

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**SISTEMA MECATRÓNICO AUTOMÁTICO PARA INTERCAMBIO DE
BATERÍAS EN UNA PLATAFORMA DE ATERRIZAJE PARA
DRONES DE TIPO MULTIROTOR**

Trabajo de investigación para obtener el grado académico de Bachiller en
Ciencias con mención en Ingeniería Mecatrónica

AUTOR

Janier Albert Valdivia Tuesta

ASESOR

Mg. Luis Angel Velasco Mellado

Lima, Noviembre del 2019

Resumen

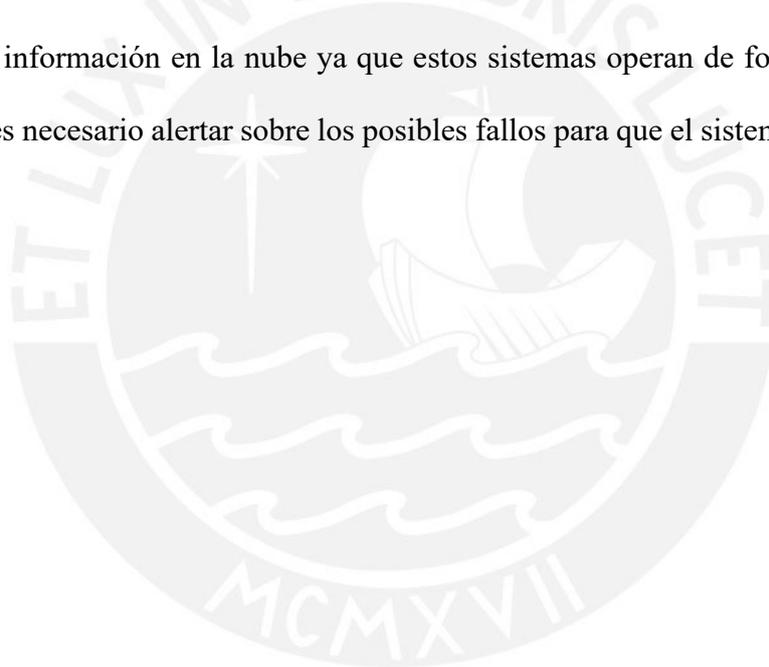
La presente tesis aborda el problema del abastecimiento de batería de los drones siendo su periodo de duración insuficiente para cubrir operaciones de mayor durabilidad. En la actualidad, la utilidad de los drones ha ido en aumento en los diversos campos en los que se desenvuelve, así como también su automatización. Con respecto a ello, con la constante evolución de la tecnología y la creciente demanda de automatizar los procesos en los que son requeridos estos dispositivos, se ha logrado que los UAVs (Unmanned Aerial Vehicles) sean autónomos en las operaciones que se requieren. De esta forma, ya no es necesario que sea controlado por algún operario en tiempo real, sino que puede funcionar de forma autónoma. Sin embargo, como se mencionó brevemente, las operaciones realizadas por estos dispositivos pueden tomar un tiempo mayor al de la duración de su batería, por lo que más tiempo implica menos operaciones por día y esto afecta a la productividad. De aumentar esta característica en los drones, se podrían usar, por ejemplo, como sistemas de vigilancia, ya que estos sistemas requieren una continuidad en su operación. Como segundo ejemplo podrían usarse para el envío de objetos a largas distancias de forma autónoma.

Se propuso realizar el diseño preliminar de un sistema mecatrónico automático que realizará el abastecimiento de batería de los drones con baterías LiPo 6S (6 celdas). Para lograr este diseño son necesarios los siguientes subsistemas: subsistema de transporte de batería, subsistema de sujeción de dron y el subsistema de adaptación de batería. El subsistema de transporte de batería estará conformado por un robot cartesiano ensamblado con un gripper magnético y un anaquel para guardar las baterías. Este arreglo permitirá la sujeción, extracción y colocación de la batería. El segundo subsistema está conformado por dos actuadores lineales, los cuales se encargarán mantener el dron fijo para poder realizarse el proceso de abastecimiento de la batería. Por último, el subsistema de adaptación de batería, que es el diseño

de un sistema mecánico que se ubicará en la parte media del dron para facilitar la extracción y colocación de la batería.

Las baterías a emplear en este diseño son baterías LiPo 6S y estas tienen unas dimensiones aproximadas de 59 mm x 64 mm x 158 mm. Además, su peso es aproximadamente de 1.5 kg. Esto permitirá realizar un mejor diseño para las consideraciones mostradas. Eventualmente, se delimitó a este tipo de batería ya que son las que más se usan en promedio para drones de dimensiones mayores a un metro de diámetro.

El sistema procesará la información en un controlador y estará constantemente validando, enviando y recibiendo data de internet, es decir, monitoreando en la nube. Se realizará un monitoreo de la información en la nube ya que estos sistemas operan de forma automática y además porque es necesario alertar sobre los posibles fallos para que el sistema sea reparado lo antes posible.



ÍNDICE DE CONTENIDO

Introducción	1
Capítulo 1.....	4
1.1. Marco Teórico	4
1.1.1 UAV.....	4
1.1.2 Las baterías LiPo.....	5
1.2. Antecedentes	7
1.3. Problema Técnico.....	9
1.3.1 Causas y Efectos.....	11
1.3.2 Cliente y Usuario.....	11
1.4. Propuesta de solución.....	12
1.4.1 Alcance.....	13
1.4.2 Objetivos.....	13
1.5. Estado del arte	14
1.5.1 Sistemas mecatrónicos para intercambio de batería de drones autónomos de tipo multirotor comerciales.....	15
1.5.2 Patentes y Tesis.....	16
1.6. Metodología Aplicada	21
Capítulo 2.....	24
2.1. Lista de requerimientos	24
2.2. Estructura de funciones	27
2.2.1 Black Box.....	27
2.2.2 Lista de funciones.....	29
2.3. Matriz Morfológica	35
2.3.1 Dominio Mecánico.....	35
2.3.2 Dominio Electrónico.....	36
2.3.3 Dominio de Control.....	39
2.4. Conceptos de Solución	39
2.5. Evaluación Técnica-Económica	45
Capítulo 3.....	48
3.1. Dimensiones Generales del Sistema	48
3.2. Arquitectura de hardware	50
3.3. Diagramas de Flujo del Sistema.....	52

3.4.	Diagramas de operaciones del Sistema	62
Capítulo 4.....		64
4.1.	Subsistema mecánico	65
4.1.1	Diseño mecánico de la máquina.....	65
4.1.2	Selección de materiales.	70
4.1.3	Cálculos torque y geometría del sistema.....	75
4.1.4	Cálculos de resistencia de las partes más críticas del sistema.....	111
4.2.	Subsistema Electrónico	120
4.2.1	Selección de sensores, actuadores, controlador y fuente o batería.....	120
4.2.2	Diagrama de bloques.....	141
4.3.	Esquemático del sistema	141
4.3.1	Controlador.....	142
4.3.2	Sensores.....	143
4.3.3	Energía.	144
4.3.4	Actuadores.....	145
4.4.	Subsistema de Control.....	146
4.4.1	Matemática y diagrama de flujo del control de un robot cartesiano.	146
4.4.2	Lógica de control del dispositivo.	154
Capítulo 5.....		158
5.1.	Planos	158
5.1.1	Planos mecánicos.	158
5.2.	Costos	161
5.2.1	Costos de diseño.....	162
5.2.2	Costos de fabricación.	163
Conclusiones		169
Recomendaciones		170
Bibliografía		171
Anexos		174
Anexo A: Estructura de funciones		174
Anexo B: Diagramas de bloques del sistema.....		175
Anexo C: Diagramas de flujo del sistema.....		178
Anexo D: Diagrama de operaciones del sistema		183
Anexo E		186
Anexo F		188
Anexo G		190
Anexo H.....		196

Índice de Figuras

Figura 1.1 España, Previsión de la facturación de la industria de drones comerciales a nivel mundial de 2016 a 2015 (en millones de dólares).	9
Figura 1.2 Airobotics Teaser.....	16
Figura 1.3 Systems and methods for UAV battery exchange (Sistemas y métodos para el intercambio de baterías de los UAV) de la patente US9.440,545B2.....	17
Figura 1.4 Systems and methods for UAV battery exchange (Sistemas y métodos para el intercambio de baterías de los UAV) de la patente US9.440,545B2.....	17
Figura 1.5 A method of and apparatus for extending the operation of an unmanned aerial vehicle (Un método y un aparato para extender el tiempo de operación de un vehículo aéreo no tripulado) de la patente EP 2 664 539A1.....	18
Figura 1.6 System and method for managing unmanned aerial vehicles (Sistema y método de gestión para vehículos aéreos no tripulados) de la patente WO 2016/078093 A1.....	19
Figura 1.7 System and method for managing unmanned aerial vehicles (Sistema y método de gestión para vehículos aéreos no tripulados) de la patente WO 2016/078093 A1.....	19
Figura 1.8 System and method for managing unmanned aerial vehicles (Sistema y método de gestión para vehículos aéreos no tripulados) de la patente WO 2016/078093 A1.....	20
Figura 2.1 Black box del sistema.....	28
Figura 2.2 Estructura de funciones del sistema.....	34
Figura 2.3 Concepto de Solución 1.....	41
Figura 2.4 Concepto de Solución 2.....	43
Figura 2.5 Concepto de Solución 3.....	45
Figura 2.6 Gráfico técnico-económico entre las soluciones.....	47
Figura 3.1 Dimensiones del sistema.....	49
Figura 3.2 Diagrama de bloques.....	52

Figura 3.3 Diagrama de flujo del programa principal.....	54
Figura 3.4 Diagrama de flujo del subprograma “Subsistema de sujeción”	56
Figura 3.5 Diagrama de flujo del subprograma “Subsistema de extracción de batería del dron”	58
Figura 3.6 Diagrama de flujo del subprograma “Subsistema de colocación de batería cargada”	60
Figura 3.7 Diagrama de flujo del subprograma “Subsistema de movimiento y control de los motores”.....	61
Figura 3.8 Diagrama de flujo del subprograma “Subsistema de desacople del dron”.....	62
Figura 3.9 Diagrama de operaciones del sistema.....	63
Figura 4.1 Modelo general del sistema.....	66
Figura 4.2 Modelo de la estructura del sistema	67
Figura 4.3 Modelo del robot cartesiano	68
Figura 4.4 Modelo del anaquel de baterías	68
Figura 4.5 Modelo del subsistema de sujeción	69
Figura 4.6 Modelo del subsistema de adaptación de batería	69
Figura 4.7 . Modelo de la cápsula y adaptador de la batería.....	70
Figura 4.8 Modelo del espacio de reserva para el controlador y batería del sistema.	70
Figura 4.9 Diagrama de cuerpo libre del tornillo de potencia	75
Figura 4.10 Representación de un tornillo	75
Figura 4.11 Tipos de roscas para husillo de potencia.	78
Figura 4.12 Diagrama de cuerpo libre del sistema a ser desplazado.	79
Figura 4.13 Batería LiPo 6S 11000 mAh de la empresa MaxAmps.....	86
Figura 4.14 Cápsula de la batería.....	87
Figura 4.15 Extracción de la batería del dron por medio de un gripper magnético.....	87

Figura 4.16 Diagramas de fuerza cortante y momento flector de la unión entre la batería y el gripper magnético.	89
Figura 4.17 Diagramas de fuerza cortante y momento flector de la unión entre la batería y el gripper magnético.	90
Figura 4.18 Estructura tubular de dron.	91
Figura 4.19 Geometría de la estructura tubular de un dron ligada a los requisitos del sistema.	91
Figura 4.20 Subsistema de sujeción del dron.....	92
Figura 4.21 Subsistema de sujeción del dron.....	94
Figura 4.22 Subsistema de sujeción del dron.....	94
Figura 4.23 Subsistema de sujeción del dron.....	95
Figura 4.24 Representación de la guía lineal.	96
Figura 4.25 Representación de la guía lineal.....	96
Figura 4.26 Diagrama de cuerpo libre de la guía lineal.....	97
Figura 4.27 Subsistema de sujeción del dron.....	97
Figura 4.28 Catálogo de guías lineales del fabricante Hiwin.	99
Figura 4.29 Factor de seguridad para guías lineales proporcionada por el fabricante Hiwin. .99	
Figura 4.30 Sistema de guía lineal.....	101
Figura 4.31 Gripper magnético.	101
Figura 4.32 Distancia de la cápsula de la batería.	102
Figura 4.33 Estática del segundo caso de las guías lineales.	102
Figura 4.34 Partes del tercer caso de las guías lineales.	104
Figura 4.35 Representación de la distancia en el tercer caso de las guías lineales.	104
Figura 4.36 Estática del segundo caso de las guías lineales.	105
Figura 4.37 Componentes del subsistema de sujeción y adaptación de baterías.	107

Figura 4.38 Adaptador y cápsula de batería.....	107
Figura 4.39 Mecanismo de sujeción de cápsula de batería.....	107
Figura 4.40 Representación del sistema de sujeción de batería.....	108
Figura 4.41 Estática y DCL del sistema de sujeción de batería.....	109
Figura 4.42 Características del resorte LC 051F 02 S.....	110
Figura 4.43 Sección del perfil T-slot.....	110
Figura 4.44 Sección del perfil T-slot.....	111
Figura 4.45 Sección del perfil T-slot.....	111
Figura 4.46 Placa de acero SAE 1045 con 12 apoyos.....	112
Figura 4.47 Esfuerzo de Von Mises como resultado de la simulación de la placa de acero SAE 1045.....	113
Figura 4.48 Propiedades del acero SAE 1045.....	113
Figura 4.49 Resultado de la máxima deformación de la placa de acero SAE 1045 en la simulación.....	114
Figura 4.50 Resultado del factor de seguridad de la placa de acero SAE 1045 en la simulación.....	115
Figura 4.51 Resultado del máximo desplazamiento en la placa de acero SAE 1045 en la simulación.....	115
Figura 4.52 Muestra de las partes más críticas en la simulación de la placa de acero SAE 1045.....	116
Figura 4.53 Representación del ensamble a ser simulado y las zonas críticas a comprobar.....	117
Figura 4.54 Resultado del esfuerzo de Von Mises sobre el perfil de aluminio 6061 en la simulación.....	118
Figura 4.55 Tabla de propiedades del aluminio 6061.....	118

Figura 4.56 Resultado del factor de seguridad hallado en el perfil de aluminio 6061 en la simulación.....	119
Figura 4.57 Resultado de la máxima deformación sobre el perfil de aluminio 6061 en la simulación.....	119
Figura 4.58 Resultado del análisis por software de la resistencia del tornillo ante los parámetros anteriormente mencionados.	120
Figura 4.59 Ubicación del sensor de distancia.....	121
Figura 4.60 Anaquel de baterías.	122
Figura 4.61 Anaquel de baterías.	124
Figura 4.62 Ubicaciones de los sensores de presión.....	126
Figura 4.63 Alineación de gripper magnético con adaptador de baterías del dron.....	128
Figura 4.64 Módulo de 4 relés SRD-05VDC-SL-C.....	131
Figura 4.65 Driver de motores a paso tb6600.....	133
Figura 4.66 Regulador de tensión YUCOO YKDD12S48 de 48 a 12 V.....	139
Figura 4.67 Regulador de tensión RCNUN de 48 a 24 V.....	140
Figura 4.68 Regulador de tensión LM2596 DC-DC Buck 1.25 V – 35 V con Voltímetro... ..	140
Figura 4.69 Smart Cargador VL4805L de batería 48 V 5 A de ion litio /LiFePO4 de la marca VLDL.....	140
Figura 4.70 Esquemático del sistema.....	142
Figura 4.71 Esquemático del controlador.	143
Figura 4.72 Esquemático de los sensores del sistema.....	144
Figura 4.73 Esquemático del integrado level converter.....	144
Figura 4.74 Esquemático de la parte de energía del sistema electrónico.....	145
Figura 4.75 Esquemático de los actuadores del sistema.	146
Figura 4.76 Parámetros de D-H para un eslabón giratorio.	150

Figura 4.77 Representación de los ejes de cada articulación y el eje de control del robot....	152
Figura 4.78 Diagrama de flujo del control de motores del sistema.	154
Figura 4.79 Diagrama de bloques del control de presión.	155
Figura 4.80 Diagrama de bloques del control de distancia.....	156
Figura 4.81 Diagrama de bloques del control de posición del robot	157



Listado de Tablas

Tabla 1.2 Comparación de drones profesionales más comunes en el mercado	6
Tabla 1.2 Comparación de sistemas de funcionamiento de las patentes estudiadas.....	20
Tabla 2.1 Lista de requerimientos del sistema propuesto	24
Tabla 2.2 Leyenda de indicadores para matriz morfológica.....	35
Tabla 2.3 Matriz morfológica en el dominio mecánico.....	35
Tabla 2.4 Matriz morfológica en el dominio electrónico.....	36
Tabla 2.5 Matriz morfológica en el dominio de control.....	39
Tabla 2.6 Evaluación técnica-económica.....	46
Tabla 3.1 Cálculo de potencia consumida del sistema	50
Tabla 4.1 Comparación entre polímeros para impresión 3D	71
Tabla 4.2 Comparación entre aluminios	72
Tabla 4.3 Comparación entre polímeros.....	73
Tabla 4.4 Comparación entre aceros.....	74
Tabla 4.5 Piezas modeladas del sistema de transporte	79
Tabla 4.6 Cálculo del torque en el husillo	82
Tabla 4.7 Cálculo del factor de seguridad	84
Tabla 4.8 Características de la batería seleccionada.....	86
Tabla 4.9 Cálculo del rango de valores del ángulo de inclinación	93
Tabla 4.10 Comparación entre sensores de distancia	121
Tabla 4.11 Comparación entre sensores de distancia	123
Tabla 4.12 Comparación entre sensores de distancia	124
Tabla 4.13 Comparación entre sensores de presión para primera ubicación.....	126
Tabla 4.14 Comparación entre sensores de presión para segunda ubicación	127
Tabla 4.15 Comparación entre sensores de distancia	128

Tabla 4.16 Comparación entre actuadores lineales para sujeción del dron	130
Tabla 4.17 Comparación entre motores	131
Tabla 4.18 Comparación entre grippers	134
Tabla 4.19 Comparación entre controladores para el sistema	135
Tabla 4.20 Tabla de consumo energético	137
Tabla 4.21 Características de la batería	138
Tabla 4.22 Características de la batería	141
Tabla 4.23 Definición de los parámetros $(\theta_{i,d}, \alpha_{i,a}, \alpha_{i,i})$	151
Tabla 4.24 Parámetros $(\theta_{i,d}, \alpha_{i,a}, \alpha_{i,i})$ del sistema.....	152
Tabla 5.1 Lista de planos mecánicos	158
Tabla 5.2 Costos totales	162
Tabla 5.3 Costos de diseño	162
Tabla 5.4 Costos de programación.....	163
Tabla 5.5 Costos de fabricación.....	163
Tabla 5.6 Costos de componentes estandarizados	164
Tabla 5.7 Costos de componentes estandarizados mecánicos	164
Tabla 5.8 Costos de componentes estandarizados electrónicos.....	165
Tabla 5.9 Costos de componentes no estandarizados	166

Lista de ecuaciones

(1).....	76
(2).....	77
(3).....	79
(4).....	81
(5).....	82
(6).....	83
(7).....	84
(8).....	84
(9).....	85
(10).....	88
(11).....	89
(12).....	89
(13).....	92
(14).....	98
(15).....	98
(16).....	100
(17).....	100
(18).....	102
(19).....	103
(20).....	106
(21).....	109
(22).....	113
(23).....	132
(24).....	136

(25)..... 147

(26)..... 148

(27)..... 153

(28)..... 153

(29)..... 153

(30)..... 153



Lista de símbolos

F: representa la carga a elevar, y es la suma de todas las fuerzas axiales que actúan sobre el tornillo.

P: fuerza necesaria que es necesario realizar para vencer la fuerza de rozamiento y hacer ascender la carga por el plano inclinado de la rosca del tornillo.

N: fuerza normal al plano de la hélice del tornillo.

$\mu \cdot N$: representa a la fuerza de rozamiento que es necesario vencer para hacer girar al tornillo.

T_h : Torque en el husillo [Nm]

F_b : Fuerza a levantar por la tuerca [N]

d_{med} : Diámetro medio del husillo [mm]

μ : Coeficiente de fricción entre el husillo y la tuerca [-]

n: Número de entradas en el husillo [-]

p: Paso del husillo [p]

θ : Angulo de la rosca del husillo [$^\circ$].

Tr: Torque requerido,

d_r : Diámetro menor,

f_{SM} : Factor de seguridad estático para un momento

M_0 : Momento estático admisible (kN*mm)

M: Momento aplicado (kN*mm)

F_s : factor de seguridad

Y_f : resistencia a la fluencia

E: Esfuerzo obtenido

Introducción

Los drones son vehículos aéreos no tripulados que tienen mucha utilidad en las diversas industrias como la agrícola, minera, construcción o topográfica, exploración, transporte y seguridad ciudadana. Existe una variedad de drones, pero por lo general se dividen en 2 tipos: drones de ala rotatoria o multirrotor y los de ala fija. Los drones de tipo ala rotatoria tienen estabilidad en el aire y pueden mantenerse en este ambiente.

Por otro lado, los drones de ala fija presentan vuelos a mayor distancia, velocidad y consumen menos energía, lo que les brinda un mayor tiempo en sus operaciones, además de que su diseño está hecho para que las fuerzas aerodinámicas lo ayuden a permanecer en vuelo. Sin embargo, ambos están limitados por las baterías, es decir, su tiempo de vuelo es limitado por el tipo de batería que usan. Evidentemente, esto dependerá del tipo de tecnología que estas baterías posean, pero de manera general este tiempo suele ser, para los drones de tipo multirrotor, en los cuales se enfoca el tema, alrededor de treinta minutos.

Esto implica que en muchos casos el tiempo de vuelo no sea el suficiente para cubrir una operación o tarea que se le hayan asignado. Por ello existen diversas formas de solucionar este problema. Los casos en los que se soluciona este problema son tres.

El primero para los drones que son teledirigidos por un operario, es decir, por control remoto. De esta forma la manera más sencilla de solucionar este problema es haciendo un intercambio manual de batería y colocar a cargar la que ya se usó.

La segunda forma de solucionar este problema está enfocado a los drones autónomos. Si bien es cierto que estos pueden ejecutar tareas por sí mismos, sin la ayuda de un operario, su propuesta de solución se basa en un hangar autónomo para drones que permite la carga de estos, en la mayoría de los casos, por inducción.

Por un lado, se logra automatizar el sistema de carga, sin embargo, el tiempo de carga suele ser en muchos casos elevado. Esto es, entre una y dos horas aproximadamente. La tercera forma, considerada como relativamente nueva, aplica para el mismo enfoque visto en la segunda forma.

Así entonces, la tercera forma contempla drones del tipo autónomo con un hangar que les permite cargarse de forma automática. Sin embargo, la solución no deriva en una carga por inducción, sino que, por el contrario, sirve para un hangar totalmente automatizado que permite extraer partes del dron, realizar un mantenimiento y a su vez, cambiarle la batería. El problema con esta solución es que está ligado a ciertos tipos específicos de drones y no permite aplicar una solución general, es decir, drones que han sido modificados para que pueda automatizarse su proceso de abastecimiento de energía.

La solución que se plantea en este documento propone generalizar este concepto para que sea aplicable a cualquier dron del tipo multirotor que porte de una batería LiPo 6S de 11000 mAh. De tratarse de otro tipo de batería, la propuesta de solución que se obtenga seguirá siendo válida con la excepción de que el adaptador de la batería deberá contemplar una geometría diferente para almacenar baterías que difieran de la mencionada. El objetivo principal de la presente tesis es realizar el diseño preliminar de un sistema mecatrónico automático que permita abastecer de baterías cargadas a drones del tipo multirotor. A continuación, se presentan los objetivos específicos que se deberán cumplir para alcanzar el objetivo principal de este trabajo:

- Realizar una investigación del estado del arte con el fin de analizar el estado actual de la tecnología relacionada sistemas automáticos de abastecimiento de baterías para drones de tipo multirotor.
- Definir los requerimientos específicos que debe cumplir el sistema para alcanzar el objetivo principal.

- Determinar el diseño conceptual del sistema mecatrónico planteado siguiendo los lineamientos de la metodología de la norma VDI 2221.
- Realizar los cálculos correspondientes al subsistema mecánico y al electrónico/eléctrico del sistema planteado.
- Definir las variables a ser controladas por el subsistema de control.
- Realizar la selección de componentes del sistema y determinar aquellos que serán fabricados y/o adquiridos.
- Elaborar los planos mecánicos y electrónicos/eléctricos del sistema.
- Hacer una estimación de los costos involucrados en el proyecto.



Capítulo 1

Antecedentes y estado del arte

En el presente capítulo, se realizará un estudio de los antecedentes generales sobre los drones, el tiempo de carga de las baterías de estos dispositivos y su tiempo de vuelo, el estado del arte en el que se muestra la tecnología existente, y se explica el plan metodológico a seguir durante el diseño de la máquina.

1.1. Marco Teórico

En esta sección se revisarán los conceptos básicos necesarios para entender el tema planteado y proponer soluciones en base a ello. Se explicará principalmente acerca de los UAV (Unmanned Aerial Vehicle) y de las baterías LiPo, los cuales son temas fundamentales en la tesis planteada.

1.1.1 UAV.

El UAV (Unmanned Aerial Vehicle) o también conocido como vehículo aéreo no tripulado puede ser capaz de identificar y aterrizar o despegar en una estación de suministro de energía de forma automática. Existe la necesidad de proporcionar una mayor variedad de vuelos para los UAV. El aumento del rango puede ser útil cuando los UAV requieren entregar elementos en una zona indicada, rociar un entorno, patrullar o escanear un área. Una estación de carga de baterías automatizada o semiautomática puede permitir ventajosamente que se recargue la batería en un UAV. La vida útil de la batería puede recargarse en un UAV de dos formas. La primera forma es recargando la batería del UAV y la segunda consiste en cambiar la batería para proceder a colocar otra que se encuentre cargada. Los drones son un tipo de vehículos aéreos no tripulados y de estos existe una gran variedad en el mercado [Foundation et al., 2015].

Existen dos tipos de drones, los de ala fija y los de ala rotatoria. Los de ala fija son los que se desplazan a través del aire y son capaces de generar fuerzas sustentadoras para

mantenerse en el aire. La ventaja de estos es que gracias a su diseño aerodinámico pueden permanecer en vuelo por horas y tienen una gran autonomía. De esta forma son ideales para mapeo. La desventaja de estos es que no permite vuelos estacionarios, es decir volar a una altura determinada y mantenerse fija. Además, en el aterrizaje es necesario una pista como la que utilizan los aviones.

Por otro lado, los drones de ala rotatoria o también conocidos como multirrotores tienen un funcionamiento diferente. La diferencia principal entre este tipo de drones es la estabilidad que tiene en el aire en una posición fija con autonomía, además, la sustentación de su vuelo se debe a las fuerzas que generan las hélices de sus rotores. Según el número de rotores se clasifican en los siguiente: tricópteros (3 motores), cuadricópteros (4 motores), hexacópteros (6 motores) y octacópteros (8 motores). Los drones de tipo ala rotatoria son muy versátiles, sin embargo, el principal problema de estos drones es su autonomía [Insights, n.d.].

1.1.2 Las baterías LiPo.

Las baterías LiPo son baterías compuestas principalmente por polímeros de litio. Este compuesto químico es el encargado de permitir que estas baterías puedan almacenar grandes cantidades de energía. Es un tipo de batería muy comercial en el mundo, extendiendo su uso en muchos dispositivos electrónicos, principalmente en los drones del tipo multirrotor. Son muy recomendables ya que ofrecen mayores rendimientos en comparación a otras baterías como NiCd y NiHm. Estas baterías pueden almacenar una gran cantidad de energía y ofrecen una tasa de descarga alta.

Las baterías LiPo se clasifican por el número de celdas que contenga. De esta forma, una batería "6S" estaría compuesta de 6 celdas de batería a conectadas en serie. Cada celda de la batería ofrece en promedio 3.7 voltios, así el voltaje total que suministra es aproximadamente de 22.2 voltios.

Por otro lado, estas baterías también indican la capacidad de corriente que pueden transmitir, siendo así a mayor número de miliamperios(mAh), más capacidad de carga. Se podría pensar que, optando por baterías de mayor amperaje, se podría lograr mayor autonomía en el tiempo de vuelo de un dron, sin embargo, esto es falso. Ya que una batería de mayor tamaño, indica mayor peso y ello, mayor consumo.

Además, las baterías se clasifican también por la tasa de descarga, conocido como "C". Una batería de "1C" significa que la tasa de descarga que puede alcanzar es la misma a la que ofrece su capacidad. Es decir, una batería de 1000 mAh 1C se descargaría a 1 A(amperio) en una hora. De esta forma si el número C es diferente de 1, se multiplica la tasa de descarga por un valor, reduciendo así el tiempo de descarga proporcionalmente.

También existe un factor "C" que hace referencia a la tasa de carga. Esto influye directamente en la vida útil de la batería. Entonces, si se realiza una carga a 1C en una batería de 1000mAh, esto significa que se ha configura el cargador para que realice a 1 amperio y su duración será alrededor de una hora. Por tanto, el rango de C que tenga la batería en su tasa de carga indicará la máxima velocidad a la que se puede cargar [MOBUS, n.d.] .

A continuación, se muestra en la siguiente tabla una serie de drones profesionales con sus especificaciones señalando el tipo de batería que son requeridas en el mercado, así como también sus dimensiones.

Tabla 1.1 Comparación de drones profesionales más comunes en el mercado

Modelo de dron	Fabricante	Peso	Cantidad de celdas de la batería	Autonomía de la batería	Diámetro del dron
DJI Spreading Wings S1000	DJI	11kg (Max)	6S	15 minutos	1045mm

					
DJI Spreading Wings S900 	DJI	8.2kg (Max)	6S	18 minutos	900mm
DJI Matrice serie 600 PRO 	DJI	15.5 kg (Max)	6S	18 minutos	1133mm
DJI Matrice 600 	DJI	15.1 kg (Max)	6 baterías 2S	38 minutos	1133mm
SK-62 Hexacopter Security 	DIGITAL EAGLE	18kg (Max)	6S	40-60 minutos	1300mm

Fuente: Extraído de [EAGLE, n.d.] y [ACRE, n.d.].

1.2. Antecedentes

El interés creciente de usar drones, tanto por organismos del sector público como privado y del tipo nacional e internacional han motivado la mejora continua de estos vehículos

generando que cada vez sean más autónomos. Esto significa que la demanda en cuanto al uso de drones también aumenta. Por ejemplo, según el diario Clarín, diario matutino argentino publicado en la ciudad de Buenos Aires, conforme a las estimaciones realizadas en la Exposición Internacional de Drones de los Ángeles, para el 2025 esta industria tendrá un valor de 90 mil millones de dólares [Clarín, 2019] .

En la actualidad existe una gran demanda de estos sistemas en el sector de la agricultura, minería, salud, ingeniería, entre otros. Por ejemplo, la compañía Amazon, la cual es una compañía estadounidense de comercio electrónico y servicios de computación en la nube, usa Prime Air el cual es un sistema de entrega basado en drones y se encuentra en desarrollo y mejora continua. Según la compañía este sistema de drones está diseñado para que las entregas se hagan de manera automática y segura a sus clientes en 30 minutos o menos [Amazon, 2016]. Otro ejemplo es la empresa Airobotics que desde el año 2014 ha desarrollado hangares para drones. Esta empresa ha desarrollado un sistema completamente autónomo de sistema de vuelo de drones, cambio de baterías y cambio de sensores que estos portan. Además, la empresa ha implementado software para sus diseños de tal forma que toda la tecnología que portan y desarrollan les ha permitido diseñar soluciones adecuadas para satisfacer las necesidades de los entornos industriales más complicados del mundo [AIROBOTICS, n.d.]. Por último, un claro ejemplo de desempeño y emprendimiento en estas tecnologías es la empresa qAIRa, la cual es una empresa peruana que diseña drones diversos tipos como por ejemplo Drone Andino. Este es un dron que está diseñado para el control de la contaminación del aire. Además, presentan qBOX, el cuál es un hangar para drones diseñado para la carga de estos mismos[qAIRa, n.d.].

Según el diario Gestión (2019) Aparte de salvar vidas, los drones civiles se están convirtiendo en un buen negocio. El banco Goldman Sachs estima que el mercado tendrá un valor de US\$ 100,000 millones para el 2020 en áreas tales como topografía, seguridad y entregas a domicilio. Ello indica que la demanda de los drones irá en crecimiento con el pasar

del tiempo y que la soluciones que se implementan cada vez deben volverse menos dependientes del hombre.

En el Perú enfrentamos últimamente problemas de contaminación y deforestación debido a la falta de prevención y cuidados. Por ejemplo, en agosto del año pasado, en Madre de Dios se implementaron drones para vigilar los castañeros para enfrenar la deforestación y también la minería ilegal. Para ello por medio de drones pueden vigilar de manera más eficiente las amenazas que ponen en peligro a esta región [El Comercio, 2018].

Por otra parte, según el portal de la empresa Statista, empresa alemana que se encarga de recopilar datos de los institutos de investigación de mercado y opinión, y también los datos del sector económico, se estima que la previsión de la facturación de la industria de drones comerciales a nivel mundial del 2016 al 2025 llegará hasta los 12647,2 millones de dólares [Statista, 2017]. En la figura 1.1 se presenta una gráfica que muestra la facturación de en millones de dólares que presenta la industria de los drones desde el 2016.

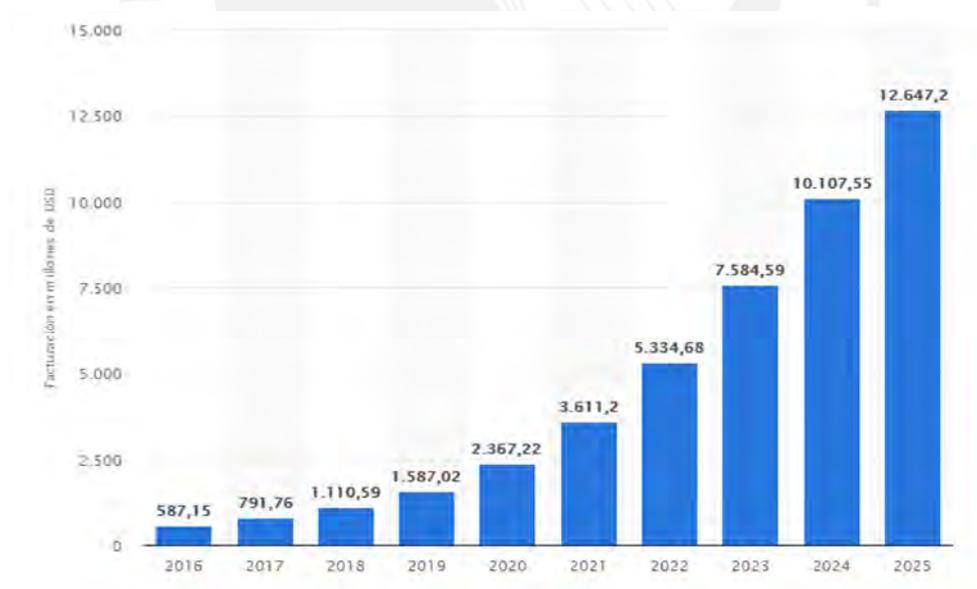


Figura 1.1 España, Previsión de la facturación de la industria de drones comerciales a nivel mundial de 2016 a 2015 (en millones de dólares).

Fuente: Extraído de [Statista, 2017].

1.3. Problema Técnico

El tiempo de vuelo debido al consumo de energía para mantenerse en aire en promedio para los drones de ala rotatoria suele ser desde los 20 minutos hasta 40 minutos. Dependerá mucho del tamaño del dron y del tipo de carga que este tenga, es decir, si transporta algún producto o no. Además, el tamaño de la batería, tipo de batería son variables que vienen de acuerdo con el dron y su uso. Por ejemplo, la empresa qAIRa usa baterías 6S de 11000 mAh y con ello pueden cargar las baterías en aproximadamente una hora con treinta minutos. Con todo esto se puede deducir que se ocupa mucho tiempo en la carga de las baterías en lugar de realizar más operaciones en ese lapso [qAIRa, n.d.].

Sin embargo, esto depende de la tecnología que se use en cuanto a baterías. Por ejemplo, la empresa Pulse Battery ha desarrollado baterías que permiten la carga en un tiempo de aproximadamente quince minutos y estas baterías son 6S 5500mAh 65C [PULSE, n.d.].

En la actualidad existe un sistema mecatrónico que trata este problema, sin embargo, se limita la solución solo al tipo de drones de la compañía que elabora esta propuesta ya que el sistema está diseñado especialmente para los tipos de drones que diseñan. La empresa Airobotics es dueña de esta solución y presenta una plataforma totalmente automatizada que plantea el cambio de baterías automático. La plataforma en donde aterrizan estos drones es de baja demanda y multipropósito. A pesar de que su sistema aplica solo para sus productos, el sistema que presenta la empresa les permite tener una autonomía total sobre los drones. De esta forma la carga es automática e inmediata. En resumen, el problema del tema propuesto se segmenta en dos. La primera representa el tiempo que toma el abastecimiento de la energía en las baterías LiPo de los drones. En segundo lugar, como consecuencia de la primera, los tiempos de inoperatividad producidos por el tiempo de espera en la carga de la batería generando una discontinuidad en el tiempo absoluto de la operación. Por lo tanto, el presente proyecto plantea ofrecer una solución a las empresas que hacen uso de drones de tipo ala

rotatoria y no cuentan con un sistema que permita el intercambio de baterías de forma automática y que les permita maximizar el tiempo de operación diaria de estos vehículos.

1.3.1 Causas y Efectos.

El problema que se aborda es producido por el tiempo que toma el abastecimiento de la energía en las baterías de los drones y como consecuencia de esto, los tiempos de inoperatividad producidos por el tiempo de espera en la carga de la batería generando una discontinuidad en el tiempo absoluto de la operación. De esta forma se identifican las causas y los efectos del problema.

La causa principal del problema es:

- El tiempo de carga de las baterías que oscilan entre una hora y dos horas aproximadamente.

Los efectos del problema son:

- Los tiempos estacionarios o no productivos durante el periodo de carga de la batería del dron.
- La reducción de las operaciones que un dron puede realizar por día.

1.3.2 Cliente y Usuario.

Con el análisis de la problemática planteada, además de sus causas y efectos, se plantea un breve listado de los posibles clientes y usuarios que contempla nuestra temática.

A continuación, se presenta a algunas de las empresas que usan hangares de drones:

Airobotics, empresa australiana dedicada al diseño de drones y hangares con total autonomía. Los campos de acción de su sistema son la agricultura, minería, seguridad [AIROBOTICS, n.d.].

- qAIRa, empresa peruana que diseña drones y hangares para la exploración, minería, agricultura, entre otros [qAIRa, n.d.].

- H3Dynamics, empresa internacional que al igual que las demás diseña drones y hangares para diversos usos comerciales. Por ejemplo, esta empresa usa la tecnología de sus hangares en el ámbito de seguridad para transferencia de imágenes, telemetría a la nube, datos de sensores, permite carga rápida y además se carga con energía solar o enchufado a la red [H3Dynamics, n.d.].

Los posibles usuarios son empresas que hacen uso de drones autónomos y cuentan también con una plataforma de aterrizaje. Algunos ejemplos se muestran a continuación:

- Empresas mineras como Antamina la cual vincula esta tecnología a exploración, temas de análisis de la contaminación en el ambiente, temas de seguridad y de una mejor supervisión del trabajo que se efectúa en sus centros mineros [ANTAMINA, n.d.].
- Empresas de seguridad como LIDERMAN, ligada a temas de seguridad ciudadana [LIDERMAN, n.d.].
- Entidades públicas como el Ministerio de Salud del Perú, el cual hace uso de estas tecnologías en los equipos de rescate y transporte de medicamentos [DIGERD, 2018].

1.4. Propuesta de solución

Se plantea el diseño de un sistema mecatrónico automático para intercambio de baterías en una plataforma de aterrizaje para drones de tipo multirrotor. Este sistema cuenta con 3 subsistemas principales. El primero contempla un brazo robótico el cuál será el encargado de desplazar las baterías y colocarlas en los drones de forma autónoma. El segundo se encargará del de acople o sujeción del dron con la plataforma de aterrizaje para que se realice el intercambio de baterías. El tercer subsistema se basa en el diseño de un adaptador de baterías general, el cuál facilitará el acople y desacople entre la batería y el dron. Asimismo, se plantea como objetivo general el diseño de un sistema mecatrónico usando las metodologías de diseño

mecatrónico (VDI 2206)[Gausemeier & Moehringer, 2002] y diseño de sistemas técnicos y productos (VDI 2221)[VDI, n.d.] con el fin de controlar los subsistemas antes descritos.

1.4.1 Alcance.

- Se dimensiona el sistema general a 2.5m x 2.5m x 2.5m como máximo debido a que se requiere un área mayor para contemplar drones de tamaño que oscilen entre 1m a 1.5m y además para un almacén de baterías.
- El sistema en general, planteará una solución que contemple a drones que contemplen solo una batería LiPo 6S de 11000 mAh de dimensiones aproximadas a de 59 x 64 x 158 mm. Sin embargo, esto no quiere decir que el concepto no aplique para otros tipos de baterías, sino que dependiendo del tipo de batería que se use, variará la geometría del subsistema de adaptación de batería.
- Se plantea el concepto de un mecanismo que permita el transporte de las baterías, así como también el retiro y colocación de la batería en el dron debido a que el sistema aterriza en una plataforma y se fija a esta, por ello se requiere de un mecanismo que se encargue de manipular la batería. Además, en cuanto a la precisión del aterrizaje del dron, se considerará un error máximo de 3 cm como máximo en su tolerancia.
- Se plantea una solución que contempla a drones que oscilan entre un metro a un metro y medio de diámetro.
- Se plantea un máximo de 64 baterías en la máquina para realizar intercambios.
- Se plantea el concepto de un mecanismo que permita la sujeción para los drones de tipo ala rotatoria, una vez estos hayan aterrizado en la plataforma.
- Se plantea un diseño que pueda soportar un almacén de baterías con capacidad para 60 baterías LiPo.

1.4.2 Objetivos.

Se presentan el objetivo general y los objetivos específicos del presente trabajo. También se presentan los resultados intermedios o finales que se esperan conseguir en el desarrollo del tema propuesto.

Objetivo General:

- Elaborar un diseño preliminar de un sistema mecatrónico automático que permita abastecer de baterías cargadas a drones del tipo multirotor.

Objetivos Específicos:

- Realizar una investigación del estado del arte con el fin de analizar el estado actual de la tecnología relacionada sistemas automáticos de abastecimiento de baterías para drones de tipo multirotor.
- Definir los requerimientos específicos que debe cumplir el sistema para alcanzar el objetivo principal.
- Determinar el diseño conceptual del sistema mecatrónico planteado siguiendo los lineamientos de la metodología de la norma VDI 2221.
- Realizar los cálculos correspondientes al subsistema mecánico y al electrónico/eléctrico del sistema planteado.
- Definir las variables a ser controladas por el subsistema de control.
- Realizar la selección de componentes del sistema y determinar aquellos que serán fabricados y/o adquiridos.
- Elaborar los planos mecánicos y electrónicos/eléctricos del sistema.
- Hacer una estimación de los costos involucrados en el proyecto.

1.5. Estado del arte

En el presente acápite, se muestra un estudio previo de los sistemas mecatrónicos para intercambio de baterías de drones autónomos de tipo multirotor, también se muestran adaptaciones de baterías en drones que simplifican su colocación y extracción, además de

patentes, tesis de estudios previos, sensores, actuadores y controladores con el fin de asimilar conocimientos que serán de ayuda para la realización del proyecto.

1.5.1 Sistemas mecatrónicos para intercambio de batería de drones autónomos de tipo multirotor comerciales.

Alrededor del mundo se utilizan sistemas mecatrónicos para cargar la batería de los drones de forma autónoma. Estos se logran con una adaptación en las plataformas de aterrizaje de estos mismos. Por lo general, se suele cargar la batería en estas plataformas. Un ejemplo de esto es la empresa H3Dynamics con su modelo llamado “DRONEBOX” [UST, 2016]. Sin embargo, este tipo de sistemas no permiten que los drones maximicen su tiempo de operación por día debido a que su carga se realiza por inducción y no permite un abastecimiento inmediato.

A continuación, se muestra un sistema mecatrónico que intercambia baterías de forma automática a los drones autónomos de tipo multirotor.

1.5.1.1 Airobotics.

El sistema mecatrónico de la empresa AIROBOTICS (Figura 1.2), ofrece un diseño moderno, con un sistema robótico que permite extraer la batería agotada del dron, transportarla hacia una zona de carga, elegir la batería adecuada para el tipo de dron que se encuentra en espera, transportarla y colocarla dentro del dron. Este sistema según las especificaciones del mismo fabricante tiene una precisión de 5cm. Además, según el fabricante, este producto es duradero, resistente a la corrosión y a la intemperie. De manera general lo que este sistema ofrece es lograr un tiempo de operación continuo[AIROBOTICS, n.d.].

Entre las características que muestra la empresa Airobotics no muestra el tiempo de duración de operación de sus drones. Además, su producto, está diseñado solo y exclusivamente para el tipo de drones que la compañía fabrica.



Figura 1.2 Airobotics Teaser

Fuente: Extraído de [AIROBOTICS, n.d.]

1.5.2 Patentes y Tesis.

A continuación, se presentan trabajos previos realizados por investigadores y tecnólogos sobre sistemas automatizados de intercambio de batería de drones tipo multirrotor donde proponen novedosos métodos para automatizar el transporte de la batería además de los mecanismos que lo involucran.

1.5.2.1 Patente “Systems and methods for UAV battery exchange” (Sistemas y métodos para el intercambio de baterías de los UAV)-US 9.440,545 B2.

La patente de la Figura 1.3 (liberada) se centra el cambio autónomo de baterías de un dron del tipo multirrotor. Según este diseño se puede almacenar una cantidad máxima de 8 baterías y a la vez este sistema sirve como carga. Es decir, mientras se suministra la batería o se recibe, se pueden cargar. Por parte de la Figura 1.4 podemos apreciar que es parte del diseño integral, un brazo robótico con pinzas el cual se encarga de apoyo para el transporte de la batería. Además, este brazo se transporta a través de un carrito que le permite realizar el acople de la batería dentro del dron.

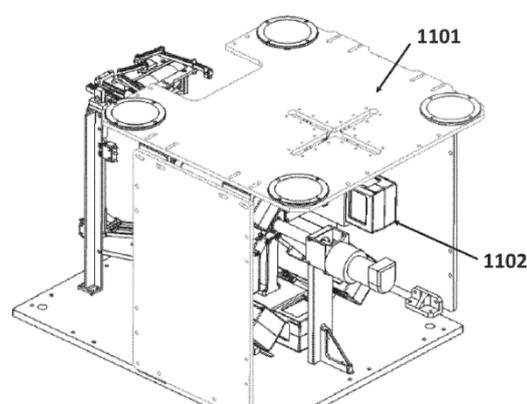


Figura 1.2 Systems and methods for UAV battery exchange (Sistemas y métodos para el intercambio de baterías de los UAV) de la patente US9.440,545B2.

Fuente: Extraído de [Foundation et al., 2015].

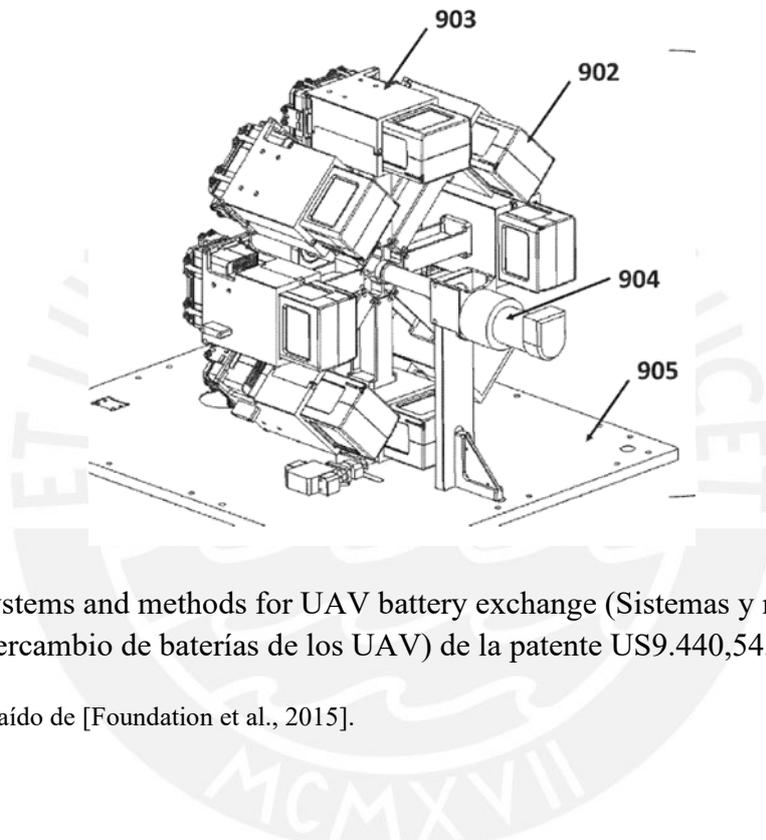


Figura 1. 3 Systems and methods for UAV battery exchange (Sistemas y métodos para el intercambio de baterías de los UAV) de la patente US9.440,545B2.

Fuente: Extraído de [Foundation et al., 2015].

1.5.2.2 Patente “A method of and apparatus for extending the operation of an unmanned aerial vehicle” (Un método y un aparato para extender la operación de un vehículo aéreo no tripulado) - EP 2 664 539A1.

La patente de la Figura 1.5 (liberada) se centra el cambio autónomo baterías de un dron del tipo multirotor mediante el uso de un brazo robótico. El brazo robótico es el encargado de extraer la batería que se va suministrando mediante otro mecanismo. Esto se puede ver simbolizado en la imagen que se encuentra en la parte superior derecha de la figura. Por otro

lado, el sistema del brazo robótico es capaz desplazarse en los tres ejes. Así de esta forma el sistema se encarga de encontrar la posición del dron para luego ejecutar el cambio de la batería.

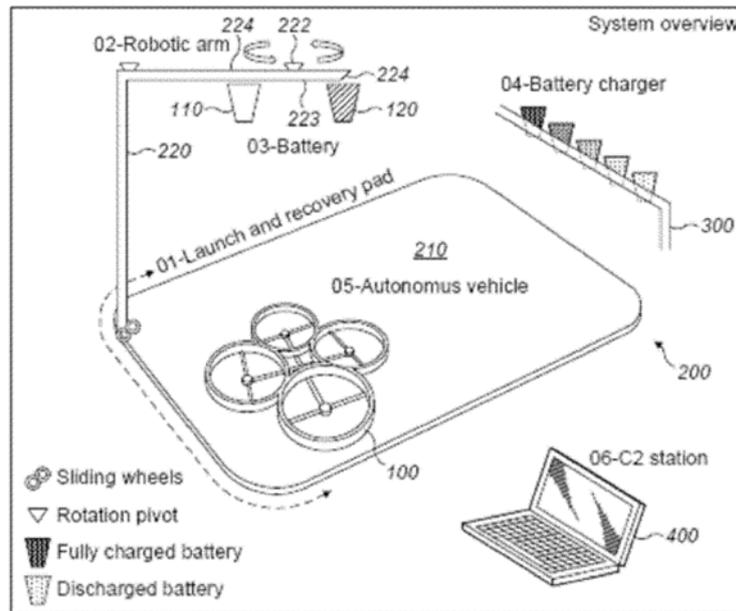


Figura 1.4 A method of and apparatus for extending the operation of an unmanned aerial vehicle (Un método y un aparato para extender el tiempo de operación de un vehículo aéreo no tripulado) de la patente EP 2 664 539A1.

Fuente: Extraído de [Application, 2007].

1.5.2.3 Patente “System and method for managing unmanned aerial vehicles”- WO 2016/078093 A1.

La patente de la Figura 1.6 podemos apreciar al dron que ha aterrizado en una zona fija para luego proceder al sistema que realizará el cambio de baterías. En la Figura 1.7 podemos ver carrito móvil con unas pinzas es el encargado de retirar una batería de un almacén o casillero. En este casillero podemos ver que se agrupan las baterías y este sistema está programado para saber la posición de estas. Por último, en la Figura 1.8 se puede apreciar cómo se coloca la batería, y, sobre todo, se puede apreciar cómo existe una adaptación de esta batería

con el dron. Es decir, se ha adaptado la zona de la batería del dron de forma que sea fácil de retirar y colocar para facilitar su autonomía.

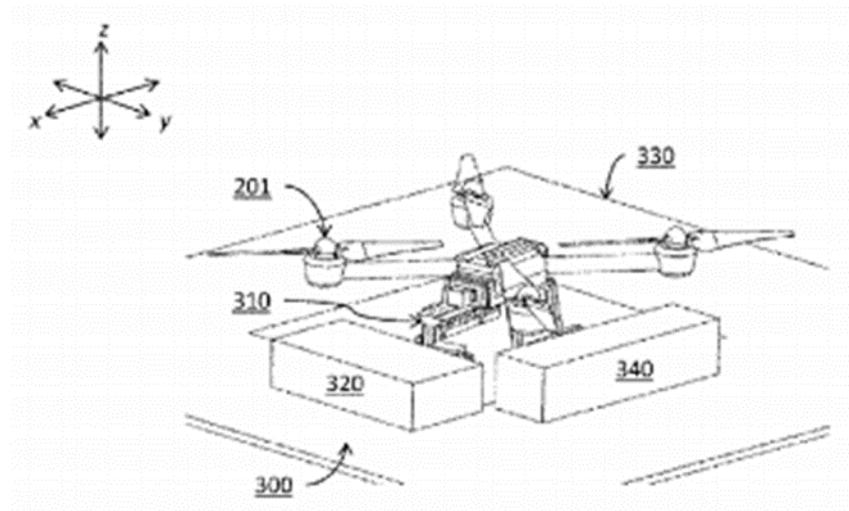


Figura 1.5 System and method for managing unmanned aerial vehicles (Sistema y método de gestión para vehículos aéreos no tripulados) de la patente WO 2016/078093 A1.

Fuente: Extraído de [Po, 2016].

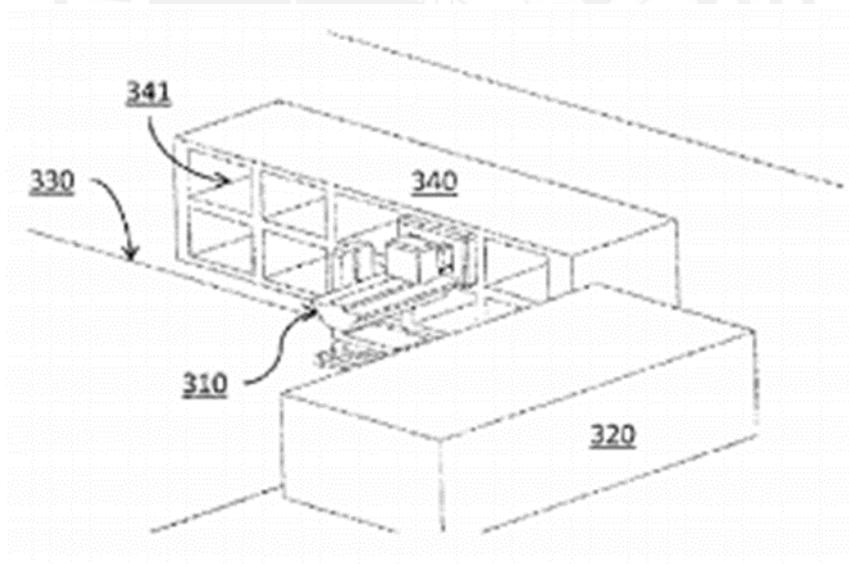


Figura 1.6 System and method for managing unmanned aerial vehicles (Sistema y método de gestión para vehículos aéreos no tripulados) de la patente WO 2016/078093 A1.

Fuente: Extraído de [Po, 2016].

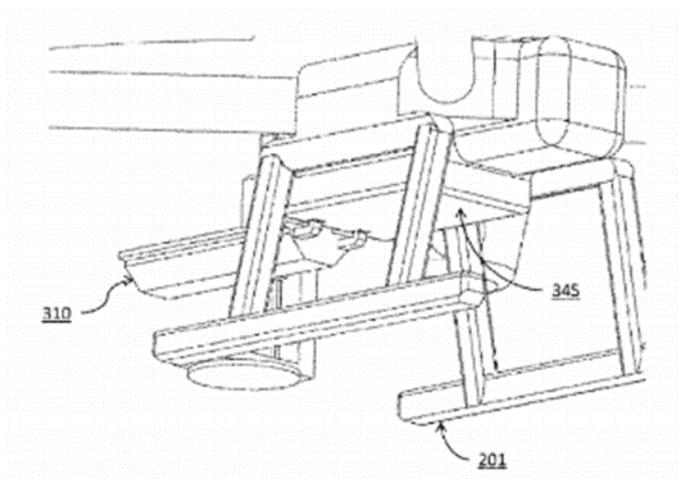


Figura 1.7 System and method for managing unmanned aerial vehicles (Sistema y método de gestión para vehículos aéreos no tripulados) de la patente WO 2016/078093 A1.

Fuente: Extraído de [Po, 2016].

Tabla 1.2. Comparación de sistemas de funcionamiento de las patentes estudiadas.

Patente	Sistemas	Ventajas	Desventajas
Systems and methods for UAV battery exchange” (Sistemas y métodos para el intercambio de baterías de los UAV)	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema rotatorio con extremidades que almacenan las baterías. • Carrito con pinzas de sujeción que se desplaza a través de una rueda dentada por un canal definido. 	<ul style="list-style-type: none"> • Facilidad de portabilidad de la batería. • Permite la carga de la batería agotada. • Facilita el suministro de la batería. 	<ul style="list-style-type: none"> • Su implementación es compleja y solo alberga un total de ocho baterías. • Su proceso es el más lento de todos debido a la complejidad y cantidad de mecanismos que lo involucran.
A method of and apparatus for extending the operation of an unmanned aerial vehicle (Un método y un aparato para extender el tiempo de operación de un vehículo aéreo no tripulado)	Brazo robótico de operación en 3 ejes con gripper para sujeción de batería.	<ul style="list-style-type: none"> • Presenta un sistema que permite no solo operar con baterías sino también con otras partes del dron. • Es más rápido que los demás debido a que el brazo robótico se desplaza con precisión. 	<ul style="list-style-type: none"> • Es un sistema muy costoso y su implementación requiere de un alto presupuesto. • No presenta un sistema de sujeción para el dron mientras se realiza la operación.
System and method for managing	Carrito que desplaza baterías de una zona	Simplifica la complejidad del	No presenta un sistema de sujeción

unmanned aerial vehicles (Sistema y método de gestión para vehículos aéreos no tripulados)	de almacenamiento y carga a la zona de la batería del dron.	proceso de extraer y colocar baterías.	para el dron mientras se realiza la operación.
-			

Fuente: Extraído de [Foundation et al., 2015], [Application, 2007] y [Po, 2016].

1.6. Metodología Aplicada

Para el presente proyecto se utilizarán las metodologías de diseño mecatrónico (VDI 2206)[Gausemeier & Moehringer, 2002] y diseño de sistemas técnicos y productos (VDI 2221)[VDI, n.d.]. A continuación, se explica cómo se aplica esta metodología.

- Definición de la problemática:
- Comprende la evaluación del tiempo de carga de los drones en contraste con el tiempo de operación de estos haciendo énfasis en el cambio de batería de los drones.
- Planteamiento de objetivo general, objetivos específicos y alcances de la tesis propuesta.
- Revisar el estado del arte asociado a la máquina teniendo en cuenta trabajos y estudios anteriores: Se desarrolla un análisis de empresas proveedoras de drones que poseen un sistema de cambio de baterías, así como también un análisis de patentes sobre este tema. Además, se contemplará un estudio de sensores, actuadores y controladores que se usaron en sistemas similares al planteado.
- Establecer los requerimientos que requiere el diseño para determinar las funciones de la máquina que contiene señales, uso de energía, componentes mecánicos, eléctricos y de control:
- Se implementará una lista de requerimientos la cual contempla los parámetros de material, función principal, uso, transporte, montaje, cinemática, control, geometría, mantenimiento, seguridad y fabricación. Las señales de entrada y salida, energía y materia son parte del black box.
- Realizar una matriz morfológica de cada función con distintos principios de solución:

- Evaluación de diferentes alternativas o soluciones a cada función de la máquina.
- Proponer conceptos de solución en base a sus combinaciones y hallar el concepto de solución óptimo en base a un análisis técnico-económico:
- Se propondrán tres conceptos de solución para luego elaborar un análisis de esta y escoger la óptima.
- Realizar un diseño preliminar con el dimensionamiento del sistema analizando geometría, esquemas y planos de la propuesta de solución escogida.
- Elaborar estrategias de control y cálculos preliminares mecánicos y eléctricos planos de la propuesta de solución escogida.
- Seleccionar de forma aproximada y preliminar los materiales mecánicos, eléctricos (sensores y actuadores) y de control que cumplan con las exigencias del proyecto y los resultados de los cálculos y estrategias de control.
- Realizar el proyecto definitivo determinando los materiales definitivos del sistema.
- Realizar los cálculos finales que se requieran para la implementación.
- Elaborar los planos mecánicos, eléctricos y/o electrónicos.
- Simular el sistema para corroborar resultados teóricos y simulados.
- Determinar los costos de los componentes, materiales y costos de fabricación.
- Elaborar el documento final.

En este capítulo se ha investigado sobre la importancia de automatizar el cambio de baterías en los drones en respuesta a su creciente demanda. También se ha estudiado máquinas que existen actualmente en el mercado y patentes. Esta información servirá para la realización del siguiente capítulo que determina conceptos preliminares como solución para alcanzar el diseño final.



Capítulo 2

Diseño Conceptual

En este capítulo se determinan las exigencias que debe cumplir el diseño en función de parámetros establecidos, el dimensionamiento, energía, cinemática, seguridad, función principal, uso, transporte, control, geometría, material, mantenimiento y fabricación. Con esta información se relacionan las variables de entrada y de salida, en un primer momento, sin detallar los procesos intermedios. Luego se describe de manera general las funciones que contiene el sistema. Por cada función se presentan como máximo 3 portadores de solución para luego trazar una matriz de 3 conceptos de solución. Finalmente, se elige el concepto solución óptimo a partir de un análisis técnico-económico.

2.1. Lista de requerimientos

El proyecto requiere ciertas exigencias y necesidades de la máquina misma con el fin de cumplir con el objetivo general, maximizar el tiempo de operación de los drones del tipo multirrotor por día.

Algunos de estos requerimientos son exigencias obligatorias que la máquina debe cumplir y otros, son deseos que se plantea para elaborar satisfactoriamente el diseño de la máquina.

Tabla 2.1 Lista de requerimientos del sistema propuesto

LISTA DE REQUERIMIENTOS

PROYECTO:	DISEÑO DE SISTEMA MECATRÓNICO AUTOMÁTICO PARA INTERCAMBIO DE BATERÍAS EN UNA PLATAFORMA DE ATERRIZAJE PARA DRONES DE TIPO MULTIROTOR
Deseo o Exigencia	Descripción
	<p>FUNCIÓN PRINCIPAL:</p> <ul style="list-style-type: none"> Abastecer de baterías a drones de tipo multirrotor profesionales que tienen un diámetro entre un metro y metro y medio en un tiempo menor a 5 minutos por reemplazo.
E	<p>USO:</p> <ul style="list-style-type: none"> (Temperatura: -10°C hasta 30 °C, en condiciones de humedad relativa máxima de 95%).
E	<p>TRANSPORTE:</p> <ul style="list-style-type: none"> La máquina está diseñada para ensamblarse y desensamblarse en cualquier lugar, por ello el transporte se realiza sin problemas.
E	<p>MONTAJE:</p> <ul style="list-style-type: none"> Montaje y desmontaje sencillo debido al ensamble de la mayoría de piezas del sistema.
E	<p>CINEMÁTICA:</p> <ul style="list-style-type: none"> Subsistema de transporte y almacén de baterías: <ul style="list-style-type: none"> Movimiento en los tres ejes con una velocidad no mayor a 5 cm/s Subsistema de adaptación de batería: <ul style="list-style-type: none"> Movimiento en un solo eje con velocidad no mayor a 3 cm/s Subsistema de sujeción de dron <ul style="list-style-type: none"> Movimiento en un plano (2 ejes) con velocidad no mayor a 3 cm/s
E	<p>CONTROL:</p> <ul style="list-style-type: none"> Variables de control del subsistema de transporte y almacén de baterías: <ul style="list-style-type: none"> Distancia Velocidad Posición Variables de control del subsistema de sujeción de dron <ul style="list-style-type: none"> Presión
D	<p>GEOMETRÍA:</p> <ul style="list-style-type: none"> Subsistema de transporte y almacén de baterías:

	<ul style="list-style-type: none"> - Dimensiones máximas de 2.5m x 2.5m x 2.5 que involucra al contenedor del robot cartesiano. • Subsistema de adaptación de batería: <ul style="list-style-type: none"> - Dimensiones máximas de 0.235m x 0.140m x 0.074m • Subsistema de sujeción de dron <ul style="list-style-type: none"> - Dimensiones máximas de 1.5m x 2.5m x 0.055m
E	MATERIAL: <ul style="list-style-type: none"> • Subsistema de transporte y almacén de baterías: <ul style="list-style-type: none"> - Aluminio, acero, HDPE • Subsistema de adaptación de batería: <ul style="list-style-type: none"> - PLA, aluminio, hierro • Subsistema de sujeción de dron <ul style="list-style-type: none"> - Aluminio, acero, HDPE
E	MANTENIMIENTO: <ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento de mecanismos y revisión de sensores mensual.
E	SEGURIDAD: <ul style="list-style-type: none"> • Subsistema de transporte y almacén de baterías: <ul style="list-style-type: none"> - Sistema de transporte protegido por 4 paredes de aluminio que evita acceso directo al robot. - Baterías almacenadas en un anaquel. - Protección magnética a la batería y sensores, por medio de un recubrimiento que envuelve al gripper. - Sensor de distancia para evitar posibles colisiones del robot. • Subsistema de adaptación de batería: <ul style="list-style-type: none"> - Cápsula de la batería que protege y contiene a la batería, hecho de un material anti-inflamable. • Subsistema de sujeción de dron <ul style="list-style-type: none"> - Sensores de presión para evitar sobreesfuerzo sobre el dron. - Topes que limitan el movimiento del dron.
D	FABRICACIÓN: <ul style="list-style-type: none"> • Producción en baja escala.
E	ENERGÍA: <ul style="list-style-type: none"> • Batería LiFePO que alimenta todo el sistema.
E	SEÑALES:

	<ul style="list-style-type: none"> • Entrada: <ul style="list-style-type: none"> - Señal de encendido y apagado - Señal de emergencia - Señal de dron aterrizado • Salida: <ul style="list-style-type: none"> - Señal de falla del sistema - Señal de proceso transitorio - Señal de intercambio correcto
E	COMUNICACIÓN: <ul style="list-style-type: none"> • Wifi entre controlador y la nube. • Serial, entre controlador, sensores y actuadores.
E	ELECTRÓNICA <ul style="list-style-type: none"> • Controlador • Sensores en el subsistema de transporte y almacén de baterías <ul style="list-style-type: none"> - Sensor de distancia para verificación de movimiento del robot - Sensor de distancia para detección de espacios vacíos para baterías - Sensor para validación de posicionamiento del robot • Sensores en e subsistema de sujeción de batería <ul style="list-style-type: none"> - Sensores de presión - Sensor de distancia para validar aterrizaje

Fuente: Elaboración propia

2.2. Estructura de funciones

Para definir las funciones con las que contará el sistema, primero se realiza un análisis del sistema definiendo las entradas y salidas de acuerdo con la lista de exigencias planteada anteriormente sin tener en cuenta los procesos internos (black box). Luego, se muestran las funciones del sistema, proponiendo los procesos con los que contará en la estructura de funciones.

2.2.1 Black Box.

En la Figura 2.1 se muestran las entradas y salidas del sistema que se implementará al intercambiador de baterías. De acuerdo con la lista de requerimientos planteada, ingresa el dron con baja batería a la plataforma de aterrizaje y una vez aterrizado empieza el proceso sujeción

del dron para realizar el intercambio de la batería. De esta forma se espera obtener al final el dron con la nueva batería o cargada. Todo sistema debe recibir energía para poder operar; por tanto, se entregará energía mecánica y eléctrica al sistema para que los elementos internos cumplan sus funciones. La energía mecánica es la energía cinética y potencial en la extracción y colocación de la batería del dron.

Adicionalmente la energía eléctrica para la activación de los sensores y actuadores que automatizan el proceso. Se obtendrá energía mecánica, térmica y sonora una vez finalizado el proceso de cambio de batería. La energía mecánica como el desplazamiento de la batería, la energía térmica como la fricción en los mecanismos y motores, energía sonora como el sonido que se genera en los actuadores y mecanismos.

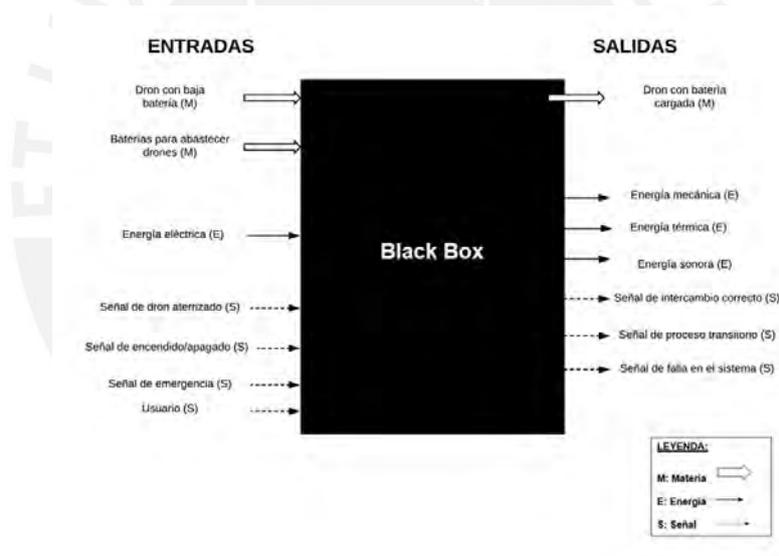


Figura 2.1 Black box del sistema.

Fuente: Elaboración propia

Entradas:

- a) Dron con baja batería: Es el dron que ingresa al hangar con baja batería.
- b) Energía eléctrica: Es la energía que alimenta el sistema mecatrónico que contempla el hangar.
- c) Señal de dron aterrizado: Indicación para iniciar el proceso de sujeción del dron.

- d) Señal de encendido/apagado: Indicación para iniciar la máquina o apagarla.
- e) Señal de emergencia: Indicación para desconectar todo proceso que se esté realizando en caso de emergencia.
- f) Usuario: Señal que es usada para calibrar valores de los sensores.

Salidas:

- a) Dron con batería cargada: Es el dron que sale del hangar con la nueva batería con carga completa.
- b) Energía mecánica: Es la energía que se genera por el movimiento de los mecanismos y motores.
- c) Energía térmica: Es la energía que se produce por la fricción entre cuerpos y por el calor que genera el motor.
- d) Energía sonora: Es la energía que se produce por la fricción de los actuadores y mecanismos.
- e) Señal de intercambio correcto: Indicación para señalar que se concluido el proceso del intercambio de baterías exitosamente.
- f) Señal de proceso transitorio: Indicación para señalar que la máquina se encuentra realizando alguno de los procesos del sistema.
- g) Señal de falla en el sistema: Indicación de que ha ocurrido alguna falla en el sistema.

2.2.2 Lista de funciones.

A continuación, se enlistan y explican las funciones que contiene el sistema. Además, se indican las entradas y salidas en forma de energía, materia y señales de acuerdo con el black box. Finalmente, se presenta la estructura de funciones que integra los conceptos mostrados en esta sección.

- Sujetar dron: Mecanismo que mantendrá al dron bloqueado en todos sus grados de libertad.

- Movilizar a zona neutra: Mecanismo que se encargará de transportar la batería desde un punto de referencia establecido hasta una zona cercana a la zona de la batería del dron.
- Remover batería del dron: Mecanismo que hará contacto con la batería del dron y la removerá.
- Transportar batería del dron a anaquel de baterías: Mecanismo que se encargará de movilizar la batería del dron a la zona de carga de baterías.
- Liberar de la batería del dron: Mecanismo que se encargará de liberar la batería del dron.
- Mover sistema a zona de baterías cargadas: Mecanismo que se encargará de moverse desde la zona de carga de baterías a la zona de baterías cargadas.
- Sujetar batería del dron: Mecanismo que se encargará de sujetar la batería para que pueda moverse.
- Transportar la batería cargada a la zona de la batería del dron: Mecanismo que se encargará de transportar la batería cargada a la zona donde se coloca la batería en el dron.
- Acoplar batería cargada en el dron: Mecanismo que se encargará de acercar la batería al dron para luego ajustarla o acoplarla al dron.
- Desplazar el mecanismo de transporte a la posición 0: Mecanismo que se encargará de desplazar el sistema móvil al punto de referencia establecido o punto neutro.
- Desajustar dron: Mecanismo que se encargará de liberar al dron para posteriormente despegar.
- Acondicionar energía: Dispositivo para energizar componentes eléctricos tales como sensores y actuadores.
- Accionar sujeción: Actuador que permite el ajuste y desajuste del dron para ejecutar el proceso de intercambio de baterías satisfactoriamente.
- Accionar transporte: Actuador que permite el desplazamiento de la batería.

- Accionar acople/desacople y sujeción de batería del dron: Actuador que permite extraer y colocar la batería en el dron.
- Accionar mecanismo de sujeción de batería: Actuador que permite la sujeción o ajuste de la batería bloqueando sus grados de libertad para poder movilizarla.
- Visualizar estado de proceso, alarmas e indicadores: Señales visuales ubicadas en la parte externa del sistema de tal manera que son fáciles de visualizar. Estas señales alertan sobre fallos e indican los procesos intermedios en los que se encuentran, así como también indica que el intercambio de baterías ha sido exitoso.
- Acondicionar energía de control: Componente que regula el voltaje ingresado a el voltaje que requiere el controlador.
- Acondicionar energía para actuadores: Componente que regula el voltaje ingresado a el voltaje que requieren los actuadores.
- Acondicionar energía para sensores: Componente que regula el voltaje ingresado a el voltaje que requieren los sensores.
- Leer parada de emergencia: Interruptor que detecta si se desea detener el sistema en caso de malfuncionamiento de la máquina o alguna emergencia.
- Sensar dron aterrizado: Sensor que detecta que el dron ha aterrizado y está libre de movimiento para proceder a ajustarlo.
- Sensar altura de compartimiento de batería: Sensor que mide la altura desde la superficie de aterrizaje hasta la altura del compartimiento de baterías.
- Sensar presencia de la batería: Sensor que detecta la presencia de una batería.
- Sensar presión de actuador lineal: Sensores que miden la presión que ejercen los actuadores lineales sobre el dron.
- Sensar distancia máxima del robot: Sensor que mide la distancia que se desplaza el robot cartesiano para evitar colisiones.

- Validar datos del sensor de presión: Proceso de seguridad para verificar el buen funcionamiento del sensor de presión.
- Validar datos del sensor de distancia: Proceso de seguridad para verificar el buen funcionamiento del sensor de distancia.
- Validar estado lógico: Proceso de seguridad para verificar el buen funcionamiento del sensor que emite estados lógicos.
- Validar datos de presencia de batería: Proceso de seguridad para verificar el buen funcionamiento del sensor de presencia para detectar una batería.
- Validar presencia de dron aterrizado: Proceso de seguridad para verificar el buen funcionamiento del sensor de presencia para detectar el dron aterrizado.
- Comparar valores de sensor de presión: Evalúa el valor configurado de presión al compararlo con el leído por el sensor.
- Comparar valores del sensor de distancia: Evalúa el valor configurado de distancia al compararlo con el leído por el sensor.
- Lectura y comparación del valor lógico: Lee el valor del sensor y lo compara con el lógico establecido.
- Controlar presión: Calcula el error y en base a ello halla el valor necesario para el actuador.
- Controlar posición: Calcula el error y en base a ello halla el valor necesario para el actuador.
- Asignación de valor: Asigna un valor lógico y en base a ello envía una señal al actuador.
- Asignar estado lógico de presencia de batería: Asigna un valor lógico y en base a ello envía una señal al actuador.
- Asignar estado lógico de presencia de dron aterrizado: Asigna un valor lógico y en base a ello envía una señal al actuador.
- Controlar luces y parada de emergencia: Configura la iluminación del sistema y lo detiene en caso de emergencia.

Con la lista de funciones y las entradas/salidas presentes en el black box se realiza la estructura global de funciones (Figura 2.2) del sistema dividido en 5 grupos: controlar variables, actuadores, energía, sensores y sistema físico.



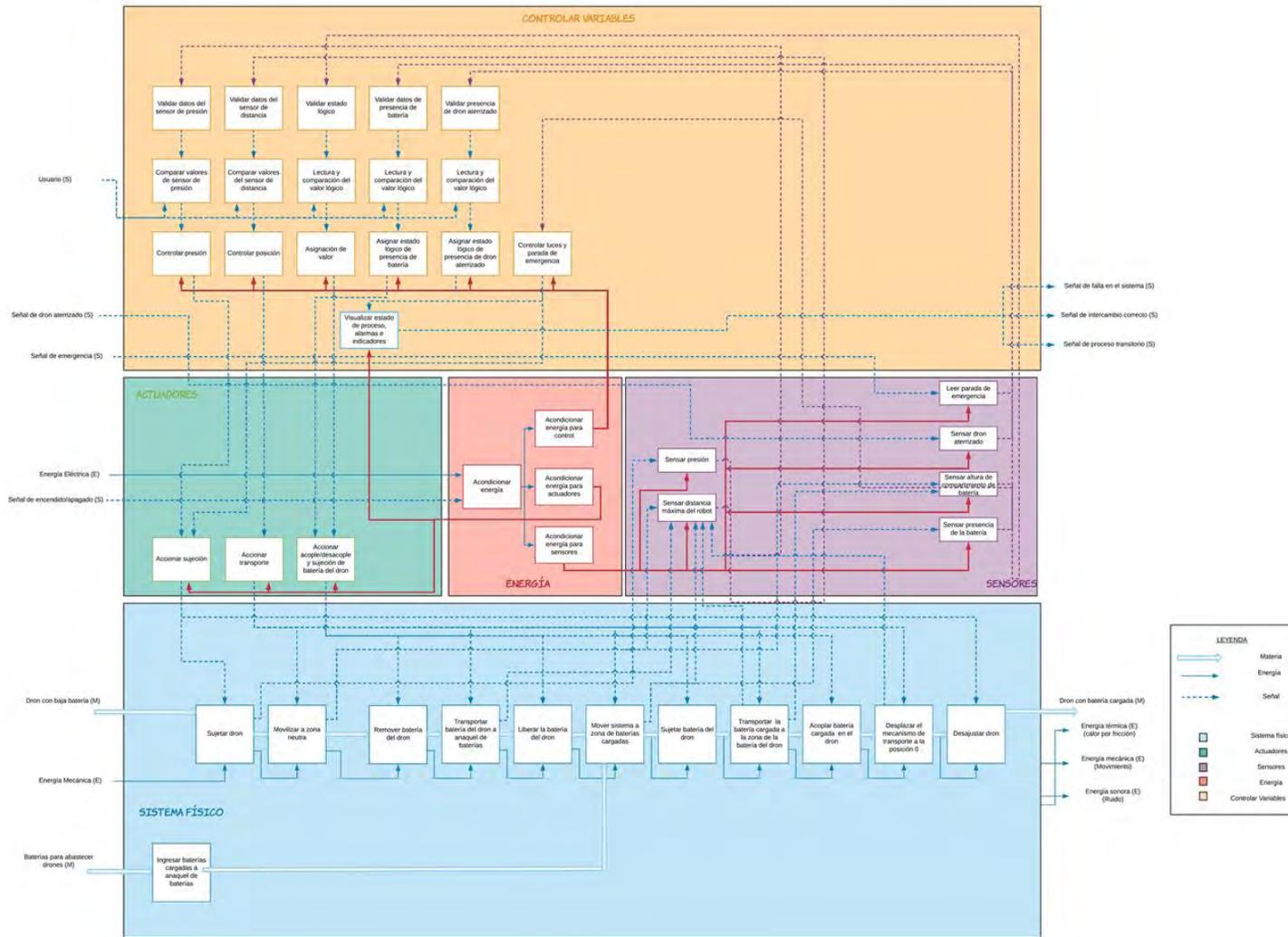


Figura 2.2 Estructura de funciones del sistema.

Fuente: Elaboración propia.

2.3. Matriz Morfológica

En cada función presenta en la estructura de funciones se plantean como máximo 3 portadores de solución basadas en tecnologías estudiadas en el Estado del arte de la sección 1.3. A partir de un seguimiento por flechas en la matriz se proponen 3 soluciones. En la siguiente tabla se detalla el significado de cada tipo de flecha.

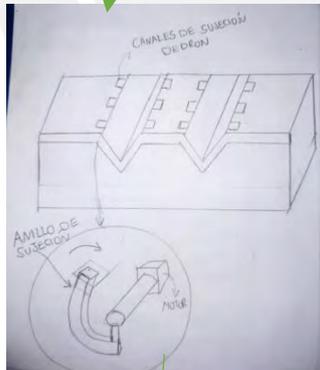
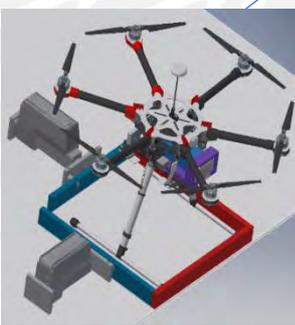
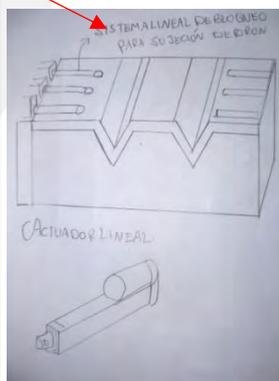
Tabla 2.2 Leyenda de indicadores para matriz morfológica.

Indicador	Concepto 1	Concepto 2	Concepto 3
Flecha			

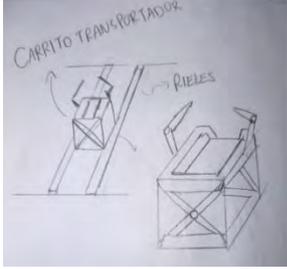
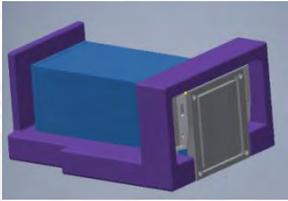
Fuente: Elaboración propia.

2.3.1 Dominio Mecánico.

Tabla 2.3 Matriz morfológica en el dominio mecánico.

FUNCIONES	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Sujetar/liberar dron			



<p>Transportar la batería</p>	<p>Brazo robótico</p> 		<p>Robot</p> 
<p>Sujetar/ Liberar batería del dron</p>	<p>Gripper Magnético</p> 		
<p>Acoplar/ desacoplar batería cargada en el dron</p>			

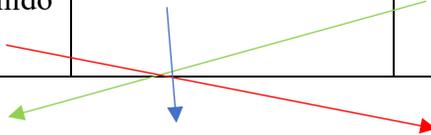
Fuente: Elaboración propia

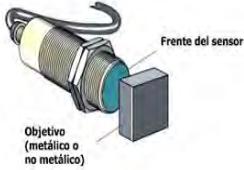
2.3.2 Dominio Electrónico.

Tabla 2.4 Matriz morfológica en el dominio electrónico.

Función	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
<p>Acondicionar energía para control</p>	 <p>Regulador de tensión</p>	 <p>Fuente Conmutada</p>	

<p>Acondicionar energía para actuadores</p>	 <p>Regulador de tensión</p>		
<p>Acondicionar energía para sensores</p>	 <p>Regulador de tensión</p>		
<p>Sensar parada de emergencia</p>	 <p>Pulsador de parada de emergencia</p>		
<p>Sensor altura de compartimiento de batería</p>	 <p>Sensor de ultrasonido</p>	<p>Sensor fotoeléctrico</p> 	 <p>Sensor de ultrasonido</p>



<p>Sensar dron aterrizado</p>	 <p>Sensor magnético</p>	 <p>Sensor de ultrasonido</p>	 <p>Sensor fotoeléctrico infrarrojo</p>
<p>Sensar presencia de la batería</p>	 <p>Sensor de ultrasonido</p>	 <p>Sensor fotoeléctrico infrarrojo</p>	
<p>Sensar presión</p>	 <p>Sensor de presión</p>		
<p>Sensar máxima distancia del robot</p>	 <p>Sensor de ultrasonido</p>		

		Sensor fotoeléctrico infrarrojo	
--	--	------------------------------------	--

Fuente: Elaboración propia.

2.3.3 Dominio de Control.

Tabla 2.5 Matriz morfológica en el dominio de control.

Función	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Visualizar estado de proceso, alarmas e indicadores	Iluminación led 		
Controlar sujeción del dron, transporte de batería, acople y desacople de batería, presencia de batería cargada, altura de compartimiento de batería, presencia de dron aterrizado y luces de parada de emergencia	 Computador de placa reducida o microprocesador	 PLC	 Microcontrolador

Fuente: Elaboración propia.

2.4. Conceptos de Solución

Para cada solución trazada en la matriz morfológica se realiza un bosquejo detallando dimensiones aproximadas y el portador de solución seleccionado. A continuación, se explica cada concepto de solución y una imagen general del bosquejo.

- Concepto 1

El primer concepto (Figura 2.3) plantea un sistema de sujeción de dron por medio canales que se encuentran en la plataforma. Los canales en forma de letra “V” están diseñados para

brindar mayor precisión en el aterrizaje del dron y facilitar la sujeción de este mismo. El mecanismo de sujeción se realiza por medio de anillos que salen de estos agujeros y mantienen fijo al dron. Cabe resaltar que el mecanismo de sujeción empieza a funcionar una vez se detecta que el dron ha aterrizado y esto se logra con un sensor magnético. Además, contempla un sistema de transporte de batería por medio de rieles. El dispositivo de transporte contempla un sistema de elevación el cuál se encargará de llevar la batería hasta la zona del adaptador de baterías del dron para luego, por medio de un sistema magnético y mecánico, realizar el acople de la batería. El traslado de la batería desde su zona de carga hasta el mecanismo de transporte se realiza por medio de un mecanismo que entra en un canal de la zona de carga, y por medio de un enganche mecánico, extrae la batería. Cabe resaltar que para ubicar la posición adecuada a la cual se encuentra el adaptador de baterías se logra por medio de un sensor de ultrasonido. De la misma forma se realiza el proceso de colocación de batería en la zona de carga, así para detectar si existe o no una batería o si hay algún espacio vacío se hace uso de un sensor de ultrasonido. También, el dispositivo de transporte porta un mecanismo de sujeción de batería el cuál mantiene fijo a la batería para facilitar su transporte. Se puede apreciar que hay un almacén de baterías en donde estas se cargan y se resguardan hasta que sean intercambiadas por las baterías agotadas de otros drones. Las baterías son adaptadas o encapsuladas para facilitar su automatización y conexión con el adaptador de baterías del dron. El adaptador de baterías del dron está diseñado para portar 1 batería. El acople de la batería en el adaptador de baterías se realiza por medio de encajes mecánicos y un sistema magnético. Para contener la carrera del mecanismo de transporte se hace uso de un sensor de ultrasonido que mide este valor.

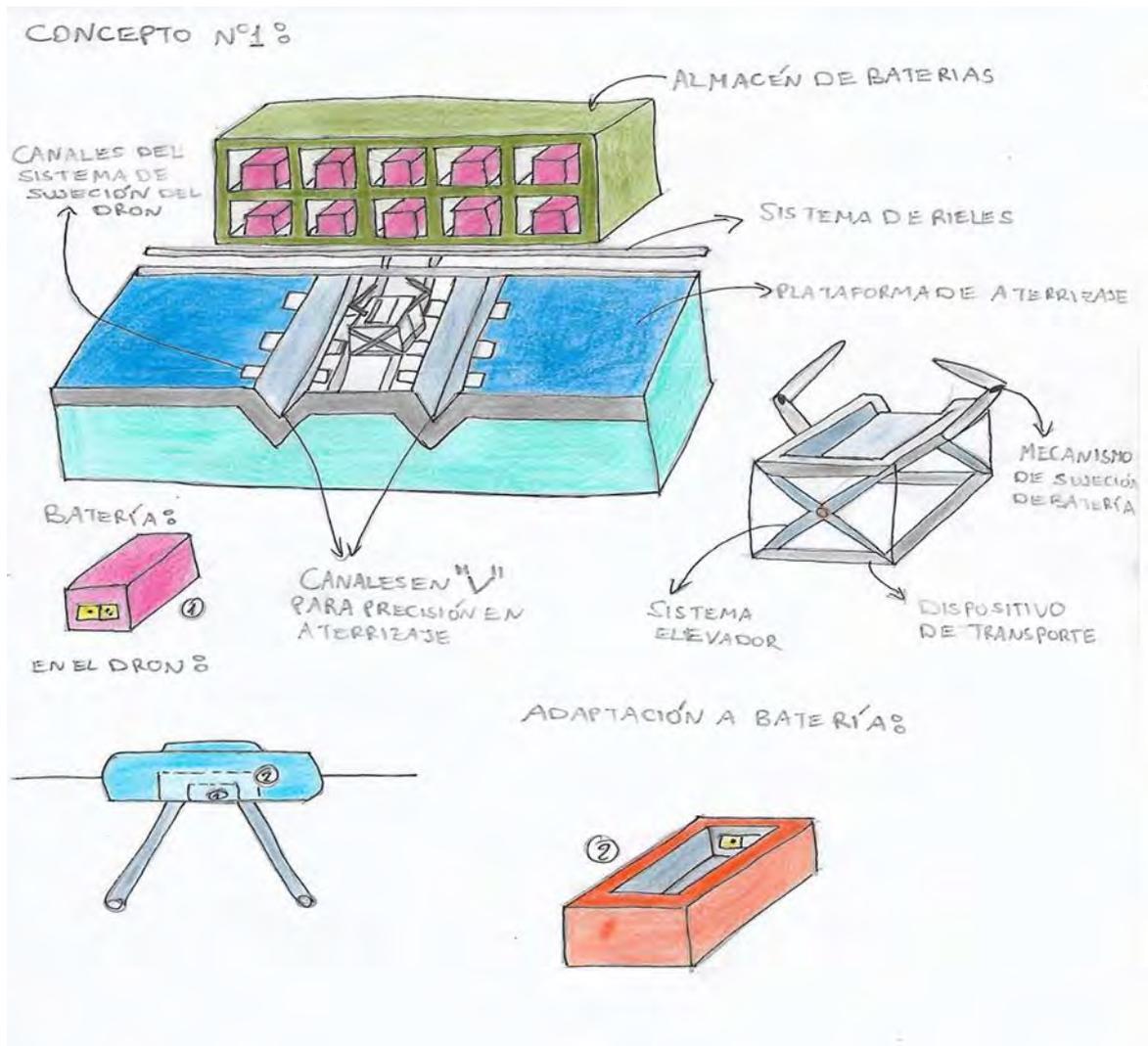


Figura 2.3 Concepto de Solución 1.

Fuente: Elaboración propia.

- Concepto 2

El segundo concepto de solución (Figura 2.4) plantea el un sistema de sujeción del dron por medio de un sistema lineal que bloquea el movimiento del dron en la dirección vertical. En la figura se visualiza este mecanismo como barras que están sobre la plataforma. Además, al igual que el concepto de solución anterior contempla una plataforma de aterrizaje con canales en forma de “V” para brindar una mayor precisión en el aterrizaje del dron y facilitar su sujeción. A diferencia del diseño anterior, esta solución contempla un sistema con más grados de libertad, esto es un brazo robótico, para el transporte de la batería. De esta forma el transporte

de la batería se realiza de una forma más sencilla. El brazo robótico puede desplazarse en forma vertical y puede girar en el plano de la base de la plataforma de aterrizaje. La extracción de la batería se realiza por medio de un sistema magnético que presenta un canal o está diseñado para portar la batería del dron. Como en el diseño anterior, la batería del dron está adaptada de tal forma que está encapsulada para facilitar su automatización. El adaptador de baterías almacena de igual manera una sola batería y realiza el encaje por medio de un sistema magnético y mecánico. El adaptador de baterías está diseñado para colocarse en la parte inferior del dron y al igual que el diseño anterior solo puede portar 1 batería. Además, a diferencia del primer concepto, esta propuesta plantea usar sensor fotoléctrico infrarrojo para detectar si el dron ha aterrizado o no y mantiene aún el sensor de ultrasonido para detectar el compartimiento de la batería del dron. De la misma forma, para detectar que el dron este sujeto adecuadamente, se hace uso de un sensor de presión. Para evitar colisiones del sistema de transporte con la ubicación del adaptador de baterías se hace uso de un sensor de ultrasonido.

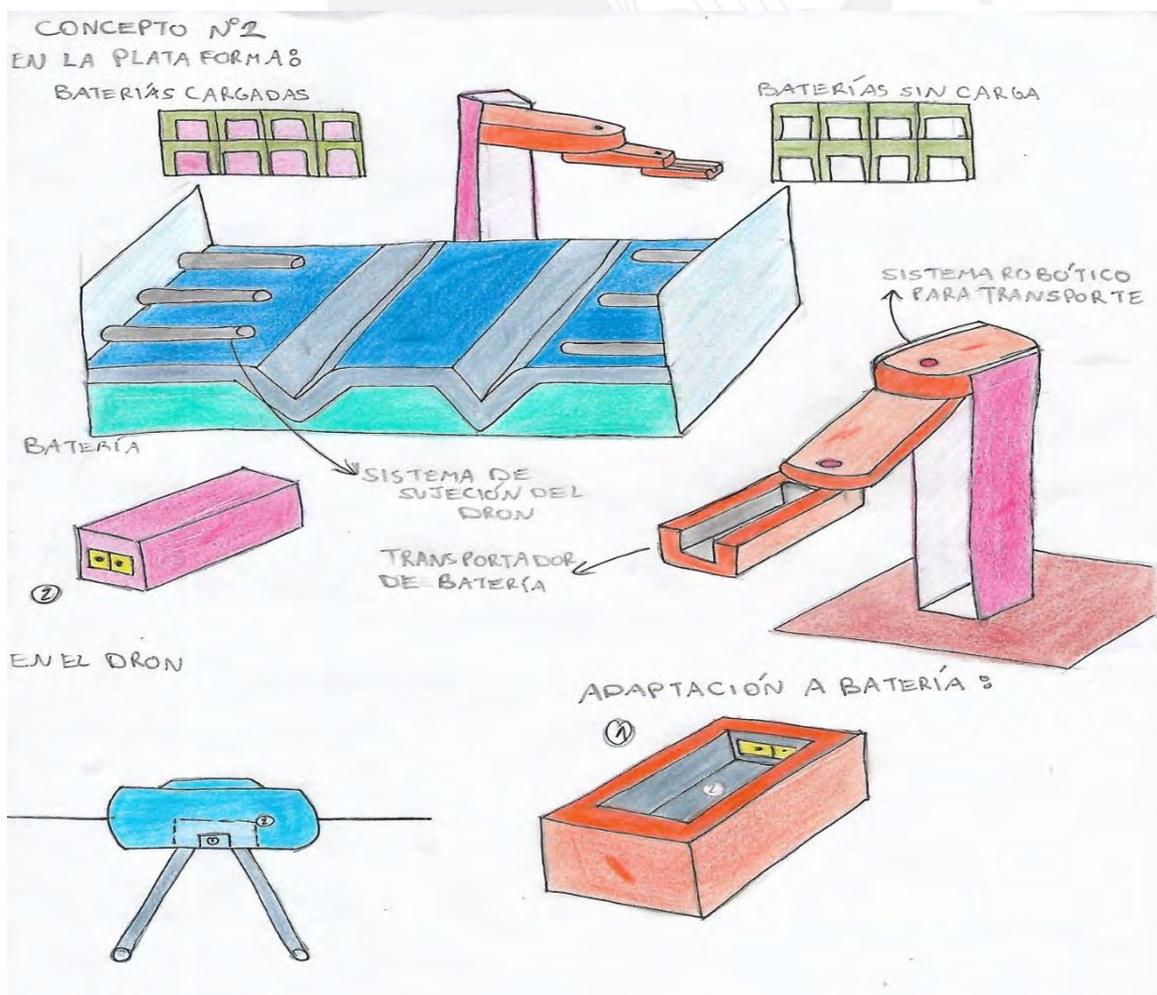


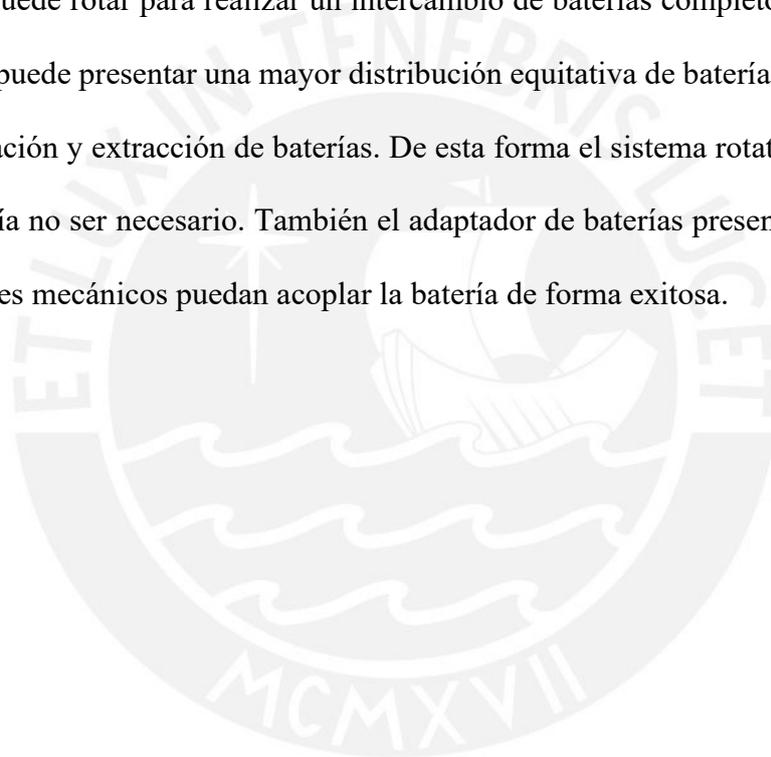
Figura 2.4 Concepto de Solución 2.

Fuente: Elaboración propia.

- Concepto 3

El tercer concepto de solución (Figura 2.5) plantea una solución diferente en cuanto a la extracción o colocación de la batería del dron, así como también el número de baterías que el adaptador de baterías puede portar. En este sistema, se presenta una plataforma hueca, sin embargo, al igual que las demás soluciones, esta presenta una canal en forma de “V” que facilita su aterrizaje haciéndolo más preciso. Además, este canal permite que el sistema de sujeción se realiza por medio de anillos que salen de los agujeros mostrados en la imagen. Para corroborar que un dron ha aterrizado en la plataforma se realiza por medio un sensor de ultrasonido que mide distancia y detecta presencia del dron. La sujeción de este sistema se realiza por medio de actuadores lineales que al activar su carrera bloquean los movimientos verticales y horizontales del dron. Para asegurar que estos actuadores mantienen la presión necesaria para mantener fijo al dron se hace uso de un sensor de presión. El sistema de transporte de la batería está compuesto por un robot cartesiano. Este sistema móvil contiene un gripper o pinza que sujetará la batería. La sujeción de la batería se realizará haciendo presión en una zona específica de la batería y esta zona contiene diferentes enganches mecánicos. Los enganches mecánicos están diseñados para que una vez ejercida presión sobre ellos se pueda facilitar su colocación o extracción. Para desplazar el robot cartesiano con precisión hacia la posición el adaptador de baterías del dron se realiza mediante la medición que efectúa un sensor fotoeléctrico infrarrojo. El sistema de carga de baterías como se muestra en la imagen se encuentra en la parte más baja de la plataforma de aterraje y es interno al sistema. Si bien es cierto que el sistema de transporte se desplaza en tres dimensiones y está en constante comunicación con la zona de carga de las baterías, esta última puede estar en forma paralela al plano de la base de la plataforma (como se muestra en la imagen) o puede ser vertical y facilitar el movimiento del mecanismo en tres

dimensiones. Para asegurar el robot cartesiano no colisione o sobrepase su carrera se hace uso de un sensor fotoeléctrico que se encargará de medir distancia. Las baterías están encapsuladas en un diseño que contempla encajes mecánicos que la mantendrán sujeta al adaptador de baterías. El adaptador de baterías a diferencia de los otros conceptos de solución presenta una mayor disponibilidad de baterías, según la imagen son cuatro. Sin embargo, estas pueden estar distribuidas equitativamente según convenga para facilitar su automatización. En la imagen se presentan cuatro lugares para colocar las baterías. Además, según el diseño que se muestra, este adaptador puede rotar para realizar un intercambio de baterías completo. Como se aclaró antes, el diseño puede presentar una mayor distribución equitativa de baterías de tal forma que facilite la colocación y extracción de baterías. De esta forma el sistema rotativo del adaptador de baterías podría no ser necesario. También el adaptador de baterías presenta cavidades para que los enganches mecánicos puedan acoplar la batería de forma exitosa.



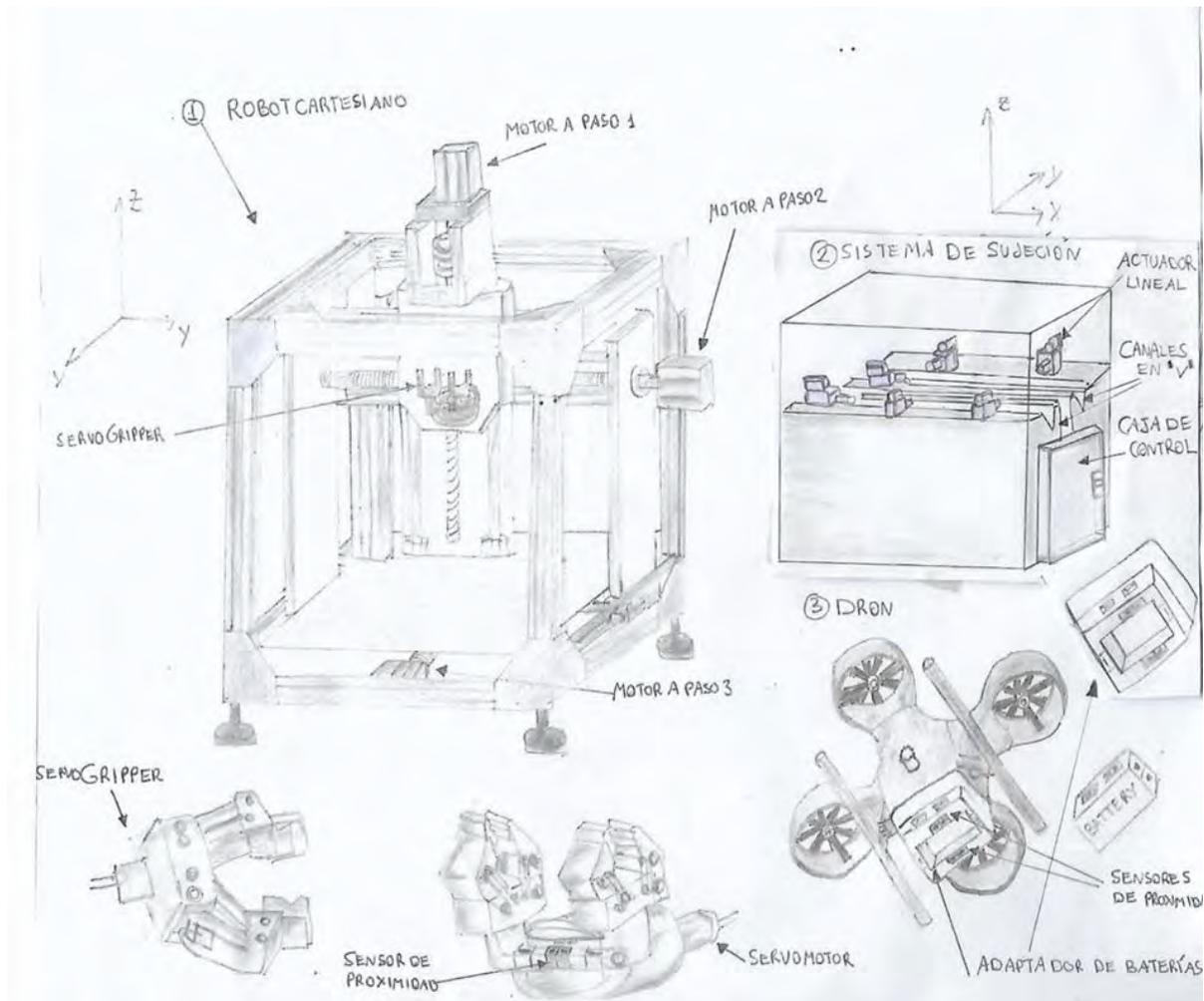


Figura 2.5 Concepto de Solución 3.

Fuente: Elaboración propia

2.5. Evaluación Técnica-Económica

Se realiza una evaluación de carácter técnico y económico a cada uno de los 3 conceptos de solución planteados. A cada solución se le asigna un puntaje entre 1 y 3, además, cada puntaje es multiplicado por un peso asignado según el criterio de evaluación, el cual es determinado por el diseñador. En la Tabla 2.6 se detallan los puntajes asignados y se muestran los promedios de cada solución con respecto al puntaje ideal.

Tabla 2.6 Evaluación técnica-económica.

TÉCNICOS			Solución 1		Solución 2		Solución 3		Ideal	
Nro	Criterio	g	p	pxg	p	pxg	p	pxg	p	pxg
1	Uso de energía	1	1	1	3	3	2	2	4	4
2	Seguridad	3	3	9	3	9	3	9	4	12
3	Rapidez	3	1	3	3	9	3	9	4	12
4	Confiablez	4	2	8	3	12	3	12	4	16
5	Facilidad de manejo	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	Transportabilidad	3	2	6	2	6	3	9	4	12
7	Complejidad	2	2	4	3	6	3	6	4	8
8	Lista de exigencias	4	2	8	2	8	3	12	4	16
9	Uso de fuerza	2	1	2	3	6	2	4	4	8
Suma			14	41	22	59	22	63	32	88
Promedio			0.44	0.47	0.69	0.67	0.69	0.72	1	1
ECONÓMICOS			Solución 1		Solución 2		Solución 3		Ideal	
Nro	Criterio	g	p	pxg	p	pxg	p	pxg	p	pxg
1	Número de piezas	2	2	4	3	6	3	6	4	8
2	Fácil adquisición	3	2	6	2	6	3	9	4	12
3	Fácil montaje	3	2	6	2	6	2	6	4	12
4	Fácil mantenimiento	3	3	9	2	6	3	9	4	12
5	Productividad	4	2	8	3	12	3	12	4	16
6	Costo de la tecnología	3	3	9	3	9	3	9	4	12
Suma			14	42	15	45	17	51	24	72
Promedio			0.58	0.58	0.63	0.63	0.71	0.71	1	1

Fuente: Elaboración propia.

Los promedios son plasmados en un gráfico de dispersión presentado en la Figura 2.6. Se observa que la solución 3 está por encima de la línea de equivalencia de ponderación entre los aspectos técnicos y económicos. Además, al ubicarse en la parte derecha superior, se evidencia la obtención de un mayor promedio en la evaluación económica.

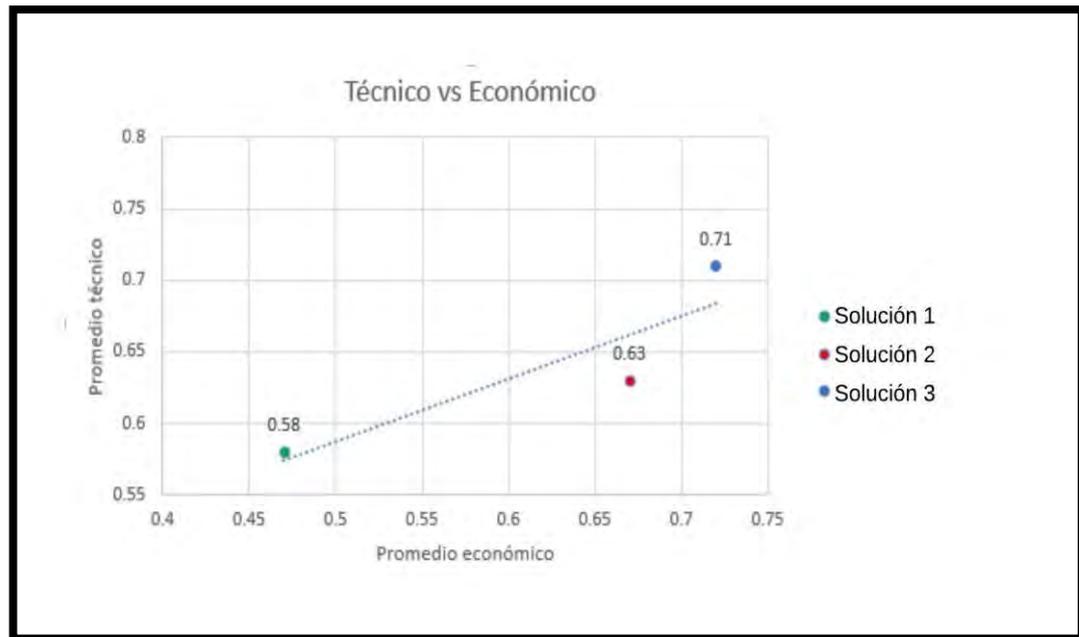


Figura 2.6 Gráfico técnico-económico entre las soluciones.

Fuente: Elaboración propia.

En el capítulo 2 se desarrolló el diseño preliminar a partir de la búsqueda de soluciones en base a exigencias definidas previamente. La solución óptima obtenida será utilizada como base en el capítulo siguiente para realizar mejoras en el diseño a fin de obtener el diseño final.

Capítulo 3

Proyecto Preliminar

Este capítulo contiene información sobre el proyecto preliminar del sistema. En primer lugar, se muestran las dimensiones generales del proyecto, en donde se visualiza las dimensiones aproximadas de la máquina. En segundo lugar, se muestra la arquitectura del hardware o diagrama de bloques donde se visualiza las conexiones del hardware y controlador. En tercer lugar, se realiza el diagrama de flujo general y subprogramas que definen la lógica del sistema. Por último, se muestra el diagrama de operaciones del sistema el cual muestra los procesos que sigue la máquina durante su operación.

3.1. Dimensiones Generales del Sistema

El proyecto debe adaptarse a una plataforma de aterrizaje de drones, por lo cual, considerando el tamaño de los drones, siendo estos de aproximadamente 1m x 1m x 0.5 m de manera general. La solución propuesta contempla drones que se encuentren en el rango de su diámetro desde un metro a un metro y medio. En la figura 3.1 se contempla una solución que abarque como máximo 2.5m x 2.5m x 2.5m, en la cual se contemplará los subsistemas principales mencionados anteriormente, además del adaptador de baterías que se implementará en los drones. Tomando en cuenta que se ha considerado la alternativa 3 como la solución óptima, entonces el diseño contemplará un robot cartesiano, el cual se encargará de realizar el

transporte de la batería. El robot cartesiano tomará un espacio de 2.5m x 2.5m x 2.5m como máximo. El espacio restante servirá para adaptar los demás subsistemas. Además, las baterías que se usarán para este sistema son baterías 6s de 11000 mAh. Esto nos permite dimensionar el tamaño del adaptador de baterías ya que las dimensiones de la batería son aproximadamente de 59 x 64 x 158 mm y pesan aproximadamente 1.5 kg. Con todo esto podemos inferir que el adaptador de baterías debe contemplar estas dimensiones en su diseño y también el gripper magnético. Además, cabe resaltar, que la estructura de aterrizaje del dron debe contemplar una distancia de separación entre cada una de aproximadamente 45 cm. Por otro lado, en la tabla 3.1 se muestra la información sobre los cálculos generales de potencia consumida del sistema.

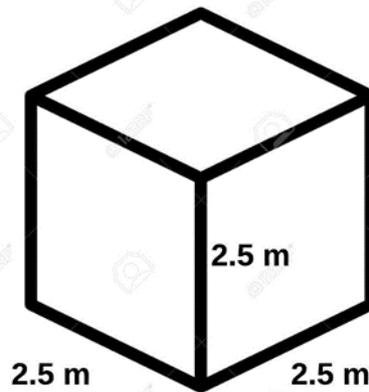


Figura 3.1 Dimensiones del sistema.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.1 Cálculo de potencia consumida del sistema

Dispositivo	Por cada dispositivo			Cantidad	Total(W)
	Corriente de consumo(A)	Voltaje de Alimentación(V)	Potencia consumida(W)		
Gripper magnético	4.2	24	100.8	1	100.8
Motor a paso	2	12	24	3	72
Actuador lineal	3	12	36	2	72
Sensor de proximidad	0.015	5	0.075	3	0.225
Sensor de presión	0.001	3.3	0.0033	1	0.0033
Controlador	2.5	5	12.5	1	12.5
Potencia total consumida(W)					257.53

Fuente: Elaboración propia.

3.2. Arquitectura de hardware

En el diagrama de bloques de la Figura 3.2 se muestran las distintas entradas de energía como bloques asociados a los drivers, sensores, actuadores, interfaz y controlador del sistema. Se recomienda ver el ANEXO B si se quiere visualizar una explicación más detallada.

En el presente diagrama se pueden identificar 2 de los subsistemas más relevantes. Estos son los siguientes: subsistema de transporte de batería y subsistema de sujeción del dron. El subsistema de transporte de batería, al ser físicamente un robot cartesiano hace uso de 3 motores a paso para realizar su desplazamiento. Además, requiere también de un gripper magnético para el transporte de la capsula que contiene a la batería. Por otro lado, se tiene el subsistema de sujeción que está formado por 2 actuadores lineales. En una primera instancia se controlará primero 1 y luego el último. Esto será para privar al dron de sus grados de libertad y mantenerlo fijo.

Así como se mencionaron los subsistemas más importantes, también se enfatiza en el esquema las conexiones con el controlador y los sensores que son necesarios para que este

sistema sea controlado. Cabe resaltar que los datos procesados por el controlador serán procesados en la “nube”. Esto porque se necesita que la información sea validada y constantemente monitoreada. En caso de que algún sistema no funcione adecuadamente, se podrá enviar esta señal de falla o error mediante internet, además de que obtener la data en un servidor web permite que la solución sea escalable y realizar mejoras de mayor envergadura. Se colocaron las fuentes que son necesarias para alimentar el sistema. En este caso se usa la fuente de 24 V para el pulsador de emergencia, el botón de encendido y apagado y para alimentar al gripper magnético. La fuente de 12 V para alimentar los actuadores lineales y los motores a paso. Por último, la fuente de 5V para el controlador, el diodo led y los sensores. Finalmente, el diagrama planteado está distribuido por subsistemas que contienen bloques. Esto ayudará a entender mejor el funcionamiento del sistema. Los sistemas mostrados son los siguientes: subsistema de transporte de batería, subsistema de sujeción de dron, fuente de alimentación y sistema control.

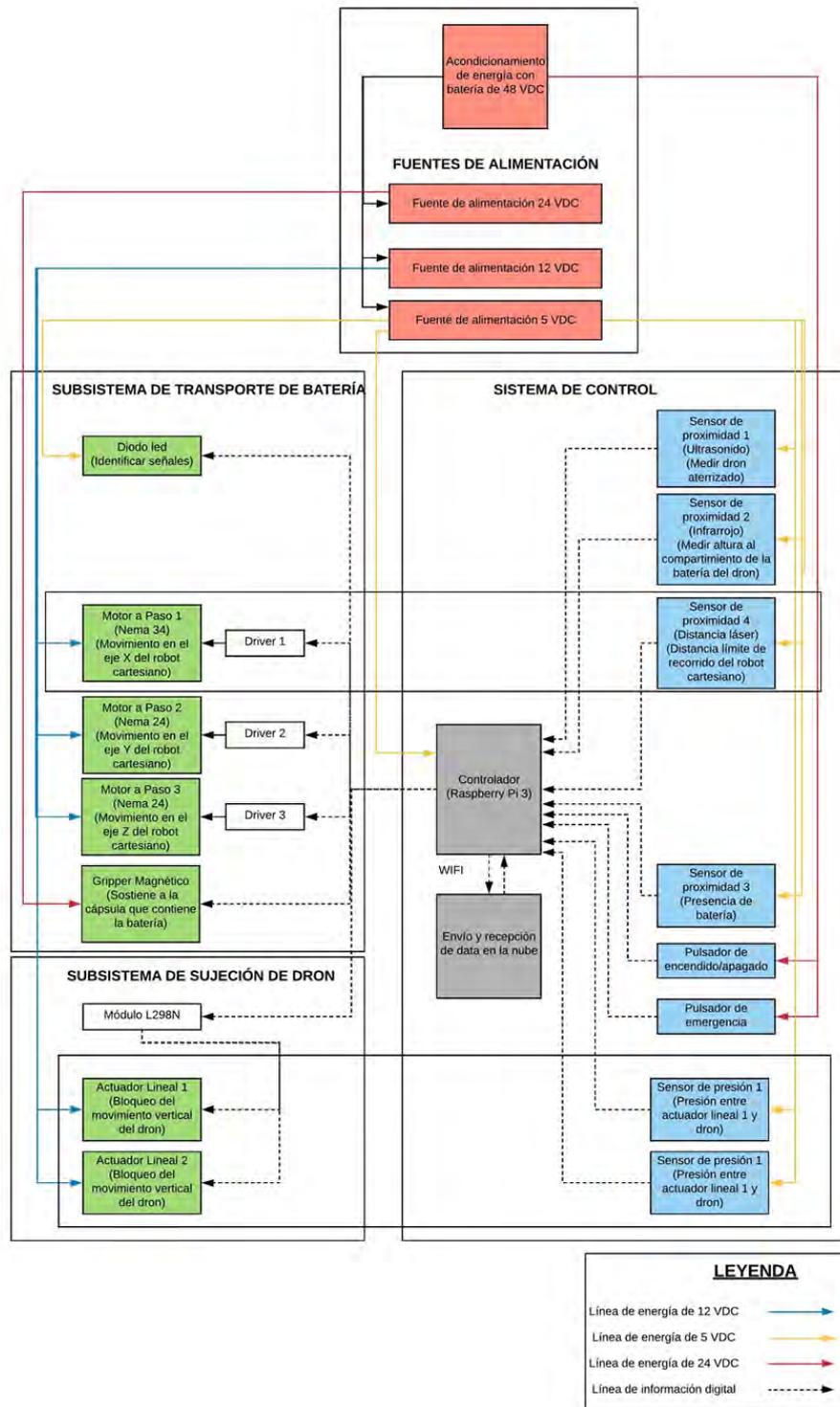


Figura 3.2 Diagrama de bloques.

Fuente: Elaboración propia.

3.3. Diagramas de Flujo del Sistema

En la Figura 3.3 se presenta el diagrama de flujo del programa principal. En primer lugar, se inicializan los actuadores y variables auxiliares; luego conforme se halla presionado el botón de inicio del sistema empezará a funcionar la máquina. De la misma manera si por alguna razón necesitara apagarse, con el botón de apagado puede realizarse esta acción. Se procede a evaluar si el dron está aterrizado o no para posteriormente en caso sea la respuesta positiva, el subsistema de sujeción se encargará de mantener fijo al dron. En caso no se haya sujetado correctamente o haya ocurrido un error, el sistema enviará un mensaje de alerta y procederá a apagar el sistema. En caso la respuesta sea positiva, se procederá a extraer la batería del dron para luego intercambiarla. En este proceso se tienen 10 intentos, en caso en ninguno de estos se logre la extracción de la batería se enviará un mensaje de alerta o error de extracción. Habiendo extraído la batería satisfactoriamente y posicionándola en una zona de resguardo, se procede a colocar una nueva batería(cargada) en el dron. Para esta acción se recurre al subsistema de colocación de batería cargada. De la misma forma se evalúa con 10 intentos que se ejecute esta acción, sino se enviará una alerta de emergencia y de espera a que se solucione el percance. Por último, se procede a liberar al dron.

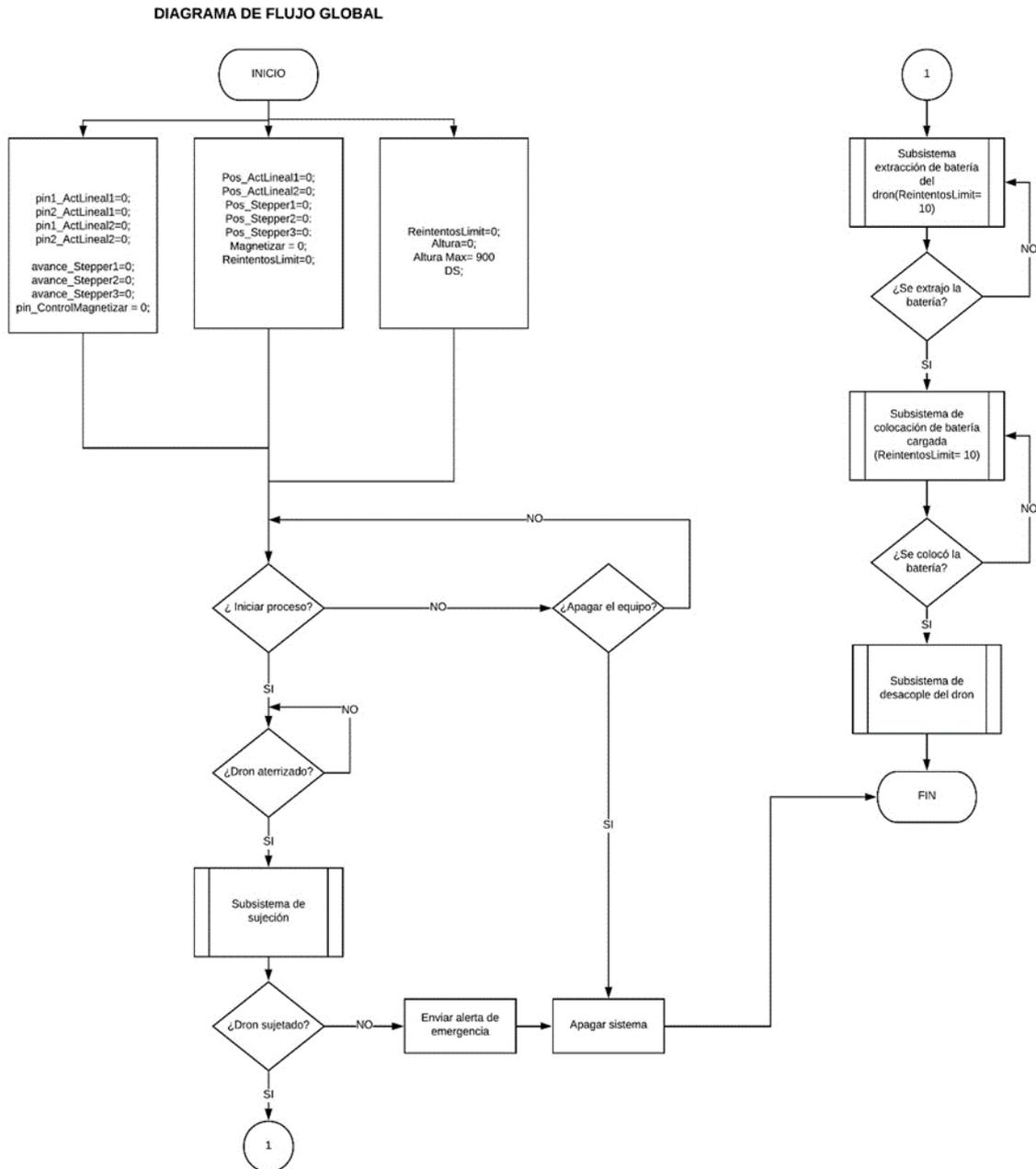


Figura 3.3 Diagrama de flujo del programa principal.

Fuente: Elaboración propia.

El subprograma “Subsistema de sujeción” (Figura 3.4) se encargará de sujetar al dron y mantenerlo fijo para efectuar el intercambio de baterías correctamente. El subprograma inicia manipulando 2 de los actuadores lineales que se encargarán de bloquear el movimiento en un plano, es decir, en la plataforma de aterrizaje. Por ello se manipulan los pines de un primer

actuador lineal. De esta forma se logra que su carrera pueda ir aumentando hasta que el sensor de presión indique que se alcanzó la fuerza crítica o necesaria para sujetar al dron en ese eje. Una vez realizada esta acción, se procede a detener la carrera del actuador lineal para así enviar la señal de que el dron está fijo en ese eje. Con ello, se procede a desplazar la carrera del actuador lineal secundario y se realiza esta acción hasta que el sensor de presión detecte que alcanzó la fuerza necesaria para sujetar al dron en ese eje del plano en el que se encuentra. Posteriormente se procede a enviar ambas señales y finaliza el programa. Cabe resaltar que es necesario mantener fijo al dron, porque de no ser así, el intercambio podría presentar fallas o desplazamientos pequeño que pueden generar colisiones en el sistema. Una vez validado que se ejecutó de manera exitosa la sujeción, se procede a evaluar el siguiente programa que se encargará de transportar la batería desde el dron hacia un almacén, para luego ser intercambiada.

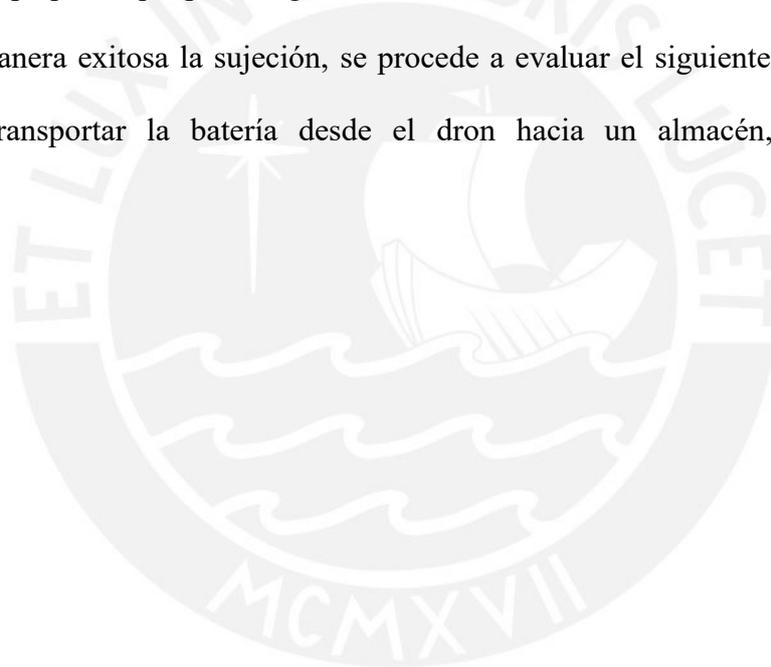


DIAGRAMA DE FLUJO DEL SUBSISTEMA DE SUJECIÓN

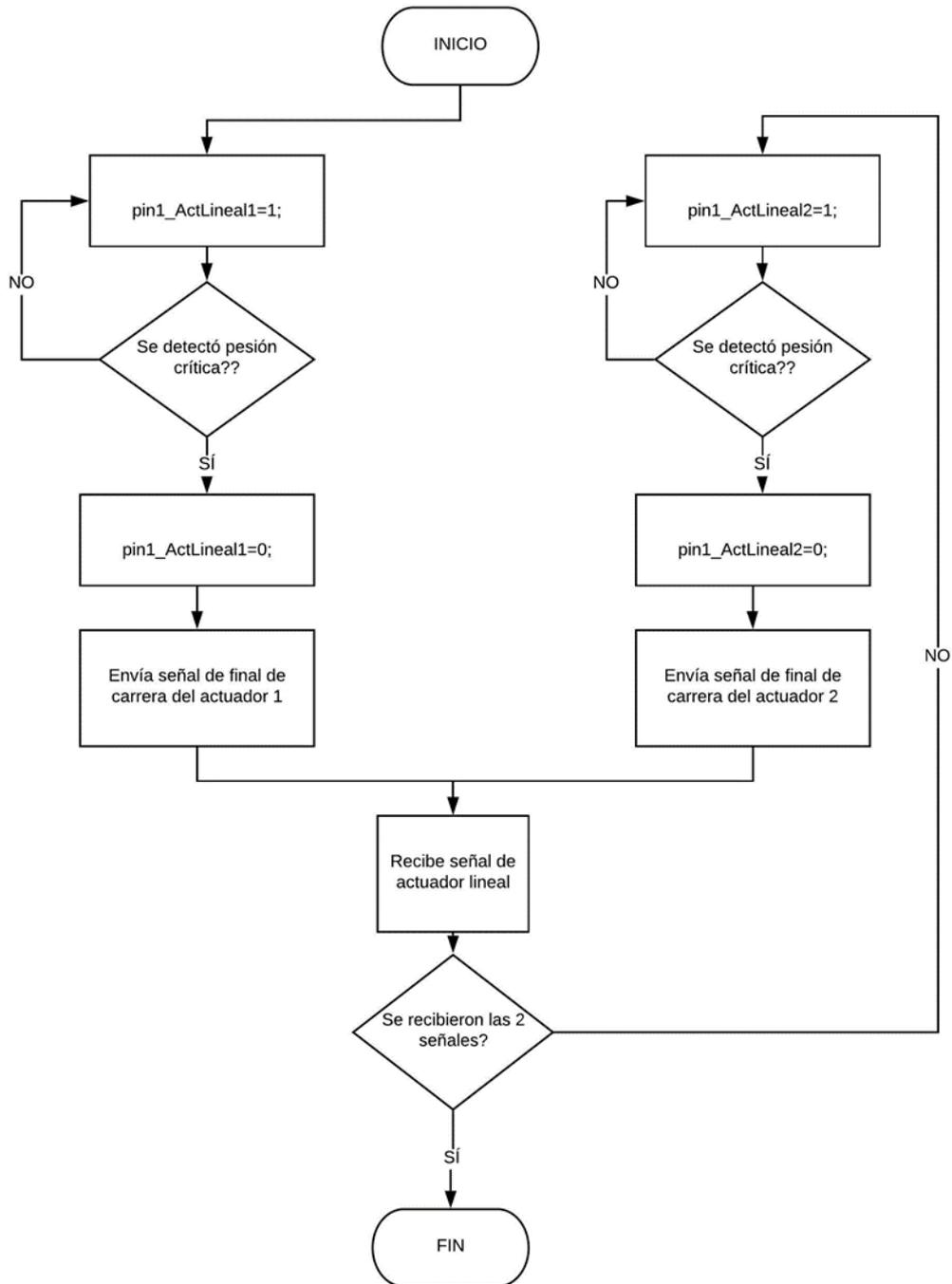
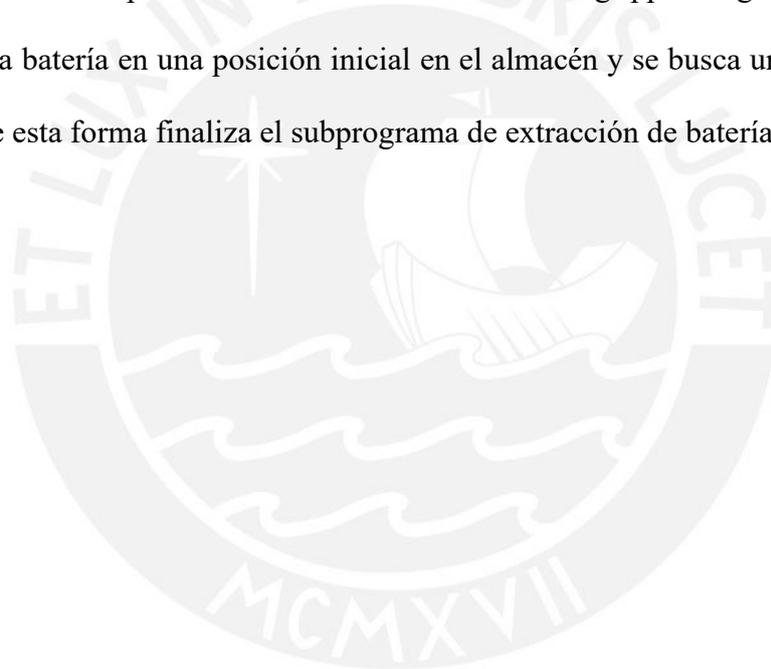


Figura 3.4 Diagrama de flujo del subprograma “Subsistema de sujeción”.

Fuente: Elaboración propia.

El subprograma “Subsistema de extracción de batería del dron” (Figura 3.5) se encargará de extraer la batería del dron y luego llevarla a una zona donde se depositará la batería. El programa empieza movilizándolo el sistema robótico cartesiano a una posición adecuada para el adecuado posicionamiento del gripper magnético. Una vez ubicado en esta posición, empieza a subir lentamente hasta que el sensor fotoeléctrico infrarrojo detecte o valide que ha hecho contacto con el adaptador de baterías del dron. Cuando esto ocurre, el robot cartesiano deja de subir y se detiene para avanzar un poco y posicionar de manera precisa al gripper magnético. Luego se procede a magnetizar el gripper y así, se extrae la cápsula que contiene a la batería en el dron. Finalmente se posiciona al robot cartesiano con el gripper magnético que sostiene a la cápsula de la batería en una posición inicial en el almacén y se busca un lugar vacío para posicionarse. De esta forma finaliza el subprograma de extracción de batería del dron.



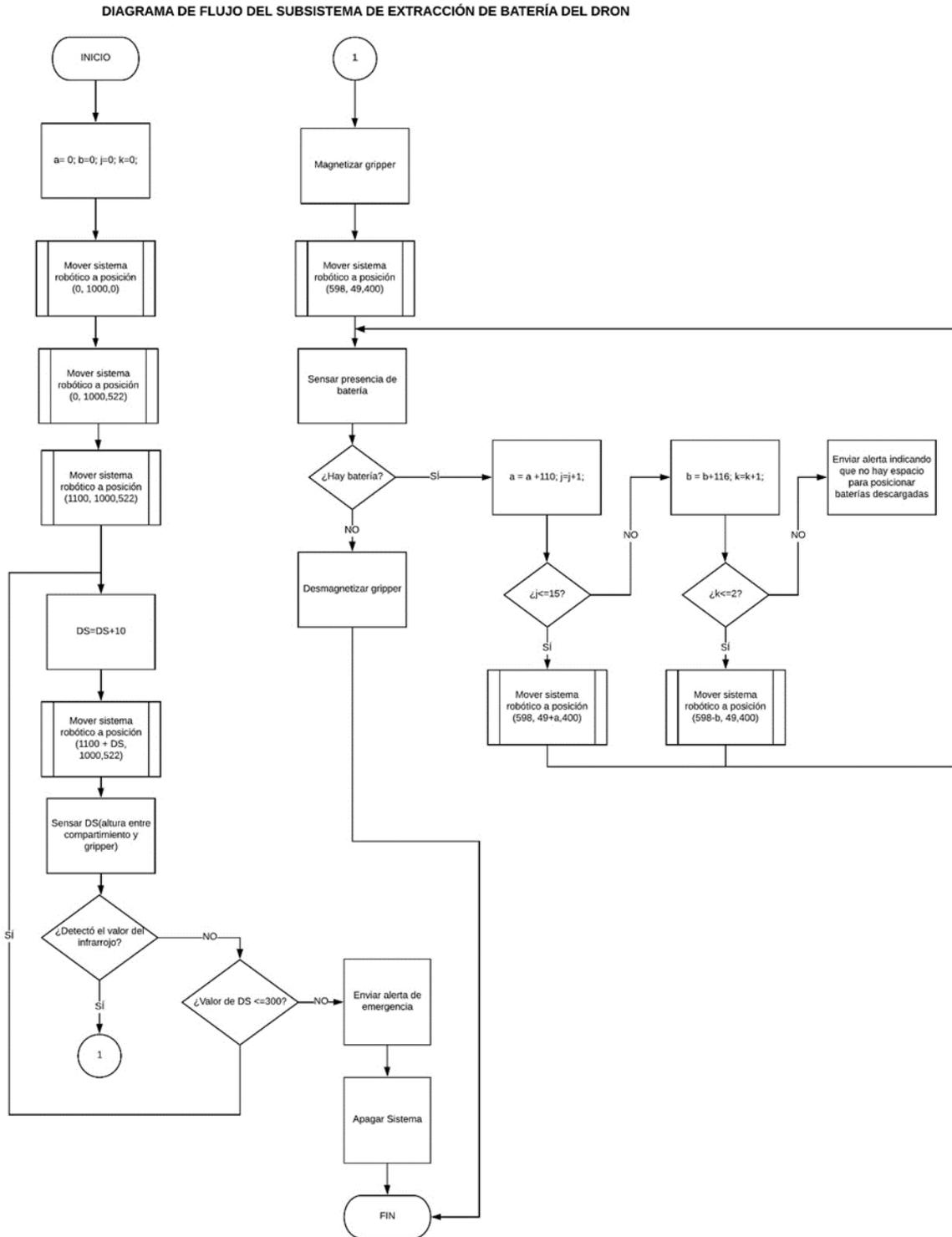


Figura 3.5 Diagrama de flujo del subprograma “Subsistema de extracción de batería del dron”.

Fuente: Elaboración propia.

El subprograma “Subsistema de colocación de batería cargada” (Figura 3.6) inicia con la manipulación del gripper magnético. Para ello primero se posiciona en una esquina del almacén de baterías y busca en este si se encuentra alguna batería disponible. En caso no haya batería disponible, el sistema debe enviar un mensaje avisando de que no se encuentran baterías cargadas. De encontrar alguna batería disponible, el gripper se magnetiza, sostiene a la batería y la transporta hasta una posición cercana al adaptador de batería. El sensor fotoeléctrico interacciona con el adaptador de la batería y robot cartesiano empieza a desplazarse hacia arriba hasta que el sensor pueda validar su posición con respecto al adaptador de la batería del dron. Habiendo posicionado el robot cartesiano junto al adaptador de la batería, se procede a avanzar al robot cartesiano hasta que encaje la batería. Luego se desmagnetiza al gripper magnético y se retira de esa posición al robot. Por último, se moviliza el sistema robótico a la posición inicial.

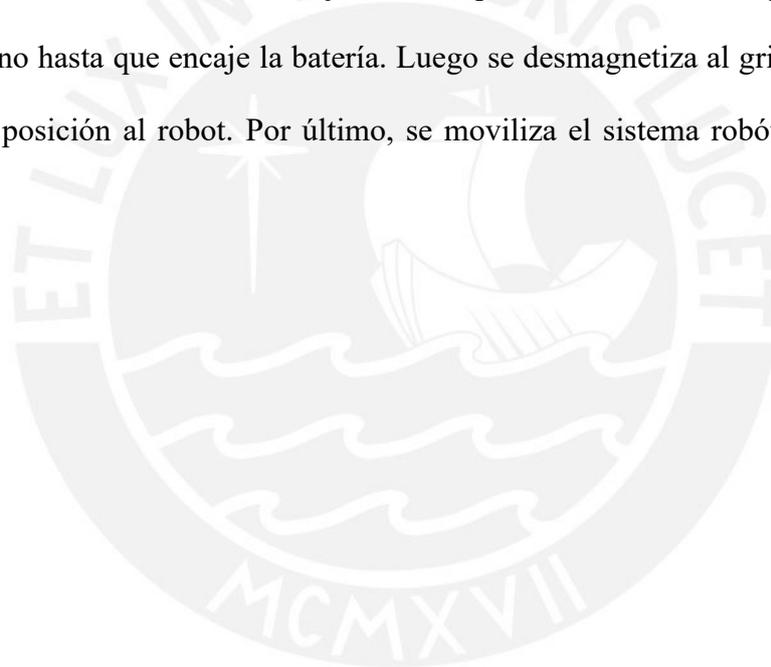


DIAGRAMA DE FLUJO DEL SUBSISTEMA DE COLOCACIÓN DE BATERÍA CARGADA

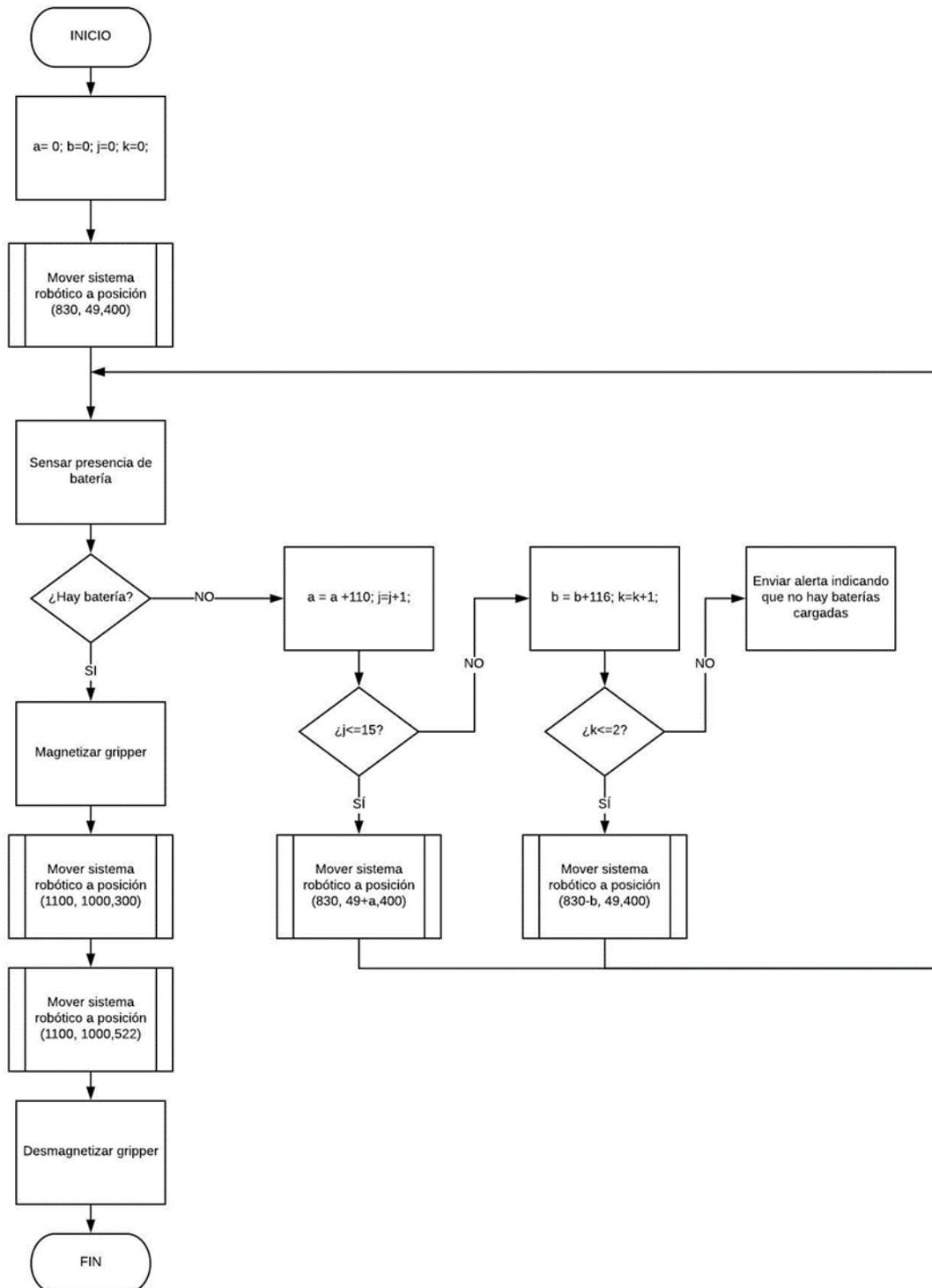


Figura 3.6 Diagrama de flujo del subprograma “Subsistema de colocación de batería cargada”.

Fuente: Elaboración propia.

El subprograma “Subsistema de movimiento y control de los motores” (Figura 3.7) básicamente muestra cómo se ejecutará el movimiento de cada motor a paso y del servomotor. Inicialmente empieza con la condición de si debe parar el movimiento o no, en caso no sea así se especifica en cada caso(motor) cómo es que se realizará el movimiento. En cada caso del motor a paso se escoge entre dos opciones, si debe ser un movimiento preciso o solo de desplazamiento a cierta posición. En el caso del servomotor se tiene solo posición angular.

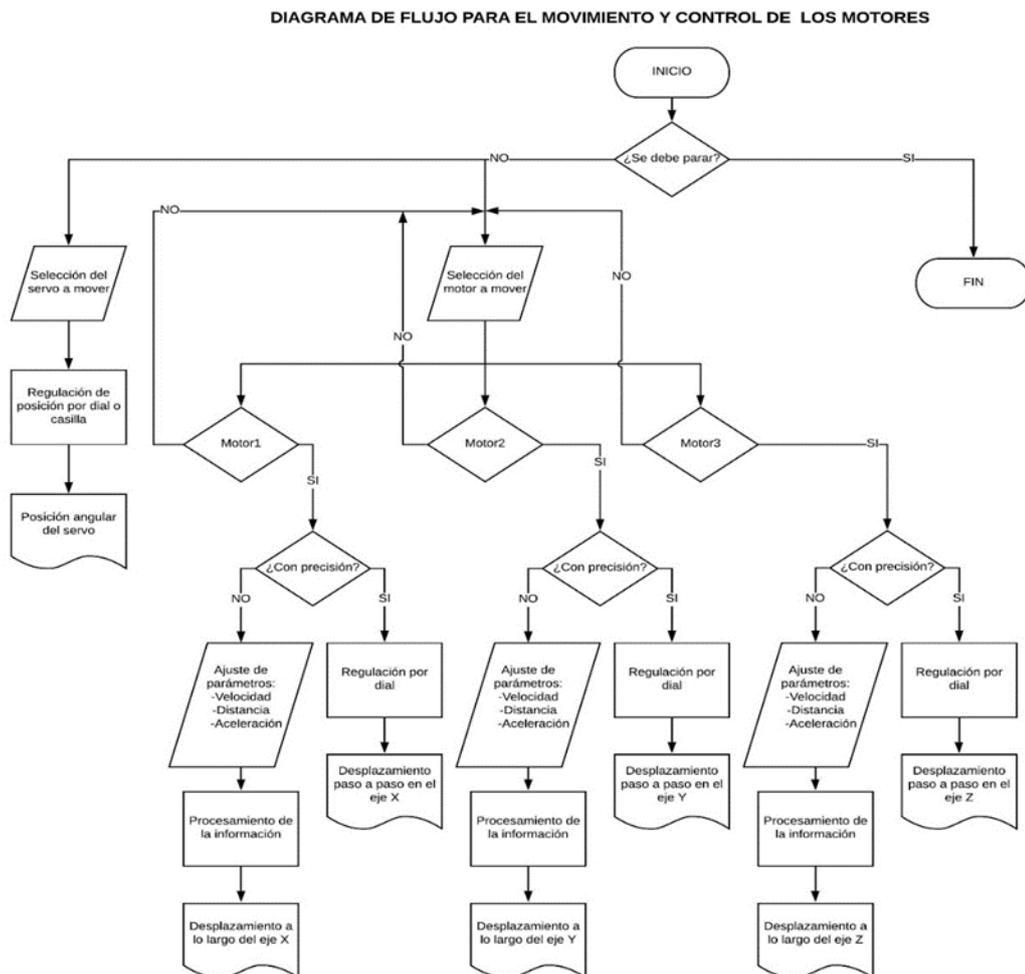


Figura 3.7 Diagrama de flujo del subprograma “Subsistema de movimiento y control de los motores”.

Fuente: Elaboración propia.

El subprograma “Subsistema de desacople del dron” (Figura 3.8), es un programa similar al de “Subsistema de sujeción del dron” con el único cambio de que los actuadores lineales ya

no bloquean los grados de libertad del dron, sino que, por lo contrario, se desplazan en el sentido inverso para liberarlo. De la misma forma que en el subprograma mencionado se procede a usar la carrera de los actuadores lineales, pero en el sentido inverso. Se envía la información de la carrera de los sensores y se valida que haya sido completa. Si la información de los programas anteriores fue validada, los otros dos actuadores lineales se desplazan en sentido inverso hasta que la carrera sea completa. De la misma forma, se envía la información de la carrera de los sensores y se valida que haya sido completa. En caso de que haya ocurrido un fallo en el movimiento de estos, se procede a enviar la señal de emergencia y apagar el sistema. Una vez validado que todo se ejecutó de manera correcta, finaliza el programa.

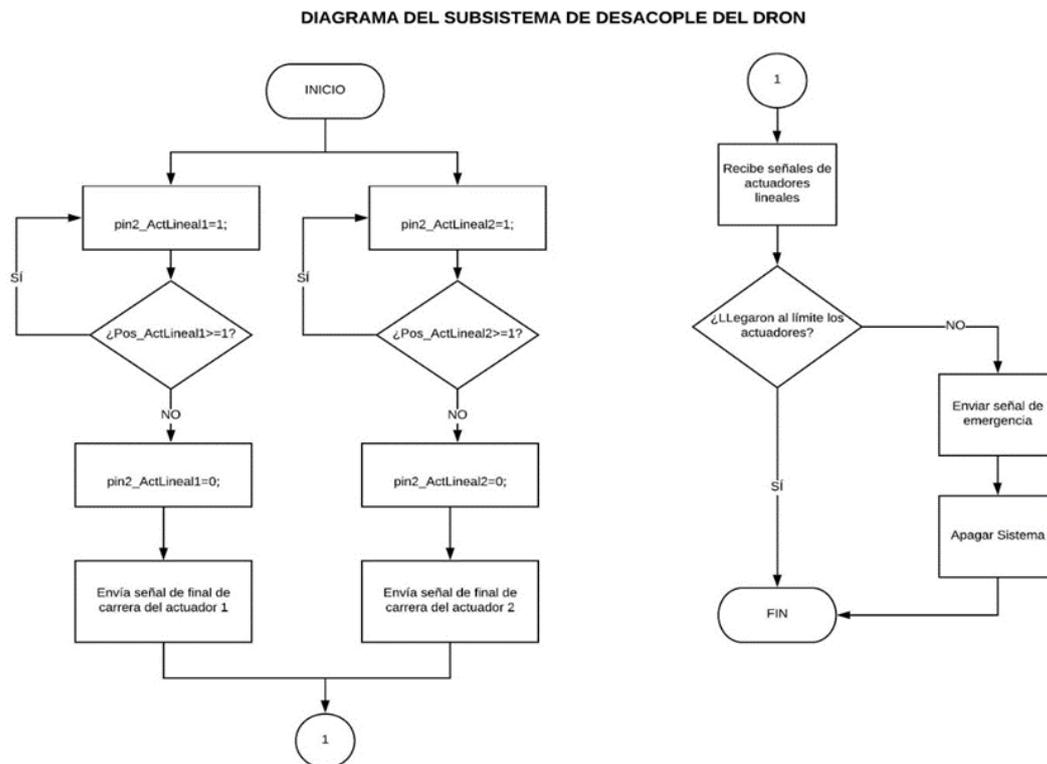


Figura 3.8 Diagrama de flujo del subprograma “Subsistema de desacople del dron”.

Fuente: Elaboración personal.

3.4. Diagramas de operaciones del Sistema

En la Figura 3.9 se muestra un diagrama de operaciones indicando los procesos más importantes que el operario y la máquina realizan. Se inicia con la energización eléctrica de la máquina y la verificación de un dron aterrizado. En el diagrama se enfatiza lo que corresponde a la máquina y al usuario u operario. Además, se hace presente la parada de emergencia en caso de un imprevisto.

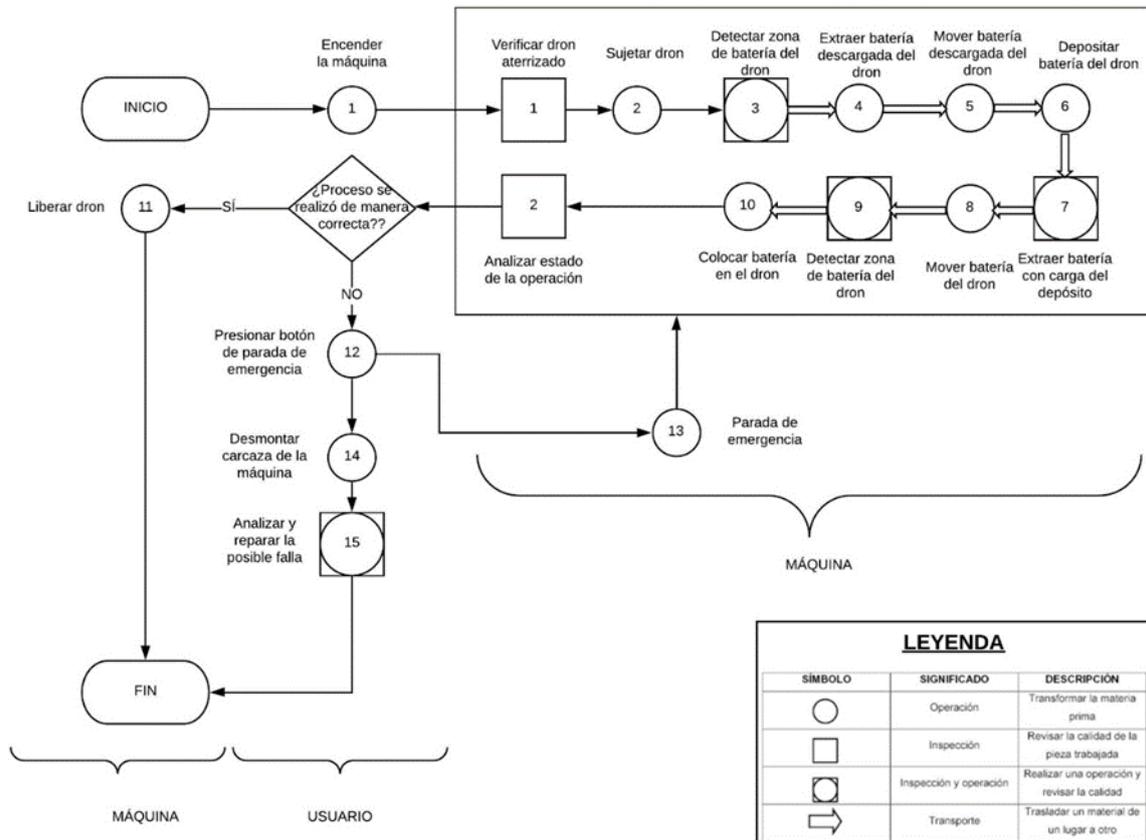


Figura 3.9 Diagrama de operaciones del sistema.

Fuente: Elaboración personal.

Capítulo 4

Diseño de la máquina

En este capítulo se presenta el diseño integral de la máquina, esta engloba al subsistema mecánico, subsistema electrónico y subsistema de control. En el subsistema mecánico está compuesto a la vez por tres partes principalmente. Estas partes son los siguientes: subsistema de transporte y almacén de batería, subsistema de adaptación de batería y subsistema de sujeción de batería. En el subsistema mecánico se analiza el movimiento del subsistema de transporte que está compuesto por un robot cartesiano y un anaquel que será el lugar donde se colocará la batería. Así se selecciona el gripper magnético que será el que sujetará a la cápsula de la batería en su transporte. Se selecciona el sensor de distancia adecuado para controlar los límites del movimiento del robot cartesiano y se calcula el tornillo de potencia crítico para finalmente seleccionar el motor adecuado. Además, se calcula el tornillo crítico del sistema el cual soportará la mayor carga del sistema. De forma consecuente, se analiza la plancha en la que se encuentra el anaquel y que soporta el mayor peso de toda la máquina. Por otra parte, no todas las uniones son atornilladas, sino que, por el contrario, algunas son soldadas. De esta forma se evalúa el cálculo de soldadura. En cuanto al subsistema de sujeción de batería, se seleccionan los componentes adecuados como, por ejemplo, actuador lineal, sensores de

presión y sensor de distancia. El subsistema de adaptación de batería presenta un diseño particular, ya que este está conformado por una cápsula que envuelve a la batería y un adaptador de batería. La cápsula que envuelve a la batería se sujeta al adaptador por medio de dos pines que se liberan por medio del magnetismo ejercido por el gripper. Se selecciona el controlador del sistema y la batería necesaria para mantener este alimentado. Por último, se diseña un recubrimiento para el gripper magnético para evitar incidentes con el magnetismo que este genere. Se calcula el material resiliente necesario para este objetivo y se procede a resolver el circuito magnético generado.

4.1. Subsistema mecánico

En el presente acápite se presenta el diseño mecánico del dispositivo el cual se compone de tres partes o subsistemas: subsistema de transporte y almacén de batería, subsistema de sujeción y subsistema de adaptación de batería.

4.1.1 Diseño mecánico de la máquina.

En la Figura 4.1, se muestra el modelo general de la máquina de dimensiones 2254 x 2095 x 2315 mm el cual consta de una estructura de aluminio, basada en perfiles t-slots 4545. Esta estructura se mantiene fija debido a ángulos, las cuáles son piezas metálicas con forma de triángulo que sirven para acoplar un perfil de aluminio a otro. Además, en la base de este sistema, se encuentran soportes que se identifican de color negro y estos se encargan de mantener fija a la estructura y soportan todo el peso. Estos soportes cumplen la función de unas patas de goma. Es así como ciertas partes de la estructura están sometidas a esfuerzos de flexión. El desplazamiento del robot cartesiano se logra por medio de husillos de potencia en cada eje. El eje más crítico de movimiento es el eje que se encuentra en la base del sistema ya que este husillo de potencia será el encargado de desplazar el máximo peso del robot y la batería.

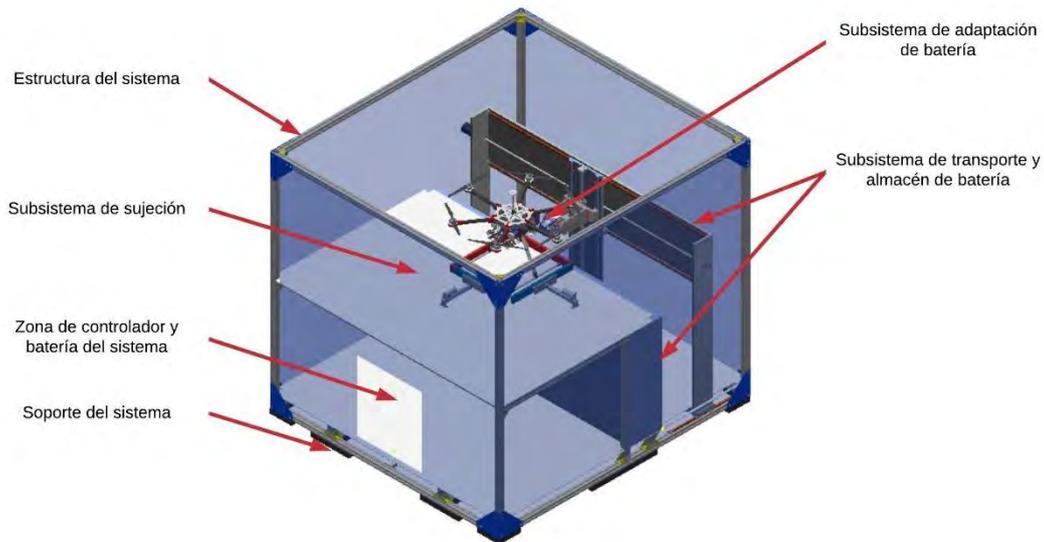


Figura 4.1 Modelo general del sistema

a) Estructura del sistema

La estructura del sistema está compuesta por perfiles tipo T-slots 4545, los cuales son perfiles que se encuentran comercialmente en el mercado. Estos perfiles se unen por medio de ángulos, que se pueden visualizar en la Figura 4.2. Por otro lado, también se aprecian cartelas que mantendrán fijas a las planchas frontales y laterales que cerrarán la máquina. Finalmente, en la base se presentan dos tipos de soportes: soporte de base y soporte de sistema. El soporte de base es un elemento conformado por ángulos y perfil para así mantener fijo a la plancha que sostiene al anaquel de las baterías. Por otro lado, el soporte del sistema está conformado por un elemento similar a las patas de goma y reemplaza su función.

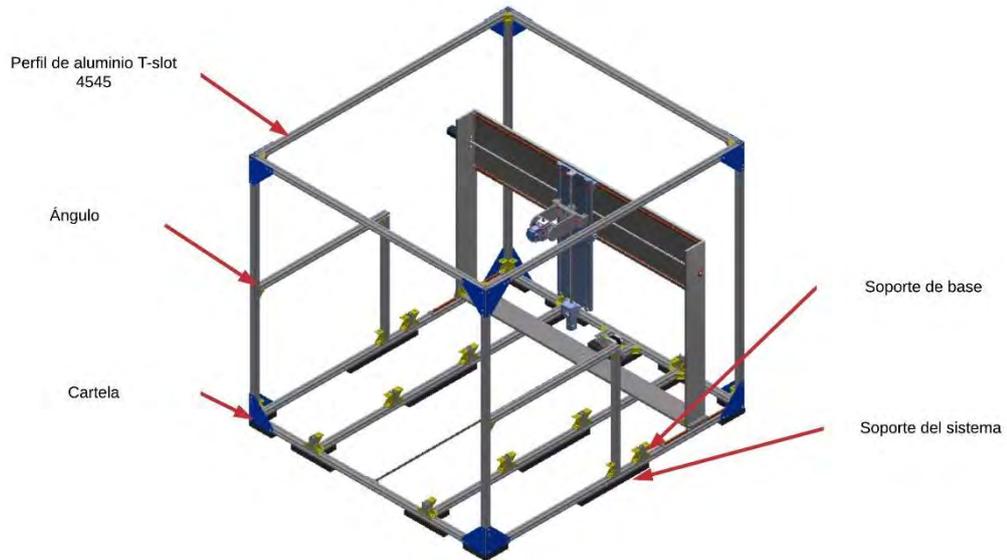


Figura 4.2 Modelo de la estructura del sistema

b) Subsistema de transporte y almacén de batería

El subsistema de transporte y almacén de batería está conformado por un robot cartesiano y un anaquel de baterías. En la Figura 4.3 se visualiza el robot cartesiano que se puede desplazar en los tres ejes de movimiento y tiene un gripper magnético para permitir la extracción y sujeción de la cápsula que encierra a la batería por medio del magnetismo que genera. El movimiento del robot cartesiano es producido por los motores que se encuentran en cada eje y a su vez se encuentran acoplados a husillos o tornillos de potencia los cuales permiten el desplazamiento en cada eje. Por otro lado en la Figura 4.4 se presenta el anaquel de baterías que es el lugar en donde se guardan estas mismas.

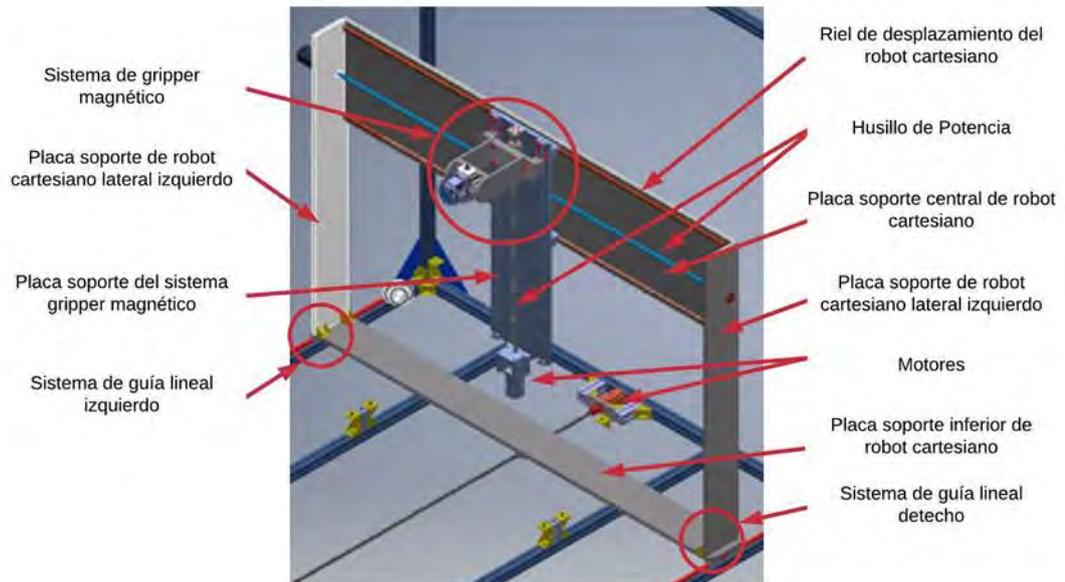


Figura 4.3 Modelo del robot cartesiano

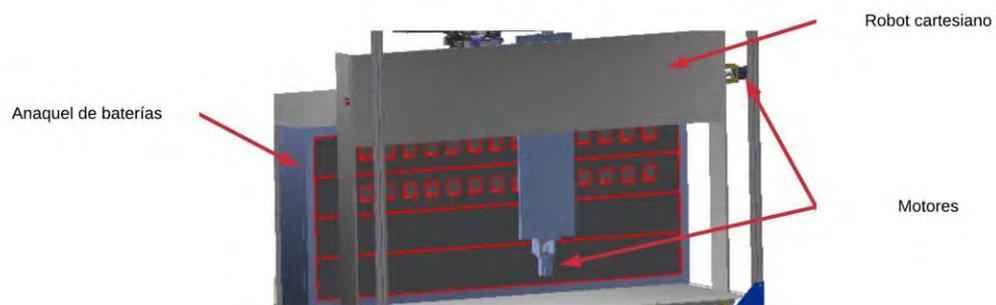


Figura 4.4 Modelo del anaquel de baterías

c) Subsistema de sujeción

En la Figura 4.5 se presenta el subsistema de sujeción que está compuesto por actuadores lineales que permiten sujetar al dron, topes para mantener fijo al dron, plancha base de aterrizaje del dron y por el mismo dron. Los actuadores lineales activan su carrera hasta empujar al dron hasta ambos topes y así, mediante presión, se mantiene fijo al dron censurando sus grados de libertad en el plano.

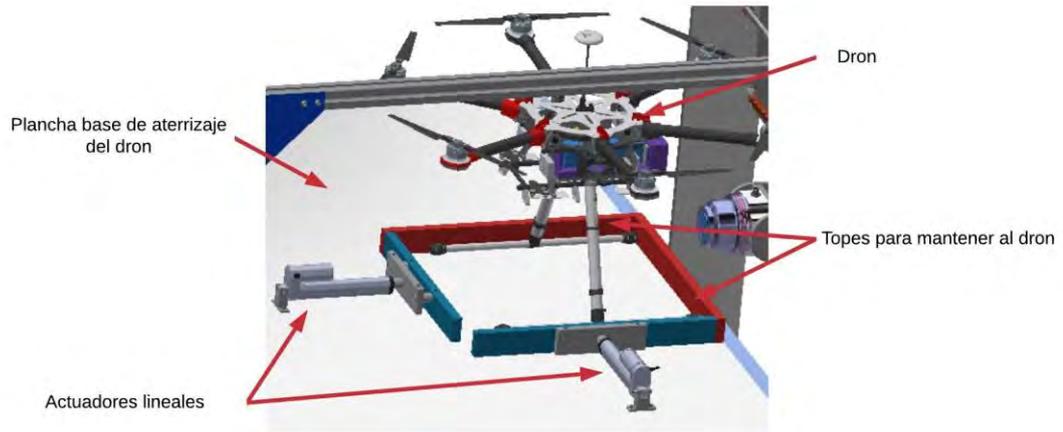


Figura 4.5 Modelo del subsistema de sujeción

d) Subsistema de adaptación de batería

En la Figura 4.6 se presenta el modelo del subsistema de adaptación de batería el cual contempla la cápsula de la batería del dron, el adaptador de baterías del dron y el dron. Además, en la Figura 4.7 se puede presenciar la cápsula que contempla a la batería del dron y esta está conformada por dos mecanismos de sujeción del dron y una parte metálica para la extracción y sujeción de esta.

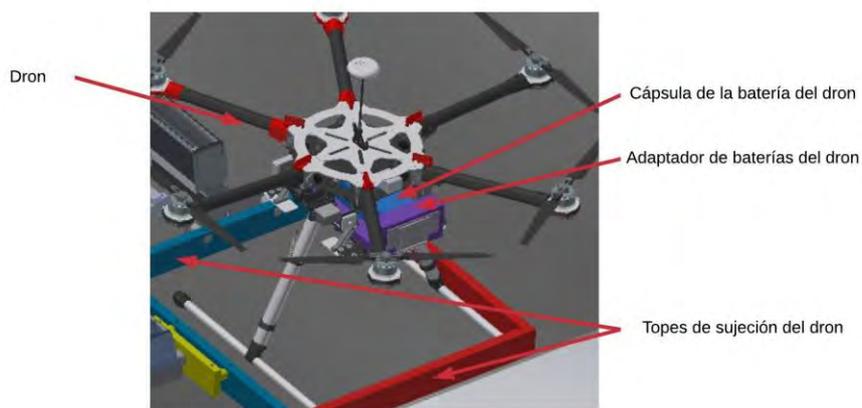


Figura 4.6 Modelo del subsistema de adaptación de batería

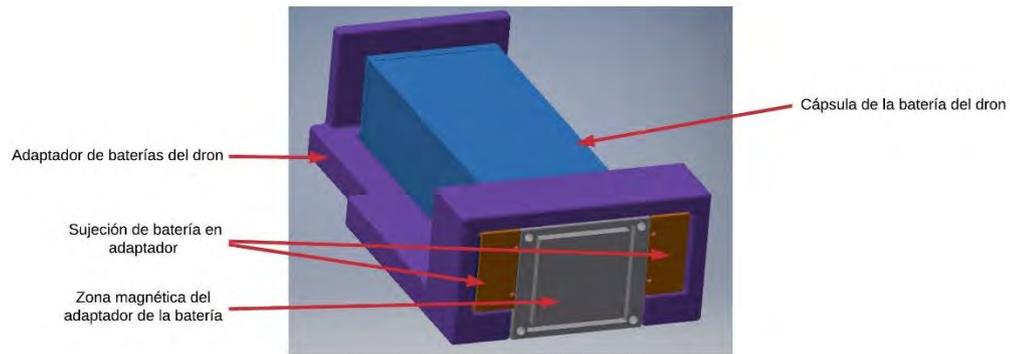


Figura 4.7 . Modelo de la cápsula y adaptador de la batería.

e) Zona de controlador y batería del sistema

En la Figura 4.8 se presenta el modelo en 3D del espacio de reserva que existe para colocar el controlador y la alimentación del sistema que se realizará por medio de baterías. Cabe resaltar que está limitada por la plancha base y la plancha de aterrizaje del dron.



Figura 4.8 Modelo del espacio de reserva para el controlador y batería del sistema.

4.1.2 Selección de materiales.

Debido a que el sistema trabaja con baterías LiPo y un dron que aterriza desde el exterior, los materiales seleccionados deben ser lo suficientemente resistentes mecánicamente, resistentes a la corrosión y que presente poco peso. En base a ello se muestra una tabla que muestra una comparación entre posibles materiales a usar.

a) Materiales para elementos que pueden ser impresos

Los elementos que conforman parte del sistema y que además presentan una forma variada y no están sometidos a grandes esfuerzos pueden fabricarse por medio de la impresión 3D. Para ello se establece en la Tabla 4.1 una comparación entre posibles materiales a ser seleccionados y, en base a sus características, se escoge la más adecuada.

Tabla 4.1 Comparación entre polímeros para impresión 3D

PLA	ABS
Termoplástico biodegradable.	Termoplástico no reciclable derivado del petróleo.
Fácil impresión.	Necesita una cama antes de imprimir.
No genera gases nocivos.	Necesita imprimirse en espacios abierto.
No resiste altas temperaturas.	Resiste mayores temperaturas, además de fuerzas ligeramente mayores y es, en cierta medida, dúctil.
Bajo precio.	Elevado precio respecto al PLA.

PLA – Ácido Poliláctico

Es un polímero constituido por moléculas de ácido láctico. Tiene propiedades similares al tereftalato de polietileno (PET). Es un material biodegradable, por lo que su impacto en el medio ambiente es menor al de la mayoría de polímeros. De gran uso en el campo de la impresión 3D. Será de gran ayuda con los componentes de difícil fabricación. A pesar que su resistencia es baja en comparación a otros polímeros en impresión 3D, según nuestros cálculos, será suficiente para soportar las cargas a las que será sometida. Este material se utilizará en el mecanismo de sujeción, el cual será fabricado por impresión 3D.

b) Materiales para la estructura y otros mecanismos del sistema

Los elementos estructurales y que forman parte de este mismo son esenciales para el desarrollo del sistema planteado ya que se encargarán de mantener fija a toda la máquina y brindarle estabilidad. Por otro lado, los elementos del sistema de transporte también tienen el

mismo grado de prioridad ya que se encargarán de desplazar la batería hacia su destino. Es por ello, que la selección del material para esta función debe ser un material de densidad relativamente y de una resistencia lo suficientemente considerable para cumplir esta labor. Por ello se escogió el aluminio por sus propiedades que lo ameritan, sin embargo, existen diversos tipos de aluminios. Por ello en la Tabla 4.2 se elabora una comparación entre aluminios y en base a sus propiedades y características se selecciona el más adecuado.

Tabla 4.2 Comparación entre aluminios

Aluminio 6061	Aluminio 7075
Es muy útil para estructuras	Es importante para los proyectos de extrusión y en la industria aeroespacial.
Presenta aplicaciones en el rubro de materiales de construcción, eléctricos, tuberías y productos recreativos.	Su elemento primario en su aleación es el zinc haciéndolo una de las aleaciones más resistentes posibles y es comparable a muchos aceros.
Aleación forjada, no fundida, y se puede extruir, enrollar o forjar en formas diversas.	Aleación con zinc principalmente aplicada en el rubro aeroespacial y para proyectos de extrusión.
Presenta una resistencia entre mediana y alta.	Presenta una alta resistencia mecánica
Resiste a la corrosión, tiene buena soldabilidad, ductilidad y maquinabilidad.	Presenta menor resistencia a la corrosión y presenta alta maquinabilidad y baja soldabilidad.

Aluminio 6061

El aluminio es un material no ferroso, y es el más abundante de los metales ya que constituye cerca del 8% de la corteza terrestre. Sus componentes son principalmente alúmina, la cual es extraída de la bauxita y mezclada con la criolita.

El aluminio en su estado más puro es muy blando, es por esto que cuando se realiza una aleación con otros materiales se obtienen resistencias similares al acero. De esta forma se logra

que sea muy útil para la industria en diferentes aspectos como la construcción, decoración, minería, iluminación, automotriz, aeronáutica y aeroespacial.

Este material es el único que provee dureza con bajo peso. Es un material que es fácil de pulir gracias a su gran tenacidad, ductilidad y maleabilidad. Además, posee una alta resistencia a la corrosión y alta conductividad térmica y eléctrica.

El aluminio 6061 es un tipo de aluminio que es muy utilizado para las estructuras. Sus aplicaciones se basan en la construcción, productos recreativos, electrónicos y tuberías. En cuanto a su resistencia se encuentra entre mediana y alta. Además, resiste a la corrosión, tiene una buena soldabilidad ductilidad y maquinabilidad.

c) Materiales para el soporte del sistema

Los elementos que soportan el sistema y reemplazan a las patas de goma son elementos que están sometidos a toda la carga del sistema y deben encargarse de soportar su peso y brindar estabilidad en el diseño.

Tabla 4.3 Comparación entre polímeros

Poliuretano	High Density Polyethylene (HDPE)
Se encuentra en formas elastómeras y termoestables.	Solo se encuentra en forma termoestable.
Gran variedad de aplicaciones.	Generalmente se aplica para elementos rígidos.
Adecuado para el contacto con alimentos.	Solo ciertas formaciones son aplicables al manejo de alimentos.
Capacidad no higroscópica.	Buena resistencia al impacto
Forma elástica permite adaptarse a una gran variedad de ambientes de trabajo.	Dificultades para adherir elementos a él.

Polietileno de alta densidad (HDPE)

Este material es elegido ya que presenta una gran resistencia y se aplica generalmente a elementos rígidos. Se requiere este material para diseñar el soporte del sistema que cumplirá la función de patas de goma para el sistema.

d) Materiales para elementos de máquinas

Los elementos de máquinas tienen diversas funcionalidades en el sistema y son los responsables de transmitir potencia, asegurar o fijar los mecanismos. Por esta razón, en la Tabla 4.4 se puede apreciar una comparación entre aceros que forman parte de estos elementos.

Tabla 4.4 Comparación entre aceros

St 37	St 60
Acero genérico para elementos de máquinas	Acero fino para elementos de máquinas
Resiste cargas bajas y medias.	Resiste grandes cargas.
Acero al carbono.	Acero al carbono.
Bajo precio.	Alto precio respecto al St 37.

Acero St37

Acero de uso general en estructuras y elementos de máquinas. Adecuado para elementos como como pines, tornillos y ejes sometidos a cargas relativamente medianas. Altamente maquinable y soldable. A pesar de no ser inoxidable, este material se usará en pines alejados de las zonas de contacto con el ají, por lo que vemos factible su uso.

e) Material magnético para adaptador de batería

El material que se escogió por defecto para que puedan funcionar correctamente los mecanismos de acople y desacople de batería es el hierro dúctil, ya que este material presenta características magnéticas y porque su densidad no es muy alta en comparación con el acero. Por otra parte, estos mecanismos son relativamente pequeños, por tanto, su costo no será elevado.

4.1.3 Cálculos torque y geometría del sistema.

a) Cálculo de husillo en la base del sistema robótico

El tornillo de potencia es un elemento de máquina diseño para movilizar cargas horizontal y verticalmente. Este elemento es de gran utilidad en los sistemas cartesianos para movilizar cargas en sus ejes de giro. Para el sistema planteado, se requiere movilizar cargas en los 3 ejes. Sin embargo, se analizará el caso más crítico, es decir, cuando esté sometido a la mayor carga posible y en base a eso se evaluarán los motores correspondientes. La Figura 4.9 representa esquemas del comportamiento del husillo y además su diagrama de cuerpo libre. La Figura 4.10 representa un esquema del tornillo de potencia indicando su geometría. Por otro lado, los tipos de roscas más empleados en los husillos o tornillos de potencia son la rosca cuadrada, rosca acme y la rosca unificada.

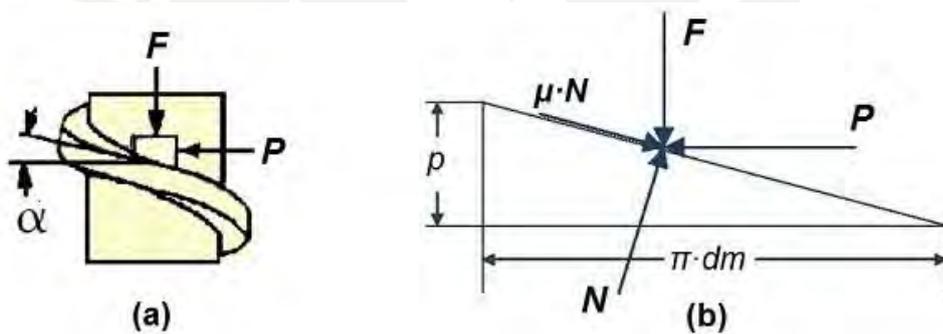


Figura 4.9 Diagrama de cuerpo libre del tornillo de potencia

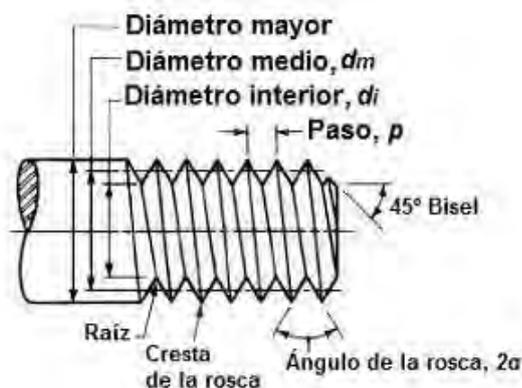


Figura 4.10 Representación de un tornillo

El par o momento torsional (T) será igual al producto del esfuerzo P por el radio primitivo ($r_m = d_m/2$) del tornillo se representa por la Ecuación 1 a continuación:

$$T = P * r_m \quad (1)$$

En este caso, las fuerzas que interactúan en la rosca serán las siguientes:

F : representa la carga a elevar, y es la suma de todas las fuerzas axiales que actúan sobre el tornillo.

P : fuerza necesaria que es necesario realizar para vencer la fuerza de rozamiento y hacer ascender la carga por el plano inclinado de la rosca del tornillo.

N : fuerza normal al plano de la hélice del tornillo.

$\mu \cdot N$: representa a la fuerza de rozamiento que es necesario vencer para hacer girar al tornillo.

En (a) se representa las fuerzas F y P que actúan sobre el vástago del tornillo, por otro lado, en (b) se representa en un triángulo el desarrollo de la hélice o filete de rosca en una vuelta completa del tornillo. Este triángulo tiene una base de longitud $\pi \cdot d_m$ y una altura de p (paso del tornillo). Es así como evaluando la sumatoria de fuerzas en horizontal y vertical se obtiene lo siguiente:

En dirección horizontal: $P - N \cdot \sin(\alpha) - \mu \cdot N \cdot \cos(\alpha) = 0,$

En dirección vertical: $F + \mu \cdot N \cdot \sin(\alpha) - N \cdot \cos(\alpha) = 0,$

Sustituyendo el valor de “ P ” resulta un par torsional (T) que se muestra en la Ecuación 2 a continuación:

$$T = F * \frac{d_m}{2} * \frac{(\mu\pi d_m + p)}{(\pi d_m - \mu p)} \quad (2)$$

Las anteriores expresiones son válidas para tornillos de rosca cuadrada, donde las cargas normales son paralelas al eje longitudinal del tornillo. Es así como las expresiones para el tornillo de rosca ACME o unificada varía. Ya que se hará uso de este tipo de tornillo se modificará la ecuación anterior para llegar a la expresión adecuada.

Para tornillos de potencia con rosca Acme o unificada, la carga normal (N) ya no es paralela al eje longitudinal del tornillo, sino que se sitúa inclinada respecto al eje longitudinal del tornillo en una cantidad θ (igual a la mitad del ángulo de la rosca).

El efecto del ángulo (θ) es incrementar la fricción entre la rosca, debido a la acción de acunamiento de los hilos o filetes. Por tanto, para obtener las nuevas expresiones del par torsional, tomando en cuenta las expresiones halladas anteriormente, se debe dividir por $\cos\theta$ para tener considerado este efecto. La Figura 4.10 representa un esquema del tornillo de potencia indicando su geometría. Por otro lado, los tipos de roscas más empleados en los husillos o tornillos de potencia son la rosca cuadrada, rosca acme y la rosca unificada. En la Figura 4.11 se muestra una representación de cada tipo de rosca, así como también la geometría que los caracteriza.

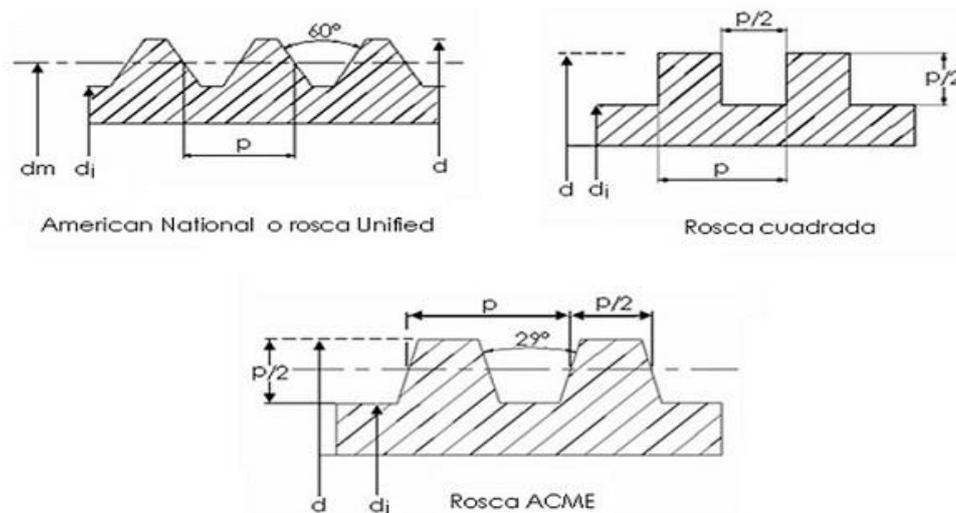


Figura 4.11 Tipos de roscas para husillo de potencia.

El husillo ubicado en la parte inferior de la máquina no está sujeta a cargas axiales significativas, ya que se encuentra apoyado sobre la estructura que contiene a la máquina. Por otro lado, tampoco está expuesta a soportar el peso de todo el sistema robótico, ya que quien se encarga de esto son los soportes laterales que se encuentran unidos a los rieles de desplazamiento horizontal. En ese sentido, la fuerza de desplazamiento horizontal que se aplique debe superar la fuerza de fricción entre la tuerca y este mismo para que exista movimiento. Bajo esas consideraciones. Los parámetros del husillo a seleccionar son: Diámetro medio (d_{med}), paso (p), número de entradas (n), coeficiente de fricción entre el husillo y la tuerca (μ), y el ángulo de la rosca (θ). El husillo encontrado comercialmente (RPTS Tr 16x4) tiene los siguientes parámetros: $d_{med} = 13.905$ mm, $p = 4$ mm, $n = 2$, $\mu = 0.2$ y $\theta = 15^\circ$; por lo que se deberá verificar si este cumple con los requerimientos de fuerza y velocidad. El valor de la Fuerza sobre el tornillo será calculado para cuando la maquina se está moviendo, trasladando la batería, pues es en este momento donde se supone que el tornillo ejerce mayor fuerza debido a la resistencia de corte del material, así pues, la fuerza resultante (F) será la sumatoria de las fuerzas debida al peso que de los materiales sobre sobre el husillo (W_t) para cuando se requiera movilizar la carga en el eje vertical, la fricción (F_c) y la fuerza necesaria

para acoplar y desacoplar la batería (F1), de modo entonces que el valor de la fuerza es como se muestra en la Ecuación 3. Por otro lado, en la Figura 4.12 se muestra el diagrama de cuerpo libre que representa el comportamiento de las fuerzas en el sistema que se desplazará.

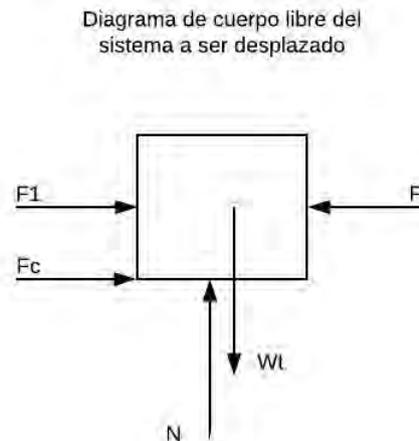


Figura 4.12 Diagrama de cuerpo libre del sistema a ser desplazado.

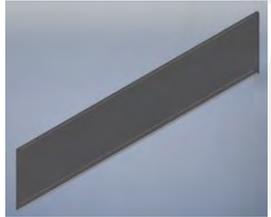
Se considera la fuerza “F” como resultante general del sistema, y se consideró el peso para calcular el caso más crítico del sistema y verificar también si soporta la carga del peso mencionado anteriormente, por ello se evalúa de esta forma la siguiente ecuación:

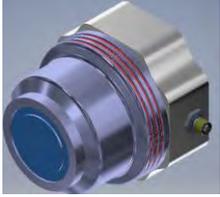
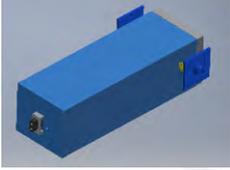
$$F = F_c + W_t + F_1 \quad (3)$$

Además, la fuerza máxima de acople y desacople (F1) igual a 2kgf. Por otro lado, la sumatoria de los pesos de todos los mecanismos que se transportarán mediante el husillo se consideran según un análisis de pesos que conforma cada parte del robot cartesiano. Para ello se visualiza la Tabla 4.5 en donde se analizan los pesos de las partes más influyentes del sistema.

Tabla 4.5 Piezas modeladas del sistema de transporte

Modelo de la pieza	Masa(kg)	Densidad(g/cm ³)	Volumen (mm ³)	Cantidad
--------------------	----------	------------------------------	----------------------------	----------

<p>Placa soporte del sistema gripper magnético</p> 	13.916	2.700	5154228.232	1
<p>Placa soporte de robot cartesiano lateral</p> 	8.959	2.700	3318131.322	2
<p>Placa soporte central de robot cartesiano</p> 	50.106	2.700	18557900.000	1
<p>Placa para acoplar sistema de gripper magnético a robot cartesiano</p> 	0.944	2.700	349596.748	1
<p>Placa lateral para acoplar gripper</p> 	0.698	2.700	258626.103	2
<p>Placa para acoplar y sujetar gripper</p>	0.502	2.700	186006.639	2

				
Gripper Magnético 	1.5	-	-	1
Batería encapsulada 	3.5	-	-	1
Placa soporte inferior de robot cartesiano 	18.704	2.700	X: 0.000 Y: -0.148 Z: 0.061	1

Es así como la sumatoria de los pesos es de 110 kg aproximadamente, considerando que las partes mostradas son de aluminio. Entonces el valor de la fuerza F se conforma de la siguiente forma:

$$F = 215.6 N + 1078 N + 19.6 N \quad \mathbf{F} = 1313.2 N$$

Según la teoría para tornillos trapezoidales, el torque requerido por el husillo para elevar una carga determinada se calcula según la Ecuación 2 mostrada anteriormente:

$$T_h = F_b * \frac{d_{med}}{2000} * \frac{(\mu \pi d_{med} \sec(\theta) + n p)}{(\pi d_{med} - \mu n p \sec(\theta))} \quad (4)$$

donde:

T_h : Torque en el husillo [Nm], F_b : Fuerza a levantar por la tuerca [N], d_{med} : Diámetro medio del husillo [mm], μ : Coeficiente de fricción entre el husillo y la tuerca [-], n : Número de entradas en el husillo [-], p : Paso del husillo [p], θ : Angulo de la rosca del husillo [°].

Reemplazando con los parámetros del husillo seleccionado en la sección anterior, y considerando una fuerza de 490N, se calcula el torque en el husillo, y, por lo tanto, el torque requerido por el motor. Estos valores se muestran en la Tabla 4.6 a continuación:

Tabla 4.6 Cálculo del torque en el husillo

Variable	Símbolo	Valor	Unidad
Fuerza a levantar por la tuerca	F_b	1313.2	N
Diámetro medio del husillo	d_{med}	13.905	mm
Coeficiente de fricción entre el husillo y la tuerca	μ	0.2	-
Número de entradas en el husillo	n	1	-
Paso del husillo	p	4	mm
Angulo de la rosca del husillo	θ	15	°
Torque en el husillo	T_h	2.78	Nm

Ahora se pasa a calcular el esfuerzo cortante, debido al T_r sobre el exterior del cuerpo de tornillo, esto se hace mediante la Ecuación 3 mostrada:

$$\tau = \frac{16 T_r}{\pi(dr)^3} \quad (5)$$

donde:

Tr = Torque requerido,

dr = Diámetro menor,

$$dr = d - p = 16 \text{ mm} - 4 \text{ mm} = 12 \text{ mm.}$$

De esta forma con el torque en el husillo hallado en la tabla anterior mencionada, se calcula el esfuerzo cortante:

$$\tau = 8.19 \text{ MPa}$$

También, el esfuerzo axial normal σ está determinado por la Ecuación 4 mostrada a continuación:

$$\sigma = - \frac{4F}{\pi(dr)^2} \quad (6)$$

Con esta ecuación obtenemos el valor de $\sigma = -11.61 \text{ MPa}$.

Cabe mencionar que el esfuerzo de flexión se considerará despreciable, debido a que el tornillo no está sujeto a cargas de flexión. Se obtiene entonces que:

$$\begin{aligned} \sigma_x &= 0, & \tau_{yz} &= 8.19 \text{ MPa}, & \sigma_z &= -11.61 \text{ MPa}, \\ \tau_{xy} &= 0, & \tau_{yz} &= 8.19 \text{ MPa}, & \sigma_z &= -11.61 \text{ MPa}, \\ \tau_{zx} &= 0, & \sigma_y &= 0, & & \end{aligned}$$

Para saber si la varilla seleccionada cumplirá con las condiciones de carga establecidas se utilizará la teoría de falla Von Misses, luego se despejará el valor de “Nf” el factor de seguridad a partir del valor de esfuerzo equivalente de Von Misses y el esfuerzo de fluencia

del material del cual esta echa la varilla roscada. Todo esto se calculará con la Ecuación 5 mostrada a continuación:

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2 - \sigma_x\sigma_y - \sigma_x\sigma_z - \sigma_y\sigma_z + 3(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)} \quad (7)$$

$$\sigma' = 18.33 \text{ MPa}$$

Reemplazando los valores mencionados anteriormente se obtienen los siguientes valores en la Tabla 4.7:

Tabla 4.7 Cálculo del factor de seguridad

Variable	Símbolo	Valor	Unidad
Esfuerzo cortante debido a la torsión	τ	8.19	MPa
Esfuerzo axial normal	σ	-11.61	MPa
Esfuerzo resultante	σ'	18.33	MPa
Esfuerzo de fluencia del material AISI 1020	Sf	205	MPa

Ya que el husillo seleccionado esta echa de un acero ASI – SAE 1020 se puede encontrar en tablas que su esfuerzo de fluencia “Sy” tiene un valor de 205 MPa, entonces el factor de seguridad para el tornillo se encuentra con la Ecuación 6 mostrada a continuación:

$$Nf = \frac{Sy}{\sigma'} \quad (8)$$

Así se obtiene $Nf=11.18$.

Como los valores de factores de seguridad garantizan que la varilla roscada del eje X que es la más crítica logrará operar sin fallar, se omiten los cálculos de las varillas de los ejes Y y Z.

Verificación al autobloqueo:

Una vez verificada la resistencia del husillo, se debe también verificar el autobloqueo, esto es, que la carga no haga deslizar la tuerca a lo largo del husillo. Según la teoría de tornillos, para que exista autobloqueo se debe cumplir la Ecuación 7 mostrada a continuación:

$$\pi * \mu * d_{med} * \sec(\theta) > n * p \quad (9)$$

Reemplazando con los valores del husillo a verificar, se obtiene: $9.044 > 4$, por lo que se cumple la condición de autobloqueo. Con esto se concluye que el husillo seleccionado es adecuado para el diseño a realizar.

b) Cálculo de fuerza magnética necesaria para remover la batería

Según los requerimientos, se usarán baterías que tengan un amperaje mayor a los 10000 mAh y menor a los 15000 mAh. Para fines del tema propuesto se hará uso de la batería LiPo 11000 mAh 6S con 22.2 v de la empresa MaxAmps. En la Figura 4.13 se muestra una imagen de la batería que se usará:



Figura 4.13 Batería LiPo 6S 11000 mAh de la empresa MaxAmps

Tabla 4.8 Características de la batería seleccionada

Variable-Característica	Símbolo	Valor	Unidad
Capacidad en amperaje de la batería	A	11000	mAh
Voltaje	V	22.2	v
Garantía de por vida	-	-	-
Capacidad de carga rápida	-	5	C
Impermeabilidad	-	100	%
Dimensiones	-	158x59x61	mm
Peso de la batería	-	1270	g
Tasa de descarga de la batería	-	40	C

Por otra parte, el sistema que envuelve a la batería y la encapsula para facilitar la automatización de su extracción y colocación se ha diseñado y se muestra en la Figura 4.14.

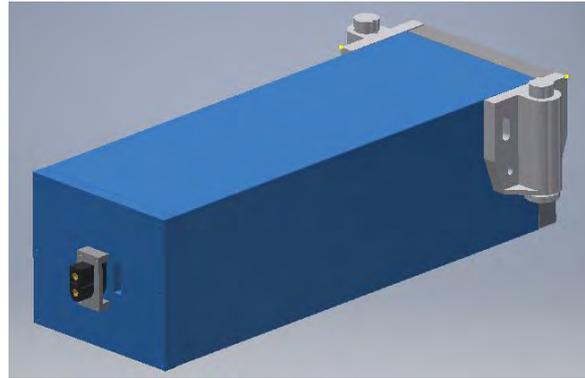


Figura 4.14 Cápsula de la batería.

Se estima que el peso máximo que se obtendrá entre la cápsula y la batería integrada no superará los 3.5 kg. Entonces es necesaria una fuerza que supere el peso generado por este sistema para permitir su extracción y colocación. Por otro lado, la solución planteada para la extracción y colocación de la batería consiste en magnetizar la zona trasera de la cápsula de la batería por medio de un gripper magnético. Además, la cápsula de la batería ingresa en un compartimiento diseñado para el dron, al cual se le nombra adaptador de batería. Es así como el sistema de la cápsula de la batería y el adaptador de batería conforman un subsistema conocido como subsistema de adaptación de batería. En la Figura 4.15 se puede apreciar con mayor claridad lo que se plantea.

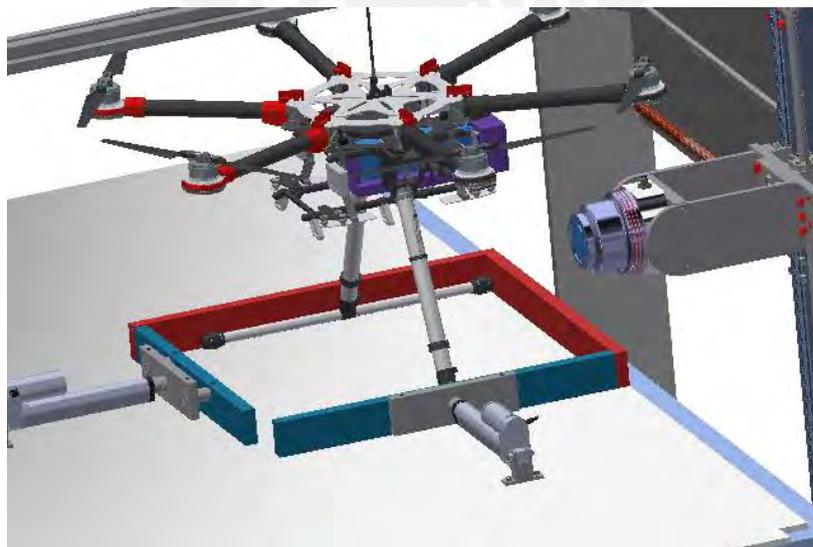


Figura 4.15 Extracción de la batería del dron por medio de un gripper magnético.

De esta forma, para permitir la extracción y colocación de la batería es necesaria una fuerza magnética lo suficientemente fuerte como para sostener a la cápsula de la batería y mantenerlo fijo. Además, cabe mencionar que no solo es suficiente con esto, sino que, al momento de realizar la colocación o el ajuste de la cápsula dentro del adaptador de batería, existe una fuerza para que esto suceda. En este sentido, se colocará un factor de seguridad como mínimo de 1.5. En la Ecuación 10 se plantea la fuerza necesaria mínima que requiere ejercer el gripper magnético para que el sistema funcione.

$$F_s = \frac{F_{\text{mínima}}}{3.5\text{kgf}} \quad (10)$$

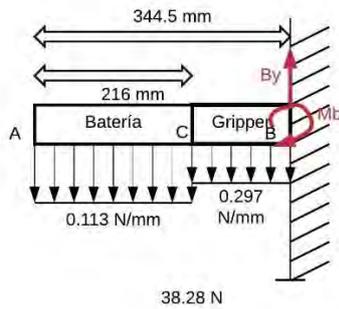
Siendo entonces:

F_s : factor de seguridad

$F_{\text{mínima}}$: fuerza mínima requerida para que el sistema funcione

Efectuando los cálculos y considerando un factor de seguridad de 1.5, se estima que la fuerza mínima requerida es aproximadamente 5.25kgf. Por ello, el gripper magnético a seleccionar debe ejercer una fuerza igual o superior a esta. Cabe resaltar que los tornillos que mantiene al gripper unido debe soportar también el peso del gripper y de las partes que lo mantienen fijo. Este peso se estima un peso de aproximadamente 3.91 kg. De esta forma se pueden apreciar los diagramas que representan el comportamiento establecido entre el gripper magnético y la cápsula de la batería en la Figura 4.16.

Representación de la batería bajo la acción de la fuerza magnética



Simplificación del diagrama para hallar reacciones

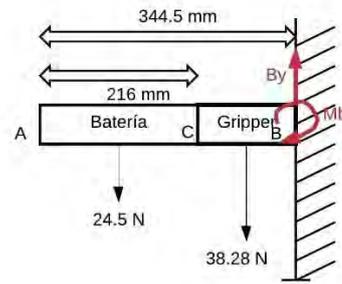


Figura 4.16 Diagramas de fuerza cortante y momento flector de la unión entre la batería y el gripper magnético.

Evaluando en la Ecuación 11 la sumatoria de fuerzas en el eje y se obtiene la reacción en el punto B, que es el punto donde se encuentran los tornillos de sujeción de este sistema.

$$\sum F_y = 0 \quad (11)$$

$$B_y = 62.78 \text{ N}$$

$$\sum M_B = 0 \quad (12)$$

$$24.5(236.5)\text{N}\cdot\text{mm} + 38.28(64.25)\text{N}\cdot\text{mm} = M_B$$

$$8.26 \text{ N}\cdot\text{m} = M_B$$

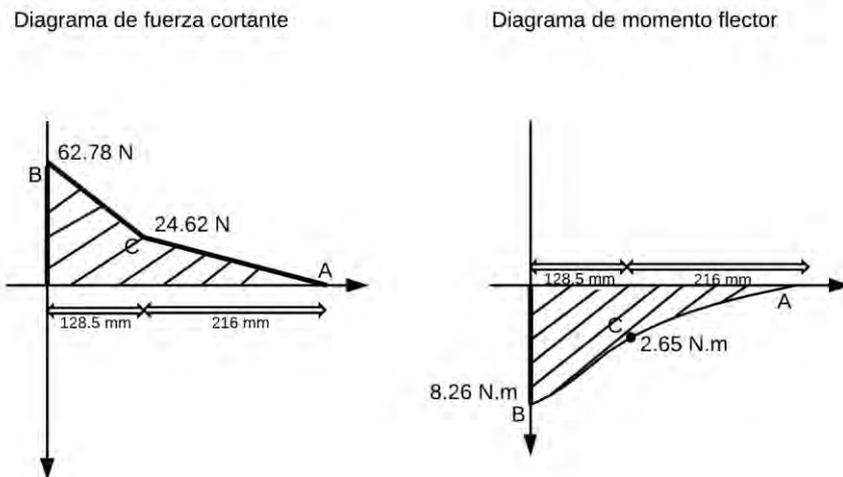


Figura 4.17 Diagramas de fuerza cortante y momento flector de la unión entre la batería y el gripper magnético.

Como se puede apreciar, según la Figura 4.17, la fuerza que soportarán las uniones atornilladas es de 62.78 N y el momento al que están sujetos es de 8.26 N.m. Es por esta razón que se debe efectuar el cálculo del tornillo ante estos valores y verificar que sea capaz de soportar este momento flector y fuerza cortante.

Efecto del electroimán en la batería

Para poder realizar este análisis, es necesario seleccionar el tipo de gripper que se usará, así como también verificar su hoja de datos. Es de gran importancia saber el consumo que efectúan los grippers magnéticos, ya que al funcionar como un electroimán su campo de acción cambia. Además, es importante resaltar que se hará la comparación de grippers que hagan uso de una fuente DC, ya que de ser lo contrario, serían muy caros de conseguir y podrían generar flujos magnéticos que pueden afectar el funcionamiento de componentes electrónicos cercanos.

c) Cálculo de distancia mínima y máxima en la estructura tubular de aterrizaje del dron

Para estos cálculos se tomará en cuenta la geometría que debe tener el dron para que cumpla con las especificaciones de la solución propuesta. Es por ello que se presentarán límites de cuánto es lo que debe medir el sistema de aterrizaje del dron o la estructura que permite su aterrizaje. Para ello, en una primera instancia, como se mencionó en los requisitos, se requiere que tenga una estructura del tipo tubular. A continuación, se muestra una imagen que representa la estructura que debe tener el dron y además una representación de su vista frontal para estimar los rangos en los que deben encontrarse sus dimensiones, así como también el ángulo de inclinación que debe tener. En la Figura 4.18 se puede apreciar la estructura tubular de un dron, así como también en la Figura 4.19 se presenta las dimensiones críticas que son necesarias tener en cuenta para este diseño.

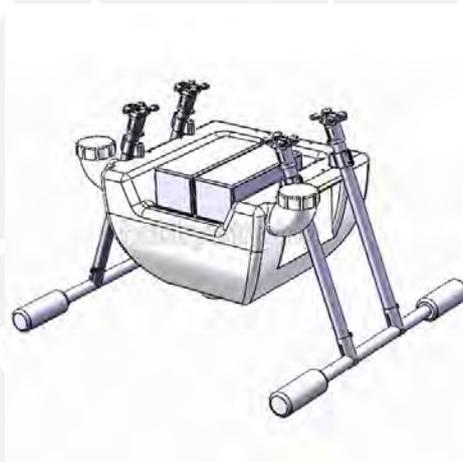


Figura 4.18 Estructura tubular de dron.

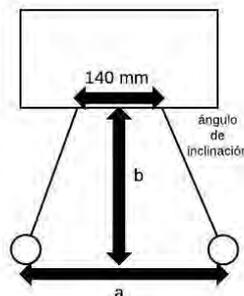


Figura 4.19 Geometría de la estructura tubular de un dron ligada a los requisitos del sistema.

Según la geometría de la estructura de aterrizaje para que el dron pueda ser compatible con la propuesta planteada, se deben hallar un rango de valores de “a”, “b” y “ α ” (ángulo de inclinación) para que pueda entrar en el sistema de sujeción planteado. Esto es porque existe un juego como se puede apreciar en la Figura 4.20, en donde, mediante el accionamiento de actuadores lineales se empuja al dron hasta que pueda asegurarse contra los topes de color rojo.

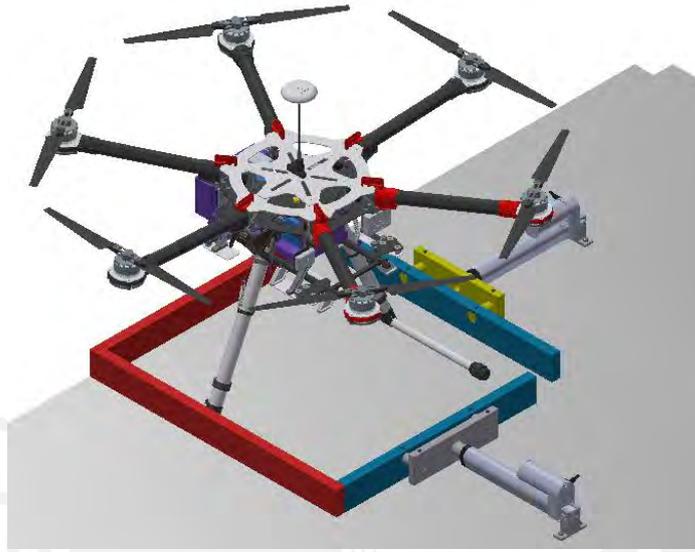


Figura 4.20 Subsistema de sujeción del dron.

De esa forma se define que el valor de “a” debe oscilar entre los valores 420 y 450 mm. Asimismo los valores de “b” pertenecen al rango que oscila entre 200 y 300 mm. Con todo ello conseguimos una variación del ángulo de regulación del dron y se estima con la siguiente expresión que se relación con lo dimensionado en la Figura 4.18:

$$\tan^{-1} \alpha = \frac{b}{0.5 * a - 70}$$

(13)

Es así como se define un rango de valores permitidos de “ α ” para que un dron pueda ser parte del sistema propuesto, de esta forma permitir que sea sujetado para próximamente establecer el abastecimiento de la batería. Entonces, con la expresión que define el ángulo de

inclinación del dron, se obtienen los valores de los posibles ángulos de la estructura de aterrizaje y estos oscilan desde 55° hasta los 65° .

Tabla 4.9 Cálculo del rango de valores del ángulo de inclinación

Variable	Símbolo	Rangos	Unidad
Distancia entre tubos de aterrizaje del dron	a	[420;450]	mm
Distancia entre la base del compartimiento de batería del dron y la plataforma de aterrizaje	b	[200;300]	mm
Ángulo de inclinación entre tubos de aterrizaje y la plataforma de aterrizaje	α	[55° ; 65°]	mm

d) Envoltura del gripper magnético para proteger a la batería y a los sensores

Según lo estudiado acorde la gripper magnético, este ejerce un campo magnético que no es variable, y su campo de acción, según el catálogo del fabricante se limita a 1cm como máximo para que surja efecto sobre otros materiales metálicos. Por otra parte, el propio gripper magnético suele contener un integrado que permite el control de su electroimán. Ello nos indica que ya existe una protección que permite canalizar los campos magnéticos y hacer que se limiten a solo 1 cm de su cara metálica. Sin embargo, para este diseño planteado se incluye aún así un recubrimiento de acero eléctrico que permite canalizar los campos magnéticos generando un símil con un circuito magnético. En este caso, las resistencias son tomadas como el aire, el material resiliente (acero eléctrico) y la parte metálica que hace contacto con el electroimán. En la Figura 4.21 se muestra la representación de los campos que genera un electroimán en un

circuito magnético y en la Figura 4.22 se muestra un ejemplo de lo que vendría a ser un circuito magnético simulando el ambiente y algunos otros factores como resistencias.

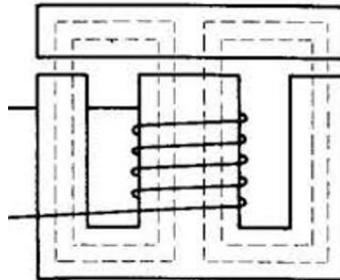


Figura 4.21 Subsistema de sujeción del dron.

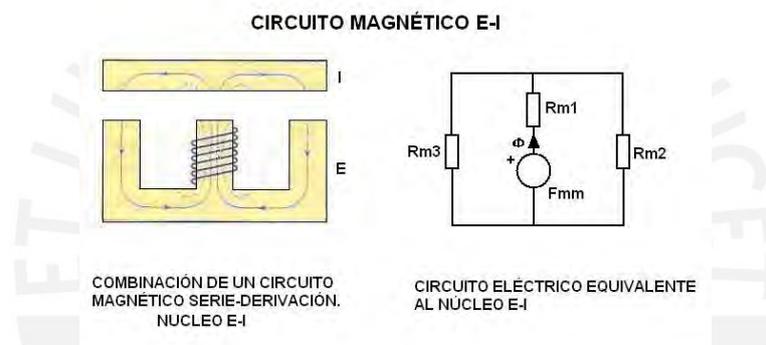


Figura 4.22 Subsistema de sujeción del dron.

Es así que se selecciona el acero eléctrico para el diseño de la envoltura del gripper magnético, y al ser un material con una alta permeabilidad magnética, el espesor de este diseño no es altamente relevante. El acero eléctrico presenta una resistividad de $47,2 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ el cual eleva mucho su permeabilidad y lo hace uno de los mejores materiales para trabajar con componentes magnéticos. Por ello, en la figura 4.23 se adjunta una imagen de la envoltura que contendría al gripper magnético.



Figura 4.23 Subsistema de sujeción del dron.

e) Cálculo y selección de las guías lineales del sistema

La guía lineal, es el componente principal necesario para que exista el movimiento del robot cartesiano. Está compuesto por un cojinete o rodamiento lineal con un riel. A continuación, se muestran los pasos necesarios para la correcta selección del rodamiento lineal.

Identificación de condiciones

Tipo de Aplicación:

El sistema lineal de guías será el responsable de permitir el movimiento del sistema robótico cartesiano. Al ver que este está sometido a cargas del tipo estáticas y dinámicas, esto es, cargas pulsantes en el tiempo. Se tomará en cuenta ello para seleccionar el tipo de rodamiento lineal con el riel indicado.

En una primera instancia se graficará el diagrama de cuerpo libre para evaluar las cargas a las que estará sometido el sistema de guías lineales. Primero se identificará cómo está unido el sistema. En la Figura 4.24 se muestra a detalle las partes que componen el robot cartesiano.

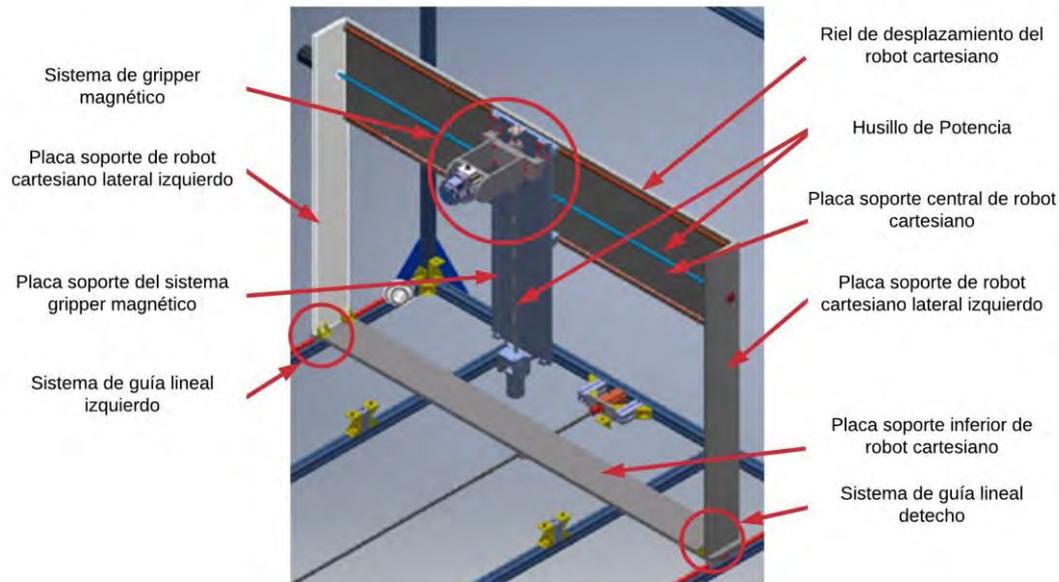


Figura 4.24 Representación de la guía lineal.

Primer Caso: los apoyos que se encuentran en la base del robot cartesiano.

El primer caso se presencia cuando los apoyos se encuentran en la base del robot cartesiano, es decir, los rodamientos lineales son los que soportan toda esta carga. Es por ello que se calculará en base a ello lo necesario para el sistema y se comprobará que la guía lineal seleccionada no falle ante esta situación. En la Figura 4.25 se puede apreciar una representación de la guía lineal en la base del sistema y en la Figura 4.26 se muestra el DCL de este mismo.

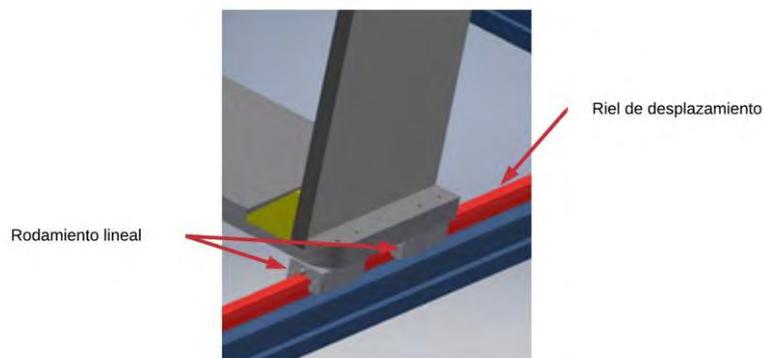


Figura 4.25 Representación de la guía lineal

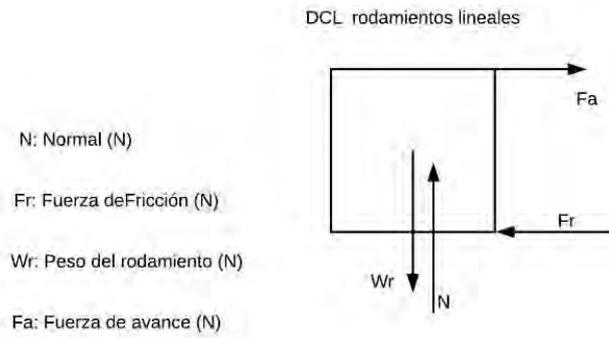


Figura 4.26 Diagrama de cuerpo libre de la guía lineal

En la Figura 4.27 se puede apreciar un esquema de fuerzas al cual está sometido la guía lineal. En base a este esquema se realizan y hallas las reacciones en cada lado para evaluar el comportamiento de este cuerpo.

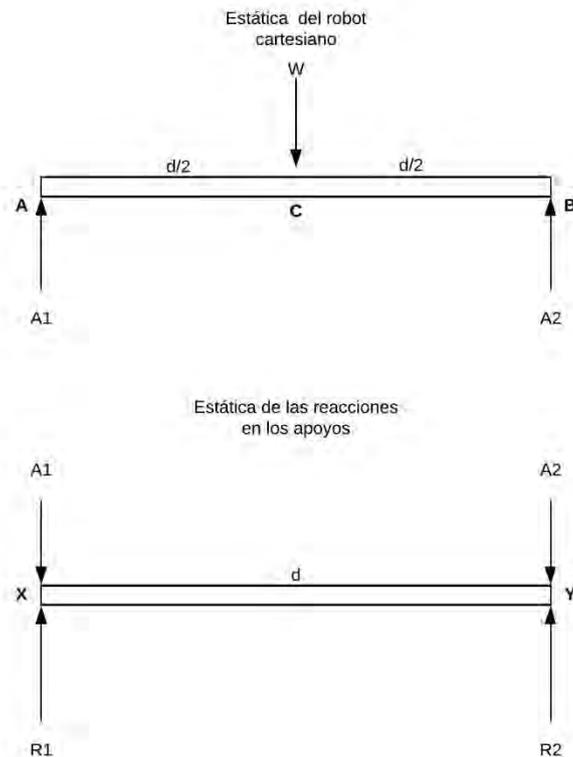


Figura 4.27 Subsistema de sujeción del dron

Elaborando sumatoria de fuerzas igual a cero en el eje vertical y la sumatoria de momentos respecto al punto C, se obtiene lo siguiente en la Ecuación 12 y Ecuación 13:

$$\sum Fy = 0 \quad (14)$$

$$W - A1 - A2 = 0$$

$$\sum Mc = 0 \quad (15)$$

$$W(0) - A1(d/2) - A2(d/2) = 0$$

$$A1 = A2$$

Evaluando la ecuación 2 en 1, se tiene que las reacciones en A1 y A2 son W/2 cada una. Luego se analiza el segundo diagrama y se obtiene lo siguiente analizando las mismas ecuaciones planteadas previamente:

$$\sum Fy = 0$$

$$W - A1 - A2 = 0$$

$$\sum Mc = 0$$

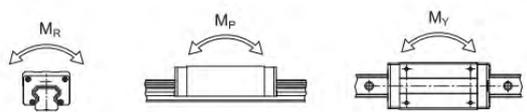
$$W(0) - A1(d/2) - A2(d/2) = 0$$

$$A1 = A2$$

Evaluando las siguientes ecuaciones para el segundo diagrama, se puede apreciar que la fuerza en las reacciones es el peso total del robot cartesiano dividido entre dos. Por tanto, restaría analizar el peso total.

En resumen, se tiene que el peso resultante aproximadamente es de 110 kg, considerando algunos elementos que faltaría agregar. Entonces, la reacción en cada rodamiento lineal no excede los 27.5 Kgf en forma vertical, ya que en cada reacción (como se vio en el diagrama del cuerpo libre) se colocarán 2 rodamientos lineales. Es por esta razón que el peso se divide en 4.

Según el catálogo del fabricante [HIWIN & GAES, 2015] se tiene lo siguiente en la Figura 4.28:



Modelo N°	Dimensiones (mm)														Tornillo de Montaje (mm)	Capacidad de Carga Dinámica C (kN)	Capacidad de Carga Estática C ₀ (kN)	Máximo Momento Estático			Peso										
	H	H ₁	N	W	B	B ₁	C	L ₁	L	K ₁	K ₂	G	MxI	T				H ₂	H ₃	W _a	H _a	D	h	d	P	E	M _R	M _P	M _Y	Patín	Rail
HGH 15CA	28	4.3	9.5	34	26	4	26	39.4	61.4	10	4.85	5.3	M4x5	6	7.95	7.7	15	15	7.5	5.3	4.5	60	20	M4x16	11.38	16.97	0.12	0.10	0.10	0.18	1.45

Figura 4.28 Catálogo de guías lineales del fabricante Hiwin.

Por otra parte, los rodamientos lineales no están sometidos a momentos como se puede verificar en la gráfica anterior, en el análisis estático, solo existen reacciones verticales. En la Figura 4.29 se adjunta la siguiente imagen del catálogo de Hiwin que muestra el factor de seguridad a considerar para cargas estáticas.

Condiciones de Carga	f_{SL}, f_{SM} (Min.)
Carga Normal	1.0-3.0
Con Impactos / Vibraciones	3.0-5.0

Figura 4.29 Factor de seguridad para guías lineales proporcionada por el fabricante Hiwin.

Además, según el catálogo de Hiwin [HIWIN & GAES, 2015] se puede hallar el factor de seguridad con la Ecuación 14 y Ecuación 15 como se muestra a continuación.

$$f_{SL} = \frac{C_0}{P}, \quad (16)$$

$$f_{SM} = \frac{M_0}{M}, \quad (17)$$

fSL: Factor de seguridad estático para cargas simples

fSM: Factor de seguridad estático para un momento

C0: Capacidad de carga estática (kN)

M0: Momento estático admisible (kN*mm)

P: Carga efectiva (kN)

M: Momento aplicado (kN*mm)

Se calcula el factor de seguridad estático para cargas simples y se obtiene la siguiente expresión:

$$f_{SL} = \frac{16970 \text{ N}}{269.5},$$

$$f_{SL} = 62.97,$$

Se obtiene un factor de seguridad de 62.97 y con todo ello, el sistema de guía lineal HGH 15CA está correctamente verificado a las cargas correspondientes en la base del robot.

Segundo Caso: los apoyos que se encuentran en la placa de soporte central del robot cartesiano.

En este segundo caso se presentan las guías lineales frente a una condición distinta a la primera evaluada, puesto que en este caso si está sometido a flexión y a una fuerza diferente a la anteriormente hallada. En la Figura 4.30 se muestra una representación de la guía lineal que se encuentra compuesta por rodamientos lineales y rieles.

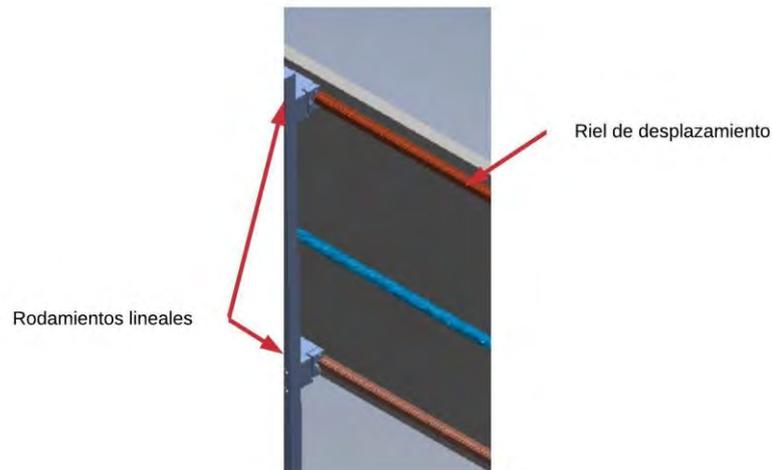


Figura 4.30 Sistema de guía lineal

Para el segundo y tercer caso, bastará con corroborar que el sistema de guiado lineal seleccionado en el primer caso, soporte los momentos producidos por el peso de los subsistemas que se pueden visualizar en estos casos. Se muestra a continuación en la Figura 4.31 la representación de la distancia máxima que genera el momento en las guías lineales, así como también los diagramas con análisis estático y de momentos producidos en cada caso en la Figura 4.32. Cabe resaltar que debe considerarse el peor de los casos, esto es, cuando está portando la batería cargada, es así como, en la Figura 4.33 se añade la distancia de la cápsula de la batería.

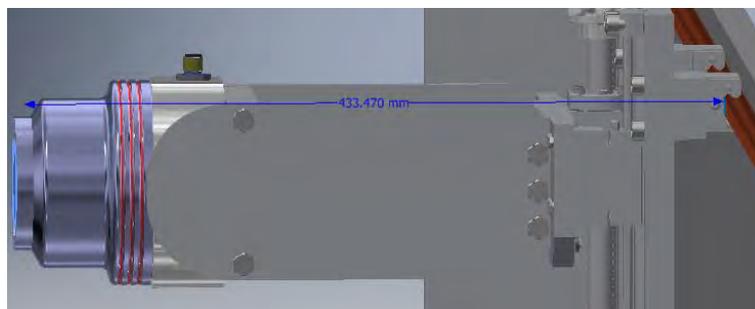


Figura 4.31 Gripper magnético.

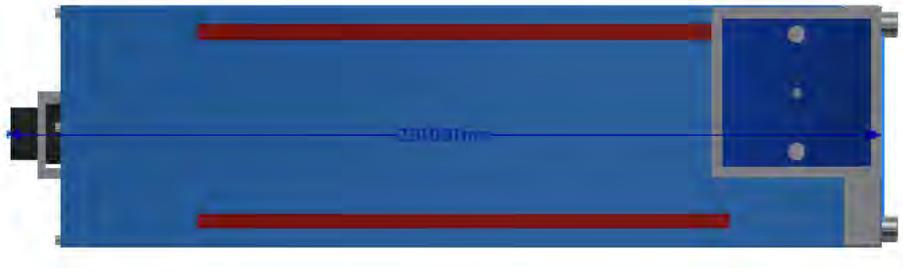


Figura 4.32 Distancia de la cápsula de la batería.

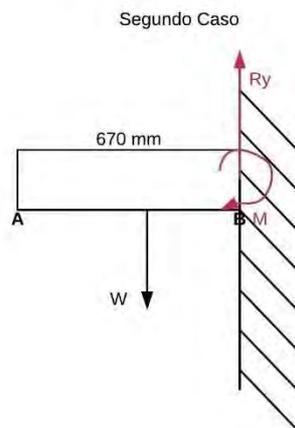


Figura 4.33 Estática del segundo caso de las guías lineales.

Aplicando la Ecuación 12 para la sumatoria de fuerzas en el siguiente caso y para la sumatoria de momentos de forma similar, sólo la Ecuación 16 se aplica respecto al punto B.

$$\sum Fy = 0$$

$$W - Ry = 0$$

$$\sum MB = 0 \tag{18}$$

$$W(0.335) - M = 0$$

$$M = 0.335W$$

Evaluando el peso en la ecuación de momentos, sabiendo que el peso que soportará este rodamiento lineal incluye soporte de gripper magnético, placa para acoplar sistema de gripper magnético a robot cartesiano, batería encapsulada y el sistema del gripper magnético.

La suma de los pesos sería entonces: 22.26 kg. Se agranda la fuerza 1.5 veces más, considerando el peso de otros elementos como el motor y husillo y resulta 33.39 kg. De esta forma se obtiene que el peso que soporta el rodamiento lineal es aproximadamente 327.22 N. De la ecuación de momentos vista previamente, se obtiene un momento total de 71.99 N-m.

Según el catálogo del fabricante, el momento que se busca comprar con el que se halló es el momento M_r y este momento tiene un valor de 109 N-m. Así, se procede a hallar el factor de seguridad con la Ecuación 17:

$$f_{SM} = \frac{M_0}{M} \quad (19)$$

f_{SM} : Factor de seguridad estático para un momento

M_0 : Momento estático admisible (kN*mm)

M : Momento aplicado (kN*mm)

$$f_{SM} = \frac{120}{109}$$

$$f_{SM} = 1.1$$

De esta forma se verifica que el rodamiento lineal selecciona es el adecuado para este uso y no fallará debido al momento ejercido por el peso de los elementos.

Tercer Caso: los apoyos que se encuentran en la placa de soporte del gripper magnético.

En el tercer caso se presenta una similitud con el segundo ya que al igual que este se genera un momento, sin embargo, este momento que se genera en esta situación es diferente al

del segundo caso debido a la ubicación de los rodamientos lineales. En la Figura 4.34 se muestran las partes que involucran este caso.

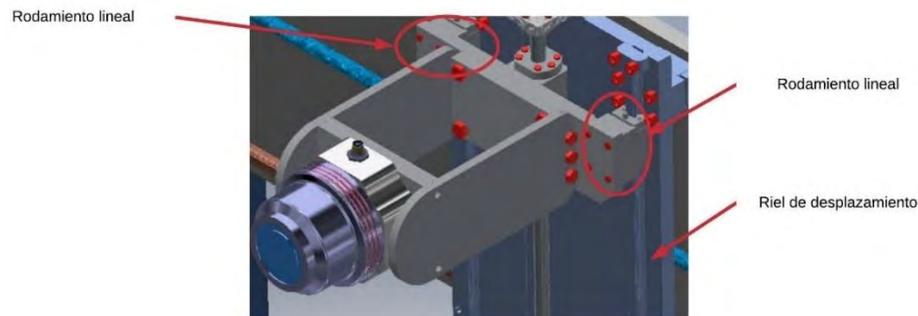


Figura 4.34 Partes del tercer caso de las guías lineales.

Para el tercer caso, se verificará el momento ejercido por el sistema del gripper magnético y la cápsula de la batería en el rodamiento lineal, corroborando así que no sobrepase el umbral estimado por el fabricante. Es por ello que se halla la distancia máxima que a la que actúa una fuerza sobre estos sistemas lineales para corroborar que el momento aplicado no supere el límite aceptado por el fabricante. En la Figura 4.35 se muestra una representación de la distancia. Es necesario mencionar que la distancia que se muestra a continuación no es la distancia final que se considerará para este caso puesto que también se debe tomar en cuenta cuando la batería está unida a esta como en el segundo caso. En la Figura 4.36 se muestra el esquema que representa las fuerzas que actúan sobre este cuerpo.

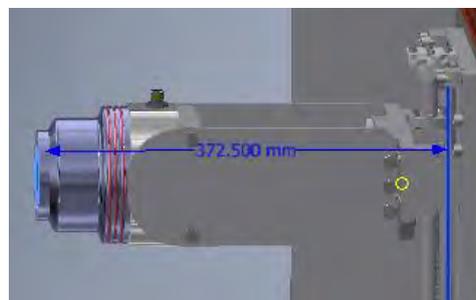


Figura 4.35 Representación de la distancia en el tercer caso de las guías lineales.

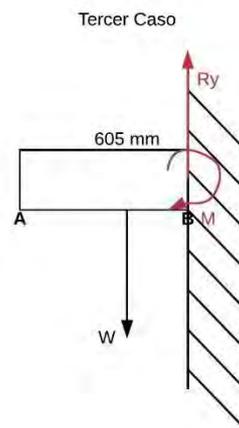


Figura 4.36 Estática del segundo caso de las guías lineales.

Al igual que en el caso anterior se evalúan la sumatoria de fuerzas en el eje y momentos aplicado en el punto B. Es así como se obtienen las siguientes expresiones:

$$\sum Fy = 0$$

$$W - Ry = 0$$

$$\sum MB = 0$$

$$W(0.605) - M = 0$$

$$M = 0.605W$$

Evaluando el peso en la ecuación de momentos, sabiendo que el peso que soportará está conformado por la placa para acoplar sistema de gripper magnético a robot cartesiano, batería encapsulada y el sistema del gripper magnético.

La suma de los pesos sería entonces: 8.35 kg. Se eleva la fuerza 1.5 veces más, considerando el peso de otros elementos y resulta 12.53 kg. De esta forma se obtiene que el peso que soporta el rodamiento lineal es aproximadamente 122.80 N. De la ecuación de momentos vista previamente, se obtiene un momento total de 74.30 N-m.

Según el catálogo del fabricante, el momento que se busca comprar con el que se halló es el momento M_p y este momento tiene un valor de 100 N-m. Así, se procede a hallar el factor de seguridad con la siguiente expresión:

$$f_{SM} = \frac{M_0}{M} \quad (20)$$

f_{SM} : Factor de seguridad estático para un momento

M_0 : Momento estático admisible (kN*mm)

M : Momento aplicado (kN*mm)

$$f_{SM} = \frac{100}{74.30},$$

$$f_{SM} = 1.34,$$

De esta forma se verifica que el rodamiento lineal selecciona es el adecuado para este uso y no fallará debido al momento ejercido por el peso de los elementos. Cabe resaltar que para en cada caso se consideró la situación más crítica, poniendo al límite a cada sistema de guía lineal y en ningún caso sobresale del factor de seguridad. Así entonces, se concluye que el sistema de guía lineal HGH 15CA es el adecuado para el sistema que se propone.

f) Cálculo y selección del resorte para el acople y desacople de la cápsula de la batería

La cápsula que contiene a la batería se acopla y desacopla al adaptador de baterías del dron por medio de un sistema de acople que está conformado por resortes, y pines. En la Figura 4.37 se muestra una representación de las partes de este subsistema. Así es como se puede notar la forma como se ensamblan al diseño planteado. Por otro lado, en la Figura 4.38 y 4.39 se

muestra la cápsula de la batería y los mecanismos de sujeción que hacen que se puedan fijar estos al adaptador de baterías.

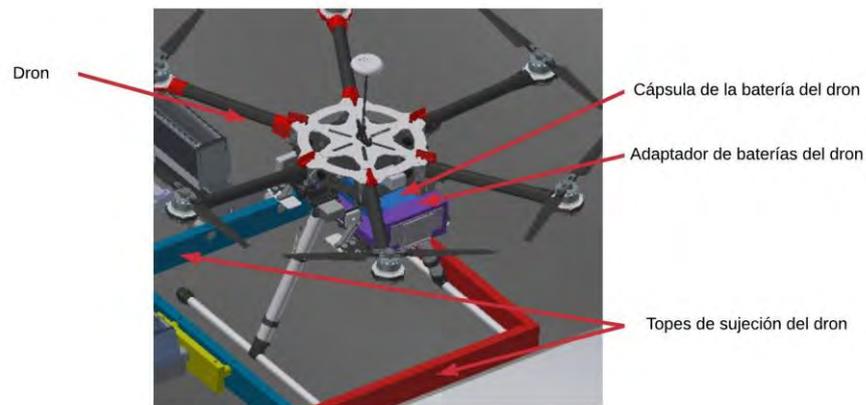


Figura 4.37 Componentes del subsistema de sujeción y adaptación de baterías.

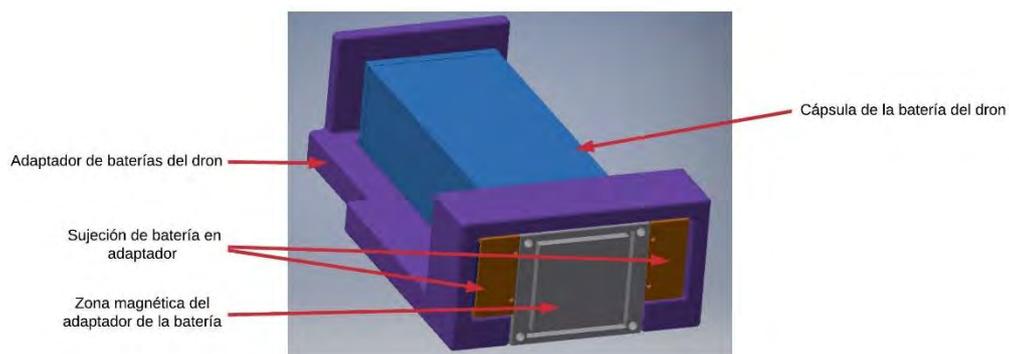


Figura 4.38 Adaptador y cápsula de batería.

Mecanismo de sujeción de batería de dron en adaptador

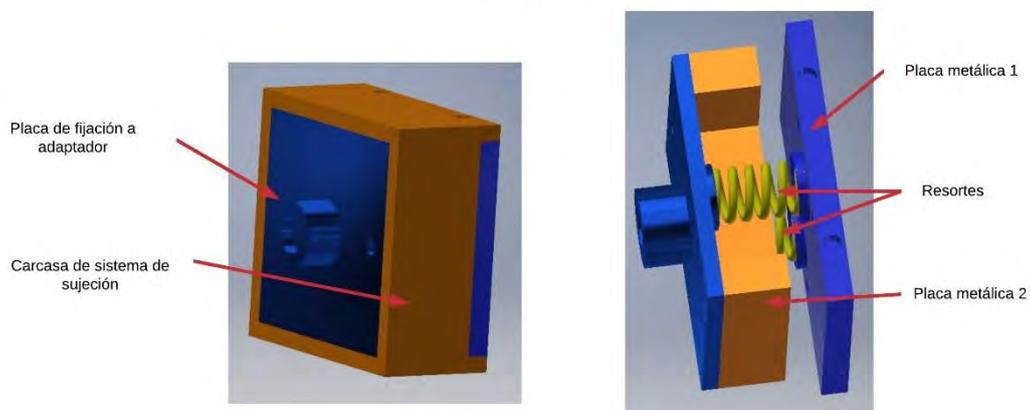


Figura 4.39 Mecanismo de sujeción de cápsula de batería.

El resorte que se presenta trabajará a compresión, ya que el magnetismo generado por el electroimán o gripper magnético en la cápsula de la batería conduce el magnetismo a la placa metálica 1. Cuando el magnetismo se conduce a esta placa, al magnetizarse esta pieza inmediatamente hace efecto con la placa metálica 2 haciendo que el resorte se comprima y que la placa de fijación al adaptador retroceda. De esta forma se cede el paso para que pueda ser removida la cápsula de la batería. Como efecto contrario al desmagnetizarse la batería la fuerza magnética desaparece y los resortes regresan a la placa de fijación a su posición original.

Para que todo ello suceda deben ocurrir dos cosas a la vez. La primera es que el resorte sea capaz de deformarse la cantidad requerida según el diseño y la geometría que se desea. La segunda es que la fuerza magnética sea la suficiente como para deformar al resorte.

Cálculo del resorte

A continuación, en la Figura 4.40 y 4.41 se muestra un diagrama que representa al sistema de sujeción de la batería. Este sistema está conformado por resortes, partes metálicas y otras partes que son hechas en impresión 3D. Las partes que se encuentran sombreadas representan las partes metálicas que al magnetizarse se unirán.

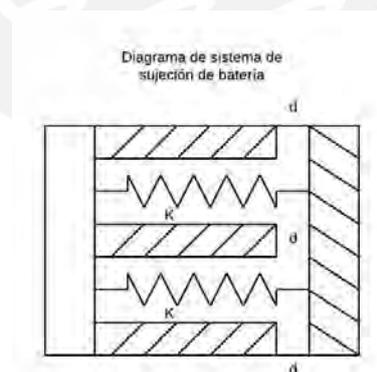


Figura 4.40 Representación del sistema de sujeción de batería.

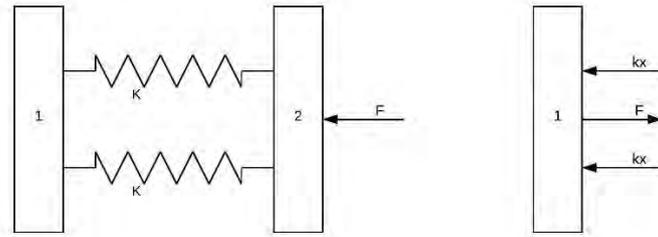


Figura 4.41 Estática y DCL del sistema de sujeción de batería.

Entonces se calcula la constante de elasticidad del resorte para seleccionar el tipo de resorte que se necesitará. De esta forma se genera la siguiente ecuación de equilibrio:

$$F = 2Kx \quad (21)$$

Según el esquema que se plantea, se tiene que la deformación que debe ejercer el resorte debe ser igual a la distancia “d” que se muestra en la figura anterior. Siendo esta distancia entonces igual a 5mm. Además, la fuerza que ejerce el gripper según el fabricante es de 9kgf. Es así como entonces se resuelve la ecuación de la siguiente forma:

$$88.2 \text{ N} = K(10 \text{ mm})$$

$$8.82 \text{ N/mm} = K$$

De esta forma se buscará en el catálogo del fabricante Lee Spring algún resorte que cumpla con estas características. Cabe resaltar que la constante de elasticidad del resorte debe ser máximo 8.82 N/mm ya que de ser mayor no podría deformarse lo que se necesita.

Es así como entonces se realizó una búsqueda en la página del fabricante y se seleccionó el resorte LC 051F 02 S. A continuación, en la Figura 4.42 se adjunta una fotografía con algunas de sus características.

Part Number	Outside Diameter (mm)	Hole Diameter (mm)	Rod Diameter (mm)	Free Length (mm)	Rate (N/mm)	Solid Height (mm)	Wire Diameter (mm)	Material
LC 051F 02 M	10.67	11.13	7.77	15.88	9.615	7.62	1.3	MW
LC 051F 02 S316	10.67	11.13	7.77	15.88	8.004	7.62	1.3	SS316
LC 059F 05 M	10.67	11.13	7.37	25.4	10.368	12.78	1.5	MW
LC 059F 05 S316	10.67	11.13	7.37	25.4	8.634	12.78	1.5	SS316
LC 059F 02 M	10.67	11.13	7.37	15.88	18.056	8.61	1.5	MW
LC 055F 02 S	10.67	11.13	7.57	15.88	10.946	8.05	1.4	SS
LC 059F 02 S316	10.67	11.13	7.37	15.88	15.044	8.61	1.5	SS316
LC 055F 03 M	10.67	11.13	7.57	19.05	10.683	9.47	1.4	MW
LC 059F 03 S	10.67	11.13	7.37	19.05	12.067	10.01	1.5	SS
LC 055F 03 S316	10.67	11.13	7.57	19.05	8.897	9.47	1.4	SS316
LC 059F 04 M	10.67	11.13	7.37	22.23	12.084	11.38	1.5	MW
LC 059F 04 S316	10.67	11.13	7.37	22.23	10.07	11.38	1.5	SS316
LC 051F 02 S	10.67	11.13	7.77	15.88	8.004	7.62	1.3	SS

Figura 4.42 Características del resorte LC 051F 02 S.

Fuente: <https://www.leespring.com/compression-springs>

g) Selección de la tuerca tipo T para el perfil seleccionado

Perfil seleccionado

El perfil seleccionado es en el que se basa toda la estructura del sistema y se encarga de sujetar algunas partes de este. Este elemento selecciona es un perfil T-slot 4545. A continuación, en la Figura 4.43 se muestra una imagen sobre la sección del perfil seleccionado comercialmente, además se muestra la geometría o dimensiones generales de este perfil.

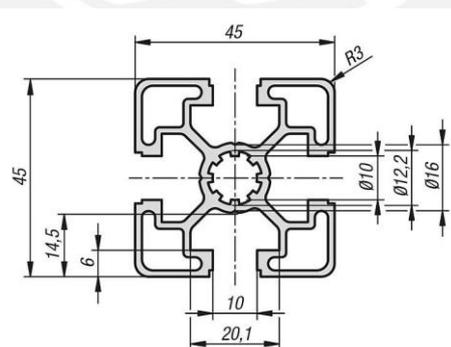


Figura 4.43 Sección del perfil T-slot.

Tuerca tipo T

Según la norma DIN 508 T-Nuts se hizo la selección de la tuerca tipo T necesaria para el perfil seleccionado. A continuación, en la Figura 4.44 y 4.45 se muestra la tuerca tipo T y una tabla del catálogo que muestra la empresa Traceparts.



Figura 4.44 Sección del perfil T-slot.

Selección de producto

Finish	D	T-slot size (mm)	A (mm)	E (mm)	H (mm)	K (mm)	For T-Nuts DIN 650 (mm)	G (g)
quality 9	M4	5	4.6	9	6.5	3	5	1
quality 10	M4	5	4.6	9	6.5	3	5	1
quality 8	M5	6	5.6	10	8	4	6	3
quality 10	M5	6	5.6	10	8	4	6	3
quality 8	M6	8	7.6	13	10	6	8	8
quality 10	M6	8	7.6	13	10	6	8	8
quality 8	M8	10	9.6	15	12	6	10	14
quality 10	M8	10	9.6	15	12	6	10	14
quality 9	M6	10	9.6	15	12	6	10	14

Figura 4.45 Sección del perfil T-slot.

Debido a las características del perfil, se relaciona el tamaño del canal del perfil con el T-slot size que muestra la tabla. Este valor resulta ser 10. Al hacer uso de tornillos M8 para el acople de los perfiles, se selecciona la calidad de tipo 8 y consigo las demás características. Es así como la tuerca tipo T forma parte del ensamble general.

4.1.4 Cálculos de resistencia de las partes más críticas del sistema.

a) Cálculo de resistencia de la plancha base

Se realiza el cálculo de la resistencia en la base de la estructura que soporta y mantiene principalmente a las baterías. Se realiza este cálculo considerando la máxima capacidad del

almacén que se diseña que será de 30 baterías. Se añade una tabla de las partes que efectúan peso y es aguantada por la estructura mostrada. Como se puede apreciar, existen 12 apoyos que se encargan de mantener el peso total. En la placa base del sistema de transporte. Colocando como material base a la placa, acero 1045, se elabora el diagrama del cuerpo libre de la placa y se evalúa el análisis de elementos finitos. En la Figura 4.46 se aprecia una imagen sobre la placa a ser evaluada y los 12 apoyos que la mantienen fija.

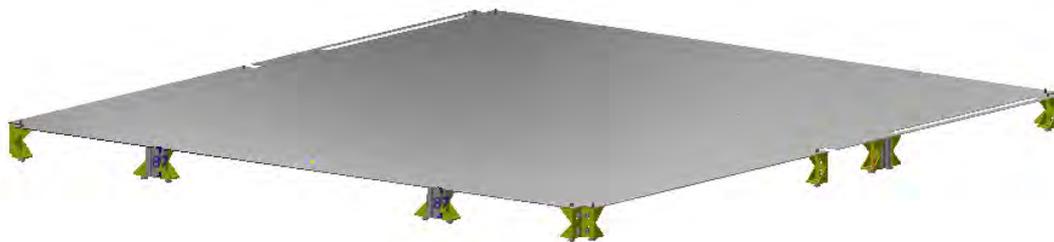


Figura 4.46 Placa de acero SAE 1045 con 12 apoyos.

Es así como se evalúa la simulación de elementos finitos para examinar qué le sucede a la placa al ser sometida a una fuerza de 250 Kg (considerando peso de baterías, dron, entre otras cosas) y considerando las otras piezas de aluminio y los tornillos de acero St 37 se obtienen las siguientes imágenes. En la Figura 4.47 se obtiene el máximo esfuerzo por Von Mises, sin embargo, al momento de realizar esta simulación el software detectó zonas mínimas de supuesta falla las cuales se concentraban en una zona donde el sistema no está sometido a esfuerzos. Por esta razón se obvia este resultado y se toma en cuenta lo demás. En ese sentido, el esfuerzo promedio que se sitúa alrededor de la placa de acero es inferior a 160 MPa. Evaluando las propiedades del acero SAE 1045 como se muestra en la Figura 4.48, tomando

en cuenta el esfuerzo de fluencia como 310 MPa, se obtiene el siguiente factor de seguridad en la Ecuación 20.

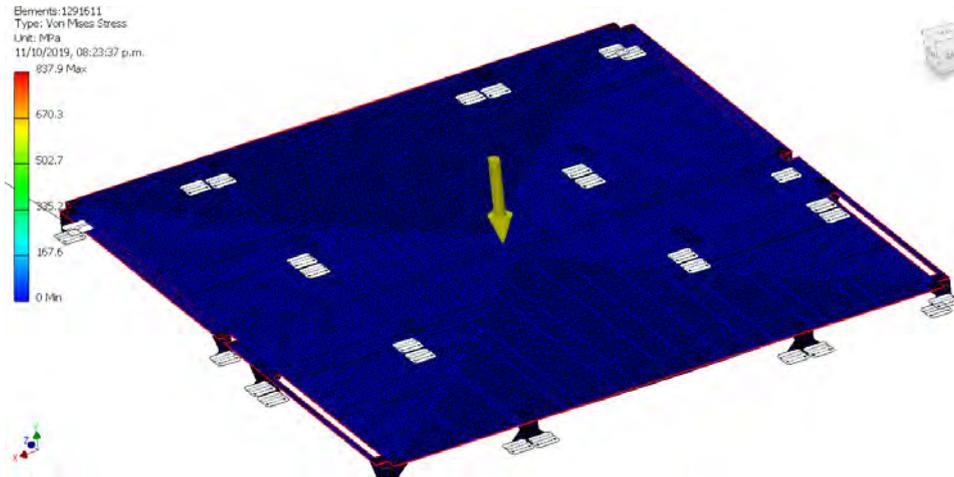


Figura 4.47 Esfuerzo de Von Mises como resultado de la simulación de la placa de acero SAE 1045.

Acero AISI SAE 1045					
Dureza	163 HB (84 HRb)				
Esfuerzo de fluencia	310 MPa (45000 PSI)				
Esfuerzo Máximo	565 MPa (81900 PSI)				
Elongación	16% en 50 mm				
Reducción de Área	40%				
Modulo de Elasticidad	200 GPa (29000 KSI)				
Maquinabilidad	57%				
Calor Especifico	460 J/(Kg °K)				
Densidad	7,87 g/cm ³ (0,284/in ³)				
Conductividad Térmica	52 W/(m °C)				
Coefficiente de Poisson	0,3				
COMPOSICION QUÍMICA					
	C %	Mn %	P máx. %	S máx. %	Si máx. %
Análisis típico en %	0.43 0.50	0.6 0.8	0.04	0.05	0.2 0.4

Figura 4.48 Propiedades del acero SAE 1045

$$f_s = \frac{Y_f}{E}, \quad (22)$$

$$f_s = \frac{310}{160},$$

$$f_s = 1,93$$

donde,

f_s = factor de seguridad

Y_f = resistencia a la fluencia

E = Esfuerzo obtenido

Con todo ello podemos confirmar que la placa de aluminio que soporta el peso del dron y el anaquel de baterías se encuentra dentro del rango aceptable y no falla por resistencia. Por otro lado, en la Figura 4.49 se muestra el resultado del máximo desplazamiento en la simulación de la placa de acero SAE 1045. Este resultado nos indica que, en el peor de los casos, la máxima deformación se encuentra como máximo en 5.6 mm. Sin embargo, al no estar la carga concentrada en esa zona, esa deformación máxima no afecta al diseño planteado.

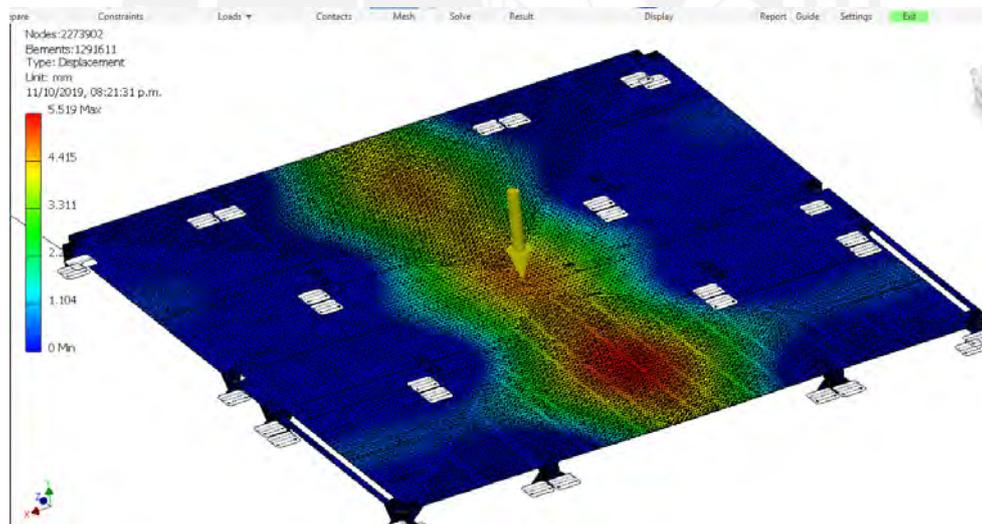


Figura 4.49 Resultado de la máxima deformación de la placa de acero SAE 1045 en la simulación.

En la Figura 4.50 se muestra la simulación con resultado de factor de seguridad y esta señala un factor de 0.25 para un punto en específico que no está sometido a esfuerzos. Siendo este nuestro único riesgo, aseguramos que el sistema no fallará por resistencia.

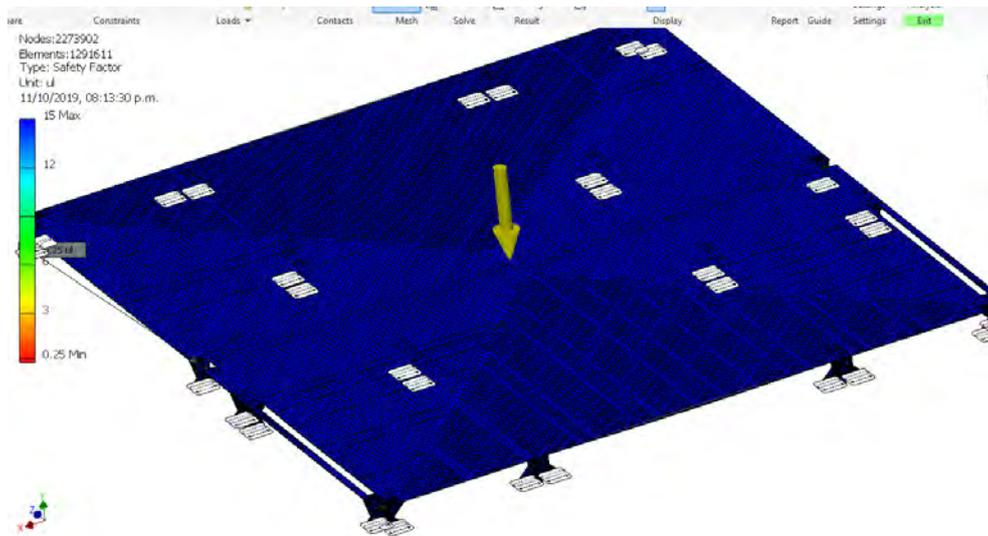


Figura 4.50 Resultado del factor de seguridad de la placa de acero SAE 1045 en la simulación.

Por otra parte, se realizaron simulaciones de la carga aplicada en el medio de la placa de acero y se obtuvieron resultados como muestran las Figuras 4.51 y 4.52.

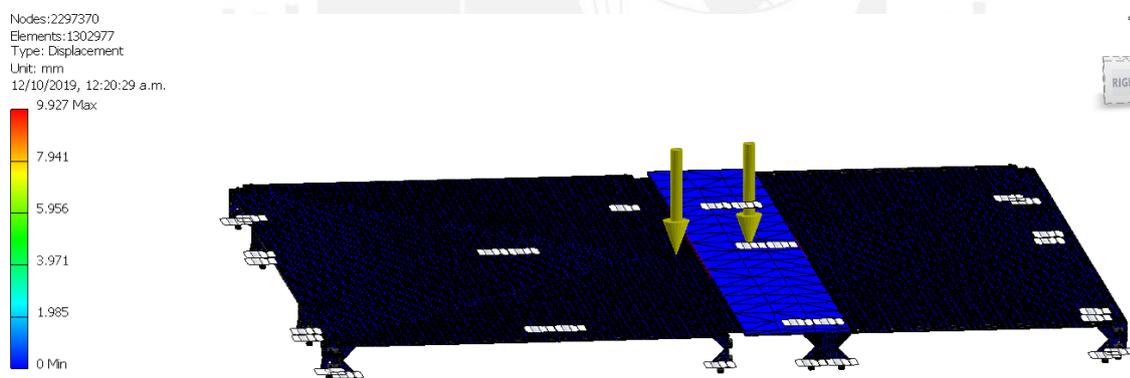


Figura 4.51 Resultado del máximo desplazamiento en la placa de acero SAE 1045 en la simulación.

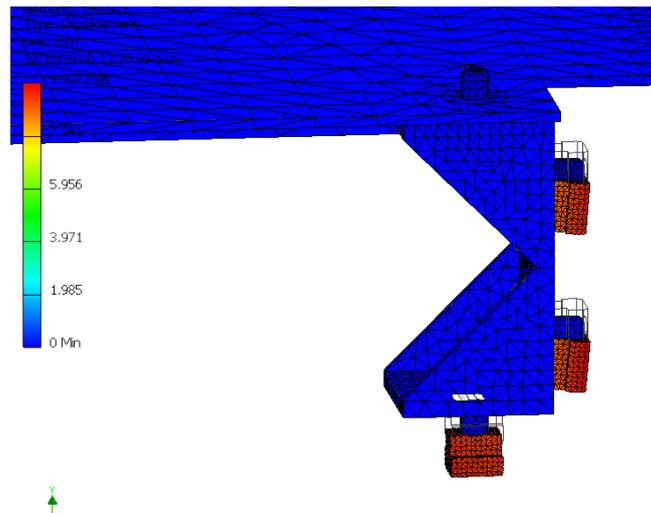


Figura 4.52 Muestra de las partes más críticas en la simulación de la placa de acero SAE 1045.

Lo que muestran estos resultados es que las tuercas están sometidas a esfuerzos, sin embargo, según el diseño y el encaje de las tuercas con el perfil T-slot 4545, estos no están sometidos a este tipo de esfuerzos. Por ello el esfuerzo crítico que esperaríamos debería encontrarse como flexión de la placa y según el análisis efectuado esto no sucede. Con esto corroboramos que en ambos casos y simulaciones la placa no sufriría grandes deformaciones y no fallaría por resistencia.

b) Cálculo de resistencia del perfil con la carga del robot

El peso del robot cartesiano se concentra principalmente en los dos apoyos de la base que es donde se encuentran los rodamientos lineales con las guías. Al ser dos apoyos y estar distribuido simétricamente como se vio anteriormente, las fuerzas se igualan y son las mismas en cada reacción. Estas reacciones se apoyan sobre los rieles y estos a su vez ejercen una fuerza distribuida a través de este riel por todo el perfil inferior que se muestra en la Figura 4.53. Las flechas de color amarillo que están sobre los perfiles representan la fuerza distribuida en cada lado. Por otra parte, la flecha del medio representa el vector de la gravedad, es decir, con su sentido, dirección y magnitud. La parte que se plantea analiza res justo el perfil hacia donde

apunta la flecha amarilla ya que se quiere analizar si esta será capaz de soportar un peso de 75 kg y, de no ser así, se debe reforzar esta parte para que el diseño sea correcto.

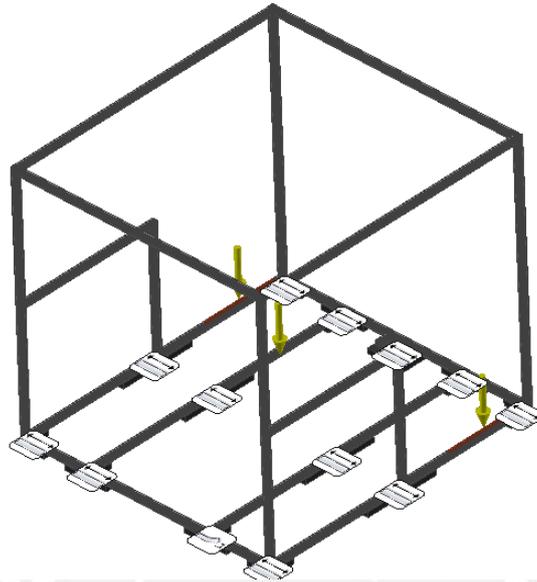


Figura 4.53 Representación del ensamblaje a ser simulado y las zonas críticas a comprobar.

Una vez realizado el análisis por elementos finitos y habiendo ejecutado los parámetros debidamente se obtienen los siguientes resultados que se pueden apreciar en las imágenes posteriores. La Figura 4.54 representa el resultado del esfuerzo de Von Mises y se puede apreciar que el más crítico de estos esfuerzos es de 12.93 MPa. Por otro lado, según la tabla de propiedades del aluminio 6061 proporcionada por la empresa mexicana Gabriel se puede realizar un cálculo para encontrar el factor de seguridad. En la Figura 4.55 se muestra la tabla de propiedades del aluminio 6061 con el valor del esfuerzo de fluencia.

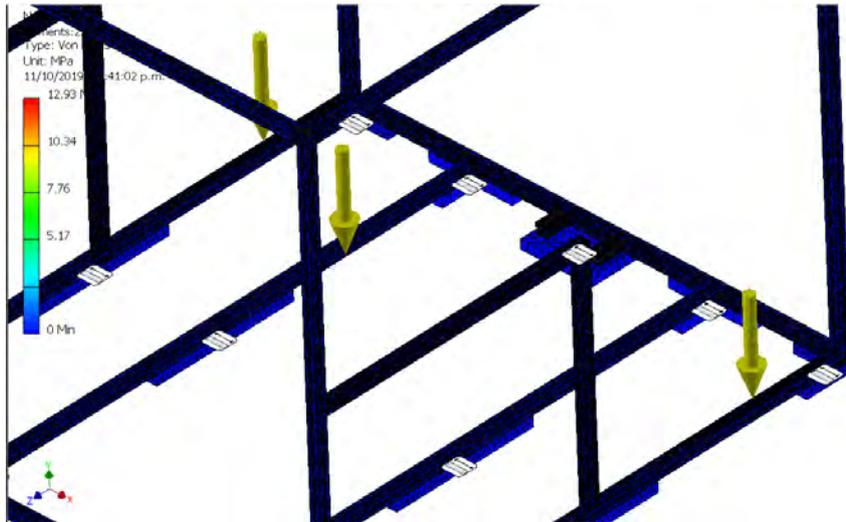


Figura 4.54 Resultado del esfuerzo de Von Misses sobre el perfil de aluminio 6061 en la simulación.

Property	6061-T4	6061-T6
Tensile Strength	241 MPa 35000 psi	310 MPa 45000 psi
Yield Strength	145 MPa 21000 psi	276 MPa 40000 psi
Modulus of Elasticity	68.9 GPa 10000 ksi	68.9 GPa 10000 ksi

Figura 4.55 Tabla de propiedades del aluminio 6061

De esta forma se calcula el facto de seguridad con la Ecuación 20 y se obtiene lo siguiente:

$$f_s = \frac{241}{12.93},$$

$$f_s = 18,63$$

De esta forma se obtiene un factor de seguridad de 18.63 que se aproxima al valor obtenido en la simulación. Es así como podemos confirmar que la estructura es capaz de soportar el valor de 75 kgf a cada lado como se muestra en la Figura 4.56. Por otra parte, en la Figura 4.57 se muestra la máxima deformación en la simulación y este valor resulta ser 0.35 mm.

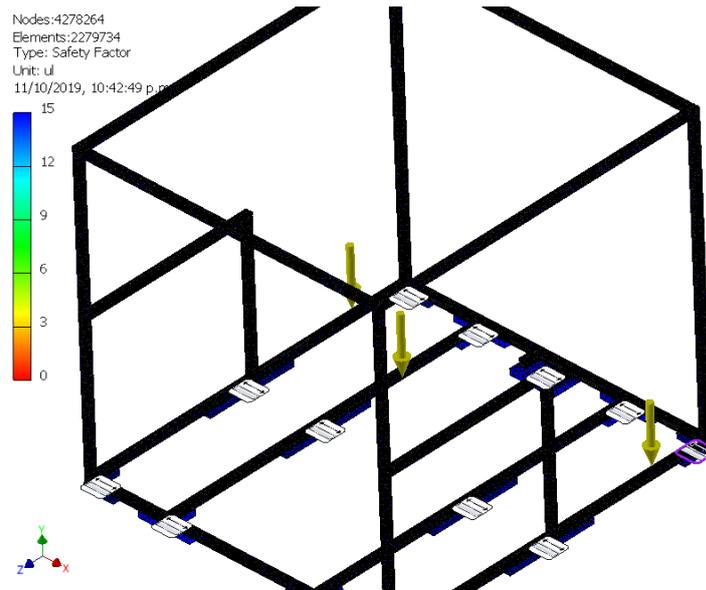


Figura 4.56 Resultado del factor de seguridad hallado en el perfil de aluminio 6061 en la simulación.

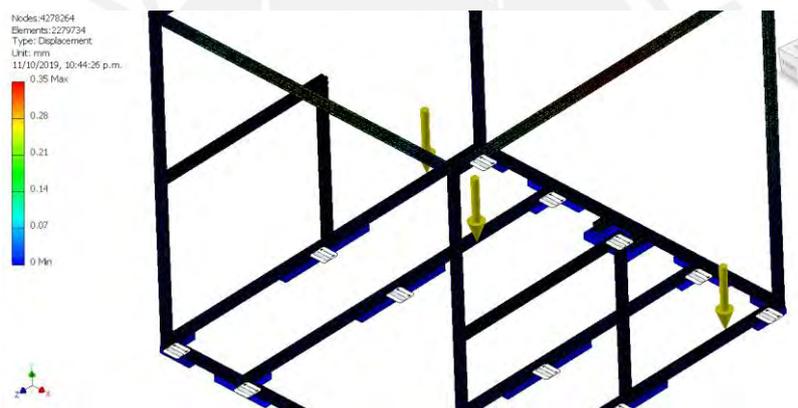


Figura 4.57 Resultado de la máxima deformación sobre el perfil de aluminio 6061 en la simulación.

c) Cálculo de resistencia del tornillo crítico en el gripper

Según los valores obtenidos en la Ecuación 11 y 12, se lograron valores de momento resultante en la reacción y fuerza resultante. Estos valores son 8.26 N.m y 62.78 N. Ahora se procederá a analizar estas reacciones en los tornillos que sujetan al gripper. Mediante el uso del Software Autodesk Inventor 2019 se puede comprobar la resistencia de las uniones frente a las cargas que soportan, por ello, en la Figura 4.58 se muestra dicha comprobación usando

una fuerza de compresión de 20.93N, correspondiente a la quinta parte del valor de la reacción B_y (esta se reparte de forma equitativa en los 3 tornillos).

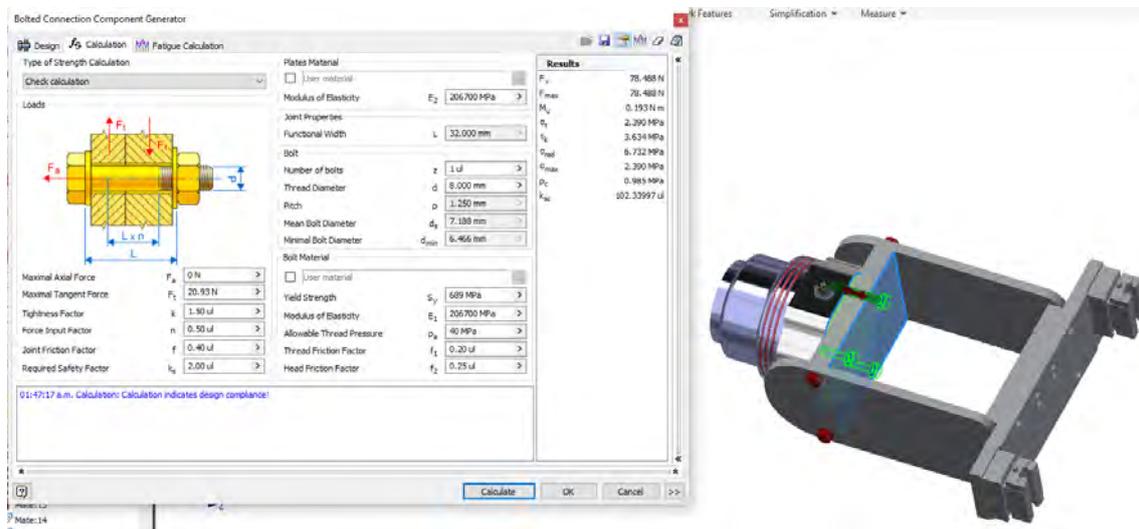


Figura 4.58 Resultado del análisis por software de la resistencia del tornillo ante los parámetros anteriormente mencionados.

Es así como se obtiene un factor de seguridad de aproximadamente 103 y se verifica que el tornillo soportará esta carga.

4.2. Subsistema Electrónico

4.2.1 Selección de sensores, actuadores, controlador y fuente o batería.

4.2.1.1 Sensores.

a) Sensor para medir la distancia máxima de carrera del robot cartesiano

Este sensor que se seleccionará será el encargado de estimar las medidas del robot para que no sobrepase los límites de su carrera y así evitar posibles colisiones con el sistema. En la Figura 4.59 se muestra de la plancha frontal trasera de la máquina que es el lugar donde se ubicará este sensor y medirá la distancia del robot cartesiano a este mismo para controlar su movimiento.

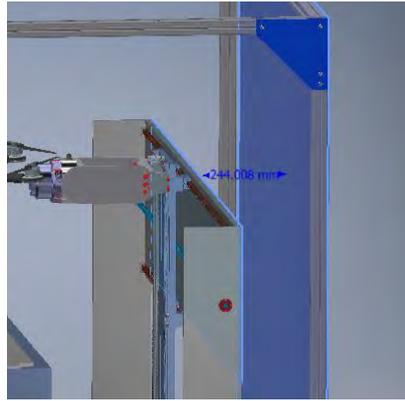


Figura 4.59 Ubicación del sensor de distancia.

En la tabla 4.10 se muestra una comparación entre los posibles sensores distancia a elegir, se realiza una comparación de estos y se escoge el más adecuado.

Tabla 4.10 Comparación entre sensores de distancia

Modelo	Requisitos	POR INFRARROJOS SHARP GP2Y0A21YK	POR ULTRASONIDOS HC-SR04	DE DISTANCIA LASER VL53L1X 4M POLOLU
				
Fabricante	-	SHARP	ELEC -Freaks	POLOLU
Rango de detección	200 mm	100mm-800mm	20mm-4000mm	4000mm
Voltaje de alimentación	3-5.5 VDC	4.5 – 5.5 VDC	5 VDC	2.6 – 5.5 VDC
Corriente de consumo	40mA(Max)	40 mA (Max)	15 mA	18 mA (Max)
Grado de protección	-	-	-	-

Precio	S/. 100	S/. 37	S/. 10	S/. 50
--------	---------	--------	--------	--------

El sensor que se usará para medir la distancia a la que se encuentra el robot cartesiano será un sensor de ultrasonido HC-SR04, fabricado por ELEC - Freaks. Esto se debe principalmente a su bajo costo respecto a otras alternativas.

b) Sensor para medir presencia de batería

Este sensor se encargará de detectar en el anaquel si existe alguna batería o no para que pueda ser depositada o extraída. Es por ello que lo que se plantea es medir distancia a cada celda donde se encuentra o debería encontrarse una batería. En la Figura 4.60 se muestra una representación del anaquel de baterías, el cual es el lugar en donde se sensorará y se evaluará si existe o no una batería en cada agujero.

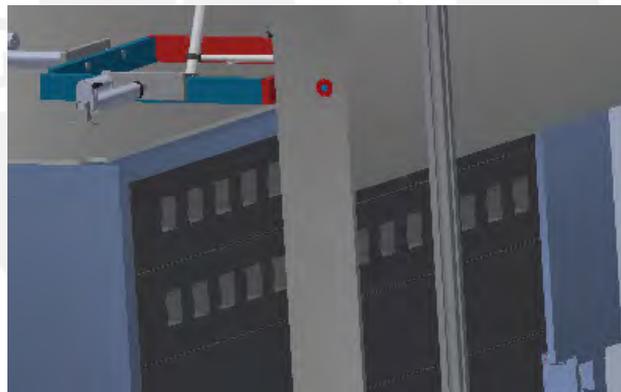


Figura 4.60 Anaquel de baterías.

En la tabla 4.11 se muestra una comparación entre los posibles sensores de distancia a escoger. Se evalúan las características de cada uno y se evalúa el más adecuado para esta función.

Tabla 4.11 Comparación entre sensores de distancia

Modelo	Requisitos	POR INFRARROJOS SHARP GP2Y0A21YK	POR ULTRASONIDOS HC-SR04	DE DISTANCIA LASER VL53L1X 4M POLOLU
				
Fabricante	-	SHARP	ELEC -Freaks	POLOLU
Rango de detección	200 mm	100mm-800mm	20mm-4000mm	4000mm
Voltaje de alimentación	3-5.5 VDC	4.5 – 5.5 VDC	5 VDC	2.6 – 5.5 VDC
Corriente de consumo	40mA(Max)	40 mA (Max)	15 mA	18 mA (Max)
Grado de protección	-	-	-	-
Precio	S/. 100	S/. 37	S/. 10	S/. 50

El sensor que se usará para medir la distancia a cada celda de la batería en el anaquel es el sensor de distancia láser VL53L1X 4M de la empresa POLOLU. Se seleccionó este sensor debido a la practicidad para detectar una distancia inferior a los 4 metros y porque también permite una mayor precisión ya que emite un haz de luz en línea recta.

c) Sensor para medir dron aterrizado

Este sensor que se seleccionará será el encargado de medir si algún dron ha aterrizado y en base a ello permitir que se accionen los actuadores lineales. En la Figura 4.61 se muestra una

imagen que representa la medición de distancia al dron. Esta distancia será tomada como variable de medición de presencia de dron.

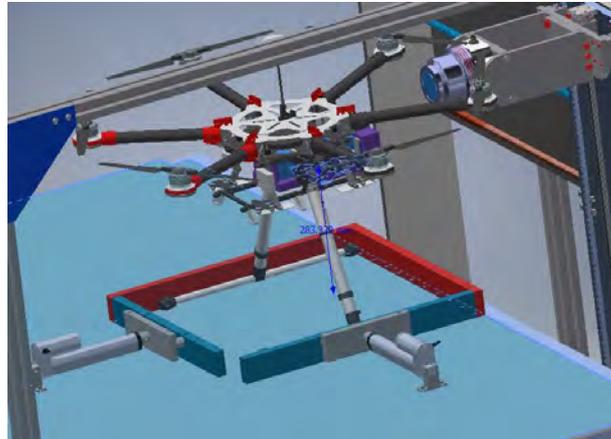


Figura 4.61 Anaquele de baterías.

En la tabla 4.12 se muestra una comparación entre los posibles sensores de distancia que se pueden escoger para cumplir la función de sensar dron aterrizado. Se evalúan las características de cada sensor y en base a ello se escoge el más adecuado.

Tabla 4.12 Comparación entre sensores de distancia

Modelo	Requisitos	POR INFRARROJOS SHARP GP2Y0A21YK	POR ULTRASONIDOS HC-SR04	DE DISTANCIA LASER VL53L1X 4M POLOLU
				
Fabricante	-	SHARP	ELEC -Freaks	POLOLU

Rango de detección	200 mm	100mm-800mm	20mm-4000mm	4000mm
Voltaje de alimentación	3-5.5 VDC	4.5 – 5.5 VDC	5 VDC	2.6 – 5.5 VDC
Corriente de consumo	40mA(Max)	40 mA (Max)	15 mA	18 mA (Max)
Grado de protección	-	-	-	-
Precio	S/. 100	S/. 37	S/. 10	S/. 50

El sensor que se usará para medir la distancia de la base hacia algún dron será un sensor de ultrasonido HC-SR04, fabricado por ELEC - Freaks. Esto se debe principalmente a su bajo costo respecto a otras alternativas.

d) Sensor para medir presión necesaria para asegurar al dron

Este sensor que se seleccionará será el encargado de medir la presión necesaria para asegurar si el dron está correctamente sujetado o no. Para ello se harán uso de 2 de estos sensores. El primer sensor que se seleccionará será para ubicarlo en uno de los topes el cual hacer contacto con todo el tren de aterrizaje del dron. El segundo sensor será ubicado en solo una cara de contacto del tren de aterrizaje. En la Figura 4.62 se muestra las ubicaciones de los sensores de presión.

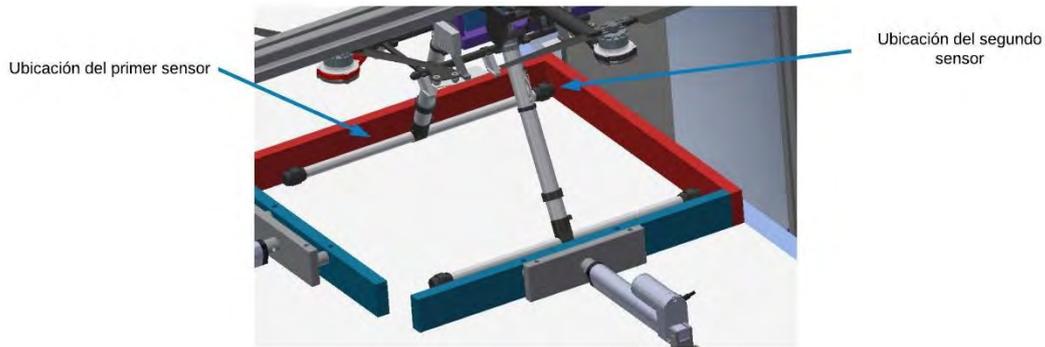
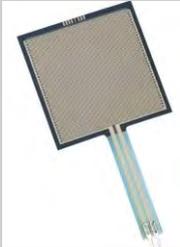


Figura 4.62 Ubicaciones de los sensores de presión.

En la Tabla 4.13 se muestra una comparación entre los posibles sensores de presión para medir o calibrar la fuerza necesaria ejercida por los actuadores lineales para mantener sujeto al dron. Se evalúan las características de cada uno y se escoge el más adecuado.

Tabla 4.13 Comparación entre sensores de presión para primera ubicación

Modelo	Requisitos	FSR406	FSR402	RP-S40-ST
				
Fabricante	-	INTERLINKS ELECTRONICS	INTERLINKS ELECTRONICS	HITILAND
Rango de inducción de presión (newton)	-	0.19 ozf-97 N	0.1 - 10.02 N	0.2 – 100 N
Voltaje de alimentación	3-5.5 VDC	3.3 VDC	3.3 VDC	3.3 VDC
Corriente de consumo	-	1 mA (Max)	1 mA (Max)	1 mA (Max)

Precio	-	S/. 56	S/. 46	S/. 47
--------	---	--------	--------	--------

El sensor que se usará para medir la presión del dron en la primera ubicación definida es el sensor FSR 406. Esta selección se realiza debido al área de contacto que presenta el sensor.

Tabla 4.14 Comparación entre sensores de presión para segunda ubicación

Modelo	Requisitos	FSR406	FSR402	RP-S40-ST
				
Fabricante	-	INTERLINKS ELECTRONICS	INTERLINKS ELECTRONICS	HITILAND
Rango de inducción de presión (newton)	-	0.19 ozf-97 N	0.1 - 10.02 N	0.2 – 100 N
Voltaje de alimentación	3-5.5 VDC	3.3 VDC	3.3 VDC	3.3 VDC
Corriente de consumo	-	1 mA (Max)	1 mA (Max)	1 mA (Max)
Precio	-	S/. 56	S/. 46	S/. 47

El sensor que se usará para medir la presión del dron en la segunda ubicación definida es el sensor FSR 402. Esta selección se realiza debido al área de contacto que presenta el sensor.

e) Sensor para medir altura de compartimiento de batería

Este sensor se encargará de medir la altura que existe del compartimiento de la batería hacia el gripper para así calibrar esta medida y efectuar un acople exitoso y preciso. Es por ello que se hará una selección del sensor adecuado para esta labor. En la Figura 4.63 se muestra una imagen que representa al gripper magnético buscando la altura necesaria para encajar con el adaptador de baterías y así poder extraerla de forma exitosa.

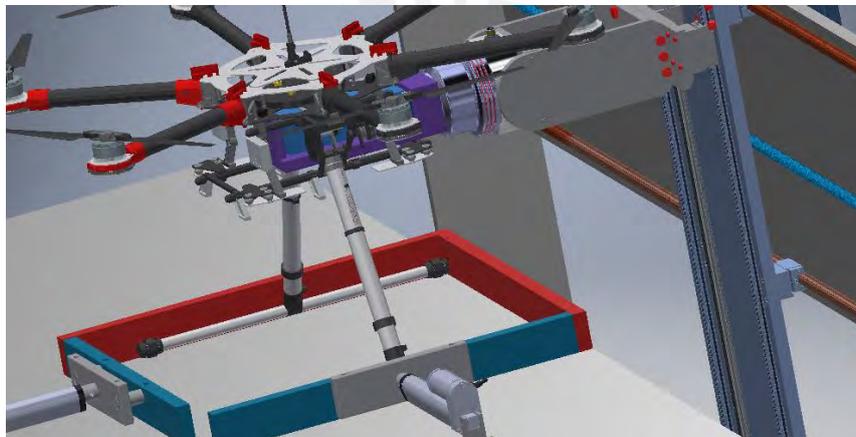


Figura 4.63 Alineación de gripper magnético con adaptador de baterías del dron.

En la Tabla 4.15 se muestra una comparación entre los posibles sensores de distancia para medir esta distancia de compartimiento de altura del adaptador de baterías exitosamente y ejecutar así un intercambio de baterías exitoso. Se evalúan las posibles soluciones haciendo énfasis en sus características y se escoge la más adecuada.

Tabla 4.15 Comparación entre sensores de distancia

Modelo	Requisitos	POR INFRARROJOS SHARP GP2Y0A21YK	CNY 70	DE DISTANCIA LASER VL53L1X 4M POLOLU

				
Fabricante	-	SHARP	ELEC -Freaks	POLOLU
Rango de detección	200 mm	100mm-800mm	10mm (Max)	4000mm
Voltaje de alimentación	3-5.5 VDC	4.5 – 5.5 VDC	5 VDC	2.6 – 5.5 VDC
Corriente de consumo	40mA (Max)	40 mA (Max)	15 mA	18 mA (Max)
Rango de operación	10mm<=	0-4.5mm	-	-
Precio	S/. 100	S/. 37	S/. 10	S/. 50

El sensor que se usará para medir la altura necesaria o alineamiento entre el adaptador de la batería y el gripper magnético para así ejecutar un acople exitoso. Se seleccionó este sensor por su bajo costo y consumo de energía. Cabe resaltar que este sensor funciona máximo en un rango de 1cm, es por ello que el robot cartesiano debe aproximarse lo máximo posible para hacer esta lectura.

4.2.1.2 Actuadores

a) Actuador lineal para sujeción de dron

Este actuador se encargará de ejercer presión sobre el tren de aterrizaje del dron y así mantener sujetado al dron para evitar cualquier tipo de percance en el proceso de intercambio de la batería. En la Tabla 4.16 se muestra una comparación de actuadores lineales y se escoge el indicado.

Tabla 4.16 Comparación entre actuadores lineales para sujeción del dron

Modelo	Requisitos	PA-14P	VDS695935	etq482030
				
Fabricante	-	PROGRESSIVE AUTOMATIONS	MECO	SOLOOP
Carrera mínima	100mm	760mm	200mm	150mm
Voltaje de alimentación	12 VDC	12 VDC	12 VDC	12 VDC
Corriente de consumo	40 mA	1 – 5 ^a	1.67-2.5A	-
Carga	100N	222N	500N	500N
Rapidez	20mm/s	29mm/s	20mm/s	20mm/s
Precio	-	S/. 575	S/. 170	S/. 105

Se utilizará el actuador lineal PA-14P fabricado por Progressive Automations, esto es debido a que poseen la fuerza necesaria para mover al dron y la carrera necesaria para desplazarlo.

Selección del módulo para controlar los actuadores lineales

Para poder controlar los actuadores lineales correctamente y poder mantener un valor de carrera fijo para cada instante de tiempo y variar su posición, se requiere de un módulo de relés por cada actuador lineal. Es por ello que al contemplar 2 actuadores lineales se requiere un módulo de 4 relés para controlar a estos dispositivos. En la Figura 4.64 se muestra una imagen que representa al módulo de 4 relés que se requiere. El módulo de 4 relés SRD-05VDC-SL-C

permitirá trabajar con ambos actuadores lineales y funciona con voltaje de entrada de 5VDC.

En el Anexo F se muestra más información sobre este relé.



Figura 4.64 Módulo de 4 relés SRD-05VDC-SL-C.

b) Motores

Para la selección del motor a pasos se tiene en cuenta el cálculo obtenido correspondiente a el torque requerido por el tornillo para mover la carga a la cual está sometido, este torque equivale a 2.78 Nm, por lo que se pasa a buscar cual motor paso a paso cumple con esta condición de torque mínimo. Siguiendo el requerimiento del torque hallado, se seleccionó el motor a pasos nema 34 modelo 34H2A6840 bipolar, el cual, según el Anexo E, es capaz de entregar un torque de 3.1 Nm consumiendo 5 A, cumpliendo con las condiciones anteriormente mencionadas.

Tabla 4.17 Comparación entre motores

Modelo	Requisitos	Nema 34 modelo bipolar 34H2A6840	Motor DC GMP42-775PM	Nema 24 QCI-DS028
				

Fabricante	-	MotionKing	TT MOTOR	QuickSilver Controls
Torque	>2.78Nm	3.1 Nm	3 Nm	2.33 Nm
Voltaje de alimentación	12 VDC	12-55 VDC	12-24 VDC	12 VDC
Corriente de consumo	-	5 ^a	7.5-16A	3.5A
Peso	-	2 kg	0.750 kg	1.3 Kg
Precio	-	S/. 135	S/. 61	S/. 100

Siguiendo el requerimiento del torque hallado, se seleccionó el motor a pasos nema 34 modelo 34H2A6840 bipolar, el cual, según el Anexo E, es capaz de entregar un torque de 3.1 Nm consumiendo 5 A, cumpliendo con las condiciones anteriormente mencionadas.

Se procede entonces a calcular el Factor de seguridad para el motor a partir del torque mínimo necesario y el entregado por el motor con la siguiente expresión:

$$N_f = \frac{T_{\text{motor}}}{T_r} \quad (23)$$

$T_{\text{motor}} = 3.1 \text{ Nm}$

$T_r = 2.78 \text{ Nm}$.

Con ello se calcula el factor de seguridad y se obtiene:

$N_f = 1.11$

Como se puede observar este motor solo estaría utilizando a un 89 % de su capacidad nominal. Gracias al modo de funcionamiento de este tipo de motor, se puede diseñar el control punto a punto, sin necesidad de circuitos de realimentación y sin otro sensor, ahorrando con esto energía al no usar más elementos activos. Por otra parte, se seleccionó este motor considerando el torque crítico del sistema, esto es, en el peor de los casos con la carga máxima.

Por otro lado, de haber seleccionado el motor Nema 34 para el eje crítico de movimiento no significa que no se pueda seleccionar otro tipo de motor para los otros ejes de movimiento y es así como se seleccionan para los ejes restantes el Nema 24. Se realiza esta selección debido a que las cargas en los otros ejes no son críticas en comparación al eje de la base. Es así como el torque máximo evaluado en los otros ejes no supera ni la mitad del torque ejercido por el Nema 34. Por este motivo se decide optar por 1 motor Nema 34 para la base y dos motores Nema 24 para los otros dos ejes.

Selección del driver para los motores a paso

Para que los motores funcionen correctamente es necesario que estos estén conectados a un driver. Es por esta razón que se seleccionó el driver tb6600. En la Figura 4.65 se añade una imagen que representa al driver de los motores a paso. Algunas características que representan a este driver es que su voltaje de alimentación varía de (9-42) VDC, así como también ofrece una corriente de salida de máximo 4 A. En el Anexo G se añade el datasheet de este driver.



Figura 4.65 Driver de motores a paso tb6600.

c) Gripper o pinza

Se realiza la selección del gripper o pinza el cuál será el mecanismo encargado de sujetar y transportar la batería hasta el anaquel. Para esto se debe confirmar que la fuerza que ofrece cada dispositivo sea el adecuado para mantener a la batería asegurada y fija.

Tabla 4.18 Comparación entre grippers

Modelo	Requisitos	TPGC040088	SCHUNK-1351490 EMH 045-B	SCHUNK-0306350 EGM-M-Q-30-1-FX
	-			
Fabricante	-	GOUDSMIT MAGNETICS	SCHUNK	SCHUNK
Funcionamiento	-	Neumático	Eléctrico	Eléctrico
Amperaje o bares	Max 5A	4-6 (bar)	Max 4.2 A	Max 32 A
Voltaje de alimentación	12-24 VDC	-	24 VDC	400 VAC
Fuerza Vertical	24.5 N	47 N	88.2 N	313.6 N
Precio	S/. 200(Max)	€ 196	150 \$	200 \$

Se selecciona el gripper de la marca SCHUNK, ya que por ser el que mejor se adecua en todas las facciones mostradas. Además, por ser el que presenta el menor riesgo para poder desplazar la batería. Por otro lado, según la corriente correspondiente que genera un campo no es significativa, ya que, según el catálogo, el rango del campo solo es de 1cm de actuación. Además, un campo con corriente constante no genera un flujo que pueda dañar a la batería

LiPo. Entonces, bajo esta selección, se puede ver que 88.2 N son suficientes para contrarrestar la fuerza cortante o fuerza vertical que ejerce la cápsula de la batería.

4.2.1.3 Controladores

a) Controlador del sistema

Se realiza una búsqueda de controladores necesarios para el sistema planteado y se detallaran sus características para determinar así su selección. En la Tabla 4.19 se muestra una comparación entre los posibles controladores para el sistema planteado, se evalúan las características de cada uno y, en base a ello, se escoge el controlador adecuado.

Tabla 4.19 Comparación entre controladores para el sistema

Modelo	Requisitos	Arduino Mega	Raspberry Pi 3	PLC S7-300
				
Fabricante	-	Arduino	Raspberry Pi	Siemens
Tipo	-	Microcontrolador	Microprocesador	Microprocesador industrial
Voltaje de alimentación	24 VDC	5 - 12 VDC	5VDC	24VDC
Corriente de consumo máxima	3 A	93 mA	2.5 A	10 A
Pines analógicos	10	16	-	761
Pines digitales	50	54	40	125

Wifi	Sí	-	Sí	NO
Clock	-	16MHz	1.2GHz	-
Arquitectura	-	8 bits	64 bits	32 bits
Pines PWM	-	16	4	Puede conmutar muchos más pines
Precio	<300	S/. 60	S/. 200	S/. 4731

Se utilizará el controlador Raspberry Pi 3 debido a su bajo precio y al sistema operativo que lleva embebido. Además, cabe resaltar que este es un microprocesador, es decir una computadora miniaturizada.

4.2.1.4 Fuente de alimentación o batería

Se realiza un cálculo de consumo energético de los componentes seleccionados. En la Tabla 28 se plantea el consumo de cada componente, se observa que los motores a paso y los actuadores lineales son los componentes que demandan mayor consumo, de este modo se plantea una tensión de batería de 48VDC el cual deberá ser reducido a 12V, 24 V, 5V y 3.3 V. Por lo tanto, se realiza el cálculo de corriente necesaria que debe tener la batería en base una tensión de 48VDC. Mediante la conservación de potencia eléctrica (Ecuación 21) se obtiene un valor de corriente en batería de 23750.2 mAh.

$$P_{\text{eléctrica}} = V_{\text{componente}} \cdot I_{\text{componente}} = V_{\text{batería}} \cdot I_{\text{batería}} \quad (24)$$

Dónde: $P_{\text{eléctrica}}$: Potencia eléctrica [mW], $V_{\text{componente}}$: Voltaje de componente [V], $I_{\text{componente}}$: Corriente de componente [mA], $V_{\text{batería}}$: Voltaje de batería [V], $I_{\text{batería}}$: Corriente de batería [mA].

Así, se selecciona una batería de litio-ferrofosfato (LiFePO₄), este es un tipo de batería recargable, es decir, una batería de ion-litio con un cátodo de fosfato de hierro-litio: LiFePO₄.

Estos tipos de baterías se caracterizan por presentar una alta densidad energética. La batería que se selecciona es de 48 V 24Ah.

Tabla 4.20 Tabla de consumo energético

<i>Componente</i>	Potencia de salida		Potencia de entrada		Capacidad requerida	
	Voltaje de componente (V)	Corriente de componente (mA)	Voltaje de batería (V)	Corriente de batería necesaria (mA)	Tiempo de funcionamiento (h)	Energía requerida en batería (mAh)
Motor a paso base	12	5000	48	1250	2	2500
Motor a paso superior 1	12	3500	48	875	2	1750
Motor a paso superior 2	12	3500	48	875	2	1750
Actuador lineal 1	12	5000	48	1250	2	2500
Actuador lineal 2	12	5000	48	1250	2	2500
Driver para actuadores lineales	12	1000	48	250	2	500
Diodo led	3.3	20	48	1.375	2	2.75
Diodo led	3.3	20	48	1.375	2	2.75
Diodo led	3.3	20	48	1.375	2	2.75
Diodo led	3.3	20	48	1.375	2	2.75
Diodo led	3.3	20	48	1.375	2	2.75
Raspberry pi3	5	2500	48	260.42	2	520.84
Driver motor base	12	5000	48	1250	2	2500
Driver motor superior 1	12	5000	48	1250	2	2500
Driver motor superior 2	12	5000	48	1250	2	2500

Gripper magnético	24	4200	48	2100	2	4200
Sensor ultrasonido 1	5	15	48	1.6	2	3.2
Sensor ultrasonido 2	5	15	48	1.6	2	3.2
Sensor de distancia laser 1	5	15	48	1.6	2	3.2
Sensor CNY	5	15	48	1.6	2	3.2
Sensor CNY	5	15	48	1.6	2	3.2
Sensor de presión 1	3.3	1	48	0.068	2	0.136
Sensor de presión 2	3.3	1	48	0.068	2	0.136
Capacidad Requerida (mAh)						23750.2

En la Tabla 4.21 se presentan las características principales de la batería LiFePO4 seleccionada para alimentar a todo el sistema.

Tabla 4.21 Características de la batería

Modelo	Batería 48 V 24Ah LiFePO4
	
Fabricante	MELASTA
Tensión	48 V
Capacidad	24 Ah (1152Wh)
Dimensiones	123mm x 135mm x 424mm
Peso	10 kg

Precio	S/. 2700
--------	----------

Esta batería será la encargada de alimentar todo el sistema, sin embargo, la carga debe distribuirse de forma equitativa en forma de voltaje necesario para cada dispositivo.

Para poder alimentar a los demás dispositivos electrónicos hace falta la selección de un regulador de tensión para dividir la tensión de la batería en los dispositivos que lo requieren. En este caso se requiere una tensión de 24, 12, 5 y 3.3 V. Por ello se hace la selección de reguladores de voltaje de 48 V a 12 V y también regulador de voltaje de 12 V a 5 y 3.3 V. En la Figura 4.66 se aprecia el regulador de voltaje que permite 12 V hasta una corriente de 20 A desde una fuente de 48 V. Si bien es cierto que este regulador permitirá alimentar los motores seleccionados, actuadores lineales y los drivers, aún es necesario convertir este voltaje y repartirlo en los otros dispositivos. Es así como se requieren otros 2 reguladores más, en la Figura 4.67 y 4.68 se pueden apreciar reguladores de 48 V a 24 V ofreciendo 30 A y de 12V a 5 o 3.3 V.



Figura 4.66 Regulador de tensión YUCOO YKDD12S48 de 48 a 12 V.



Figura 4.67 Regulador de tensión RCNUN de 48 a 24 V.



Figura 4.68 Regulador de tensión LM2596 DC-DC Buck 1.25 V – 35 V con Voltímetro.

Por otra parte, para cargar la batería se escoge un cargador de 48 V y de 5 A de carga como se muestra en la Figura 4.69 Además, en la Tabla 4.22 se muestran algunas características de este dispositivo que sirve para cargar la batería seleccionada.

VLDL™



Figura 4.69 Smart Cargador VL4805L de batería 48 V 5 A de ion litio /LiFePO4 de la marca VLDL.

Tabla 4.22 Características de la batería

Modelo	VL4805L
Corriente máxima (A)	5
Máxima tensión (V)	58.4
Display	Led rojo: encendido/Led verde: cargado
Precio	S/. 140

4.2.2 Diagrama de bloques.

En la Figura 4.30, se presenta el diagrama de bloques del tipo dispositivo donde se muestra que el sistema es alimentado por una batería LiFePO4 de 48 V y 24 Ah. El voltaje de la batería será transformado a 24, 12, 5 y 3.3 VDC con los reguladores de tensión mostrados anteriormente. Es así como con 24 V se alimenta al gripper magnético, con 12 V se alimentan los motores, actuadores lineales y drivers, y con lo que resta, se alimenta a los sensores y controlador. En el Anexo H se muestra a detalle este diagrama de bloques.

4.3. Esquemático del sistema

En el diagrama esquemático se presenta las conexiones entre los circuitos eléctricos y los integrados correspondiente. Se muestra a continuación en la Figura el esquemático general del sistema. Este esquema está compuesto por el controlador, sensores, actuadores y la parte de energía como se puede apreciar en la Figura 4.70.

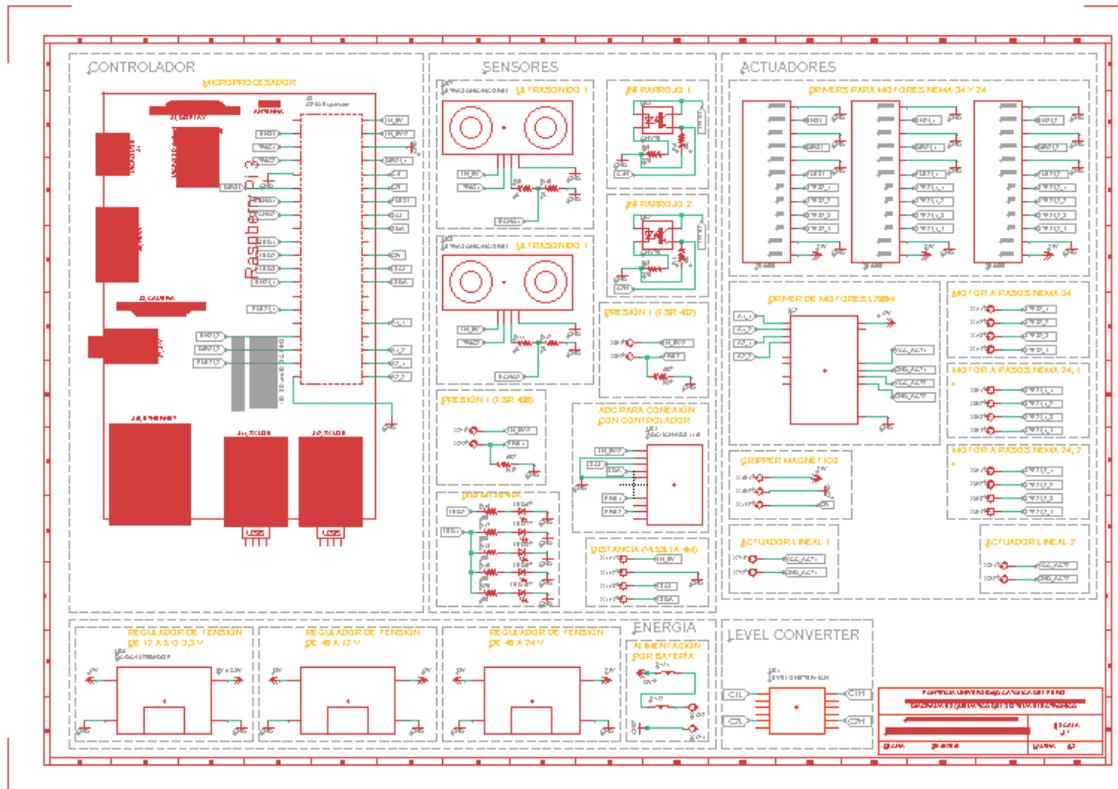


Figura 4.70 Esquemático del sistema.

4.3.1 Controlador.

En la parte del controlador se muestran las conexiones del sistema electrónico para elaborar el control del sistema. Se detallan las conexiones de los pines y de alimentación que permite mantener al sistema activo. En la Figura 4.71 se detalla lo descrito anteriormente.

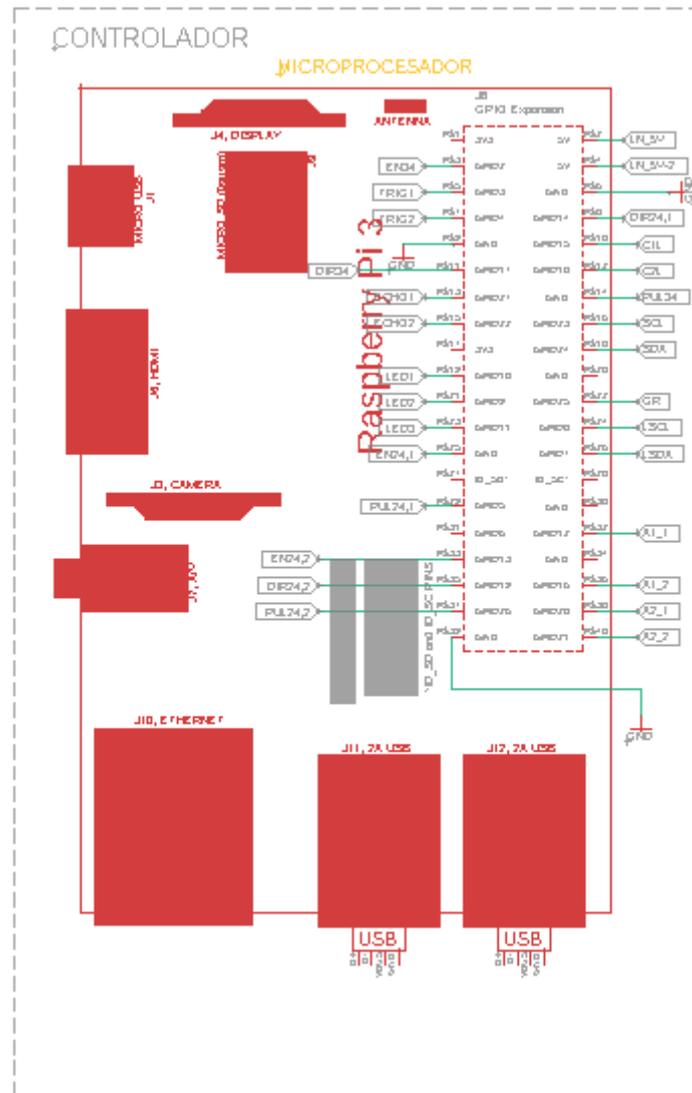


Figura 4.71 Esquemático del controlador.

4.3.2 Sensores.

En esta sección se muestran la diversa cantidad de sensores que se usan, así como también en los circuitos que son necesarios para su funcionamiento, el juego de leds para iluminar el sistema por dentro y fuera, y, un ADC para convertir una señal analógica a una digital. Por otro lado, se encuentra el integrado llamado “level converter”, el cual se encargará de convertir una señal de 5V a 3,3V o viceversa. En la Figura 4.72 y 4.73 se puede apreciar a detalle lo mencionado.

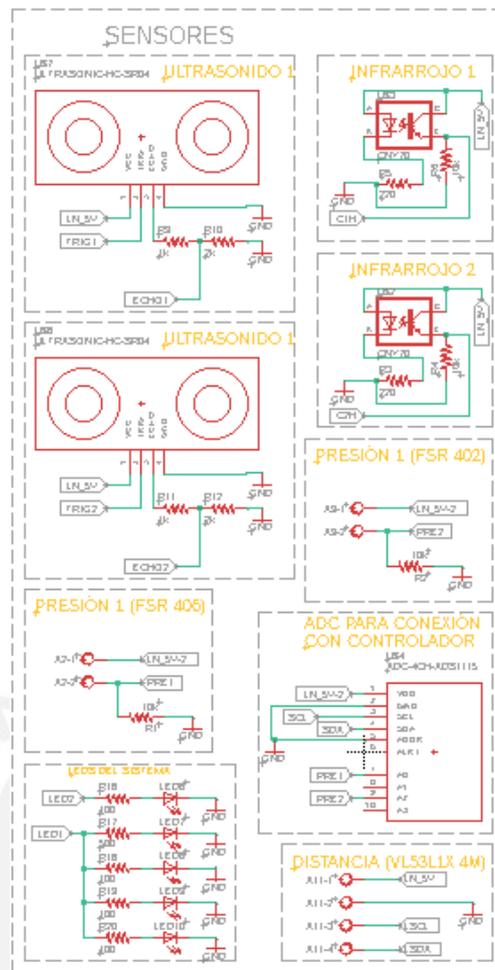


Figura 4.72 Esquemático de los sensores del sistema.

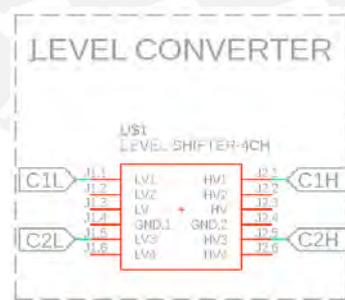


Figura 4.73 Esquemático del integrado level converter.

4.3.3 Energía.

En esta sección se muestra la sección que permite distribuir la alimentación necesaria para cada componente, así como también el switch de botón de inicio. La parte de la distribución de la energía se logra por medio de reguladores de tensión. Se muestran los

reguladores de voltaje que convierte un voltaje de 48V a 12V,24 y hasta 5 o 3,3 V. En la Figura 4.74 se muestra el detalle de lo mencionado.

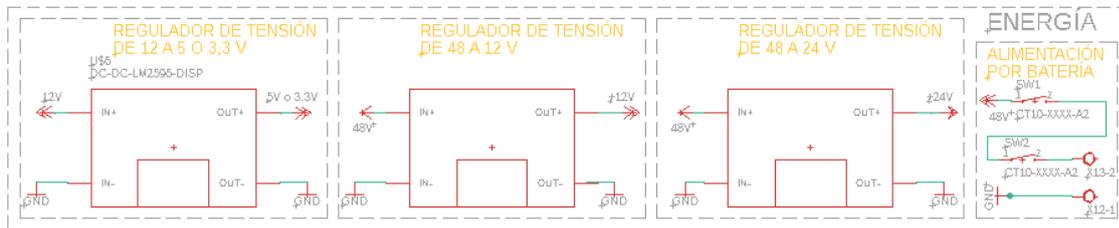


Figura 4.74 Esquemático de la parte de energía del sistema electrónico.

4.3.4 Actuadores.

En esta sección se muestran los dispositivos de actuación para movilizar el sistema. Estos requieren de una etapa de control previa la cual se realiza por medio de drivers o, en el caso de los actuadores lineales se realiza por medio del driver de motores L298M. Este driver permite controlar los motores que tienen estos actuadores mediante un puente H que tiene el integrado. Por otra parte, los motores del robot cartesiano también se controlan por medio de un driver que permiten manipularlos correctamente Este driver es el TB6600. En la Figura 4.75 se muestra el detalle de lo mencionado.

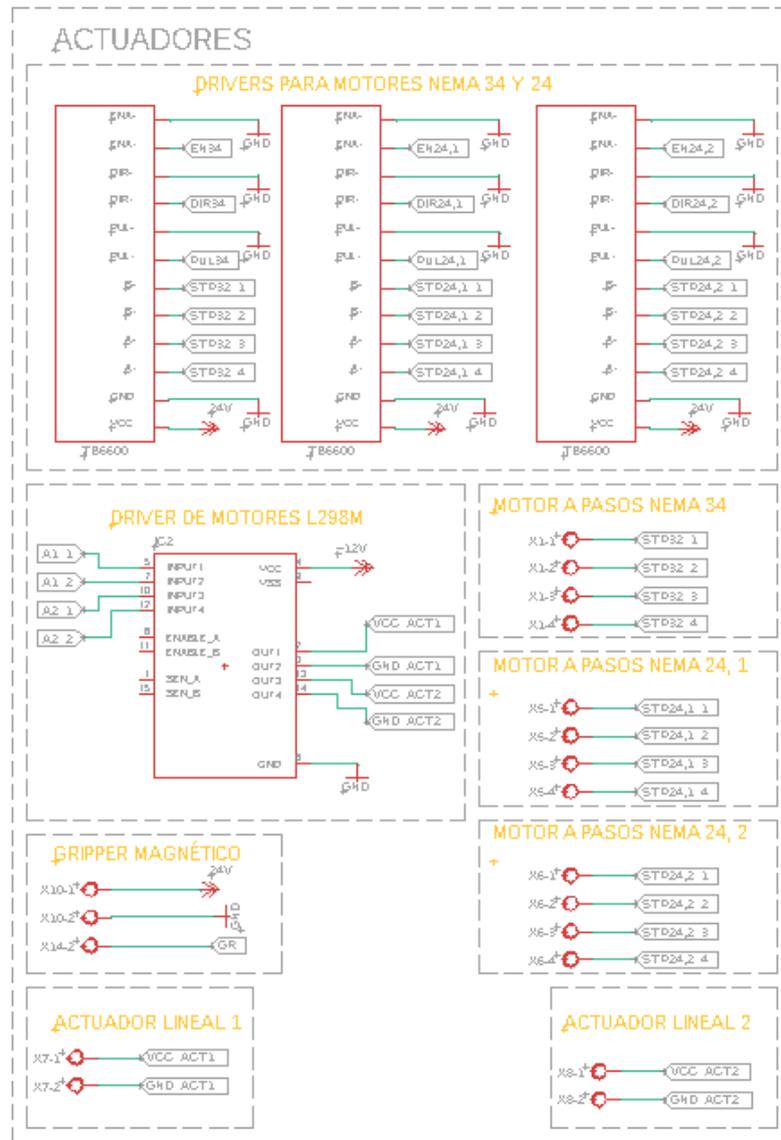


Figura 4.75 Esquemático de los actuadores del sistema.

4.4. Subsistema de Control

En este acápite se presenta la descripción del subsistema de control de la máquina. Primero se describe la matemática de control, luego se muestra la lógica de control del dispositivo y los diagramas de flujos correspondientes al funcionamiento general del dispositivo como también la matemática que existe detrás del control de movimiento del robot.

4.4.1 Matemática y diagrama de flujo del control de un robot cartesiano.

4.4.1.1 Análisis cinemático.

La posición y orientación de cualquier tipo de robot se puede expresar como una matriz de 4 x 4 elementos. Esta matriz está compuesta por cuatro sub-matrices: matriz de rotación (R), matriz de posición (P), matriz de perspectiva (Q) y matriz de amplificación (1) tal como se expresa en la Ecuación 23.

$${}^{i-1}_i T = \begin{bmatrix} R & P \\ Q & A \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_{xx'} & R_{yy'} & R_{zz'} & P_x \\ R_{xy'} & R_{yy'} & R_{zz'} & P_y \\ R_{xz'} & R_{yy'} & R_{zz'} & P_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (25)$$

Una vez obtenida la expresión anterior, se procede a realizar en análisis cinemático del robot y obtener los parámetros reales que se usarán para controlar al robot cartesiano. En la Ecuación 24 se muestra el desarrollo de la Ecuación 23 a cada eje, es decir, para los ejes de rotación y desplazamiento del robot cartesiano. Para ello se hace uso del algoritmo de Denavit Hartenberg para la obtención del modelo cinemático directo. Se deben notar que si bien en general, la matriz de transformación homogénea en general está definida por 6 grados de libertad, este método que elaboró Denavit permite, en eslabones rígidos, reducir este a 4 grados de libertad con la correcta elección de los sistemas de coordenadas lo permite simplificar mucho el cálculo.

Estas 4 transformaciones consisten en una sucesión de rotaciones y traslaciones que permiten relacionar el sistema de referencia del elemento $i-1$ con el sistema del elemento i . Es importante recalcar que el paso del sistema $\{S_{i-1}\}$ al $\{S_i\}$ mediante estas 4 transformaciones está garantizado solo si los sistemas $\{S_{i-1}\}$ y $\{S_i\}$ han sido definidos de acuerdo a normas determinadas que se presentarán luego.

1. Rotación alrededor del eje z_{i-1} un ángulo θ_i .
2. Traslación a lo largo de z_{i-1} una distancia d_i ; vector d_i (0,0, d_i).

3. Traslación a lo largo de x_i una distancia a_i ; vector a_i ($a_i, 0, 0$).

4. Rotación alrededor del eje x_i un ángulo α_i .

Cabe resaltar que las transformaciones se refieren al sistema móvil y dado que el producto de matrices no es conmutativo, las transformaciones se deben realizar en el orden indicado según la siguiente Ecuación 24.

$${}^{i-1}A = \mathbf{Rotz}(\theta_i)\mathbf{T}(0,0,d_i)\mathbf{T}(a_i,0,0)\mathbf{Rotx}(\alpha_i) \quad (26)$$

$$= \begin{bmatrix} C\theta_i & -S\theta_i & 0 & 0 \\ S\theta_i & C\theta_i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a_i \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & C\alpha_i & -S\alpha_i & 0 \\ 0 & S\alpha_i & C\alpha_i & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} C\theta_i & -C\alpha_i S\theta_i & S\alpha_i S\theta_i & a_i C\theta_i \\ S\theta_i & C\alpha_i C\theta_i & -S\alpha_i C\theta_i & a_i S\theta_i \\ 0 & S\alpha_i & C\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Según el libro de Fundamentos de Robótica, para la matriz A_i que está definida en la Ecuación 24 relacione los sistemas $\{S_{i-1}\}$ y $\{S_i\}$ como se mencionó antes es necesario que los sistemas se hayan escogido de acuerdo a normas. Estas normas junto con la definición establecida por Denavit Hartenberg conforman el siguiente algoritmo directo para la resolución del problema cinemático. Se extraen las siguientes normas a continuación:

DH 1.

Numerar los eslabones comenzando con 1 (primer eslabón móvil de la cadena) y acabando con n (último eslabón móvil). Se numerará como eslabón 0 a la base fija del robot.

DH 2.

Numerar cada articulación comenzando por 1 (la correspondiente al primer grado de libertad) y acabando en n .

DH 3.

Localizar el eje de cada articulación. Si ésta es rotativa, el eje será su propio eje de giro. Si es prismática, será el eje a lo largo del cual se produce el desplazamiento.

DH 4.

Para i de 0 a $n-1$ situar el eje z_i sobre el eje de la articulación $i+1$.

DH 5.

Situarse el origen del sistema de la base $\{S_0\}$ en cualquier punto del eje z_0 . Los ejes x_0 e y_0 se situarán de modo que formen un sistema dextrógiro con z_0 .

DH 6.

Para i de 1 a $n-1$, situar el origen del sistema $\{S_i\}$ (solidario al eslabón i) en la intersección del eje z_i con la línea normal común a z_{i-1} y z_i . Si ambos ejes se cortasen se situaría $\{S_i\}$ en el punto de corte. Si fuesen paralelos $\{S_i\}$ se situaría en la articulación $i+1$.

DH 7.

Situarse x_i en la línea normal común a z_{i-1} y z_i .

DH 8.

Situarse y_i de modo que forme un sistema dextrógiro con x_i y z_i .

DH 9.

Situarse el sistema $\{S_n\}$ en el extremo del robot de modo que z_n coincida con la dirección de z_{n-1} y x_n sea normal a z_{n-1} y z_n .

DH 10.

Obtener θ_i como el ángulo que hay que girar en torno a z_{i-1} para que x_{i-1} y x_i queden paralelos.

DH 11.

Obtener d_i como la distancia, medida a lo largo de z_{i-1} , que habría que desplazar $\{S_{i-1}\}$ para que x_i y x_{i-1} quedasen alineados.

DH 12.

Obtener a_i como la distancia medida a lo largo de x_i (que ahora coincidiría con x_{i-1}) que habría que desplazar el nuevo $\{S_{i-1}\}$ para que su origen coincidiese con $\{S_i\}$.

DH 13.

Obtener α_i como el ángulo que habría que girar en torno a x_i , para que el nuevo $\{S_{i-1}\}$ coincidiese totalmente con $\{S_i\}$.

DH 14.

Obtener las matrices de transformación ${}^{i-1}_iA$ definidas en la Ecuación 24.

DH 15.

Obtener la matriz de transformación que relaciona el sistema de la base con el del extremo del robot $T = {}^0_1A \cdot {}^1_2A \cdot \dots \cdot {}^{n-1}_nA$.

DH 16.

La matriz T define la orientación (submatriz de rotación) y posición (submatriz de traslación) del extremo referido a la base, en función de las n coordenadas articulares.

En la Figura 4.76 se muestra una representación de todas las normas antes mencionadas y se dimensionan lo necesario para referenciar las variables utilizadas.

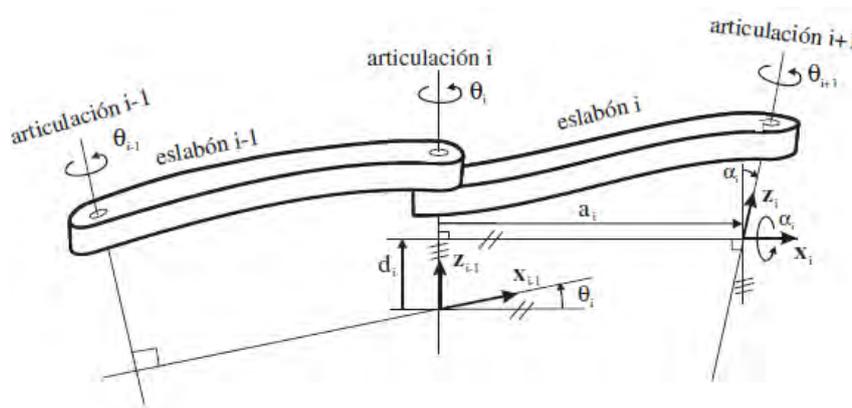


Figura 4.76 Parámetros de D-H para un eslabón giratorio.

Los parámetros de D-H ($\theta_i, d_i, a_i, \alpha_i$) dependen únicamente de las características geométricas mostradas de cada eslabón y de las articulaciones que lo unen con el eslabón anterior y el siguiente. Es así como se definen los parámetros de la Figura 4.76 en la Tabla 4.23.

Tabla 4.23 Definición de los parámetros ($\theta_i, d_i, a_i, \alpha_i$)

θ_i	Es el ángulo que forman los ejes x_{i-1} y x_i medido en un plano perpendicular al eje z_{i-1} , utilizando la regla de la mano derecha. Es un parámetro variable presente en articulaciones giratorias.
d_i	Es la distancia a lo largo del eje z_{i-1} desde el origen del sistema de coordenadas $(i-1)$ -ésimo hasta la intersección del eje z_{i-1} con el eje x_i . Se trata de un parámetro variable en articulaciones prismáticas.
a_i	Es la distancia a lo largo del eje x_i que va desde la intersección del eje z_{i-1} con el eje <i>hasta</i> el origen del sistema i -ésimo, en el caso de articulaciones giratorias. En el caso de articulaciones prismáticas, se calcula como la distancia más corta entre los ejes z_{i-1} y z_i .
α_i	Es el ángulo de separación del eje z_{i-1} y el eje z_i , medido en un plano perpendicular al eje x_i , utilizando la regla de la mano derecha.

Una vez hallada la matriz T, esta matriz expresará la orientación de orientación y posición del extremo del robot en función de sus coordenadas articuladas y con todo ello queda resuelto el problema de la cinemática y todo está referenciado a un punto del robot. En la Figura 4.77 se visualiza una imagen que representan las coordenadas naturales del robot y la coordenada del punto que deseamos controlar y está en función de las demás articulaciones del robot.

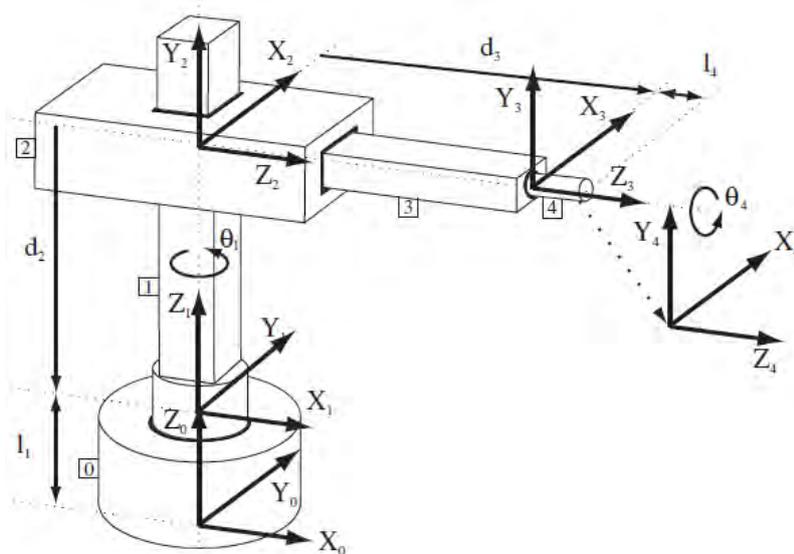


Figura 4.77 Representación de los ejes de cada articulación y el eje de control del robot

Para los tres grados de libertad que representan los movimientos axiales, y considerando que el origen del sistema base $\{S_0\}$, se halla en la parte central del primer servomotor, los parámetros quedaron definidos en la Tabla 4.24.

Tabla 4.24 Parámetros $(\theta_i, d_i, a_i, \alpha_i)$ del sistema

Articulación	θ	d	a	α
1	90°	$l_{Z01} + q_1$	l_{X01}	-90°
2	90°	$l_{Z12} + q_2$	l_{X12}	-90°
3	0°	$l_{Z23} + q_3$	l_{X23}	0°

Donde, $l_{Z01} = 193$ mm, representa como se mencionó en la Tabla 29 la distancia entre el origen del sistema 0 y el origen del sistema 1 a lo largo del eje Z en el cual se encuentra el primer grado de libertad del robot. Esto es cuando el robot se encuentra retraído al máximo. Esta distancia es debida a las dimensiones propias dimensiones del robot cartesiano y a las dimensiones del husillo de potencia. De la misma manera, para los otros servomotores $l_{Z12} = 433$ mm y $l_{Z23} = 740$ mm. Mientras que la distancia a lo largo del eje X, que son las

dimensiones que están entre los motores y la estructura del robot. Estas distancias se representan como $l_{x01} = 864,63$ mm, $l_{x12} = 1375,05$ mm y $l_{x23} = 25,98$ mm. Con estos parámetros D-H definidas en la Tabla 30 y considerando las dimensiones físicas antes descritas se logró construir una matriz final. En la Ecuación 25 se muestra el resultado de evaluar los valores de la Tabla 30 en la Ecuación 24.

$${}^0_3T = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & q_2 + 433 \text{ mm} \\ 0 & 0 & 1 & q_3 + 740 \text{ mm} \\ 1 & 0 & 0 & q_1 + 193 \text{ mm} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (27)$$

Es así como extrayendo la submatriz de posición se puede determinar cualquier posición $\{X, Y, Z\}$ del elector final. La Ecuación 26, 27 y 28 representan estas ecuaciones obtenidas las cuales están ya en función de las variables de desplazamiento.

$$p_x = q_2 + 433 \text{ mm} \quad (28)$$

$$p_y = q_3 + 740 \text{ mm} \quad 1$$

$$p_z = q_1 + 193 \text{ mm} \quad 2$$

4.4.1.2 Diagrama de flujo del control de posición del robot cartesiano.

Como se muestra a continuación, en la Figura 4.78 se muestra el diagrama de flujo del control de los motores a paso seleccionados. Estos motores se controlan por posición y en base a las ecuaciones de desplazamiento que se generaron previamente se puede elaborar su control. Es así como se explica a detalle el control de estos motores en el siguiente diagrama.

DIAGRAMA DE FLUJO PARA EL MOVIMIENTO Y CONTROL DE LOS MOTORES

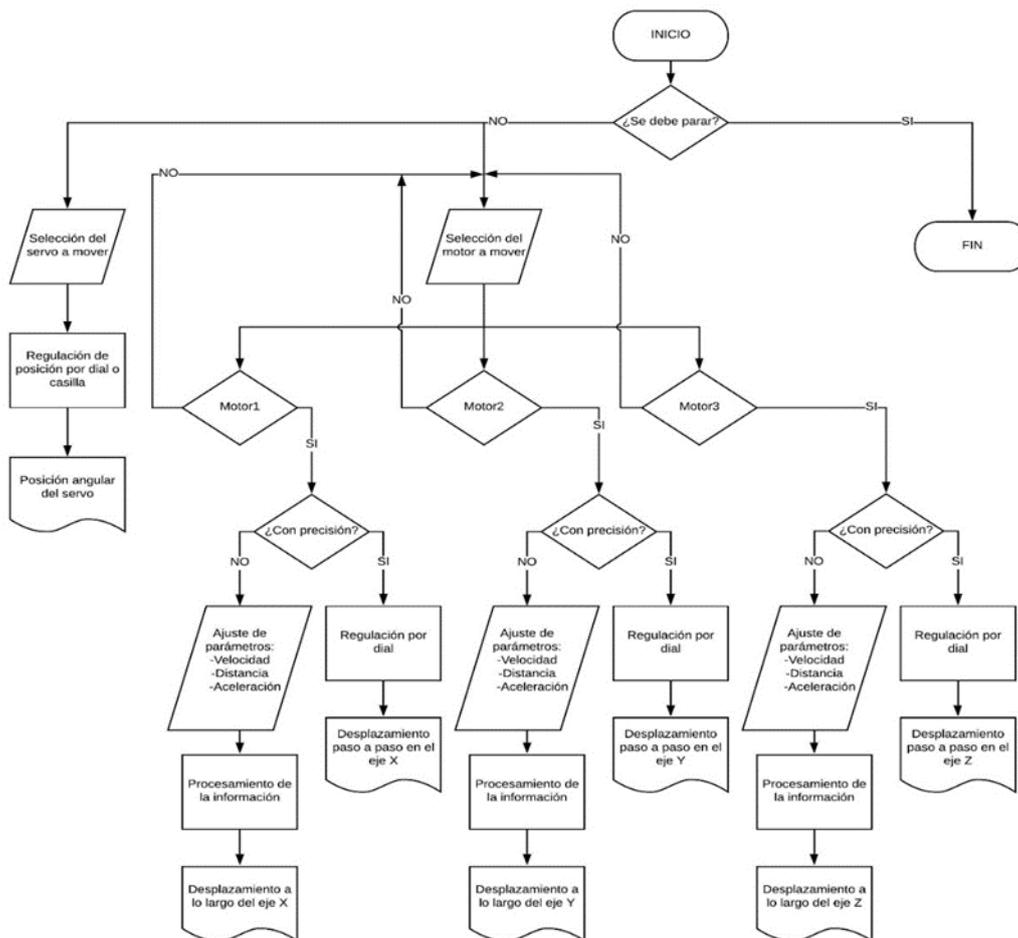


Figura 4.78 Diagrama de flujo del control de motores del sistema.

4.4.2 Lógica de control del dispositivo.

4.4.2.1 Control de presión del sistema de sujeción.

Los actuadores lineales del sistema son los encargados de sujetar y mantener fijo al dron lo suficiente como para que el intercambio sea exitoso y no se presenten problemas. Estos actuadores lineales se encuentran en el subsistema de sujeción, encima de la plataforma de aterrizaje. Para poder controlar la carrera de estos actuadores lineales se hace uso de sensores de presión que se encuentran estratégicamente ubicados como se visualizó en la selección de estos sensores. Al hacer uso de sensores, el lazo de control ya no es un abierto, sino que, por el contrario, al recibir una retroalimentación del sistema y midiendo el error entre la señal medida

y la señal de referencia, se puede calibrar lo deseado con el control establecido, que para este caso es un control del tipo PID. La variable que se pretende controlar es presión. Este tipo de control es uno de los más clásicos e integra las ganancias del tipo proporcional, integral y derivativa. De esta forma se puede obtener una respuesta en donde se siga la referencia, el error tienda a cero y presente, en lo posible, una respuesta rápida con pocas oscilaciones en su salida. En la Figura 4.79 se muestra el diagrama de control del sistema propuesto para la sujeción del dron y control de actuadores lineales.

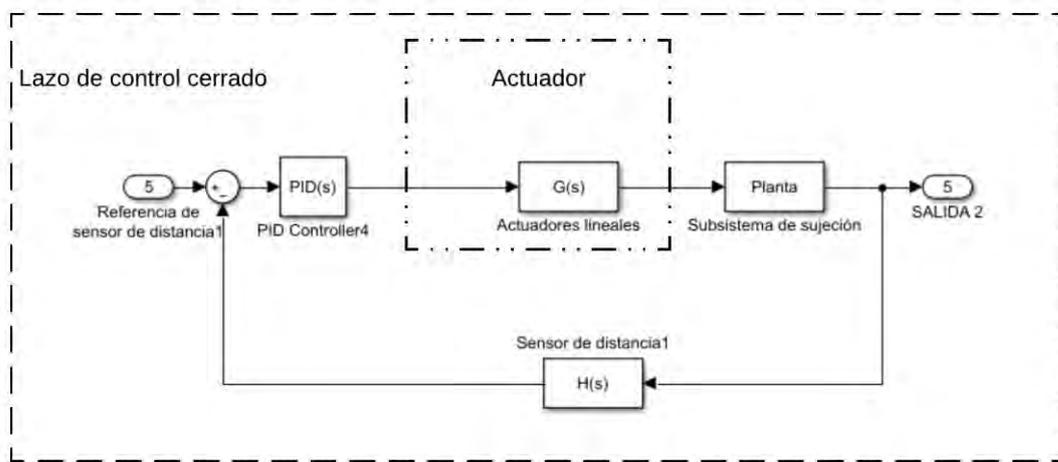


Figura 4.79 Diagrama de bloques del control de presión.

4.4.2.2 Control de distancia del sistema de transporte

Como se visualizó en la selección del sensor de distancia para evitar posibles colisiones y controlar el movimiento del motor que permite el desplazamiento del robot cartesiano desde la base del sistema propuesto es necesario el uso de un control que permita mantener esta distancia siempre verificada. Es por esto que es necesario realizar un control en lazo cerrado que, mediante la estimación del error, establecer un control del tipo PID para seguir la referencia deseada. Cabe resaltar que se requiere de este tipo de control ya que el robot se mueve a todo instante siempre y cuando haya una batería que intercambiar y se requiere una

respuesta rápida y precisa. En la Figura 4.80 se muestra el diagrama de control de la distancia proporcionada por el sensor.

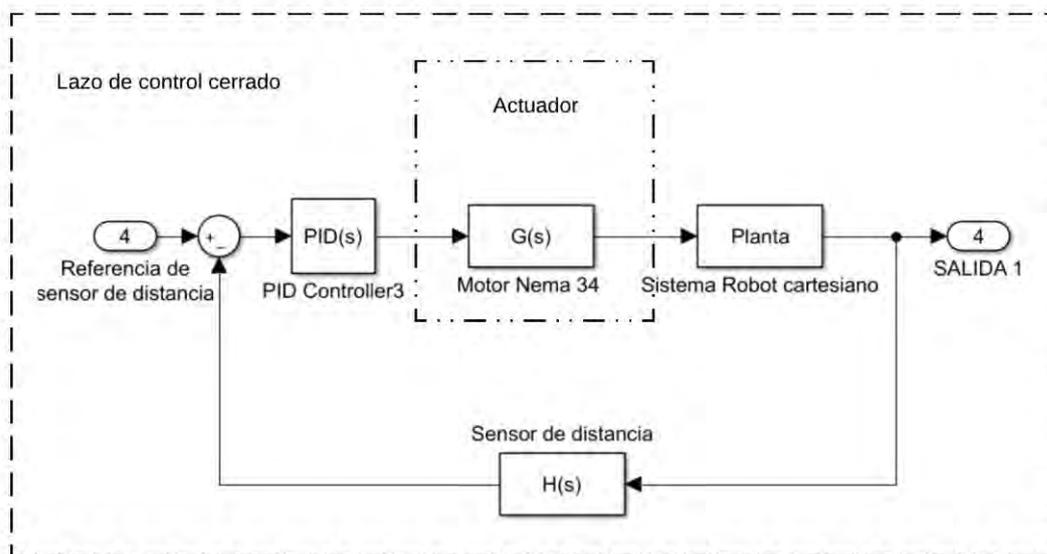


Figura 4.80 Diagrama de bloques del control de distancia.

4.4.2.3 Control de posición del robot cartesiano

La lógica de control de la posición del robot cartesiano se hace por medio de un control en lazo abierto. Este control consiste en enviar una referencia de posición y por medio de las ecuaciones de desplazamiento halladas en la Ecuación 25, se configura una posición y el robot se desplaza a ella inmediatamente. Este control no requiere de una retroalimentación ya que simplemente sigue una referencia y está por medio de un parámetro de control configura al motor para que permita el desplazamiento del husillo de potencia deseado. De la misma forma los motores Nema 24 siguen el mismo esquema de control y también presentan un lazo de control abierto como se muestra en la Figura 4.81.

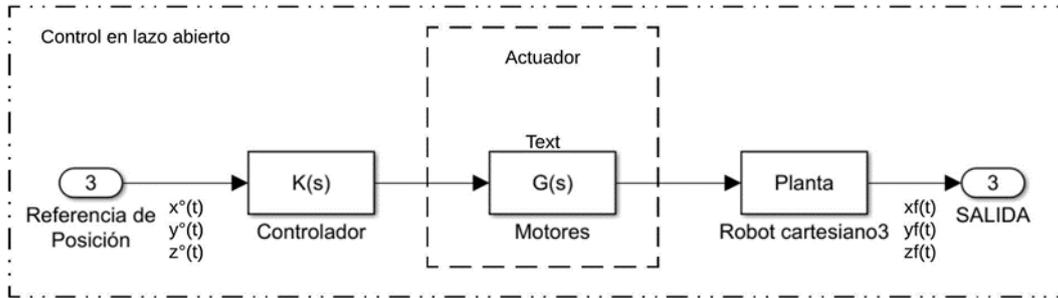


Figura 4.81 Diagrama de bloques del control de posición del robot



Capítulo 5

Planos y costos

En este capítulo se presentarán los planos electrónicos/eléctricos y mecánicos del sistema propuesto. Posterior a ello, se detallarán los costos asociados al proyecto.

5.1. Planos

El diseño mecánico y electrónico /eléctrico de la máquina incluye la elaboración de planos que se presentarán en este capítulo. En el Anexo I se muestran los planos correspondientes al sistema.

5.1.1 Planos mecánicos.

El diseño mecánico requiere una serie de planos de fabricación y ensamblaje. Estos son listados en la siguiente tabla y se encuentran en el archivo de planos mecánicos adjunto a este documento. En la Tabla 5.1 se muestra un detalle sobre los planos mecánicos del sistema.

Tabla 5.1 Lista de planos mecánicos

N°	Detalle	Código	Tipo	Plano
----	---------	--------	------	-------

1	Sistema abastecedor de baterías	ENS001	Ensamble	A0
2	Estructura del sistema	ENS002	Ensamble	A0
3	Subsistema de sujeción	ENS003	Ensamble	A0
4	Robot cartesiano	ENS004	Ensamble	A0
5	Adaptador de batería del dron	ENS005	Ensamble	A0
6	Drone adaptado	ENS006	Ensamble	A0
7	Gripper magnético ensamblado	ENS007	Ensamble	A0
8	Mecanismo de sujeción de batería	ENS008	Ensamble	A2
9	Primer soporte de la base del sistema	ENS009	Ensamble	A2
10	Segundo soporte de la base del sistema	ENS010	Ensamble	A2
11	Motor inferior	ENS011	Ensamble	A2
12	Estructura de movimiento lateral con motor	ENS012	Ensamble	A2
13	Motor lateral	ENS013	Ensamble	A2
14	Sistema de desplazamiento vertical	ENS014	Ensamble	A0
15	Sistema de adaptación de batería	ENS015	Ensamble	A0
16	Almacén de batería	ENS016	Ensamble	A2
17	Sensor de ultrasonido con case	ENS017	Ensamble	A2
18	Primer acople de gripper magnético	ENS018	Ensamble	A2
19	Segundo acople de gripper magnético	ENS019	Ensamble	A2
20	Motor para desplazamiento vertical	ENS020	Ensamble	A2

21	Acople lateral para para robot cartesiano	DESP001	Fabricación	A2
22	Placa horizontal	DESP002	Fabricación	A2
23	Placa para desplazamiento vertical	DESP003	Fabricación	A2
24	Tope para rieles	DESP004	Fabricación	A2
25	Apoyo de guías	DESP005	Fabricación	A2
26	Placa soporte de tornillo	DESP006	Fabricación	A2
27	Unión para movimiento en la base	DESP007	Fabricación	A2
28	Acople para unión de movimiento en la base	DESP008	Fabricación	A2
29	Acople para rodamiento lineal	DESP009	Fabricación	A2
30	Placa de unión a gripper	DESP010	Fabricación	A2
31	Acople para placa de unión a gripper	DESP011	Fabricación	A2
32	Base gripper	DESP012	Fabricación	A2
33	Envoltura del gripper	DESP013	Fabricación	A2
34	Carcasa de sensor infrarrojo	DESP014	Fabricación	A2
35	Carcasa de ultrasonido	DESP015	Fabricación	A2
36	Carcasa de sensor láser	DESP016	Fabricación	A2
37	Placa de unión gripper-sistema cartesiano	DESP017	Fabricación	A2
38	Placa de unión motor – sistema cartesiano	DESP018	Fabricación	A2
40	Estructura de anaquel de baterías	DESP019	Fabricación	A2

41	Compartimentos de anaquel	DESP020	Fabricación	A2
42	Placa de unión para unir motor	DESP021	Fabricación	A2
43	Placa de unión ensamble motor – sistema de desplazamiento vertical	DESP022	Fabricación	A2
44	Puerta	DESP023	Fabricación	A2
45	Acople de unión entre placas	DESP024	Fabricación	A2
46	Cartelas	DESP025	Fabricación	A2
47	Soporte de actuador lineal	DESP026	Fabricación	A2
48	Adaptador de baterías	DESP027	Fabricación	A2
49	Cápsula de la batería	DESP028	Fabricación	A2
50	Tapa de cápsula de la batería	DESP029	Fabricación	A2
51	Placa posterior para mecanismo de sujeción de batería	DESP030	Fabricación	A2
52	Cubo de sujeción de batería	DESP031	Fabricación	A2
53	Placa metálica en H para unir sujetar batería	DESP032	Fabricación	A2
54	Placa metálica de cápsula de batería	DESP033	Fabricación	A2
55	Unión de cápsula de batería – adaptador de batería	DESP034	Fabricación	A2

5.2. Costos

En este apartado se detallan los costos asociados al desarrollo de las tecnologías presentadas en esta tesis. La siguiente tabla muestra los montos diseño y fabricación de la máquina, los cuales serán analizados a detalle más adelante. En la Tabla 5.2 se detallan los costos generales del sistema.

Tabla 5.2 Costos totales

Concepto	Costo(S/.)
Costo de diseño	4920.00
Costo de fabricación	13546.50
Total	18466.50

5.2.1 Costos de diseño.

A continuación, se detallarán los costos asociados al diseño mecánico, electrónico/eléctrico y de control del dron. Estos se resumen en la Tabla 5.3 y posteriormente se analizan.

Tabla 5.3 Costos de diseño

Concepto	Costo(S/.)
Diseño del dominio mecánico	1800.00
Diseño del dominio electrónico/eléctrico	1800.00
Diseño de dominio de control	1320.00
Total	4920.00

Se estima que la elaboración del diseño de los elementos mecánicos y su integración tendrán una duración de 2 semanas trabajando 30 horas en cada una. Considerando un monto de S/.30.00 por hora de diseño se tiene un costo total de S/. 1800.00. Esta suma abarca desde el diseño del concepto de solución hasta la elaboración de los planos mecánicos.

El diseño del dominio electrónico/eléctrico de esta tesis se estima una duración de 2 semanas y al igual que para la mecánica, se trabajarían 30 horas en cada una. Considerando un monto de S/.30.00 por hora de diseño, la suma total asciende a S/. 1800.00. Este costo cubre los trabajos de diseño a partir de la generación del concepto de solución hasta la elaboración de los planos esquemáticos.

Adicionalmente, se presentan los costos asociados al diseño del control de la máquina. La siguiente tabla muestra los montos correspondientes a los trabajos de programación y configuración necesarios para la implementación del sistema de control del sistema. Se ha considerado un monto de S/.40.00 por hora de programación de una persona. Estos resultados se muestran en la Tabla 5.4.

Tabla 5.4 Costos de programación

Tarea	Tiempo (horas)	Costo (S/.)
Configuración de la base de datos y nube	10	400.00
Configuración para la comunicación	3	120.00
Programación y configuración del robot	20	800.00
Total		1320.00

5.2.2 Costos de fabricación.

Los costos asociados a la fabricación e implementación de las tecnologías de esta tesis se detallan en este apartado. La Tabla 5.5 contiene una lista con diversos conceptos y sus correspondientes precios, los cuales serán posteriormente analizados.

Tabla 5.5 Costos de fabricación

Detalle	Costo(S/.)
Costos por componentes estandarizados	7710.00
Costos por componentes no estandarizados	4336.50
Costos de ensamblaje	300.00
Costos de importación	400.00
Otros	800.00
Total	13546.50

El diseño de la máquina incluye la selección de componentes y dispositivos estandarizados. A continuación, se presenta un resumen económico de estos elementos con sus

respectivos costos y proveedores. Por otro lado, en la Tabla 5.6 se muestra en resultado resumido de los costos efectuados por los componentes estandarizados mecánicos y electrónicos. Además, en la Tabla 5.7 y 5.8 se muestra el detalle de cada componente estandarizado mecánico y electrónico.

Tabla 5.6 Costos de componentes estandarizados

Componentes estandarizados	Costo (S/.)
Componentes estandarizados mecánicos	135.00
Componentes estandarizados electrónicos	200.00
Total	7710.00

Tabla 5.7 Costos de componentes estandarizados mecánicos

Componente	Marca y modelo	Proveedor	Cantidad	Costo unitario (S/.)	Subtotal (S/.)
Motor a pasos Nema 34	Nema 34 bipolar 34H2A6840	MotionKing	1	135.00	135.00
Motor a pasos Nema 24	QCI-DS028	QuickSilver Controls	2	100.00	200.00
Acople flexible 14 mm	D25L34	Vistronica	3	140.00	420.00
Tornillo de potencia	Tornillo rosca ACME	TECNOPOWER	3	120.00	360.00
T-slot	V-slot 4545	Naylamp Mechatronics	20	30.00	600.00
Actuador lineal	PA-14P	Progressive Automations	2	575.00	1150.00
Gripper magnético	SCHUNK-1351490 EMH045-B	SCHUNK	1	507.00	507.00
Tuerca tipo T	Tuerca tipo T M8	TE-CO	30	24.00	720.00

	Total	4092
--	-------	------

Tabla 5.8 Costos de componentes estandarizados electrónicos

Componente	Marca y modelo	Proveedor	Cantidad	Costo unitario (S/.)	Subtotal (S/.)
Sensor de ultrasonido	HC-SR04	Naylamp Mechatronics	2	8.00	16.00
Sensor de distancia láser	VL53L1X	AliExpress	1	60.00	60.00
Sensor infrarrojo	CNY 70	Naylamp Mechatronics	2	2.50	5.00
Sensor de presión	FSR402	Naylamp Mechatronics	2	60.00	120.00
Batería	Batería 48 V 24Ah LiFePO4	MELASTA	1	2700.00	2700.00
leds	Diodo led	Naylamp Mechatronics	5	2.00	10.00
Regulador de tensión	Reguladores de 48V a 12V, 48V a 24V y 12V a 5, 3.3 V	YUCOO, RCRUN, ELECTRO SDR	3	45.00	135.00
Driver de motor	TB6600	Amazon	3	70.00	210.00
Driver de actuadores lineales	L298N	Amazon	1	12.00	12.00
Controlador	Raspberry pi 3	Raspberry	1	250.00	250.00
Botón de emergencia	Schenider	Amazon	1	100.00	100.00
	Total				3618.00

De manera similar, se presenta la Tabla 5.9 que contiene todas las piezas no estandarizadas y que serán fabricadas mediante una impresora 3D u otros procesos mecánicos de manufactura. El costo unitario incluye el servicio de impresión y el material.

Tabla 5.9 Costos de componentes no estandarizados

Nombre de parte	Proceso de fabricación	Cantidad	Costo unitario (S/.)	Subtotal (S/.)
Acople lateral para para robot cartesiano	Mecanizado	2	100.00	200.00
Placa horizontal	Mecanizado	2	50.00	100.00
Placa para desplazamiento vertical	Mecanizado	1	100.00	100.00
Tope para rieles	Mecanizado	15	15.00	225.00
Apoyo de guías	Mecanizado	6	20.00	120.00
Placa soporte de tornillo	Mecanizado	1	100.00	100.00
Unión para movimiento en la base	Mecanizado	2	100.00	200.00
Acople para unión de movimiento en la base	Mecanizado	2	100.00	200.00
Acople para rodamiento lineal	Mecanizado	4	50.00	200.00
Placa de unión a gripper	Mecanizado	2	100.00	200.00
Acople para placa de unión a gripper	Mecanizado	1	100.00	100.00
Base gripper	Mecanizado	1	40.0	40.00
Envoltura del gripper	Mecanizado	1	20.00	20.00

Carcasa de sensor infrarrojo	Impresión 3D	2	20.00	40.00
Carcasa de ultrasonido	Impresión 3D	2	20.00	40.00
Carcasa de sensor láser	Impresión 3D	1	10.00	10.00
Placa de unión gripper-sistema cartesiano	Mecanizado	1	50.00	50.00
Placa de unión motor – sistema cartesiano	Mecanizado	2	50.00	100.00
Estructura de anaquel de baterías	Mecanizado	1	400.00	400.00
Compartimentos de anaquel	Mecanizado	1	200.00	200.00
Placa de unión para unir motor	Mecanizado	2	50.00	100.00
Placa de unión ensamble motor – sistema de desplazamiento vertical	Mecanizado	1	100.00	100.00
Puerta	Mecanizado	1	20.00	20.00
Acople de unión entre placas	Mecanizado	1	50.00	50.00
Cartelas	Mecanizado (Fresado)	16	15.00	240.00
Soporte de actuador lineal	Mecanizado (Fresado)	2	30.00	60.00
Adaptador de baterías	Impresión 3D	1	200.00	200.00
Cápsula de la batería	Impresión 3D	1	50.00	50.00
Tapa de cápsula de la batería	Impresión 3D	1	20.00	20.00
Placa posterior para mecanismo de sujeción de batería	Impresión 3D	1	20.00	20.00
Cubo de sujeción de batería	Impresión 3D	2	20.00	40.00

Placa metálica en H para unir sujetar batería	Mecanizado (Fresado)	2	30.00	60.00
Placa metálica de cápsula de batería	Mecanizado (Fresado)	2	30.00	60.00
Unión de cápsula de batería – adaptador de batería	Impresión 3D	1	10.00	10.00
Total sin impuestos.				3675.00
IGV(18%)				661.5
Total				4336.5



Conclusiones

- La propuesta de solución sustentada en esta tesis planea solucionar el problema del tiempo de espera para la carga de las baterías de los drones cuando no han finalizado una operación o tarea y esta se encuentra pendiente. Para ello se propone un sistema mecatrónico que funciona de forma autónoma para el intercambio de baterías de los drones haciéndolos más eficientes. Esta propuesta está conformada por una plataforma de aterrizaje de drones, un subsistema de transporte de baterías, un subsistema de sujeción de drones y un adaptador de baterías, el cuál facilitará la extracción y colocación de las baterías.
- La propuesta planteada contempla en el subsistema de transporte, un robot cartesiano que facilita el traslado de la batería. Además, permite un transporte con precisión ya que el subsistema contempla motores a paso lo cual genera que el movimiento se efectúe por pasos. Por otro lado, el propio robot cartesiano contempla un gripper magnético en su mecanismo de transporte lo cual facilita la extracción y colocación de la batería.
- La propuesta planteada contempla un adaptador de baterías LiPo 6S (6 celdas) la cual se encuentra en el dron. De esta forma se facilita la automatización en el proceso del intercambio de baterías haciendo sencilla la extracción y colocación de las baterías.
- El diseño comprende un subsistema de sujeción para drones una vez estos hayan aterrizado en la plataforma. El subsistema de sujeción está comprendido por dos actuadores lineales. Los actuadores lineales se encargan del bloqueo del movimiento del dron en el plano de aterrizaje.
- Para maximizar la precisión del encaje y extracción de la batería en el dron, se plantea un sistema que contiene a un sensor fotoeléctrico infrarrojo para elaborar así un control que permita una retroalimentación de la magnitud que se espera.

Recomendaciones

- Para mejorar el diseño del sistema propuesto se recomienda usar unas compuertas en la parte superior para así encapsular al dron dentro de este dispositivo y evitar el contacto con el exterior, ya que agentes externos podrían afectar el intercambio de la batería. Estos agentes externos pueden ser, lluvia, polvo, entre otros.
- Se recomienda añadir un sistema de carga de baterías que permita ejecutar el intercambio de baterías y cargar la batería al mismo tiempo. De esta forma se limitaría el número de baterías por dron. Es decir, en el diseño propuesto se plantea un sistema que contempla una cantidad de baterías en relación al tiempo de operación que el dron tendrá; sin embargo, si se diseña un sistema de carga de batería, con un número limitado de baterías por dron, el dron podría operar de manera indefinida.
- Se recomienda el diseño de adaptadores de más de una batería, ya que en la industria si se quiere realizar operaciones de mayor envergadura con los drones, una batería no sería suficiente. Por lo que el sistema seguiría siendo válido siempre y cuando se tengan adaptadores de batería para el tipo de dron y uso que este requiera.
- Se recomienda establecer un sistema que establezca comunicación directa entre el dron y el sistema propuesto para así reconocer qué tipo de dron ha aterrizado y qué tipo de adaptador de baterías usa. De esta forma, los parámetros de intercambio serían ajustables al modelo del dron y adaptador de batería que este posea.

Bibliografía

- ACRE. (n.d.). Drones con cámara | Grupo ACRE Perú. Retrieved September 28, 2019, from https://grupoacre.pe/catalogo-categoria/drones-y-sensores/?gclid=CjwKCAjwibzsBRAMEiwA1pHZrqsLi6sNQzNi7WQB03wr9oGLwqBm91o8Nhr6bPnQYSVDcz4bTkKkeRoCJ-wQAvD_BwE#sector-587
- AIROBOTICS. (n.d.). Automated Drone (UAV) Applications | Airobotics. Retrieved September 15, 2019, from <https://www.airoboticsdrones.com/applications/>
- Amazon. (2016). Amazon.com: Prime Air. Retrieved September 15, 2019, from 7/12/2016 website: <https://www.amazon.com/Amazon-Prime-Air/b?ie=UTF8&node=8037720011>
- ANTAMINA. (n.d.). Innovación: Los drones de Antamina van a la caza de la eficiencia. Retrieved September 16, 2019, from <https://www.antamina.com/noticias/innovacion-drones-antamina-caza-eficiencia/>
- Application, E. P. (2007). Designated extension states. *Office, 1*(19), 1–18. Retrieved from <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Designated+Extension+States+:#0>
- Clarín. (2019). A vuelo de drones - 25/02/2019 - Clarín.com. Retrieved September 15, 2019, from 25/02/2019 website: https://www.clarin.com/opinion/vuelo-drones_0_U3ocp8bvs.html
- DIGERD. (2018). .. DIGERD :. Dirección General de Gestión del Riesgo de Desastres y Defensa Nacional en Salud - Ministerio de Salud. Retrieved September 16, 2019, from 5/01/2018 website: <http://www.minsa.gob.pe/digerd/?op=61¬=177>
- EAGLE, D. (n.d.). SK-62 Hexacopter Security UAV/Drone- Buy SK-62 Product on Jiangsu Digital Eagle Technology Development Co., Ltd. Retrieved September 28, 2019, from <http://www.digitaleagle-uav.com/sk-62-hexacotper-security-uav-drone.html>

El Comercio. (2018). Drones para vigilar los bosques: Castañeros de Madre de Dios

enfrentan a la deforestación | Tecnología y ciencias | Ecología | El Comercio Perú.

Retrieved September 15, 2019, from 30/08/2018 website:

<https://elcomercio.pe/tecnologia/ecologia/drones-deforestacion-madre-dios-noticia-552157>

Foundation, C., Lee, S. K., Han, Y. H., Lee, W., Ryu, W., & Foundation, C. (2015). (12)

United States Patent. 2(12), 39. Retrieved from

<https://patents.google.com/patent/US9440545?oq=Mingxi+Wang%2C+“Systems+and+methods+for+UAV+battery+exchange”>

Gausemeier, J., & Moehringer, S. (2002). VDI 2206- A New Guideline for the Design of Mechatronic Systems. *IFAC Proceedings Volumes*, 35(2), 785–790.

[https://doi.org/10.1016/s1474-6670\(17\)34035-1](https://doi.org/10.1016/s1474-6670(17)34035-1)

H3Dynamics. (n.d.). Autonomous Security Drone Stations. Retrieved September 16, 2019, from <https://www.h3dynamics.com/security>

HIWIN, & GAES. (2015). *Guías Lineales*. 144. Retrieved from <http://www.rodalsa.net/wp-content/uploads/2015/06/guias-lineales-hiwin.pdf>

Insights, A. (n.d.). ▷ Tipos de drones: ¿Cuántos tipos de drones existen en el mercado?

Retrieved September 15, 2019, from <https://www.aerial-insights.co/blog/tipos-de-drones/>

LIDERMAN. (n.d.). Cementos Pacasmayo y Liderman innovan con moderno sistema de seguridad » Liderman. Retrieved September 16, 2019, from

<https://www.liderman.com.pe/liderman-pacasmayo-innovacion/>

MOBUS. (n.d.). ¿Que es una batería LiPo? Aprende a leer su nomenclatura. Retrieved

September 21, 2019, from <https://mobus.es/blog/que-es-una-bateria-lipo/>

Po, W. (2016). *Description Title of Invention : SYSTEM AND METHOD FOR MANAGING*

UNMANNED AERIAL VEHICLES. (12).

PULSE. (n.d.). PULSE 5500mAh 6S 22.2V 65C - LiPo Battery – Pulse Battery. Retrieved September 15, 2019, from https://www.pulsebattery.com/products/plu65-55006-pulse-lipo-5500mah-22-2v-65c-ultra-power-series-1?rq=yr_multicopter-batteries~mk_5001-6000mah~lc_6s-22-2v~md_65c

qAIRa. (n.d.). qAIRa. Retrieved September 15, 2019, from <http://www.qairadrones.com/index.php?r=site/productos>

Statista. (2017). El sector de drones en España y el mundo - Datos estadísticos | Statista. Retrieved September 15, 2019, from 12/08/2017 website:

<https://es.statista.com/temas/3576/industria-de-drones-en-espana-y-el-mundo/>

UST. (2016). H3 Dynamics Launches DRONEBOX for Fully Automated UAV Operations | Unmanned Systems Technology. Retrieved September 15, 2019, from 19/02/2016 website: <https://www.unmannedsystemstechnology.com/2016/02/h3-dynamics-launches-dronebox-for-fully-automated-uav-operations/>

VDI. (n.d.). VDI-Richtlinien | Normen, Regeln & Standards | VDI. Retrieved September 15, 2019, from https://www.vdi.de/richtlinien?tx_vdiguidelines_guidelinelist%5Bfilter%5D%5BsearchTerm%5D=2221&cHash=1010ee912038d69d21265dab8cd1ca8c

Anexos

Anexo A: Estructura de funciones

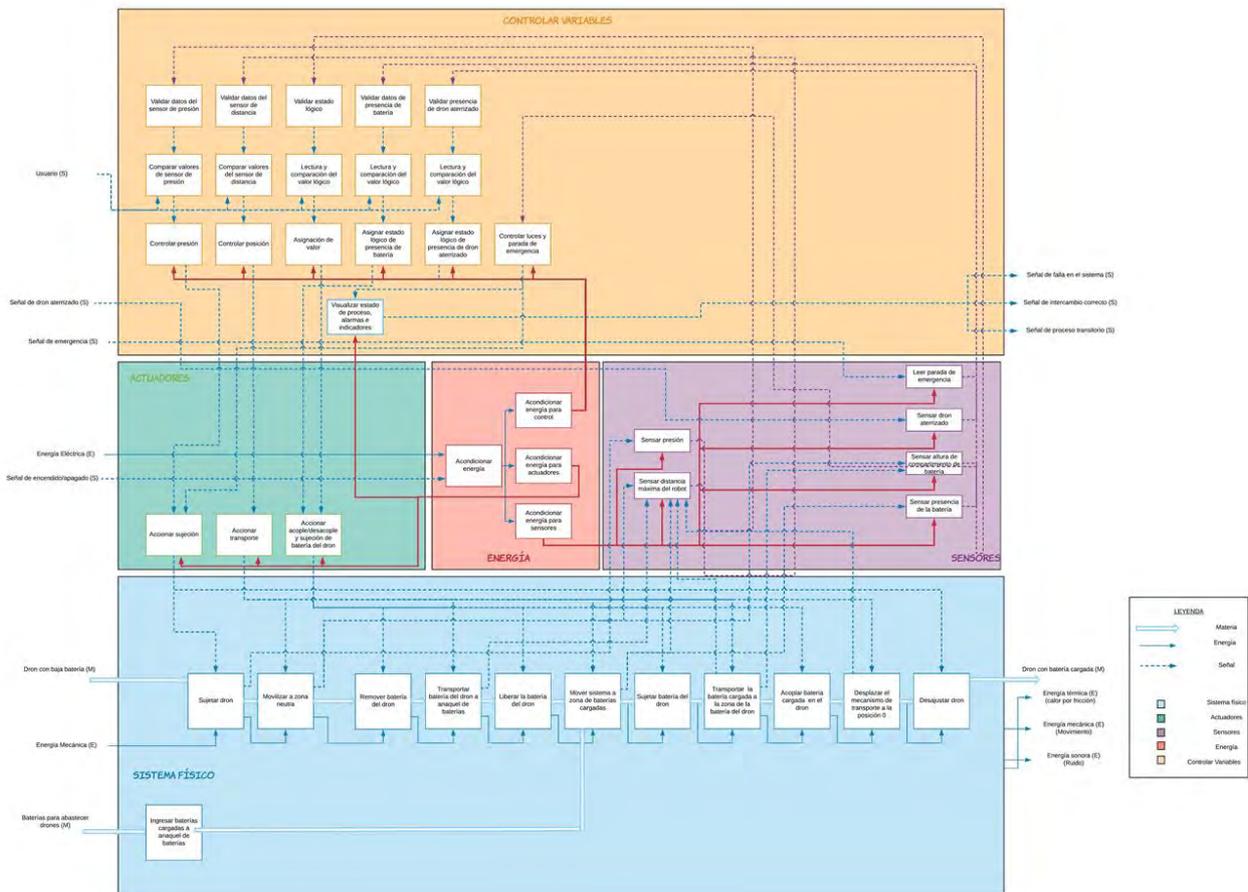


Figura A1

Anexo B: Diagramas de bloques del sistema

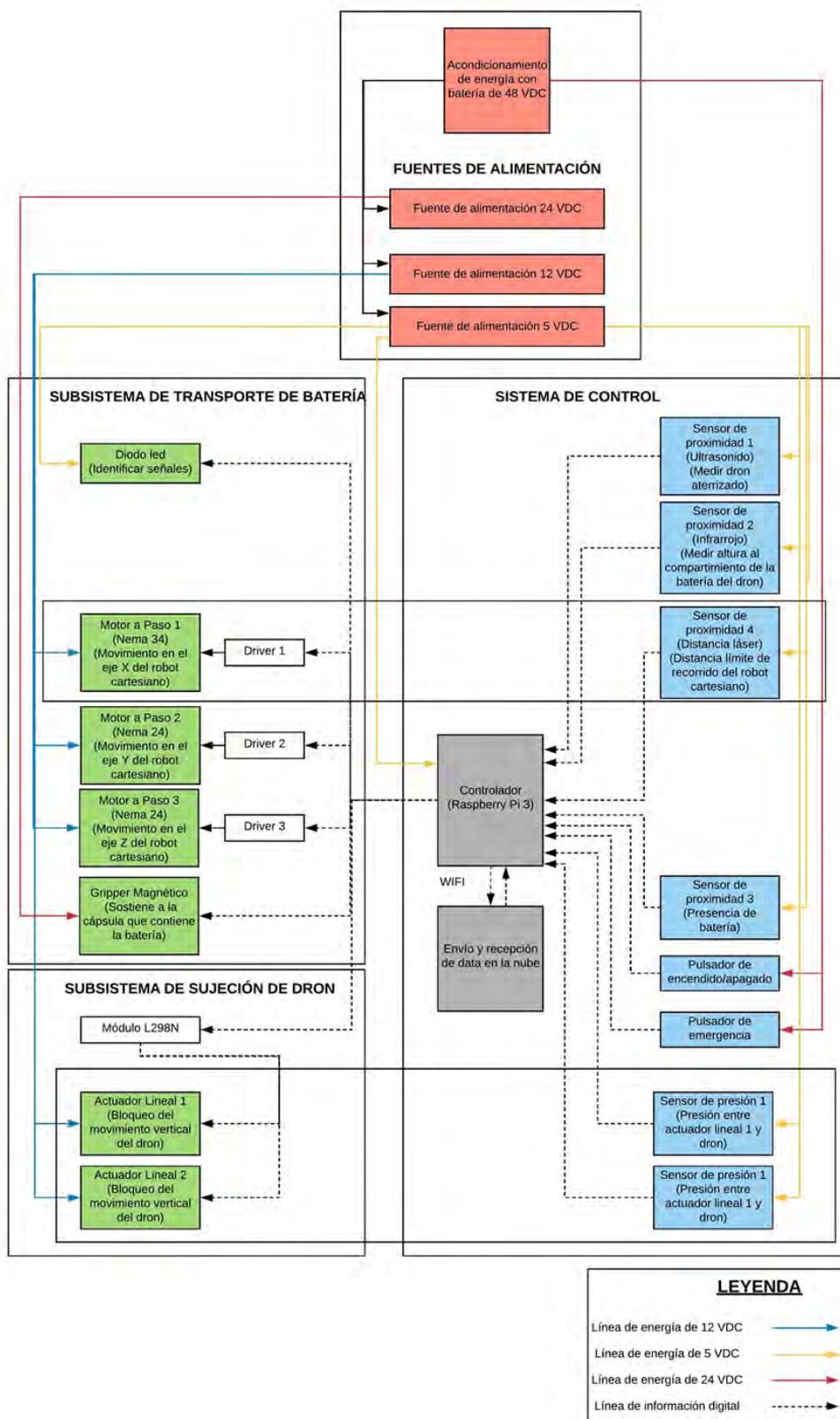


Figura B1

Detalle de fuente de alimentación

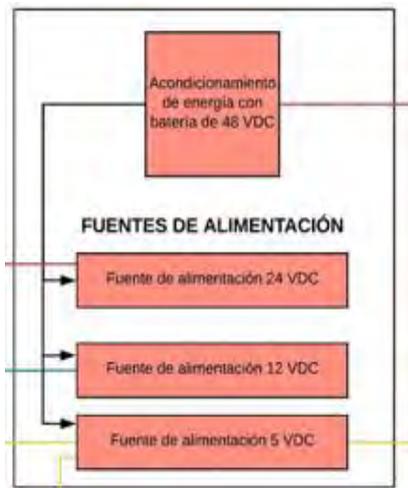


Figura B2

Acondicionamiento de energía con batería de 48 VDC: Batería encargada de proporcionar la energía necesaria a las fuentes para que el sistema funcione.

Fuente 24 VDC: Encargada de realizar la alimentación del gripper magnético.

Fuente 12 VDC: Encargada de realizar la alimentación de los motores a paso y de los actuadores lineales.

Fuente 5 VDC: Encargada de alimentar el controlador, los sensores y el diodo led.

Detalle de subsistema de sujeción

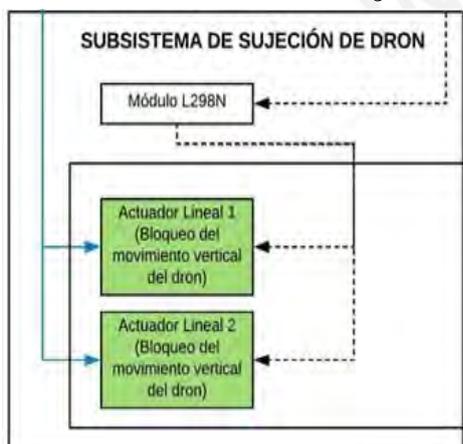


Figura B3

Módulo L298N: Encargado de realizar el control de los actuadores lineales ya que es un driver de motores.

Actuador lineal 1: Es el encargado de bloquear el movimiento del dron en una dirección.

Actuador lineal 2: Es el encargado de bloquear el movimiento del dron en la dirección perpendicular a la del primero. De esta forma se restringe el movimiento del dron en un plano.

Detalle de subsistema de transporte de batería

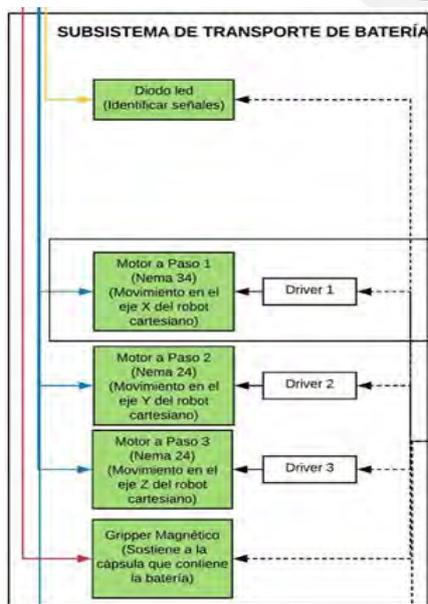


Figura B4

Diodo led: Es el encargado de mostrar los estados por los cuales se encuentra el sistema, es decir, si está en funcionamiento, si hay alguna falla o si está esperando algo.

Motor a paso 1: Es el encargado de proporcionar el movimiento en el eje "x" del sistema.

Motor a paso 2: Es el encargado de proporcionar el movimiento en el eje "y" del sistema.

Motor a paso 3: Es el encargado de proporcionar el movimiento en el eje "z" del sistema.

Gripper magnético: Es el encargado de realizar el transporte y sujeción de la batería.

Detalle de sistema de control

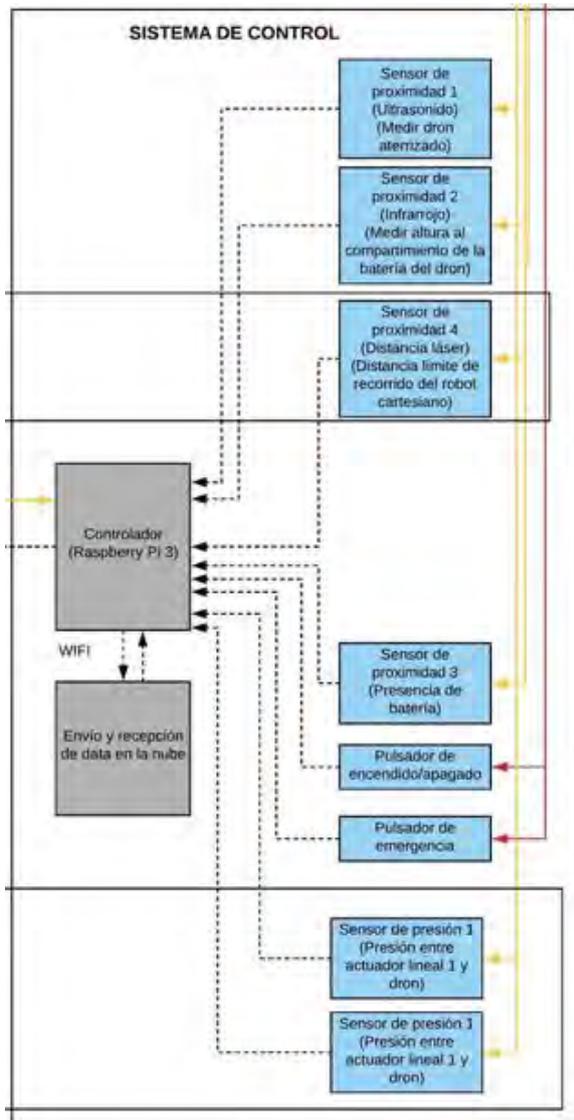


Figura B5

Sensor de proximidad 1: Mide la presencia del dron, es decir, si ha aterrizado o no.

Sensor de proximidad 2: Mide la altura a la que se encuentra el adaptador de batería del dron.

Sensor de proximidad 3: Para recoger una batería, es necesario medir la presencia de esta, es por eso que este sensor se encarga de esto.

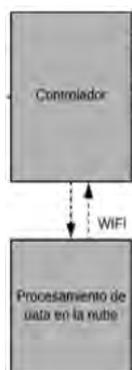
Sensor de proximidad 4: Mide la distancia que recorre el robot cartesiano, de esta forma, se estima su distancia máxima de recorrido para evitar colisiones.

Sensor de presión: Mide la presión ejercida del actuador lineal sobre el dron al momento de realizar la sujeción.

Pulsador de emergencia y botón on/off: Permite anular cualquier operación de la máquina y el botón on/off se encarga de prender o apagar el sistema.

Controlador: Encargado de realizar el control de todo el sistema mecatrónico.

Procesamiento en la nube: Servidor encargado de almacenar y enviar la data en tiempo real acerca del estado del sistema mecatrónico.



Detalle de procesamiento en la nube

El procesamiento en la nube se realizará en la nube de Amazon y tendrá una comunicación constante con el controlador para enviar información acerca del estado en el que se encuentra el sistema mecatrónico. Esto es muy importante ya que se debe resguardar el cuidado de las baterías y del dron al ser el sistema totalmente automático.

Figura B6

Anexo C: Diagramas de flujo del sistema

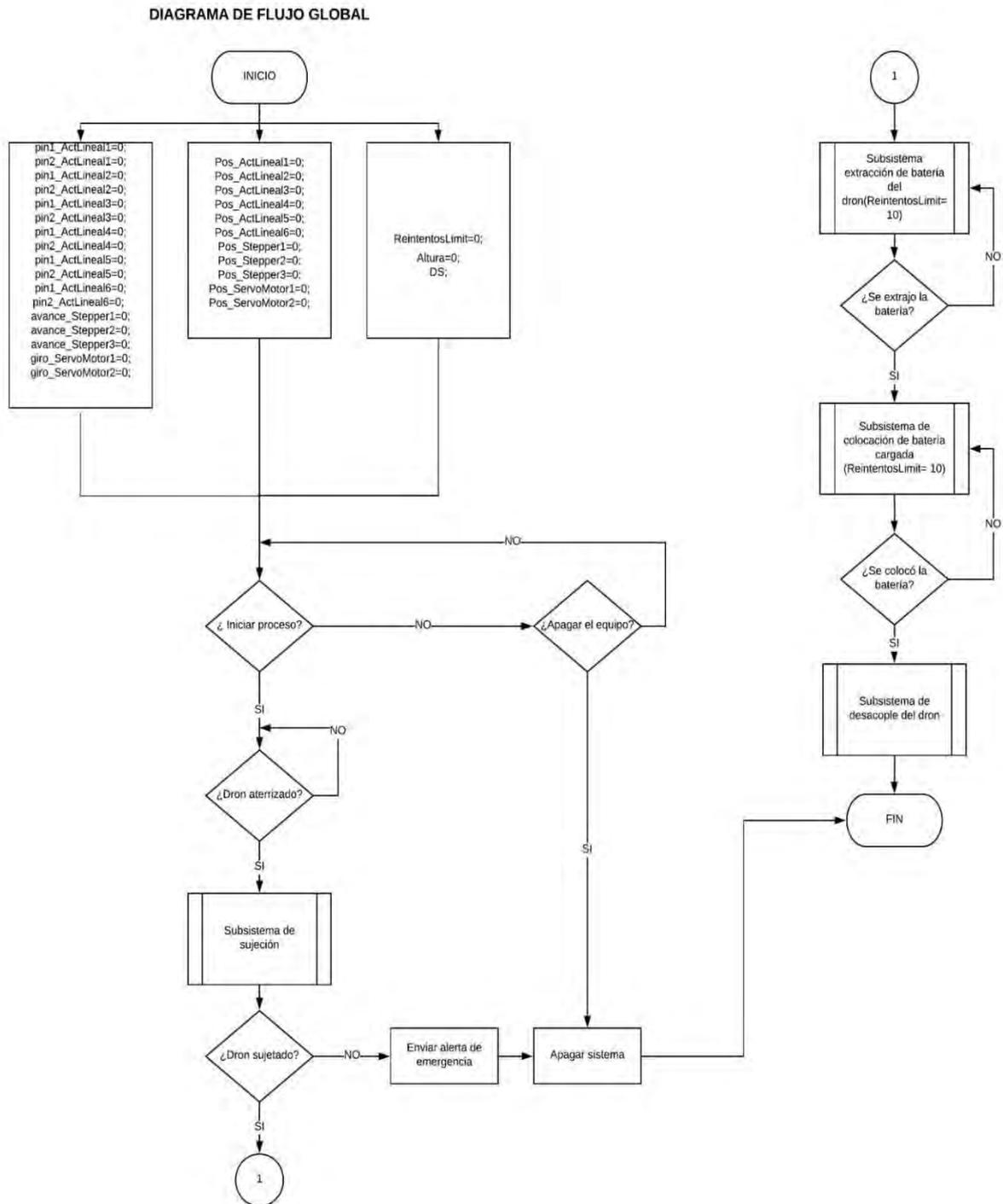


Figura C1

DIAGRAMA DE FLUJO DEL SUBSISTEMA DE EXTRACCIÓN DE BATERÍA DEL DRON

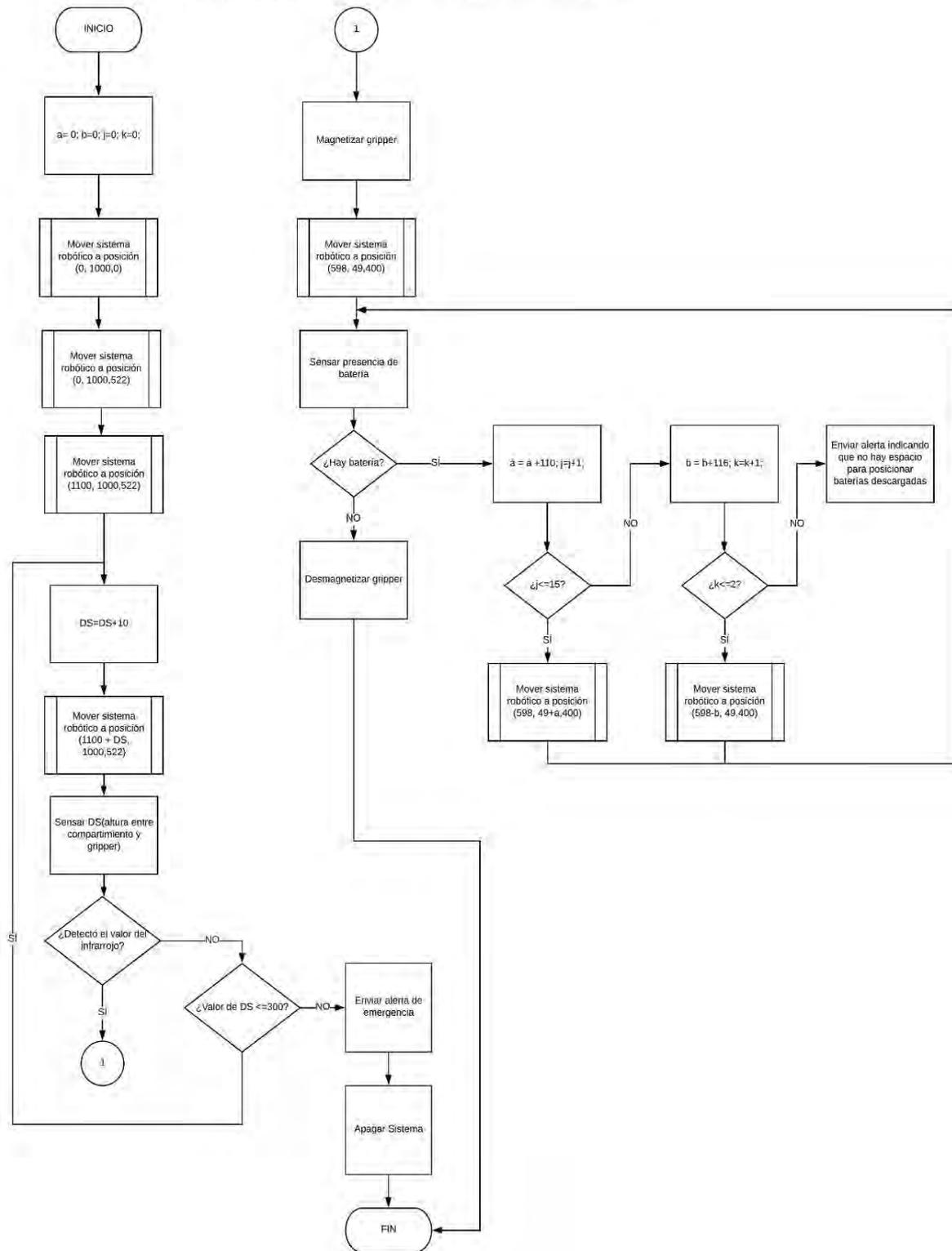


Figura C2

DIAGRAMA DE FLUJO DEL SUBSISTEMA DE COLOCACIÓN DE BATERÍA CARGADA

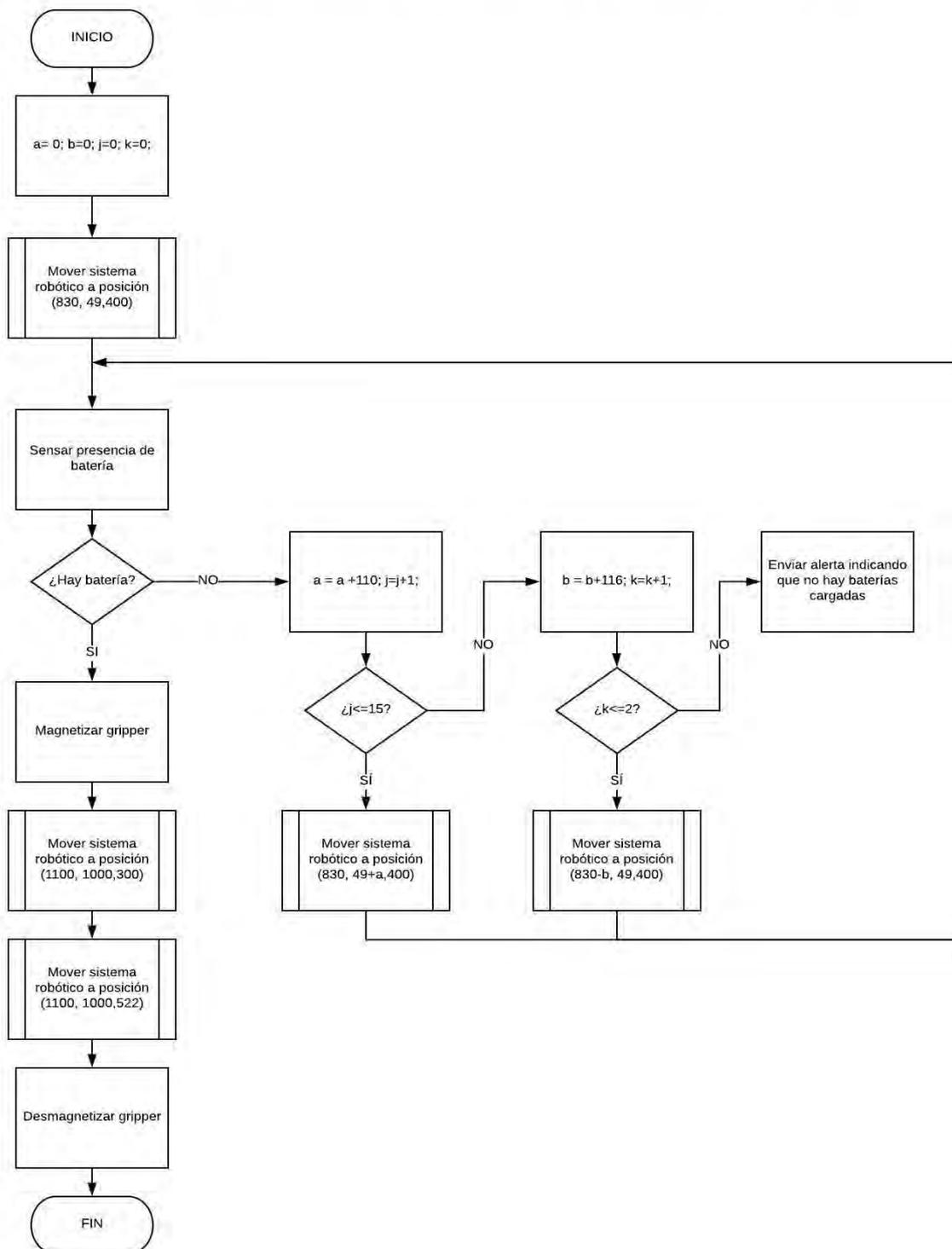


Figura C3

DIAGRAMA DE FLUJO PARA EL MOVIMIENTO Y CONTROL DE LOS MOTORES

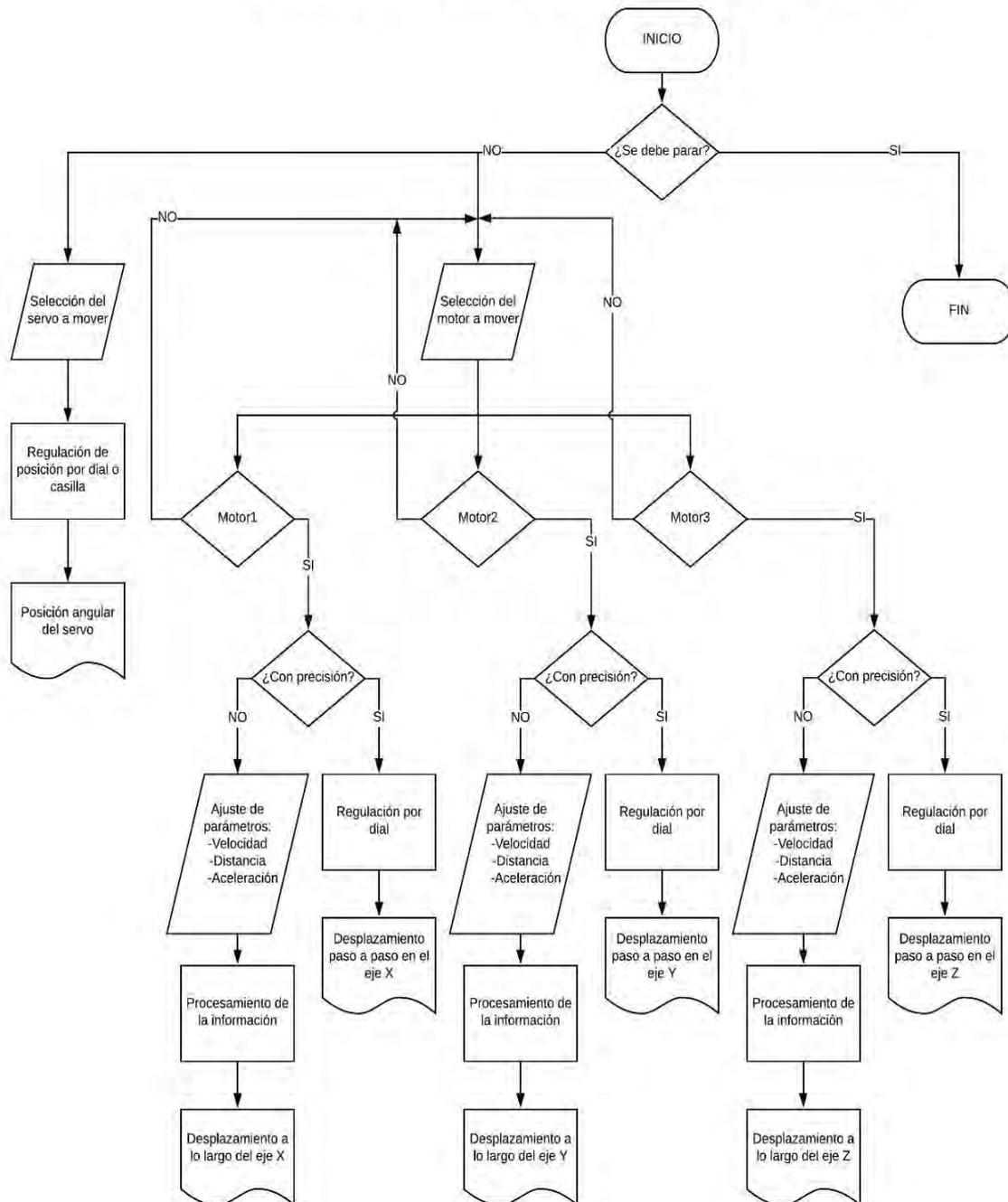


Figura C4

DIAGRAMA DEL SUBSISTEMA DE DESACOPLE DEL DRON

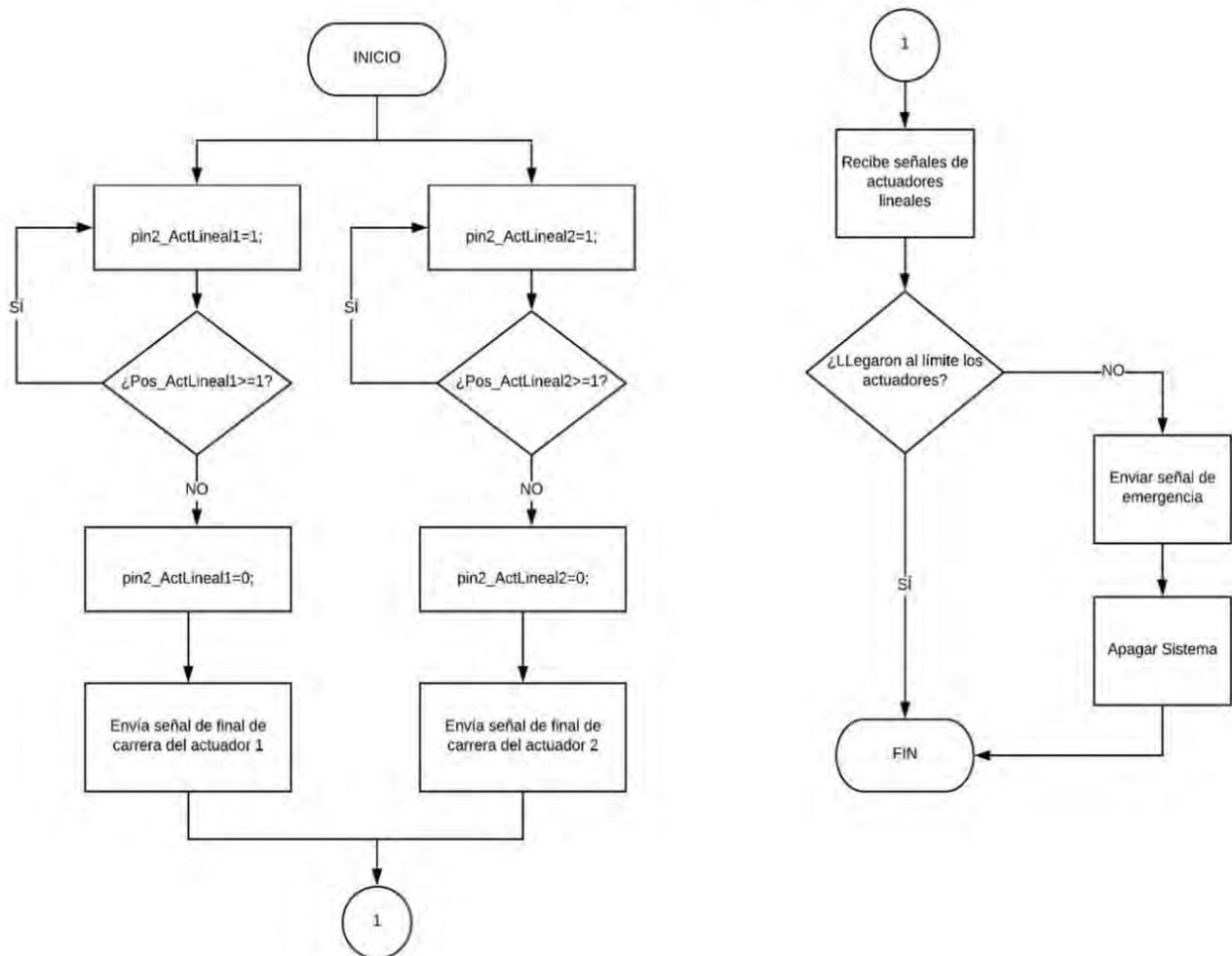


Figura C5

Anexo D: Diagrama de operaciones del sistema

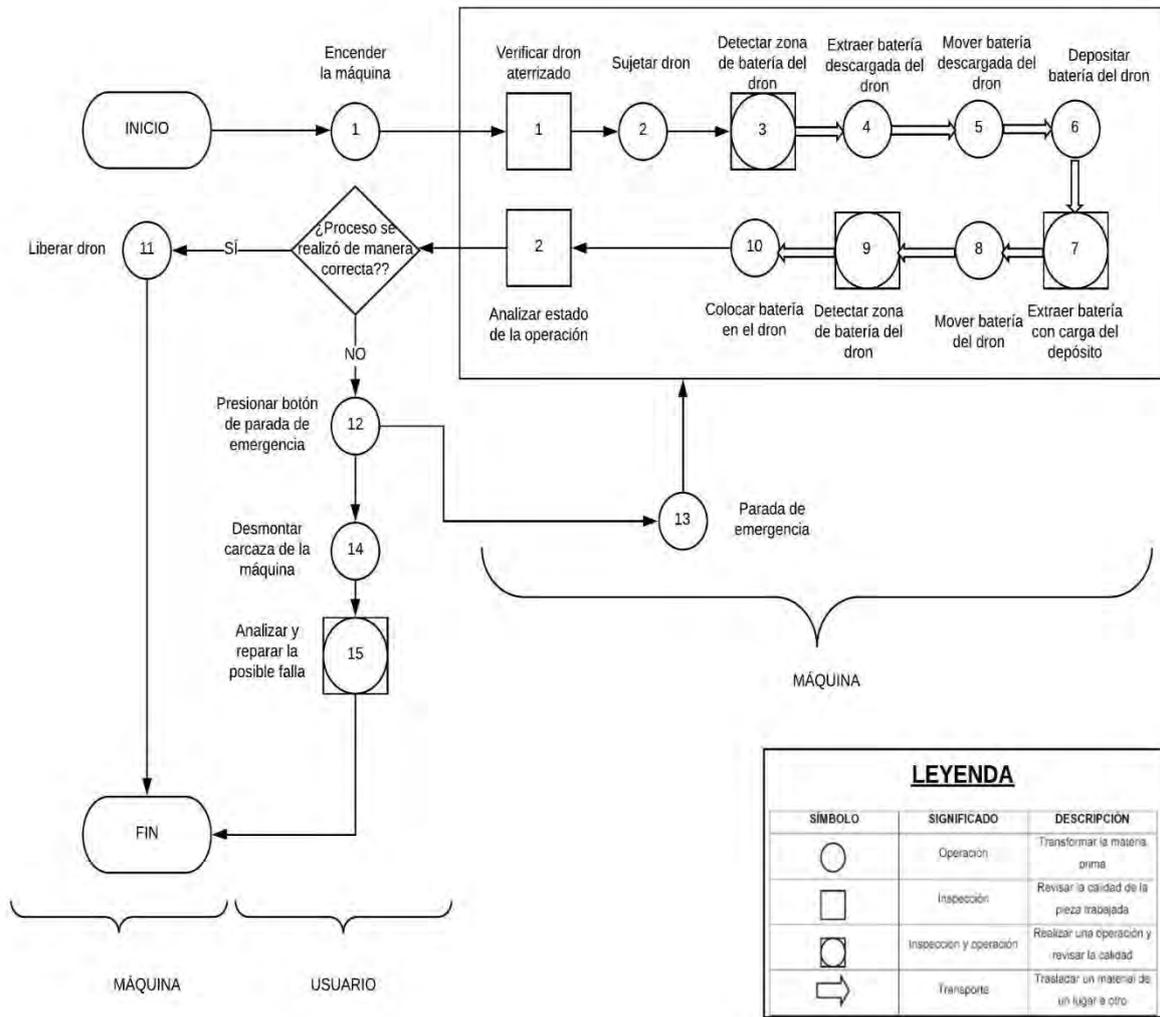


Figura D1

Detalle del diagrama de operaciones

Procesos realizados por el usuario



Encender la máquina: es el primer u operación que se requiere en el sistema.

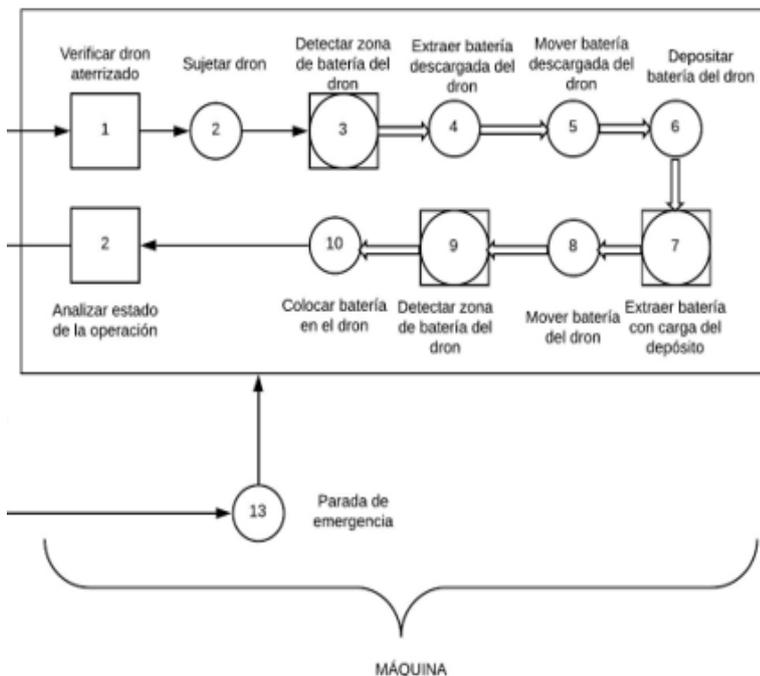
Presionar botón de parada de emergencia: en caso ocurra algún imprevisto y el sistema envía una alerta o algo no se haya ejecutado satisfactoriamente, se debe acudir a esta operación por parte del usuario.

Desmontar carcasa de la máquina: operación que consiste en remover la carcasa del sistema.

Analizar y reparar la posible falla: esto significa que en esta etapa ocurrirá una operación e inspección al mismo tiempo y esto es buscar la posible falla mientras se realiza alguna operación de desmontaje.

Figura D2

Procesos realizados por la máquina



Verificar dron aterrizado: hace referencia a realizar una inspección de que este proceso se ha realizado.

Sujetar dron: operación que se realiza por medio de actuadores lineales.

Detectar zona de batería del dron: operación e inspección que se realizan en paralelo para alinear al gripper magnético con el dron.

Extraer batería descargada del dron: operación que consiste en obtener la batería del dron por medio del magnetismo.

Mover batería descargada del dron: operación que consiste en movilizar la batería del dron por medio del robot cartesiano.

Figura D3

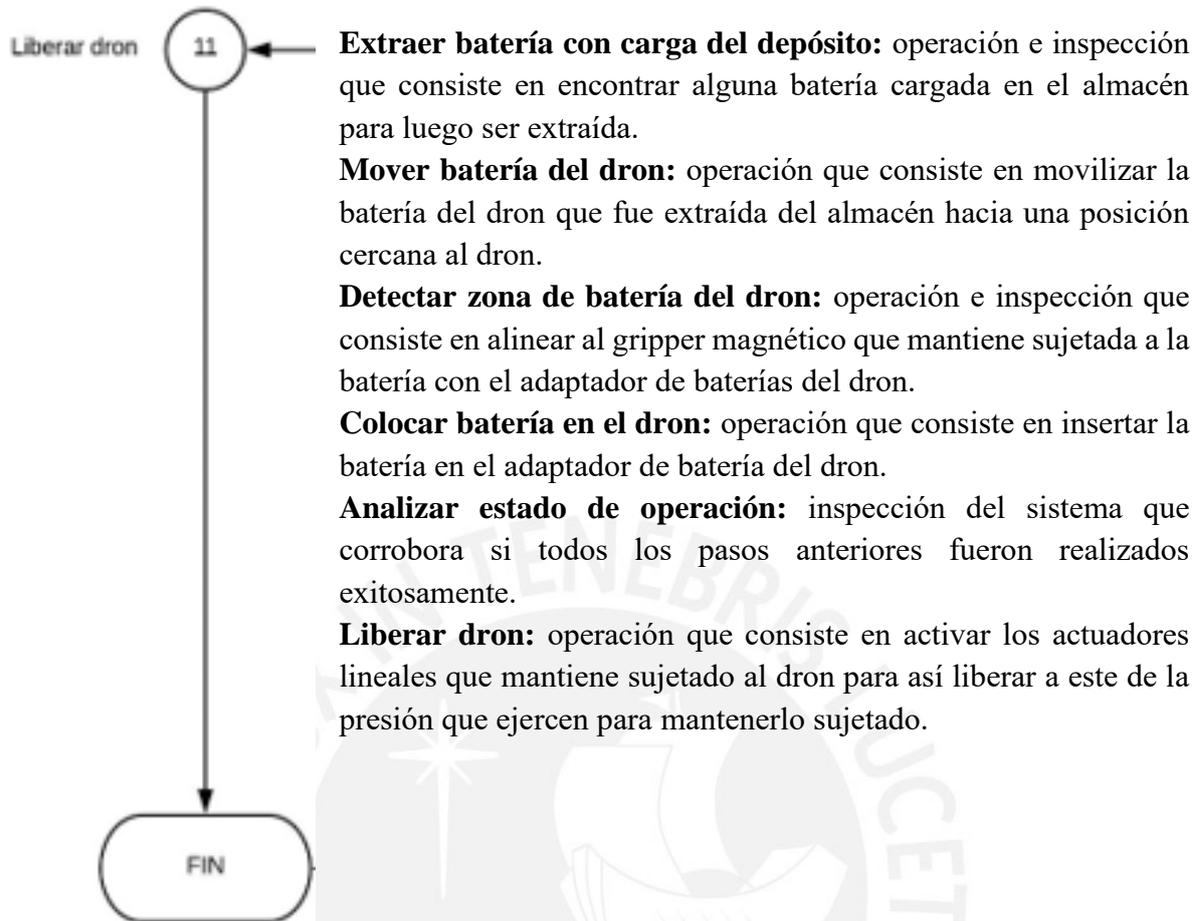
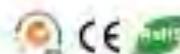


Figura D4

Anexo E



➤ Nema 34, 34H2A Stepper Motors (1.8 degree)



General specifications:

Step Accuracy	±5%
Resistance Accuracy	±10%
Inductance Accuracy	±20%
Temperature Rise	80°C MAX.
Ambient Temperature Range	-20°C ~ +50°C
Storage Temperature Range	-30°C ~ +80°C
Insulation Resistance	100M Ω MIN. 500V DC
Dielectric Strength	820VAC, 1s, 3mA
Radial Play	0.02mm MAX. (450g Load)
End Play	0.08mm MAX. (450g Load)
Max. radial force	220N
Max. axial force	60N

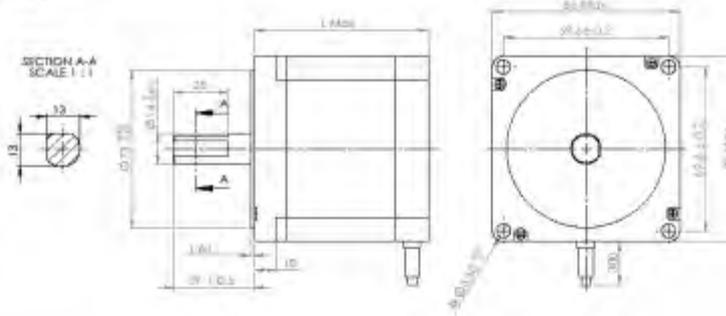
Electrical Specifications:

Series Model	Old PN	Motor Length (mm)	Rated Current (A)	Phase Resistance (ohm)	Phase Inductance (mH)	Holding Torque (N.m Min)		Detent Torque (N.cm Max)	Rotor Inertia (g.cm ²)	Lead Wire (No.)	Motor Weight (kg)
						Unipolar	Bipolar				
34H2A6840	34HS6801	66	4.0	0.6	1.6	2.2	3.1	5.5	850	8	2.0
34H2A8850	34HS8802	78	5.0	0.5	1.8	3.0	4.2	6.5	1050	8	2.0
34H2A9850	34HS9802	98	5.0	0.65	2.4	4.9	6.9	9.5	1550	8	3.0
34H2A4850	34HS4802	114	5.0	0.75	3.2	5.8	8.1	12.5	1800	8	4.0
34H2A2850	34HS2802	126	5.0	0.85	3.4	6.4	9.0	18.5	2200	8	4.5

Figura E1

Mechanical Dimensions:

Model	Length (mm)
34H2A6X	66
34H2A8X	78
34H2A9X	98
34H2A4X	114
34H2A2X	126



Wiring Diagram:



MATCHED WITH DRIVERS: **STP-048, STP-140**

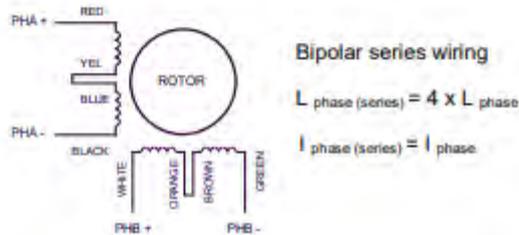
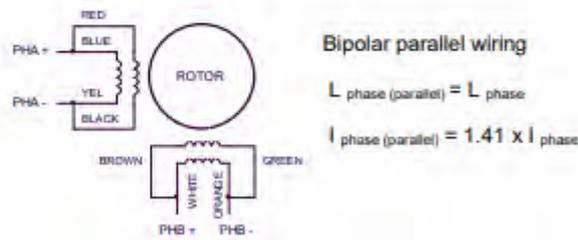


Figura E2

Anexo F

SONGLE RELAY

	RELAY ISO9002	SRD
---	---------------	------------



1. MAIN FEATURES

- Switching capacity available by 10A in spite of small size design for highdensity P.C. board mounting technique.
- UL,CUL,TUV recognized.
- Selection of plastic material for high temperature and better chemical solution performance.
- Sealed types available.
- Simple relay magnetic circuit to meet low cost of mass production.

2. APPLICATIONS

- Domestic appliance, office machine, audio, equipment, automobile, etc.
(Remote control TV receiver, monitor display, audio equipment high rushing current use application.)

3. ORDERING INFORMATION

SRD	XX VDC	S	L	C
Model of relay	Nominal coil voltage	Structure	Coil sensitivity	Contact form
SRD	03, 05, 06, 09, 12, 24, 48VDC	S:Sealed type	L:0.36W	A:1 form A
		F:Flux free type	D:0.45W	B:1 form B C:1 form C

4. RATING

CCC	FILE NUMBER:CH0052885-2000	7A/240VDC
CCC	FILE NUMBER:CH0036746-99	10A/250VDC
UL/CUL	FILE NUMBER: E167996	10A/125VAC 28VDC
TUV	FILE NUMBER: R9933789	10A/240VAC 28VDC

5. DIMENSION_(unit:mm) DRILLING_(unit:mm) WIRING DIAGRAM

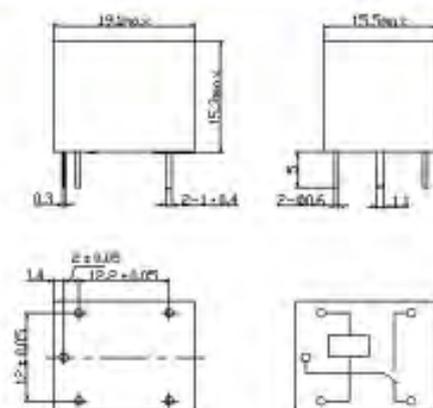


Figura F1

6. COIL DATA CHART (AT20°C)

Coil Sensitivity	Coil Voltage Code	Nominal Voltage (VDC)	Nominal Current (mA)	Coil Resistance (Ω) $\pm 10\%$	Power Consumption (W)	Pull-in Voltage (VDC)	Drop-Out Voltage (VDC)	Max-Allowable Voltage (VDC)
SRD (High Sensitivity)	03	03	120	25	abt. 0.36W	75%Max.	10% Min.	120%
	05	05	71.4	70				
	06	06	60	100				
	09	09	40	225				
	12	12	30	400				
	24	24	15	1600				
SRD (Standard)	03	03	150	20	abt. 0.45W	75% Max.	10% Min.	110%
	05	05	89.3	55				
	06	06	75	80				
	09	09	50	180				
	12	12	37.5	320				
	24	24	18.7	1280	abt. 0.51W			

7. CONTACT RATING

Item	Type	SRD	
		FORM C	FORM A
Contact Capacity		7A 28VDC	10A 28VDC
Resistive Load ($\cos\Phi=1$)		10A 125VAC	10A 240VAC
		7A 240VAC	
Inductive Load ($\cos\Phi=0.4$ L/R=7msec)		3A 120VAC	5A 120VAC
		3A 28VDC	5A 28VDC
Max. Allowable Voltage		250VAC/110VDC	250VAC/110VDC
Max. Allowable Power Force		800VAC/240W	1200VA/300W
Contact Material		AgCdO	AgCdO

8. PERFORMANCE (at initial value)

Item	Type	SRD
Contact Resistance		100m Ω Max.
Operation Time		10msec Max.
Release Time		5msec Max.
Dielectric Strength	Between coil & contact	1500VAC 50/60HZ (1 minute)
	Between contacts	1000VAC 50/60HZ (1 minute)
Insulation Resistance		100 M Ω Min. (500VDC)
Max. ON/OFF Switching	Mechanically	300 operation/min
	Electrically	30 operation/min
Ambient Temperature		-25°C to +70°C
Operating Humidity		45 to 85% RH
Vibration	Endurance	10 to 55Hz Double Amplitude 1.5mm
	Error Operation	10 to 55Hz Double Amplitude 1.5mm
Shock	Endurance	100G Min.
	Error Operation	10G Min.
Life Expectancy	Mechanically	10 ⁷ operations. Min. (no load)
	Electrically	10 ⁵ operations. Min. (at rated coil voltage)
Weight		abt. 10grs.

9. REFERENCE DATA

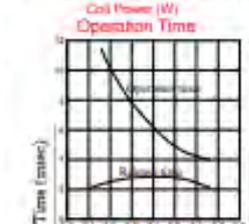
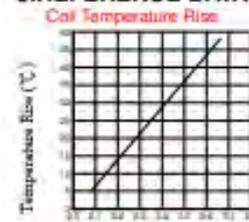


Figura F2

Anexo G

www.DFRobot.com

TB6600 Stepper Motor Driver User Guide

Figura G1

1. Introduction

This is a professional two-phase stepper motor driver. It supports speed and direction control. You can set its micro step and output current with 6 DIP switch. There are 7 kinds of micro steps (1, 2 / A, 2 / B, 4, 8, 16, 32) and 8 kinds of current control (0.5A, 1A, 1.5A, 2A, 2.5A, 2.8A, 3.0A, 3.5A) in all. And all signal terminals adopt high-speed optocoupler isolation, enhancing its anti-high-frequency interference ability.

Features:

- ※ Support 8 kinds of current control
- ※ Support 7 kinds of micro steps adjustable
- ※ The interfaces adopt high-speed optocoupler isolation
- ※ Automatic semi-flow to reduce heat
- ※ Large area heat sink
- ※ Anti-high-frequency interference ability
- ※ Input anti-reverse protection
- ※ Overheat, over current and short circuit protection

Electrical Specification:

Input Current	0~5.0A
Output Current	0.5-4.0A
Power (MAX)	160W
Micro Step	1, 2/A, 2/B, 4, 8, 16, 32
Temperature	-10 ~ 45°C
Humidity	No Condensation
Weight	0.2 kg
Dimension	96*56*33 mm

Figura G2

INPUT & OUTPUT:

- **Signal Input:**

PUL+	Pulse +
PUL-	Pulse -
DIR+	Direction +
DIR-	Direction -
EN+	Off-line Control Enable +
EN-	Off-line Control Enable -

- **Motor Machine Winding:**

A+	Stepper motor A+
A-	Stepper motor A-
B+	Stepper motor B+
B-	Stepper motor B-

- **Power Supply:**

VCC	VCC (DC9-42V)
GND	GND

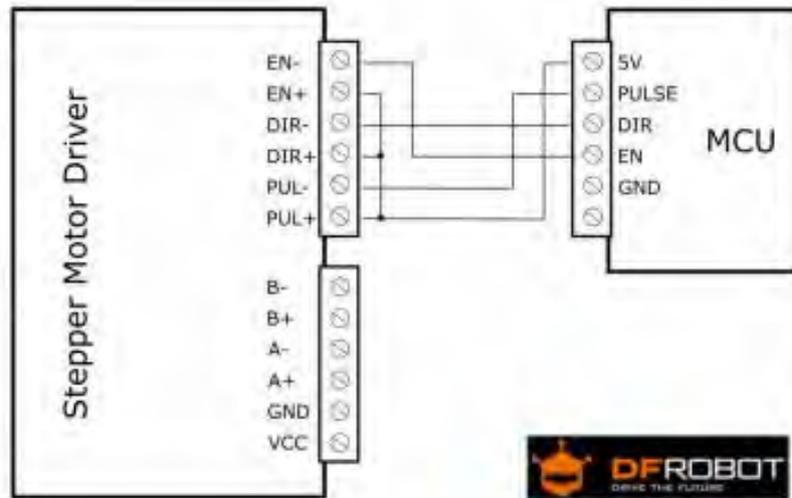
- **Wiring instructions**

There are three input signals in all: ① Step pulse signal PUL +, PUL-; ② Direction signal DIR +, DIR-; ③ off-line signal EN +, EN-. The driver supports common-cathode and common-anode circuit, you can select one according to your demand.

Common-Anode Connection:

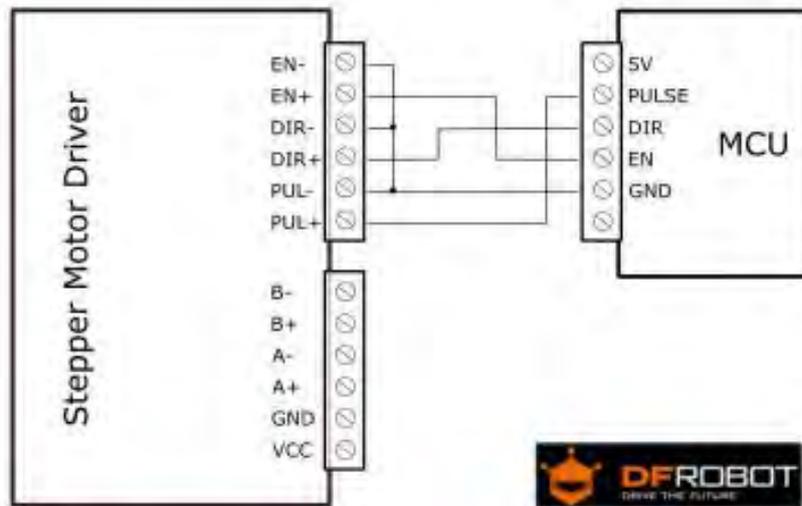
Connect PUL +, DIR + and EN + to the power supply of the control system. If the power supply is + 5V, it can be directly connected. If the power supply is more than + 5V, the current limiting resistor R must be added externally. To ensure that the controller pin can output 8 ~ 15mA current to drive the internal optocoupler chip. Pulse signal connects to PUL-; direction signal connects to Dir- ; Enable signal connects to EN-. As shown below:

Figura G3



Common-Cathode Connection:

Connect PUL -, DIR - and EN - to the ground terminal of the control system. Pulse signal connects to PUL-; direction signal connects to Dir- ; Enable signal connects to EN-. As shown below:



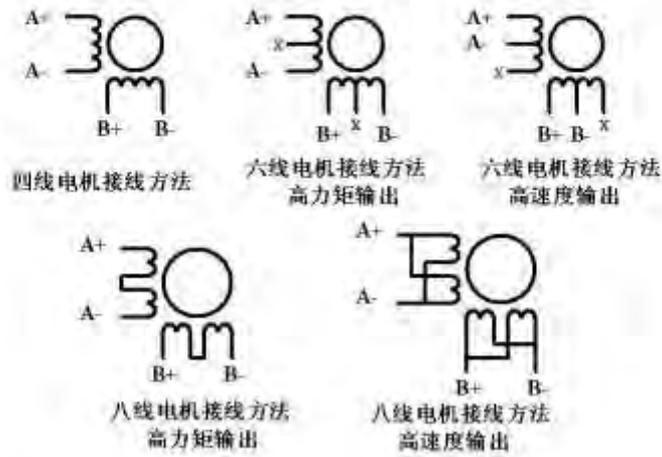
Note: When "EN" is in the valid state, the motor is in a free states (Off-line mode). In this mode, you can adjust the motor shaft position manually. When "EN" is in the invalid state, the motor will be in an automatic control mode.

www.DFRobot.com.cn

Figura G4

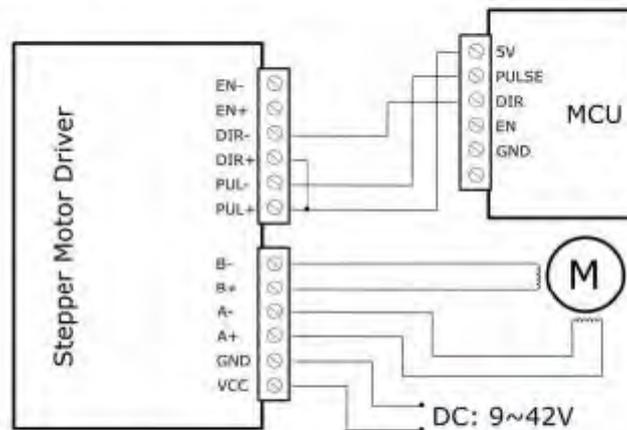
2. Stepper Motor Wiring:

Two-phase 4-wire, 6-wire, 8-wire motor wiring, as shown below:



3. Microcontroller Connection Diagram:

This is an example for the common-anode connection. ("EN" not connected)



Note: Please cut off the power when you connect the system, and ensure the power polar is correct. Or it will damage the controller.

Figura G5

4. DIP Switch

Micro Step Setting

The follow tablet shows the driver Micro step. You can set the motor micro step via the first three DIP switch.

Step Angle = Motor Step Angle / Micro Step

E.g. An stepper motor with 1.8° step angle , the finial step angle under "Micro step 4" will be $1.8^\circ/4=0.45^\circ$

Micro Step	Pulse/Rev	S1	S2	S3
NC	NC	ON	ON	ON
1	200	ON	ON	OFF
2/A	400	ON	OFF	ON
2/B	400	OFF	ON	ON
4	800	ON	OFF	OFF
8	1600	OFF	ON	OFF
16	3200	OFF	OFF	ON
32	6400	OFF	OFF	OFF

Current Control Setting

Current (A)	S4	S5	S6
0.5	ON	ON	ON
1.0	ON	OFF	ON
1.5	ON	ON	OFF
2.0	ON	OFF	OFF
2.5	OFF	ON	ON
2.8	OFF	OFF	ON
3.0	OFF	ON	OFF
3.5	OFF	OFF	OFF

Figura G6

Anexo H

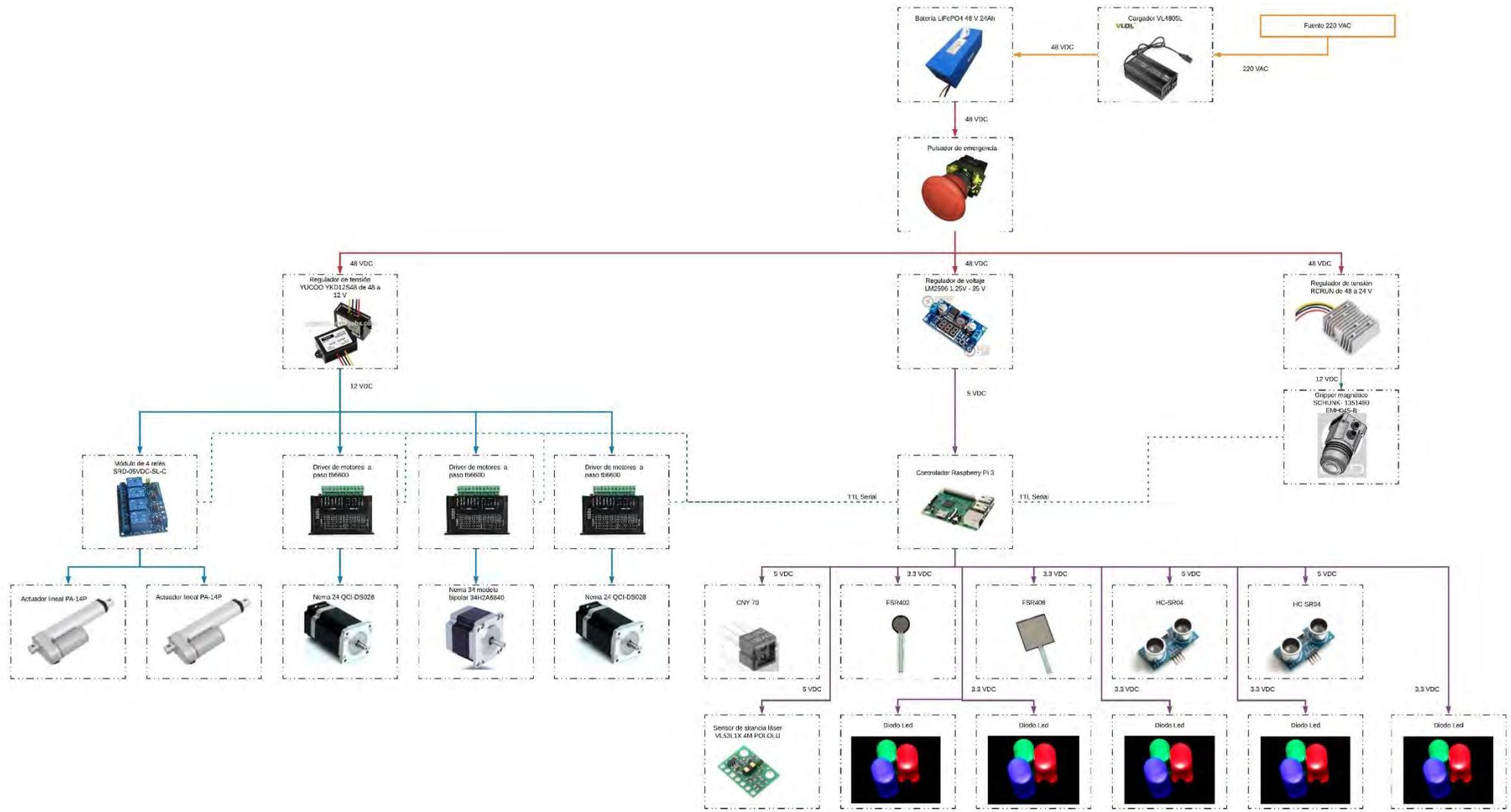


Figura H1

