C3%95%C3%91&dchild=1&keywords=robot+camarero&qid=1633

160795&sr=8-5

Driver servoM. (s. f.). Recuperado 23 de octubre de 2021, de http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr_0204/ctrl_rob/robotica/sistema/motores_servo.htm

Drivers motor DC. (s. f.). Aprendiendo Arduino. Recuperado 23 de octubre de 2021, de <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/tag/motores/>

Encoder - ¿Qué es? 4 tipos de encoder y su funcionamiento. (2020, marzo 7). <http://www.lbaindustrial.com.mx/que-es-un-encoder/>

*Esfuerzos—Elevador Hidráulico * Grupo C.* (s. f.). Recuperado 21 de octubre de 2021, de <https://sites.google.com/site/grupocelevadorthidraulico/esfuerzos>

Esp32_devkitc_v4-sch.pdf. (s. f.). Recuperado 21 de enero de 2022, de https://dl.espressif.com/dl/schematics/esp32_devkitc_v4-sch.pdf

EZBOT SG. (2021, mayo 25). *Official Release of Kettybot.* https://www.youtube.com/watch?v=DX8vY1w_vmg

González, A. G. (2016, diciembre 2). *Servomotor_2. Panama Hitek.* <http://panamahitek.com/que-es-y-como-funciona-un-servomotor/>

HD-1500 | OMRON, España. (s. f.). Recuperado 9 de octubre de 2021, de

<https://industrial.omron.es/es/products/hd-1500#features>

info34383. (2020, octubre 19). *Actuador Lineal.* gamb.

<https://www.gamb.com.es/post/que-es-un-actuador-lineal-electrico-y-que-funciones-tiene>

InformeBaterias.pdf. (s. f.). Recuperado 27 de octubre de 2021, de

<http://www2.elo.utfsm.cl/~elo383/apuntes/InformeBaterias.pdf>

Keenon Robotics. (2021a, marzo 29). *China—Keenon Robot «T6».*

<https://www.youtube.com/watch?v=4EDA4Bgt4dk>

Keenon Robotics. (2021b, septiembre 6). *Keenon Delivery Robot T6.*

<https://www.youtube.com/watch?v=v-8C-WFOV-4>

LAS BATERÍAS DE LITIO Y BMS, ¿COMO FUNCIONAN? – Partes y Refacciones para

Vehículos Eléctricos. (s. f.). Recuperado 25 de octubre de 2021, de

<http://energyev.com/las-baterias-de-litio-y-bms-como-funcionan/>

López, E. D. (s. f.-a). *ELEMENTOS INDISPENSABLES PARA EL FUNCIONAMIENTO*

DE UN ROBOT. 13.

López, E. D. (s. f.-b). *ELEMENTOS INDISPENSABLES PARA EL FUNCIONAMIENTO*

DE UN ROBOT. 13.

MC33926 pdf. (s. f.). Recuperado 21 de enero de 2022, de

<https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/197275/FREESCALE/MC33926.html>

Mecafenix, I. (2017, abril 20). Motor paso a paso _1. *Ingeniería Mecafenix.*

<https://www.ingmecafenix.com/electricidad-industrial/motor-paso-a-paso/>

Mecanismos. (s. f.). http://www.tallertecno.com/Maquinas_y_mecanismos.pdf

metalmecánica. (2016, abril 13). Cálculo husillo-corona. *Metalmecánica Fácil.*

<https://metalmechanica-facil.mahtg.com/calcu...o-de-tornillo-sin-fin-y-su...rueda/>

metalmecánica. (2018, marzo 15). *Calculador de Tornillo Sin Fin y Corona Métricos.*

Metalmecánica Fácil. <https://www.metalmechanica-facil.mahtg.com/tsinfycor/calculador-tornillo-sinfin-y-corona.html>

Motor DC. (s. f.). *Luis Llamas.* Recuperado 23 de octubre de 2021, de

<https://www.luisllamas.es/tipos-motores-rotativos-proyectos-arduino/>

motorcontinua. (2010, marzo 12). Actuador husillo. *motor CC, motor dc, motor sin*

escobillas. <https://www.motorcontinua.es/accionamientos-motor-cc-husillos/>

Motores Arduino. (s. f.). Recuperado 23 de octubre de 2021, de

<https://aprendiendoarduino.wordpress.com/tag/motores/>

Motores paso a paso_2. (s. f.). Recuperado 23 de octubre de 2021, de

http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr_0204/cyr_01/robotica/sistema/motores_p-p.htm

MP2359 datasheets. (s. f.). Recuperado 21 de enero de 2022, de

<https://pdf1.alldatasheet.es/datasheet-pdf/view/189154/MPS/MP2359.html>

Piro, O. E. (s. f.). *Notas sobre Física General: Resistencia a la rodadura.* 4.

Pololu 3pi Robot. (s. f.). Recuperado 10 de octubre de 2021, de

<https://www.pololu.com/product/975>

¿Qué es un encoder? | Tipos de codificadores ópticos y magnéticos. (s. f.).

Recuperado 24 de octubre de 2021, de

<https://www.tecnitool.es/tag/encoder/>

Riva Huang. (2021, julio 21). *Keenon Delivery Robot T2—Best assistant to deliver*

food and collect dirty plates back!

<https://www.youtube.com/watch?v=nzLV4dGKP58>

Robot Asistente de camarero para restaurantes. (s. f.). aliexpress.com.

Recuperado 10 de octubre de 2021, de
https://es.aliexpress.com/item/4001239145985.html?src=ibdm_d03p0558e02r02&sk=UneMJZVf&aff_platform=aaf&aff_trace_key=01dea7ddb3294b53a762fd2c6406c79d-1633160921517-02686-UneMJZVf&af=&cv=&cn=&dp=

Robot camarero Lolita. (2018, diciembre 23). GrupoADD. <https://grupoadd.es/que-son-los-robots-camareros>

Robot de entrega inteligente de Pudu robotics. (s. f.). Robot de entrega inteligente de Pudu robotics. Recuperado 12 de octubre de 2021, de
<https://www.pudutech.com/>

Robot De Navegación Inteligente Para Catering. (s. f.). Recuperado 12 de octubre de 2021, de https://spanish.alibaba.com/product-detail/delivery-robot-ai-catering-delivery-food-waiter-in-restaurant-and-intelligent-autonomous-navigation-service-temi-robot-1600341103099.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_title.381674ffkM0L1w

Robot T6-Keenon Robotics. (s. f.). Recuperado 27 de septiembre de 2021, de
https://www.keenonrobot.com/EN/index/Page/index/catid/7.html?gclid=CjwKCAjw7rWKBhAtEiwAJ3CWLKkqOf3-jBihUqp2zFNPGuk_ECG7Y9v3ewk-pxvc6-bZNjygBE3SUBoCU9EQAvD_BwE

Robótica hostelera. (s. f.). *MR Informática.* Recuperado 27 de septiembre de 2021, de <https://mrinformatica.es/el-robot-camarero-llega-a-espana/>

Samata, M. V. (s. f.). SENSOR DE EFECTO HALL. *Sensor de efecto Hall*. Recuperado 24 de octubre de 2021, de https://www.academia.edu/45188818/SENSOR_DE_EFECTO_HALL

Sandoval-Castro, Y., Hernández, E., & Ruiz-Torres, M. (2019). *Actuador guiado* (pp. 404-410).

Servomotor_1. (2019, septiembre 19). *aula21 | Formación para la Industria*. <http://www.cursoaula21.com/que-es-un-servomotor/>

Tabla de factores de rozamiento del pavimento para neumáticos de goma. (s. f.). Recuperado 2 de diciembre de 2021, de <https://www.causadirecta.com/especial/calculo-de-velocidades/tablas/tabla-de-factores-de-rozamiento-del-pavimento-para-neumaticos-de-goma>

Temi Robot. (2021, septiembre 29). *Temi robot is widely used in real estate sales centers across China, this time is Henan.* <https://www.youtube.com/watch?v=1F44iJkcf68>

Timotion. (s. f.). *Actuadores tipos*. TiMOTION Technology. Recuperado 23 de octubre de 2021, de <https://www.timotion.com/es/news-and-articles/part-1:-what-is-an-electric-linear-actuator-and-how-to-choose-it%3F>

Zhang, W., Zhang, X., Yan, C., Xiang, S., & Wang, L. (2015). A characteristic triangle method on input vectors of scissor lift mechanism and its applications in modeling and analysis. *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing*, 9(3), JAMDSM0042-JAMDSM0042. <https://doi.org/10.1299/jamdsm.2015jamdsm0042>

