

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

Facultad de Ciencias e Ingeniería



**DISEÑO DE UN VEHÍCULO AÉREO-TERRESTRE NO TRIPULADO
CON AUTONOMÍA DE FUNCIONAMIENTO DE LARGA DURACIÓN
ORIENTADO A OPERACIONES DE BÚSQUEDA Y RESCATE**

Tesis para optar el Título profesional de **Ingeniero Mecatrónico**

AUTOR: Brian Ernesto Mori Virhuez

ASESORA: Mónica Lucía Abarca Abarca

Lima, febrero del 2020

RESUMEN

Las labores de búsqueda de rescate en diferentes zonas del Perú se dificultan generalmente por las diferentes condiciones meteorológicas y geográficas las cuales complican el acceso a diversos lugares. En la actualidad, se pueden encontrar diferentes soluciones a este problema, como los drones aéreos y terrestres; sin embargo, ambas opciones presentan diversas vulnerabilidades a los factores ambientales. Además, ambos tienen como limitaciones la duración de funcionamiento y el alcance de exploración.

La presente tesis se centra en el diseño y dimensionamiento de un vehículo no tripulado en la función de rescate y exploración en lugares que son de difícil acceso, por esta razón, podrá facilitar y aumentar la efectividad de las organizaciones que se encargan de las labores de búsqueda y salvamento. Se busca que este sistema tenga un tiempo de funcionamiento de larga duración, es decir, que sea mayor a 30 minutos que es el tiempo promedio de marcha de los drones del mercado. Así también, se propone que pueda desplazarse por aire y por tierra para extender el espacio de búsqueda, que cuente con el menor peso posible sin afectar la resistencia y estabilidad del vehículo, además, que soporte variados fenómenos atmosféricos como vientos, lluvias o granizadas.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a Dios por el día a día. En segundo lugar, a mi asesora, profesores y amigos que han sido un apoyo fundamental para lograr este objetivo. En tercer lugar, a mis padres y familiares, en especial a mi papito Ricardo Virhuez y mamita Cirena Villafane quienes son un eterno ejemplo de vida, dedicación, sacrificio y amor. Finalmente, a Mariela Fuentes por su compañía y apoyo incondicional.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	i
ÍNDICE DE CONTENIDO	iii
ÍNDICE DE TABLAS	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	xiv
INTRODUCCIÓN	1
I. ANTECEDENTES	5
1.1 Estado de la tecnología – sistemas integrados	5
1.2 Estado de la tecnología - componentes	13
II. DEFINICIÓN DEL DISEÑO MECATRÓNICO	16
2.1 Requerimientos del sistema mecatrónico.....	16
2.2 Estructura de funciones.....	18
2.3 Concepto de la solución óptima	19
III. DESARROLLO DEL DISEÑO MECATRÓNICO	23
3.1 Modelo integrado del vehículo aéreo – terrestre.....	23
3.2 Diagrama de bloques del sistema mecatrónico	29
3.3 Sistema de control de vuelo	30
3.4 Sistema de control terrestre.....	48
3.5 Sistema de encendido y alimentación	53
3.6 Sistema de transmisión de video en tiempo real	66
3.7 Dispositivo de control general	67
3.8 Partes de la estructura del sistema mecatrónico.....	68

3.9	Diagramas esquemáticos del sistema mecatrónico	96
3.10	Diagramas de flujo del sistema mecatrónico	104
IV. ANÁLISIS DE COSTOS.....		112
CONCLUSIONES		118
RECOMENDACIONES.....		120
BIBLIOGRAFÍA		121
ANEXO A: Requerimientos del sistema		
ANEXO B: Estructura de funciones		
ANEXO C: Estructura de funciones según Breiing – Fleming		
ANEXO D: Matriz integrada		
ANEXO E: Conceptos integrados de solución		
ANEXO F: Evaluación de conceptos de solución		
ANEXO G: Diagramas esquemáticos del Pixhawk y del Arduino UNO		
ANEXO H: Especificaciones técnicas		
ANEXO I: Cotizaciones de impresiones y manufactura en 3D		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Cuadro de características técnicas de vehículos no tripulados actuales	11
Tabla 1.2: Cuadro de componentes y dispositivos.....	13
Tabla 3.1: Movimientos Yaw, Roll, Pitch y Throttle	25
Tabla 3.2: Movimiento de los rotores para desplazamiento aéreo.....	26
Tabla 3.3: Movimientos frontal, posterior, giro sentido horario y antihorario	27
Tabla 3.4: Requerimientos controlador de vuelo	30
Tabla 3.5: Características del Pixhawk.....	30
Tabla 3.6: Requerimientos del motor brushless	31
Tabla 3.7: Características del KDE5215XF-435	31
Tabla 3.8: Requerimientos del controlador del motor brushless	32
Tabla 3.9: Características del KDEXF-UAS95HVC.....	33
Tabla 3.10: Requerimientos del buzzer	33
Tabla 3.11: Características del Buzzer.....	33
Tabla 3.12: Características del 3DR uBlox GPS with Compass Kit	34
Tabla 3.13: Requerimientos del sensor de combustible	34
Tabla 3.14: Características del Epsilon ES.....	35
Tabla 3.15: Peso de los ítems que soporta el servomotor.....	36
Tabla 3.16: Requerimientos del servomotor	47
Tabla 3.17: Características del servomotor.....	47
Tabla 3.18: Cálculos del servomotor para carga extra	48
Tabla 3.19: Requerimientos controlador de terrestre.....	48
Tabla 3.20: Características del Arduino UNO.....	48
Tabla 3.21: Requerimientos del controlador del motor DC	49
Tabla 3.22: Características del L298N.....	49

Tabla 3.23: Requerimientos del motor DC.....	52
Tabla 3.24: Características del motor DC.....	52
Tabla 3.25: Ángulos de inclinación de acuerdo con la carga del vehículo.....	52
Tabla 3.26: Requerimientos del sensor ultrasonido	53
Tabla 3.27: Características del MB1240 XL-MaxSonar	53
Tabla 3.28: Requerimientos del iniciador eléctrico de motor	53
Tabla 3.29: Características del DLE-30.....	54
Tabla 3.30: Consumos específicos de distintos tipos de motor	55
Tabla 3.31: Resultado de valores de consumo másico y consumo por hora.....	56
Tabla 3.32: Resultado de valores del factor de potencia en función a la altitud.....	58
Tabla 3.33: Requerimientos del alternador	59
Tabla 3.34: Características del 4Si-50 Compact lightweight Alternator	60
Tabla 3.35: Dispositivos que alimentan el alternador.....	60
Tabla 3.36: Requerimientos del cargador de batería	61
Tabla 3.37: Características del icharger 4010 Duo	61
Tabla 3.38: Datos de prueba de rendimiento del motor KDE5215XF-435	62
Tabla 3.39: Requerimientos de la batería	63
Tabla 3.40: Características de batería Multistar	63
Tabla 3.41: Características del Boscam 5.8 Ghz FPV System	66
Tabla 3.42: Características del Lilliput 339DW	66
Tabla 3.43: Estimación del diámetro nominal del tornillo	71
Tabla 3.44: Medidas de tornillos hexagonales según DIN 931	71
Tabla 3.45: Medidas de tornillos hexagonales según DIN 931	71
Tabla 3.46: FM y momento de ajuste para tornillos normales con rosca normal.....	72
Tabla 3.47: Valores de sección de tensión y raíz, resistencia a fluencia F0.2.....	72

Tabla 3.48: Velocidad a vencer con pesos de 25kg, 30 kg y 35 kg	96
Tabla 4.1: Análisis de costos de los componentes mecánicos	112
Tabla 4.2: Análisis de costos de los componentes eléctricos-electrónicos	113
Tabla 4.3: Análisis de costos de los componentes de control	114
Tabla 4.4: Análisis de costos de impresión 3D y manufactura del vehículo	115
Tabla 4.5: Análisis de costos de ingeniería.....	116
Tabla 4.6: Costos totales	116

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Recon Scout XT	6
Figura 1.2: Jumping Sumo.....	6
Figura 1.3: Nerva LG.....	7
Figura 1.4: Summit - XL.....	7
Figura 1.5: Aerohybrix.....	8
Figura 1.6: Airborg TM H8 10K.....	8
Figura 1.7: Hybrix-20	9
Figura 1.8: Navig 8.....	9
Figura 1.9: SKYF.....	9
Figura 1.10: B-Unstoppable.....	10
Figura 1.11: Rolling Spider.....	10
Figura 1.12: SY X25	11
Figura 1.13: Motor AC	13
Figura 1.14: Motor DC	13
Figura 1.15: Motor brushless	13
Figura 1.16: Servomotor	13
Figura 1.17: Motor paso a paso	13
Figura 1.18: Motor de 2 tiempos.....	14
Figura 1.19: Motor de 4 tiempos.....	14
Figura 1.20: Motor rotatorio	14
Figura 1.21: Batería de plomo	14
Figura 1.22: Batería de iones de litio.....	14
Figura 1.23: Batería de níquel hidruro.....	14
Figura 1.24: Batería de polímero de litio.....	14

Figura 1.25: Sensor capacitivo.....	15
Figura 1.26: Sensor ultrasonido	15
Figura 1.27: Sensor infrarrojo.....	15
Figura 1.28: Sensor láser.....	15
Figura 1.29: Pixhawk.....	15
Figura 1.30: Multi wii.....	15
Figura 1.31: Ardupilot	15
Figura 1.32: Naza MV2	15
Figura 2.1: Caja Negra.....	19
Figura 2.2: Concepto de solución óptima	22
Figura 3.1 Vehículo aéreo - terrestre	24
Figura 3.2: Dirección de rotación de motores del hexacóptero	24
Figura 3.3: Yaw	25
Figura 3.4: Roll.....	25
Figura 3.5: Pitch.....	25
Figura 3.6: Throttle	25
Figura 3.7: Posicionamiento de las ruedas del vehículo en modo terrestre	26
Figura 3.8: Frontal	27
Figura 3.9: Posterior.....	27
Figura 3.10: Giro sentido horario.....	27
Figura 3.11: Giro sentido antihorario.....	27
Figura 3.12: Imágenes de secuencia de funcionamiento	28
Figura 3.13: Diagrama de bloques del sistema	29
Figura 3.14: Pixhawk.....	30
Figura 3.15: Empuje vs rendimiento.....	32

Figura 3.16: KDE5215XF-435	32
Figura 3.17: KDEXF-UAS95HVC	33
Figura 3.18: Buzzer.....	34
Figura 3.19: 3DR uBlox GPS with Compass Kit	34
Figura 3.20: Epsilon ES	35
Figura 3.21: Conversor de RS232 a TTL.....	35
Figura 3.22: Diagrama de fuerzas del vehículo en modo aéreo 1	36
Figura 3.23: Diagrama de fuerzas del brazo completo en modo aéreo estático 1	37
Figura 3.24: Diagrama de fuerzas del brazo corto en modo aéreo estático 1	38
Figura 3.25: Diagrama de fuerzas del vehículo en modo aéreo 2	39
Figura 3.26: Diagrama de fuerzas del brazo completo en modo aéreo estático 2	39
Figura 3.27: Diagrama de fuerzas del brazo corto en modo aéreo estático 2	40
Figura 3.28: Diagrama de fuerzas del vehículo en modo terrestre	41
Figura 3.29: Diagrama de fuerzas del brazo completo en modo terrestre estático	42
Figura 3.30: Diagrama de fuerzas del brazo corto en modo terrestre estático	43
Figura 3.31: Diagrama de fuerzas y perfil del brazo aéreo a terrestre	44
Figura 3.32: Cambio de modo aéreo a Terrestre (Torque vs Angulo).....	45
Figura 3.33: Diagrama de fuerzas y perfil del brazo terrestre a aéreo	45
Figura 3.34: Cambio de modo terrestre a aéreo (Torque vs Angulo).....	46
Figura 3.35: ABRS-531HTG+Full HV	47
Figura 3.36: Arduino UNO	49
Figura 3.37: L298N.....	49
Figura 3.38: DCL del móvil	50
Figura 3.39: Motor DC	52
Figura 3.40: MB1240 XL-MaxSonar	53

Figura 3.41: Iniciador eléctrico.....	54
Figura 3.42: DLE-30.....	54
Figura 3.43: Consumo específico vs consumo por hora.....	56
Figura 3.44: Factor de potencia vs altura geopotencial z.....	59
Figura 3.45: 4Si-50 Compact lightweight Alternator.....	60
Figura 3.46: Cargador icharger 4010 Duo.....	61
Figura 3.47: Batería Multistar 8S.....	63
Figura 3.48: Boscam 5.8 GHz FPV System.....	66
Figura 3.49: Lilliput 339DW.....	66
Figura 3.50: FrSky 2.4 GHz ACCST TARANIS X9D.....	67
Figura 3.51: Indicación de canales usados y señales que envía el FrSky.....	67
Figura 3.52: Rueda.....	68
Figura 3.53: Dimensiones de las ruedas laterales.....	68
Figura 3.54: Soporte de la rueda.....	69
Figura 3.55: Acople de la rueda.....	69
Figura 3.56: Soporte del motor DC.....	70
Figura 3.57: DCL del soporte del motor DC.....	70
Figura 3.58: Valores DA, dk del tornillo.....	73
Figura 3.59: Condiciones de DA y dk del tornillo.....	74
Figura 3.60: Resultado esfuerzo de Von Mises (izquierda) y desplazamiento (derecha).....	77
Figura 3.61: Bocina.....	77
Figura 3.62: Soporte del servomotor.....	77
Figura 3.63: Pin.....	78
Figura 3.64: Soporte del motor de combustión.....	78
Figura 3.65: DCL del soporte motor brushless.....	79

Figura 3.66: DCL del brazo del soporte motor brushless	79
Figura 3.67: Perfil del soporte del brazo del soporte motor brushless.....	80
Figura 3.68: Resultado desplazamiento (superior) y esfuerzo de Von Mises (inferior).....	80
Figura 3.69: Soporte de la cámara	81
Figura 3.70: Goma antivibración	81
Figura 3.71: Soporte de componentes electrónicos	82
Figura 3.72: Soporte de tanque de combustible.....	82
Figura 3.73: Carcasa	82
Figura 3.74: Unión de los brazos 1 y 2	83
Figura 3.75: Sistema de suspensión.....	83
Figura 3.76: DCL del brazo modo aéreo	84
Figura 3.77: DCL del perfil del brazo modo aéreo.....	85
Figura 3.78: Perfil del brazo modo aéreo.....	85
Figura 3.79: Resultado desplazamiento (superior) y esfuerzo de Von Mises (inferior).....	86
Figura 3.80: DCL del brazo modo terrestre	86
Figura 3.81: DCL del perfil del brazo modo terrestre	87
Figura 3.82: Perfil del brazo modo terrestre	87
Figura 3.83: Resultado desplazamiento (superior) y esfuerzo de Von Mises (inferior).....	88
Figura 3.84: Base inferior	88
Figura 3.85: Análisis de la base del motor DLE-30 sin goma antivibración	90
Figura 3.86: Análisis de la base del motor DLE-30 con goma antivibración.....	90
Figura 3.87: Base superior	91
Figura 3.88: Cubierta	91
Figura 3.89: Vehículo aéreo-terrestre	92
Figura 3.90: DCL del vehículo para el análisis aerodinámico.....	93

Figura 3.91: Simulación del diseño con viento en contra de velocidad mínima 11 m/s	94
Figura 3.92: Área frontal al flujo	95
Figura 3.93: Proyección del área a plano normal al flujo	95
Figura 3.94: Esquemático del controlador L298N.....	97
Figura 3.95: Esquemático del <i>Power Distribution Board</i>	99
Figura 3.96: Esquemático del <i>Power Module</i>	100
Figura 3.97: Esquemático general.....	103
Figura 3.98: Diagrama de flujo general del sistema	104
Figura 3.99: Diagrama del encendido del sistema	105
Figura 3.100: Diagrama del desplazamiento terrestre	106
Figura 3.101: Diagrama de cambio de modo terrestre a modo aéreo	107
Figura 3.102: Diagrama del desplazamiento aéreo.....	108
Figura 3.103: Diagrama de cambio de modo aéreo a modo terrestre	109
Figura 3.104: Diagrama de los sonar A	110
Figura 3.105: Diagrama de los sonar B	110
Figura 3.106: Diagrama del apagado del sistema	111

GLOSARIO DE TÉRMINOS

A	: Amper (Amperio)
ADC	: Analogical Digital Convertion (Conversión Analógica Digital)
APM	: Autopilot Module (Modulo Autopiloto)
CC	: Corriente Continua
°C	: Grados centígrados
CDI	: Capacitor Discharge Ignition
cm	: centímetro
DC	: Direct Current (Corriente Continua)
DSL	: Digital Subscriber Line (Línea de suscripción digital a Internet)
EN	: Enable (Habilitador)
ESC	: Electronic Speed Controller (Controlador Electrónico de Velocidad)
FPV	: System First Person View (Vuelo en Primera Persona)
g	: gramo
GHz	: gigahercio
GND	: Ground (Tierra)
GPS	: Global Positioning System (Sistema de Posicionamiento Global)
h	: hora
Hz	: hercio
INDECI	: Instituto Nacional de Defensa Civil
I2C	: Inter-Intergrated Circuit (Circuito inter-integrado)
IMU	: Inertial measurement unit
IN	: Entrada
IP	: Ingress Protection (Grados de protección)
IPS	: Panel In-plane Switching

kg	: kilogramo
km	: kilómetro
kW	: kilovatio
l	: litro
LED	: Light-emitting diode (Diodo emisor de luz)
LNA	: Low-noise amplifier (Amplificador de bajo ruido)
LiPo	: Litio y Polímero
m	: metro
mA	: miliamperio
mAh	: miliamperios por hora
MHz	: megahercio
min	: minutos
mm	: milímetro
MEM	: Ministerio de Energía y Minas
msnm	: metros sobre el nivel del mar
MPa	: Megapascuales
N	: newton
Nm	: newton-metro
PAL	: Phase Alternating Line (Línea de fase alternada)
POSIX	: Portable Operating System Interface Unix
PVC	: Policloruro de vinilo
PWM	: Pulse-Width-Modulation (Modulación por Ancho de Pulso)
rpm	: revoluciones por minuto
RC	: Radiocontrol
RS 232	: Recommended Estándar (Estándar Recomendado 232)

RTK	: Real Time Kinematic (Navegación cinética en tiempo real)
RTOS	: Real-Time Operating System
RX	: Receiver (Receptor)
SAW	: Submerged Arc Welding (Soldadura de arco sumergido)
\$: Dólares americanos
TTL	: Transistor-Transistor Logic (Lógica Transistor a Transistor)
TX	: Transmitter (Transmisor)
UART	: Universal Asynchronous Receiver/Transmitter
UAV	: Unmanned aerial vehicle (Vehículo aéreo no tripulado)
USB	: Universal Serial Bus (Bus Serial Universal)
V	: Voltios
VCC	: Voltage at a Common Connector (Voltaje en Conector Común)
VOTL	: Vertical Take off and Landing
W	: Vatio

INTRODUCCIÓN

El Perú posee tres regiones naturales: Costa, Sierra y Selva. En la Costa, el relieve está formado por pampas, valles, tablazos, estrechos, desiertos y estribaciones andinas; en la Sierra, está constituido mayoritariamente por andenes, así como cañones y quebradas, por dicha razón, la Sierra posee caminos sinuosos a lo largo de toda la región. Por último, en la Selva, el relieve está constituido por un gran bosque que cubre la Amazonía, además de cataratas y ríos que atraviesan dicha región [1]. El país posee, además, diferentes climas: tropicales en la costa norte, el clima frío seguido de lluvias, nieve y granizadas en los Andes, así como un clima húmedo, cálido y lluvioso en la Amazonía. Se considera el efecto del Fenómeno del Niño cada cierto número de años (entre 3 a 8), el cual altera el clima en varias regiones del Perú [2].

La variedad de climas y paisajes del territorio peruano afecta las labores de búsqueda y rescate en diferentes zonas, siendo complicado e incluso inaccesible el acceso a diversos lugares. Por ejemplo, en el año 2011 en el cañón del Colca, situado en el departamento de Arequipa, dos personas fueron reportadas como desaparecidas y fueron difíciles de ubicar debido al clima y al inaccesible camino. A pocos días de empezada la búsqueda, por medio de brigadas de rescate se logró encontrar a uno de ellos; posteriormente, con el fin de encontrar a la siguiente persona usaron aparte de brigadas de rescate, helicópteros, y luego de varios meses encontraron solo su cadáver [3]. Otro caso importante fue el rescate de un joven geólogo, el cual junto a otros 3 trabajadores resultaron perdidos en los Andes piuranos. La brigada de rescate de la policía estuvo a cargo y mediante patrulleros y helicópteros iniciaron la búsqueda; sin embargo, debido a las constantes lluvias y el difícil clima de la región, no fueron suficientes estos elementos para poderlo encontrar [4].

En la actualidad, existen diferentes soluciones para resolver este problema, como los siguientes modelos de drones aéreos: (i) Navig8, creado e implementado con el propósito de salvar vidas al tener la versatilidad de acceder a diversos lugares de difícil acceso [5]; (ii) Aerohybrix, el cual tiene la capacidad de volar más de tres horas lo que permite un mejor desempeño en sus operaciones [6]; (iii) Hybrix-20, funciona con motor de combustión y debido a ello otorga una prolongada duración en la exploración [7]; (iv) Airborg™ H8 10K, cuya principal actividad es la de inspeccionar y recopilar información en ubicaciones de difícil acceso [8]; y (v) SKYF, un vehículo robusto que puede transportar diversas herramientas de rescate [9].

Otra solución son los drones terrestres como: (i) Recon Scout XT, diseñado con fines militares de búsqueda, pues puede recorrer variados terrenos y proporcionar un reconocimiento inmediato de video y audio en situaciones de alto riesgo [10]; (ii) Aquiles Observer, diseñado para llegar a diferentes lugares al poder movilizarse por espacios reducidos que son difíciles para las personas [11]; (iii) Jumping Parrot, el cual tiene como mayor cualidad el poder dar saltos, de esta manera puede evadir obstáculos y continuar con la exploración [12]; (iv) Nerva LG, cuenta con la capacidad de reconocimiento al poseer una cámara térmica infrarrojo [13]; y (v) Summit XL, orientado a la investigación y vigilancia [14].

Las personas encargadas de realizar estas labores de búsqueda y rescate en el Perú son: los bomberos, la Policía, las Fuerzas Armadas y el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI). Para realizar sus labores cuentan con patrulleros, helicópteros, avionetas, y brigadas de rescate [15].

Actualmente, la mayoría de los drones tiene como principal fuente de energía a la batería, la cual ofrece un tiempo de funcionamiento aproximado de 30 min (min). Por dicha razón, para facilitar y aumentar la efectividad de estas labores, es primordial que el tiempo de búsqueda sea mayor, por lo que se propone como principal fuente de energía un motor de combustión cuyo sistema otorgará un tiempo mayor a 30 min. Así también, se propone que pueda no solo desplazarse por tierra, sino también por aire, porque de esta manera se eliminan las limitaciones de tener solo una opción de desplazamiento que existen en los drones que son solo aéreos o terrestres.

Este diseño brindará la posibilidad de enviar video en tiempo real siempre y cuando el vehículo se encuentre dentro del rango del sistema de radiofrecuencia y tenga línea de vista. La transmisión de video servirá para que la persona que lo manipula pueda observar su recorrido y explorar las zonas por las que se desplaza. La función de cambio de modo de terrestre a aéreo

y viceversa dependerá del comando que ejecute la persona que manipule su control, siendo este cambio seguro para evitar daños al sistema al contar con los controladores y actuadores adecuados. Es primordial que al menos una persona pueda levantar y movilizar al dron para su libre colocación. Para ello su peso no debe de sobrepasar los 25 kilogramos (kg) que ordena la ley de seguridad N° 29088 [16] con el fin de conservar la salud del operario. Además, el modo de control deberá ser de manipulación sencilla para que las personas que lo utilicen les resulte fácil aprender a manejarlo.

La presente tesis, “Diseño de un vehículo aéreo-terrestre no tripulado con autonomía de funcionamiento de larga duración orientado a operaciones de búsqueda y rescate”, sintetiza la solución propuesta al problema. Respecto a las limitaciones de los variados relieves del Perú, el vehículo propuesto podrá desplazarse tanto por tierra como por aire, en cuanto a los fenómenos climáticos como ráfagas de polvo y granizadas moderadas, el vehículo contará con una estructura de protección que se detallará en el capítulo 2; finalmente, en cuanto al tiempo de búsqueda, se contará con un motor de combustión como fuente de energía principal que proveerá mayor tiempo de funcionamiento (según análisis presentes en el capítulo 4) que las baterías LiPo usadas comúnmente. De esta manera, se conservan las ventajas que otorgan los drones existentes, y, además, se implementa un diseño cuyo tiempo de funcionamiento es mayor al de los vehículos aéreo-terrestres que se encuentran comercialmente.

A continuación, se presenta el objetivo principal y los objetivos específicos que se buscan alcanzar en la presente tesis.

Objetivo principal

Diseñar un vehículo multirrotor no tripulado con la capacidad de desplazarse por aire y por tierra cuyo funcionamiento sea de larga duración y que pueda ofrecer un incremento en la efectividad de las labores de búsqueda y rescate en el país.

Objetivos específicos

- Investigar sobre los problemas en las operaciones de búsqueda y rescate que se presentan en el Perú, así como los proyectos y dispositivos actuales que contribuyen en el diseño del proyecto.

- Plantear los requerimientos físicos, mecánicos, electrónicos y de control necesarios para diseñar un vehículo de funcionamiento efectivo y de esta manera diseñar la solución óptima.
- Realizar cálculos matemáticos y simulaciones de resistencia de materiales mediante software para seleccionar correctamente los dispositivos a utilizar y los materiales de las estructuras diseñadas con el fin de que cumplan con los requerimientos del sistema. Además, elaborar los planos de las partes de la estructura del sistema, el diagrama esquemático general, diagramas de flujo y una secuencia de funcionamiento del sistema que permitan entender su modo de operación.
- Realizar el análisis de costos de los componentes seleccionados y las estructuras diseñadas con sus respectivos precios de compra, de impresión en 3D y de manufactura según sea el caso. Además, incluir el costo de ingeniería y obtener los costos totales de la producción del diseño.

Esta tesis, dentro de sus limitaciones y alcances, no incluye la fabricación del prototipo del vehículo aéreo – terrestre, así como tampoco de la programación de los controladores y dispositivos a usar. De esta manera, lo antes mencionado sería tomado en cuenta para un trabajo de investigación posterior.

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES

En los últimos años, se han desarrollado diversos vehículos no tripulados con la capacidad de desplazarse por aire, tierra y agua. Estos vehículos cuentan con diversas fuentes de energía, siendo la batería la fuente que se utiliza en la mayoría de estos vehículos. Muchos de ellos tienen como objetivo brindar entretenimiento, sin embargo, también se han desarrollado y aún se continúa el desarrollo de diversos drones con propósitos militares, de investigación, civiles, y otros campos que pueden contribuir al progreso de la sociedad.

1.1 Estado de la tecnología – sistemas integrados

Para el presente trabajo se recopiló información actual sobre drones aéreos, terrestres y aéreo-terrestres, los cuales se consideran relevantes para el presente diseño.

1.1.1 Drone terrestre

Este tipo de vehículos son útiles en entornos urbanos para misiones de búsqueda y rescate que puede plantear un gran riesgo para el personal [17]. Sin embargo, su funcionamiento suele presentar fallas mayormente en el sistema de control [18].

- a) Recon Scout XT: es un drone ligero que puede desplazarse por terrenos accidentados y entornos remotos y polvorientos; así como, en condiciones climáticas adversas como niebla y lluvia. Transmite video y audio en tiempo real y cuando la luz ambiental es baja, posee un sistema óptico de infrarrojo que permite realizar las operaciones tanto de día como de noche. Estas características permiten el reconocimiento del entorno para localizar personas [10].



Figura 1.1: Recon Scout XT
Fuente: [10]

- b) Jumping Sumo: es un drone comercial cuyo uso es principalmente de entretenimiento con funciones de explorar y recopilar imágenes. Posee unas ruedas cuyo material brinda la capacidad de amortiguamiento al impacto, las cuales, junto a su sistema interno, permiten que este vehículo salte a una altura mayor a 80 cm. Es ultra estable y fácil de controlar, está equipado con dos diodos emisores de luz (LED) para explorar en la oscuridad [12]. Una de las características útiles que posee, es la cámara de amplio rango colocada en su parte frontal para la transmisión en vivo de video [19].



Figura 1.2: Jumping Sumo
Fuente: [12]

- c) Nerva LG: es un drone ultra robusto, con resistencia al impacto y al agua lo que le permite desplazarse y hacer el reconocimiento de diferentes tipos de áreas. Además, posee una cámara que gira sobre su eje y brinda imágenes de 360°. De esta manera cumple los objetivos de localizar, detectar, observar y mapear diferentes zonas que serían de utilidad en la búsqueda de personas.



Figura 1.3: Nerva LG
Fuente: [13]

- d) Summit – XL: es un drone de investigación y vigilancia militar que posee monitorización remota y puede desplazarse a través de áreas en zona de guerra. Es un vehículo robusto que puede soportar 20 kg de carga extra debido a su gran tamaño y sistema de tracción. Además, cuenta con una cámara que brinda una visión de 360° lo que permite inspeccionar completamente su entorno.



Figura 1.4: Summit – XL
Fuente: [14]

1.1.2. Drones aéreos

Este tipo de vehículos puede beneficiar en gran medida las operaciones de búsqueda y rescate para inspeccionar el medio ambiente y recopilar evidencia sobre la posición de alguna persona desaparecida. [20]. El reto con estos vehículos es obtener un diseño eficiente con el objetivo de maximizar su eficiencia energética [21], así como análisis completos para la evaluación de riesgos [22].

- a) Aerohybrix: es una aeronave no tripulada que posee un motor híbrido (que combina electricidad y gasolina). Su característica más resaltante es su capacidad de trasladar hasta 5 kg de carga durante aproximadamente dos horas y media. Por dicha razón, este vehículo brinda una mayor calidad en las operaciones de inspecciones, trabajos topográficos, de agricultura o audiovisual; además, permite realizar una operación de búsqueda y localización de personas, embarcaciones, vehículos, en distancias y radios mayores que los drones convencionales [6].



Figura 1.5: Aerohybrix
Fuente: [6]

b) Airborg™ H8 10K: es un vehículo aéreo no tripulado (UAV) que posee un motor a gasolina, el cual brinda un tiempo de vuelo mejorado y carga útil extendida. Además, posee una plataforma cuádruple (4x2) de 8 rotores y puede operar en condiciones de viento/ráfaga de hasta 56 km/h. La plataforma está equipada con el sistema de piloto automático Top Flight que sintoniza y calibra el sistema de propulsión híbrido. Utiliza un radio control (RC) con un alcance máximo de radio de hasta más de 3 km y su operación puede darse en modo manual, semiautónomo o completamente autónomo e incluye un registrador de datos de vuelo a bordo. El Airborg ofrece como principal actividad la posibilidad de inspeccionar y recopilar información en ubicaciones remotas de difícil acceso [8].



Figura 1.6: Airborg™ H8 10K
Fuente: [8]

c) Hybrix-20: pertenece a la compañía Quaternium y funciona con un sistema híbrido compuesto por un motor y batería los cuales brindan la capacidad de volar por más de 3 horas (h), es decir, aumenta tres veces más el tiempo de vuelo de los modelos más optimizados. Posee una hélice de 30 pulgadas y cuenta con capacidad de transportar distintos sensores y dispositivos. Está diseñado para volar en condiciones meteorológicas adversas, lo que permite una óptima operación en casos de búsqueda y rescate de personas [7].



Figura 1.7: Hybrix-20
Fuente: [7]

d) Navig8: es un UAV eléctrico de la compañía 4FrontRobotics que puede equiparse con diversos componentes (cámaras EO / IR dobles, LIDAR, etc.), así como sensores específicos de la misión (monitorización de la calidad del medio ambiente, inhaladores de gas, cámaras 3D, etc.). Posee dos hélices fijas con contador de rotación, además de un accionamiento directo de los motores eléctricos que proporcionan el sistema de elevación / propulsión. Su sistema de control se da a través de la inclinación longitudinal combinada de los ventiladores con ductos mediante servoactuadores además de un rotor de cola de elevación cero [5].

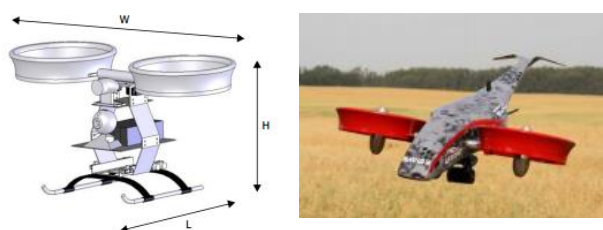


Figura 1.8: Navig 8
Fuente: [5]

e) SKYF: es una plataforma aérea no tripulada para despegue y aterrizaje vertical (VOTL). Posibilita la realización de diversas actividades, desde logística de carga y eliminación de polvo, hasta la extinción de incendios. Su mayor cualidad es su gran capacidad de carga la cual es de hasta 400 kg y su gran duración de vuelo, que puede llegar hasta 8 h (con una capacidad de carga de 50 kg [9]).



Figura 1.9: SKYF
Fuente: [9]

1.1.3. Drones aéreo-terrestres

Este tipo de vehículos son mucho más útiles en una variedad de aplicaciones relacionadas con operaciones militares, operaciones de búsqueda y espionaje, etc [23]. Pues, al agregar movilidad terrestre a un vehículo aéreo, proporciona técnicas de vigilancia flexibles [24].

- a) B-Unstoppable: es un vehículo muy útil en espacio limitado que proporciona 360° de visión mediante la cámara que posee a bordo. Posee la capacidad de ser conducido sobre obstáculos grandes debido a que la parte inferior de la oruga se ajusta de acuerdo con el terreno, pero si estos son demasiado grandes, puede simplemente despegar y volar sobre ellos. Su función principal es la de explorar diversas zonas y transmitir las imágenes captadas en tiempo real; así también, puede explorar tanto de día como de noche, pues posee luces delanteras y traseras que le permiten volar en la oscuridad [25].



Figura 1.10: B-Unstoppable
Fuente: [21]

- b) Rolling Spider: creado por la compañía Parrot, es un dron ultra compacto que se maneja desde un teléfono inteligente. Es ultraligero y ultra dinámico, además, puede girar en ángulos de 90° y 180°. Sus ruedas extraíbles le permiten circular por el suelo, el techo y las paredes, de esta manera, tiene la capacidad de trasladarse por tierra y por aire para lograr abarcar mayor espacio de visión en el desempeño de su labor de explorador [26].



Figura 1.11: Rolling Spider
Fuente: [26]

- c) SY X25: es un vehículo de la compañía NewFrog, que posee un control de cuatro direcciones en el suelo y una función que permite al vehículo encontrar el camino de

regreso al punto de partida. Además, cuenta con dos interruptores de velocidad que facilitan el control de este vehículo, así como también cuenta con una luz que destella la cual permite poder ubicarlo en la oscuridad. De esta manera, se indica su cualidad de poder volar de noche o en un lugar que carece de luz para poder inspeccionar diversos lugares [27].



Figura 1.12: SY X25

Fuente: [27]

A continuación, en la tabla 1.1 se muestra un cuadro con las características técnicas de los vehículos no tripulados antes mencionados, en el cual se podrá observar y comparar las diferencias entre los valores de duración, peso, medidas, fuente de energía, carga útil, pendiente máximo (solo en terrestres y aeroterrestres), velocidad y rango de alcance de cada vehículo.

Tabla 1.1: Cuadro de características técnicas de vehículos no tripulados actuales

Tipo de Drone		Duración	Peso	Medidas	Fuente de energía	Carga útil	Pendiente máxima	Velocidad	Rango de alcance
Terrestre	Jumping Sumo	20 min	0.21 kg	18,6 x 15.5 x 11.6 cm	Batería LiPo	No precisa	No precisa	8.5 km/h	0.05 km
	Recon Scout XT	60 min	0.64 kg	20,9 x 19,3 x 11,3 cm	Batería LiPo	No precisa	No precisa	1.7 km/h	0.09 km
	Nerva LG	120 min	5 kg	35 x 31 x 15 cm	Batería LiPo	No precisa	40 °	13 km/h	1 km
	Summit XL	300 min	45 kg	72,2 x 61,3 x 39.2 cm	LiFePo	20 kg	72°	10.8 km/h	No precisa
Aéreo	AeroHybrix	- 2.5 horas (con máxima carga) - 4 horas (sin carga)	24 kg	152 x 152 cm	Gasolina	5 kg	-	70 km/h	180 km






	Airborg™ H8 10K	- Mayor a 3 horas (con 4 kg de carga) - Mayor a 1 hora (con 10 kg de carga)	33 kg	220 x 180 x 70 cm	Gasolina	10 kg	-	55 km/h	161 km
	Hybrix-20	4 horas	20 kg	112 x 112 cm	Petróleo y Batería LiPo	2.5 kg	-	80 km/h	No precisa
	Navig8	45 minutos	11 kg	164 x 132 x 35.5 cm	Batería LiPo	4.5 kg	-	83 km/h	No precisa
	SKYF	Mayor a 8 horas (con 50 kg de carga)	250 kg	520 x 220 cm	Petróleo	400 kg	-	70 km/h	350 km
Aéreo-Terrestre	B-Unstoppable	20 min	0.08 kg	12.5 x 5.5 x 23.5 cm	Batería LiPo	0.006 kg	No precisa	No precisa	0.2 km
	Rolling Spider	8 min	0.07 kg	14 x 5.5 x 8.5 cm	Batería LiPo	No precisa	No precisa	0.011 km/h	0.02 km
	SY X25	6 min	0.20 kg	23.5 x 17 x 6.5 cm	Batería LiPo	No precisa	No precisa	No precisa	0.06 km



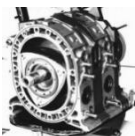




Actualmente, el mercado de los drones se encuentra en crecimiento, por ello en comparación con los vehículos aéreos o terrestres, las propuestas de vehículos aéreo-terrestres existen en menor cantidad y hay poca inversión para esos sistemas. Por otro lado, el diseño propuesto funcionará con un motor de combustión que brindará un tiempo mayor de funcionamiento en comparación con los vehículos aéreo-terrestres encontrados que tienen como fuente de energía a las baterías LiPo. Esto se propone a raíz de la comparación de fuente de energía y tiempo de funcionamiento de los vehículos aéreos como el Navig 8 que funciona con Batería, con la del Aerohybrix que funciona a gasolina.









1.2 Estado de la tecnología - componentes

Actualmente, existe una variedad de dispositivos que pueden ser incluidos en el presente proyecto; sin embargo, la elección de estos deberá cumplir con los requerimientos del sistema para un óptimo desempeño del vehículo. A continuación, en la tabla 1.2 se muestran las diferentes opciones de componentes que se tomaron en cuenta para la elección posterior.

Tabla 1.2: Cuadro de componentes y dispositivos

Motores eléctricos	Motor AC	Motor DC
	<p>Funciona con corriente alterna, donde a partir de allí lo convierte en energía mecánica. Además, es más preciso en su giro y económico que el motor DC.</p>	<p>Genera energía mecánica a partir de la corriente directa. Además, posee velocidad variable y un par de arranque mayor al del AC. Sin embargo, también pueden fallar, causados, por ejemplo, por sobrecalentamiento o desgaste mecánico [29].</p>
		
	<p>Figura 1.13: Motor AC Fuente: [28]</p>	<p>Figura 1.14: Motor DC Fuente: [30]</p>
	Motor brushless	Servomotor
<p>No emplea escobillas, además, son más ligeros, eficientes y pueden trabajar a altas velocidades.</p>	<p>Es un motor de corriente continua que posee un alto nivel de control en su giro. Sin embargo, pueden presentar problemas de medición de corriente, en los circuitos de velocidad y corriente [32].</p>	
		
<p>Figura 1.15: Motor brushless Fuente: [31]</p>	<p>Figura 1.16: Servomotor Fuente: [33]</p>	
Motor paso a paso		
<p>Es un motor económico de larga vida y posee bajo par de velocidad.</p>		
		
<p>Figura 1.17: Motor paso a paso Fuente: [34]</p>		

Motores de combustión interna	Motor de 2 tiempos	Motor de 4 tiempos
	<p>Es más liviano y económico que genera mayor potencia; sin embargo, posee mayor desgaste, consumo de combustible y emite mayor contaminación</p>  <p>Figura 1.18: Motor de 2 tiempos Fuente: [35]</p>	<p>Es más pesado, genera mayor torque, consume menos combustible y emite menor contaminación.</p>  <p>Figura 1.19: Motor de 4 tiempos Fuente: [36]</p>
	Motor rotatorio	
	<p>Es un motor liviano que posee una menor vibración en su funcionamiento; sin embargo, es difícil de encontrar en el mercado.</p>  <p>Figura 1.20: Motor rotatorio Fuente: [37]</p>	
Baterías	Batería de plomo	Batería de iones de litio (Li-Ion)
	<p>Es de bajo coste a las cuales no se les puede someter a cargas y descargas intensas. Además, es muy contaminante.</p>  <p>Figura 1.21: Batería de plomo Fuente: [38]</p>	<p>Posee vida media y una buena resistencia a las cargas y descargas intensas.</p>  <p>Figura 1.22: Batería de iones de litio Fuente: [39]</p>
	Batería de níquel hidruro (Ni -MH)	Batería de polímeros de litio (LiPo)
	<p>Posee una alta capacidad de carga y posee un bajo nivel de contaminación.</p>  <p>Figura 1.23: Batería de níquel hidruro Fuente: [40]</p>	<p>Es de peso ligero que conserva de mejor manera su capacidad inicial. Los fenómenos más importantes que ocurren en esta batería son la dependencia del voltaje de circuito abierto y parte de la resistencia interna en el estado de carga con la temperatura [41].</p>  <p>Figura 1.24: Batería de polímero de litio Fuente: [42]</p>

Sensores de distancia	Sensor capacitivo	Sensor ultrasonido
	Es un tipo de sensor eléctrico que detecta objetos tanto metales y no metales al medir el cambio en la capacitancia.	Es un sensor que detecta diferentes tipos de objetos desde distancias cortas hasta distancias considerables dependiendo del modelo del sensor.
	 <p>Figura 1.25: Sensor capacitivo Fuente: [43]</p>	 <p>Figura 1.26: Sensor ultrasonido Fuente: [44]</p>
	Sensor infrarrojo	Sensor laser
Es un sensor de bajo costo que posee una velocidad baja de transmisión y es sensible a la luz.	Presenta una precisión y velocidad alta de detección de objetos; sin embargo, posee un bajo rango de medición y es sensible al polvo y al agua.	
 <p>Figura 1.27: Sensor infrarrojo Fuente: [45]</p>	 <p>Figura 1.28: Sensor laser Fuente: [46]</p>	
Controlador aéreo	Pixhawk	Multi wii
	Es ligero y de alto rendimiento que posee diferentes interfaces y periféricos exclusivos para usos de navegación e investigación. Se ejecuta en el firmware PX4 compuesto por módulos utilizados para la estimación de estado, posición y control angular y otros. [47]	Posee los componentes básicos para controlar diferentes tipos de aeronaves.
	 <p>Figura 1.29: Pixhawk Fuente: [48]</p>	 <p>Figura 1.30: Multi wii Fuente: [49]</p>
	Ardupilot	Naza MV2
Posee respuesta rápida debido a que cuenta con dos procesadores, además se le pueden implementar sensores adicionales debido a que posee mayores entradas/salidas digitales.	Brinda una mejor estabilización de vuelo debido a su avanzado algoritmo, así como un mejor control de orientación.	
 <p>Figura 1.31: Ardupilot Fuente: [50]</p>	 <p>Figura 1.32: Naza MV2 Fuente: [51]</p>	

CAPÍTULO 2

DEFINICIÓN DEL DISEÑO MECATRÓNICO

En este capítulo se presentan los requerimientos físicos, mecánicos, electrónicos y de control que compondrán el diseño final del vehículo aéreo – terrestre con el fin de cumplir los objetivos planteados en el capítulo anterior. De esta manera, se expondrá el modelo óptimo a desarrollar.

2.1 Requerimientos del sistema mecatrónico

El presente proyecto tiene la función principal de búsqueda y rescate. De acuerdo con la tabla elaborada en el anexo A donde se observan los deseos y exigencias del proyecto, los requerimientos del sistema son los siguientes:

2.1.1 Requerimientos físico-mecánicos

- Las dimensiones máximas requeridas son: 1.5 m x 1.5 m x 1 m de largo, ancho y alto, respectivamente.
- La masa del sistema no deberá sobrepasar los 25 kg (según la Ley N° 29088 el peso a manipular sin herramientas auxiliares no será mayor a 25 kg [16]).
- El vehículo deberá poder desplazarse por aire sin dificultad considerando un peso mínimo de 25 kg y tener resistencia a una ráfaga de viento de velocidad mayor a 12 m/s (43.2 km/h).

- Con el fin de abarcar un correcto y mayor rango de desplazamiento por tierra, el vehículo tiene que superar una pendiente “moderadamente inclinada” (clase de pendiente según el reglamento de clasificación de Tierra [52]).
- Para aprovechar en gran medida la energía del combustible del motor de combustión, la relación de compresión del motor deberá ser la más adecuada según sus especificaciones técnicas, de esta manera la mezcla interna estará sometida a mayor presión y se obtendrá como consecuencia, mayor potencia y disminución en el consumo específico de combustible [53].
- El consumo específico del motor deberá ser capaz de otorgar un tiempo de funcionamiento mayor a 30 min, incluyendo el vuelo, el recorrido terrestre y los cambios de modo.
- Las bases que soportarán a los motores, tanto el de combustión como los eléctricos (aéreos y terrestres), deberán ser de fibra de carbono, un material resistente, pero a la vez ligero que pueda otorgar seguridad en el funcionamiento del vehículo.
- El vehículo contará con una cubierta de material resistente, como el ABS, de este modo será resistente al polvo y agua, y podrá desplazarse adecuadamente a través de fenómenos climáticos como ráfagas de polvo, y granizadas moderadas.

2.1.2 Requerimientos electrónicos

- Para generar la energía eléctrica necesaria para el sistema, se utilizará un alternador el cual irá conectado al motor, por dicha razón será necesario que ambos concuerden en sus revoluciones por minuto (rpm) para hacer efectivo el funcionamiento.
- Los motores de las hélices, y los sensores deberán estar alejados del motor de combustión interna para evitar alguna interferencia en el sistema, pero a la vez deberán estar cerca de los controladores para que la señal recibida sea directa y sin ruido.
- Se contará con un sistema físico de protección completo siendo este la cubierta de ABS, especialmente para proteger el sistema central electrónico y de control, así como el motor de combustión.

2.1.3 Requerimientos de control

- El dispositivo de control del vehículo enviará y recibirá señales por parte del usuario a una frecuencia de 2.4 gigahercios (GHz). Estas señales servirán para realizar los cambios de modo aéreo y terrestre (mediante el control de los servomotores), para recibir información de los sensores y para direccionar el vehículo mediante el control de los motores.
- Se contarán con sensores de distancia, de aceleración, de orientación, de campo magnético (fuerza y dirección), de temperatura, de presión atmosférica, además de contar con un sistema que permita determinar la ubicación del vehículo en toda la Tierra.
- Se contará con una cámara que mediante un sistema transmisor y otro receptor de video enviará y recibirá señales respectivamente a una frecuencia de 5.8 GHz, se obtendrán las imágenes en tiempo real para poder monitorear el recorrido del vehículo e inspeccionar su entorno.
- Se contará con un controlador aéreo y otro terrestre para realizar las acciones que el usuario ordene mediante el dispositivo de control.
- Las instrucciones sobre la manipulación del radio control, deberán ser claras y bien definidas.

2.2 Estructura de funciones

A continuación, en la figura 2.1 se muestra el cuadro de Abstracción: Caja negra (Black - Box). Mientras que el cuadro de representación del proceso técnico según Hubka, la fijación de los procesos técnicos y la estructura de funciones según Breiing – Fleming se encuentran en los anexos B y C respectivamente.

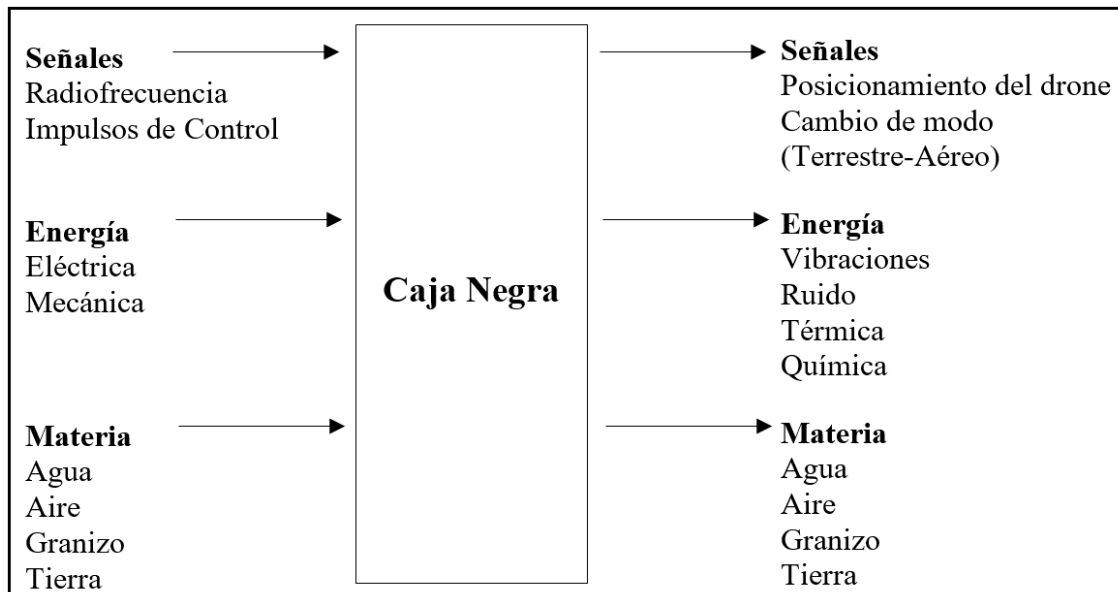


Figura 2.1: Caja Negra

- Mediante el control remoto se enviarán señales de radiofrecuencia e impulsos de control con el objetivo de monitorear y controlar el posicionamiento y cambios de modo del vehículo.
- Las baterías y el alternador suministrarán de energía eléctrica para alimentar a los dispositivos y controladores, mientras que el motor generará energía mecánica para energizar el sistema. El motor emitirá vibraciones, ruido y calor al estar en funcionamiento, así también habrá una reacción química cuando el combustible ingrese al motor y se generen gases.
- El vehículo estará expuesto a la intemperie por lo cual estará expuesto al agua, aire, granizo y tierra. Sin embargo, el vehículo contará con una protección que impedirá solo el ingreso de ráfagas de polo y granizadas moderadas que pueden afectar el funcionamiento del sistema. Mientras que si se permitirá el flujo del aire.

2.3 Concepto de la solución óptima

De las matrices integradas de los 4 dominios del sistema: mecánico, eléctrico, electrónico y de control (anexo D), se obtuvieron las soluciones de cada dominio que formaron el concepto de la solución óptima. Para ello fue necesario, en primer lugar, elaborar la estructura de funciones (anexos B y C) y finalmente cada concepto integrado de solución (anexo E) donde se consideraron tres (E1, E.2 y E.3) y se evaluó cada uno considerando diversos criterios (anexo F), con el fin de seleccionar el más conveniente. En la figura 2.2, se muestra un bosquejo del

concepto solución óptimo seleccionado donde se indican las partes más importantes que compondrán el vehículo.

Este concepto óptimo presentará un motor de combustión de 2 tiempos como la fuente de poder del vehículo no tripulado con el fin de poder ofrecer mayor tiempo de funcionamiento. En primer lugar, un switch (On - Off) será el encargado de encender o apagar el sistema, una vez que el switch esté prendido (On) se presionará un pulsador que activará el iniciador de motor y se mantendrá pulsado hasta que el motor de 2 tiempos comience a funcionar. La energía mecánica generada por el motor será recibida por el alternador, el cual, a través de su sistema interno, convertirá esta energía mecánica en eléctrica. Esta energía eléctrica será derivada hacia los controladores aéreos y terrestres del vehículo y hacia el cargador de las baterías. Este cargador proveerá de energía constante a las baterías para evitar sus descargas, ya que alimentarán continuamente a los motores aéreos y terrestres.

Cuando el vehículo se encuentre en modo terrestre, se movilizará a través de 4 ruedas las cuales serán accionadas, cada una, mediante un motor de corriente continua (DC) debido a la facilidad de control y precisión de movimiento. El cambio de modo será a través de servomotores los cuales se encargarán de hacer el cambio de orientación de las ruedas a horizontal o a vertical, según sea el cambio de modo aéreo o terrestre. En el modo aéreo, su fisionomía de funcionamiento será a través del uso de multirotores (motores Brushless) los cuales son necesarios para hacer girar las hélices. El vehículo tendrá 6 rotores con el objetivo de otorgar la estabilidad y empuje de vuelo necesarios.

La activación de los dispositivos de control terrestre y aéreo será mediante un Pixhawk, con el cual se obtendrá mayor facilidad de control del sistema. El sistema contará con un sensor de nivel de combustible que estará colocado en el tanque, también se usarán tres sensores de ultrasonido, de los cuales dos ayudarán a prevenir algún impacto del vehículo y uno servirá para medir la distancia que se encuentra el vehículo en relación con el suelo para poder realizar las operaciones del giro de las ruedas de manera segura en los cambios de modo. Además, el control del vehículo se dará por el Radio Control.

Por último, se utilizará una cámara Go Pro para la transmisión de imágenes en vivo.

Con respecto al sistema de seguridad, cuando el vehículo se encuentre en modo aéreo tendrá el funcionamiento de un hexacóptero, de esta manera, en caso falle un rotor, el controlador de vuelo tiene la función de vuelo incorporada para poder volar como un quadcóptero (4 rotores). Este controlador posee un controlador de seguridad el cual es configurado inicialmente, en caso

el voltaje de la batería o el nivel del combustible sea menor al del valor puesto en la configuración, o si el vehículo pierde la señal del radio control; entonces, el vehículo regresará al punto de partida.

Cuando el vehículo se encuentre en modo terrestre y el voltaje de la batería o el nivel del combustible sea menor al del valor puesto en la configuración, o si el vehículo pierde la señal del radio control; entonces, el vehículo cambiará de modo a aéreo y volverá al punto de partida.

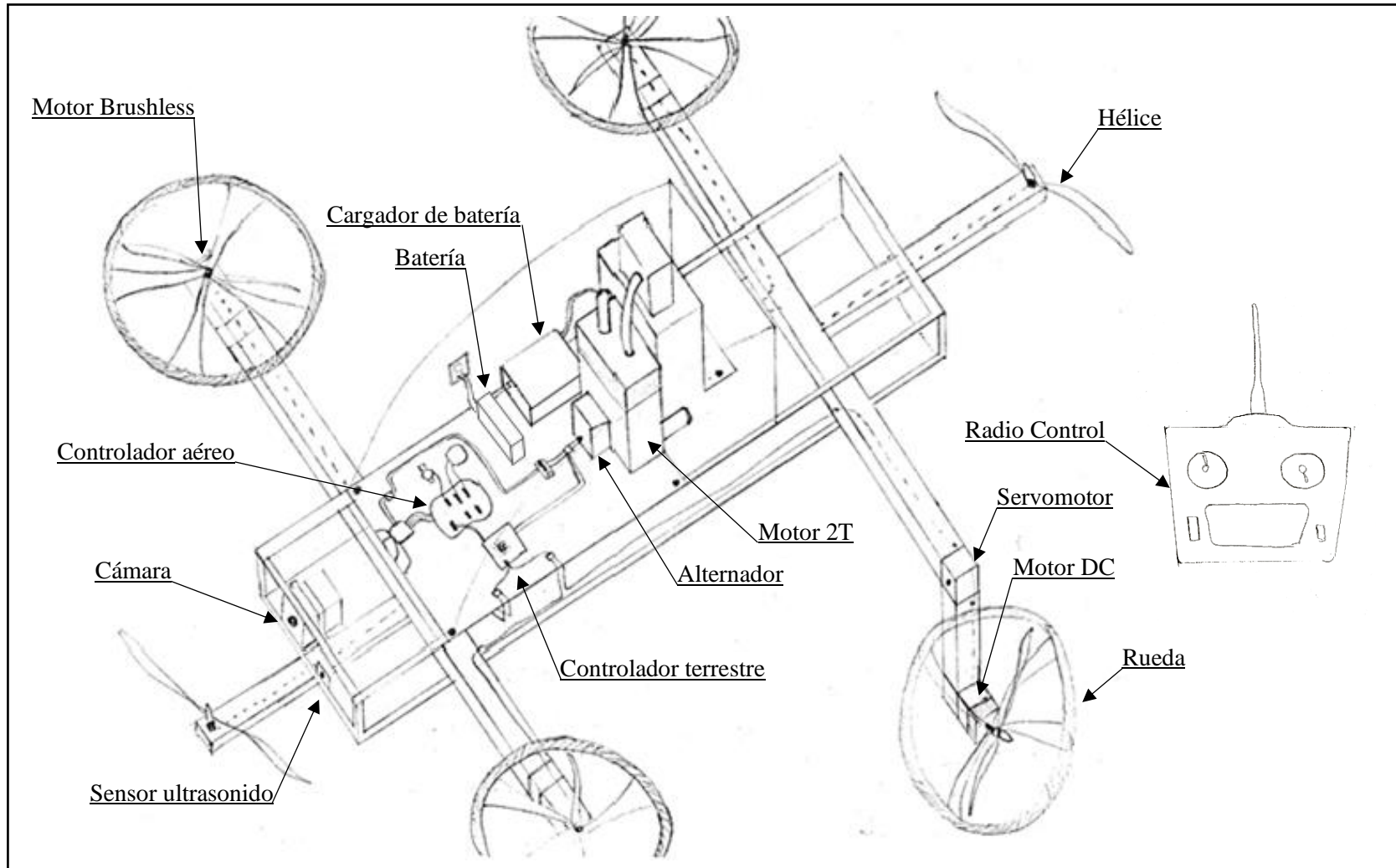


Figura 2.2: Concepto de solución óptimo

CAPÍTULO 3

DESARROLLO DEL DISEÑO MECATRÓNICO

En este tercer capítulo, se desarrollará el modelo definido en el capítulo anterior; se mostrará el funcionamiento del vehículo, así como los componentes principales con su respectiva justificación de selección. También se presentará el diseño de la estructura mecánica, el diseño electrónico y la secuencia de funcionamiento.

3.1 Modelo integrado del vehículo aéreo – terrestre

El sistema presenta como principal fuente de energía al motor de 2 tiempos, el cual, por medio del alternador, las baterías y el cargador de baterías energizarán a los controladores y actuadores del vehículo.

Para el modo terrestre, el sistema contará principalmente con un controlador terrestre que controlará a los 4 motores DC y estas harán girar a las 4 ruedas que desplazarán al vehículo en la tierra. Para el modo aéreo, el sistema contará principalmente con un controlador aéreo que controlará y hará girar a los 6 motores brushless que estarán unidas a las hélices. Para el cambio de modo, el sistema contará principalmente con 4 servomotores que harán girar el brazo del vehículo cambiando la orientación de las ruedas y 1 sensor de distancia para medir la distancia del vehículo con el suelo. Para evitar alguna colisión durante el desplazamiento, el sistema contará con 2 sensores de distancia, uno frontal y otro posterior. Además, para el envío de imágenes, el sistema contará con una cámara de video que permitirá monitorear su recorrido.

En la figura 3.1, se muestra la imagen del vehículo aéreo – terrestre con sus principales componentes mencionados.

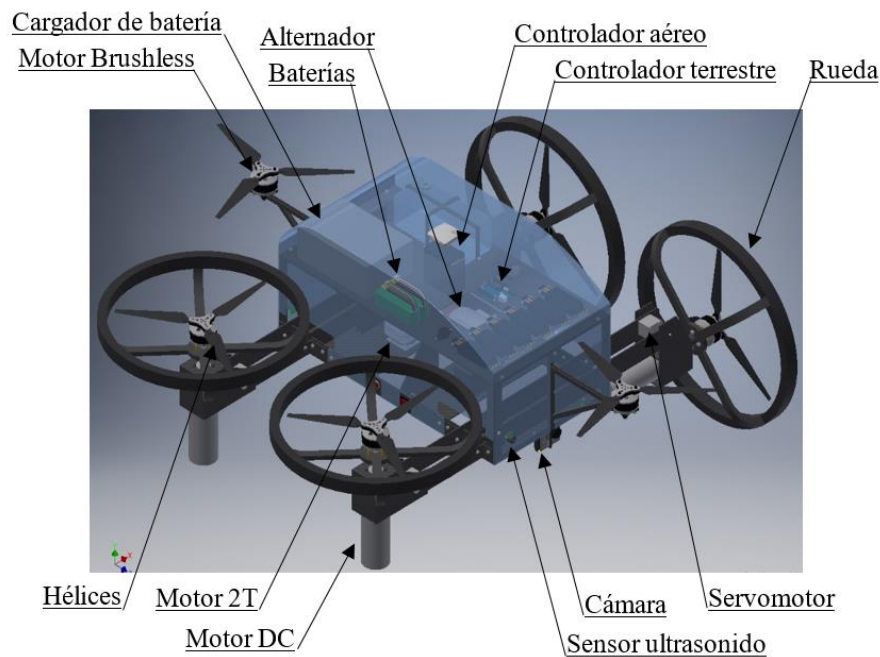


Figura 3.1: Vehículo aéreo-terrestre

A continuación, se explicarán los modos de funcionamiento en modo aéreo y terrestre del sistema.

3.1.1 Especificaciones del funcionamiento en modo aéreo

El vehículo en modo aéreo presenta el modelo de un hexacóptero cuya característica principal es la rotación asimétrica tres a tres de sus motores. Esta permite al móvil equilibrarse aplicando rotaciones iguales en los 6 motores, y al mismo tiempo calcula los giros.

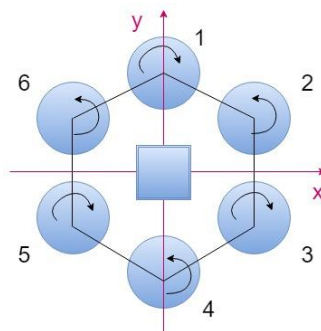
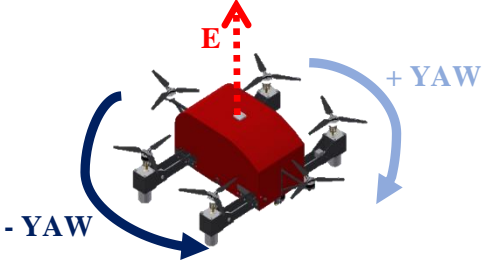
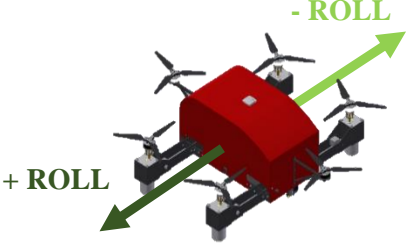
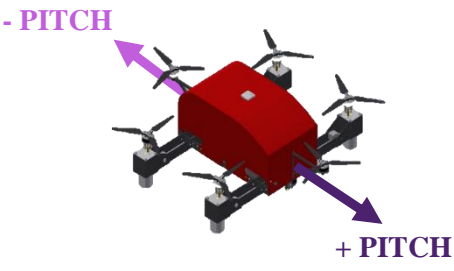
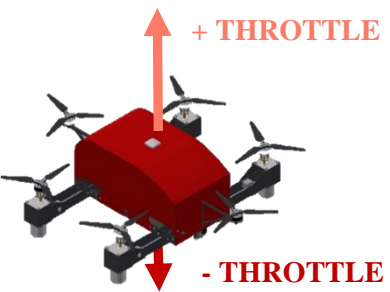


Figura 3.2: Dirección de rotación de motores del Hexacóptero
Fuente: Adaptado de [54]

De la figura 3.2 se puede observar que los pares generados por los motores 1, 3 y 5 son en sentido contrario a los generados por los motores 2, 4 y 6 con el objetivo de estabilizar el

hexacóptero, siempre y cuando se apliquen empujes del mismo módulo en los 6 motores. Los movimientos que puede ejecutar un hexacóptero son: “Yaw”, “Roll”, “Pitch” y “Throttle”. A continuación, se muestra en la tabla 3.1 la información de dichos movimientos.

Tabla 3.1: Movimientos Yaw, Roll, Pitch y Throttle.

YAW	<p>Es el movimiento de rotación en el cual el hexacóptero gira sobre su propio eje. Si la orientación de la rotación es positiva girará hacia la derecha y si la orientación es negativa, girará hacia la izquierda. El movimiento de los rotores para el control del movimiento Yaw se muestra en la tabla 3.2.</p>	 <p>Figura 3.3: Yaw Fuente: [55]</p>
ROLL	<p>Es el movimiento de rotación y traslación en el cual el hexacóptero se inclina lateralmente con el objetivo de desplazarse en dicha dirección. Si la orientación de la inclinación es positiva se inclinará y desplazará hacia la derecha y si la orientación es negativa, se inclinará y desplazará hacia la izquierda. El movimiento de los rotores para el control del movimiento Roll se muestra en la tabla 3.2.</p>	 <p>Figura 3.4: Roll Fuente: [55]</p>
PITCH	<p>Es el movimiento de rotación y traslación en el cual el hexacóptero se inclina hacia adelante o hacia atrás con el objetivo de desplazarse en dicha dirección. Si la orientación de la inclinación es positiva se inclinará y desplazará hacia adelante y si la orientación es negativa, se inclinará y desplazará hacia atrás. El movimiento de los rotores para el control del movimiento Pitch se muestra en la tabla 3.2.</p>	 <p>Figura 3.5: Pitch Fuente: [55]</p>
THROTTLE	<p>Es el movimiento de traslación en el cual el hexacóptero se desplaza verticalmente. Si la orientación es positiva se desplazará hacia arriba y si la orientación es negativa se desplazará hacia abajo. Este movimiento estará en relación directa con la aceleración de los rotores, pues a más aceleración el vehículo se elevará y a menos aceleración el vehículo descenderá. El movimiento de los rotores para el control del movimiento Throttle se muestra en la tabla 3.2.</p>	 <p>Figura 3.6: Throttle Fuente: [55]</p>

En la tabla 3.2, se muestran las direcciones de giro y las diferentes velocidades que deberá tener cada rotor de manera independiente para que el vehículo pueda rotar o desplazarse adecuadamente. De esta manera, se explica el funcionamiento del control de cada movimiento.

Tabla 3.2: Movimiento de los rotores para desplazamiento aéreo

Control Throttle		Control Pitch		
 Descender	 Ascender	 Mover atrás	 Mover adelante	
Control Roll		Control Yaw		
 Desplazar izquierda	 Desplazar derecha	 Rotar izquierda	 Rotar derecha	

Fuente: Adaptado de [56]

3.1.2 Especificaciones del funcionamiento en modo terrestre

El vehículo en modo terrestre presenta 4 ruedas para su desplazamiento, dos ruedas en la parte frontal y dos ruedas en la parte posterior con dos ejes, cada uno de estos, fijan cada par de ruedas. Además, cada rueda tiene movimiento independiente pues cada una posee un motor.

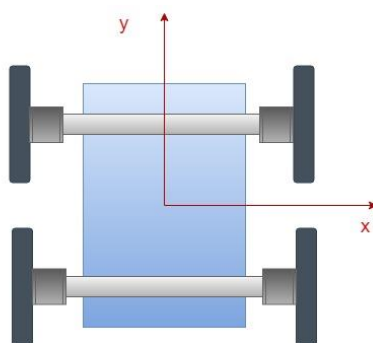
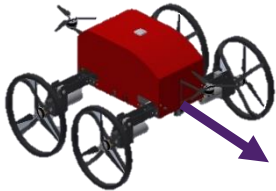
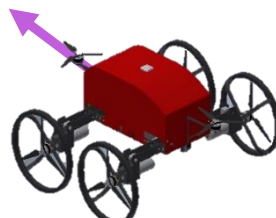
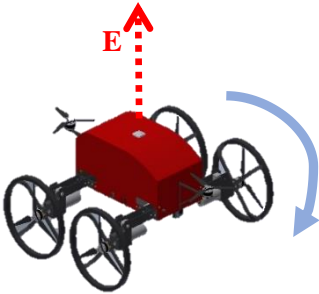
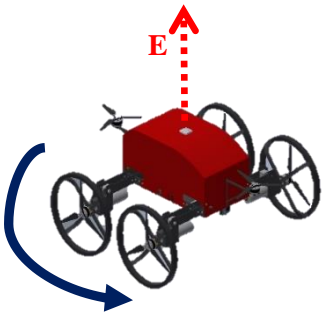


Figura 3.7: Posicionamiento de las ruedas del vehículo en modo terrestre

Los movimientos que puede ejecutar el vehículo en modo terrestre son: desplazamiento frontal, posterior, giro sobre su eje en sentido horario y antihorario. A continuación, se muestra en la tabla 3.3 el funcionamiento de los motores para cada movimiento.

Tabla 3.3: Movimientos frontal, posterior, giro sentido horario y sentido antihorario.

FRONTAL	Es el movimiento de desplazamiento hacia adelante donde los 4 motores harán girar a las 4 ruedas a la misma vez en sentido horario.	 <p>Figura 3.8: Frontal</p>
POSTERIOR	Es el movimiento de desplazamiento hacia atrás donde los 4 motores harán girar a las 4 ruedas a la misma vez en sentido antihorario.	 <p>Figura 3.9: Posterior</p>
GIRO SENTIDO HORARIO	Es el movimiento de rotación en el cual el vehículo gira sobre su propio eje en dirección horaria. Para ellos los 2 motores que se encuentran a la derecha, harán girar a esas ruedas en sentido antihorario, mientras que los otros 2 motores que se encuentran a la izquierda, harán girar a esas ruedas en sentido horario.	 <p>Figura 3.10: Giro sentido horario</p>
GIRO SENTIDO ANTIHORARIO	Es el movimiento de rotación en el cual el vehículo gira sobre su propio eje en dirección antihoraria. Para ellos los 2 motores que se encuentran a la derecha, harán girar a esas ruedas en sentido horario, mientras que los otros 2 motores que se encuentran a la izquierda harán girar a esas ruedas en sentido antihorario.	 <p>Figura 3.11: Giro sentido antihorario</p>

De acuerdo con las especificaciones del funcionamiento del sistema en modo aéreo y terrestre presentadas, en la figura 3.12 se muestran las imágenes de secuencia que comprende el funcionamiento del sistema.

3.1.3 Imágenes de secuencia de funcionamiento

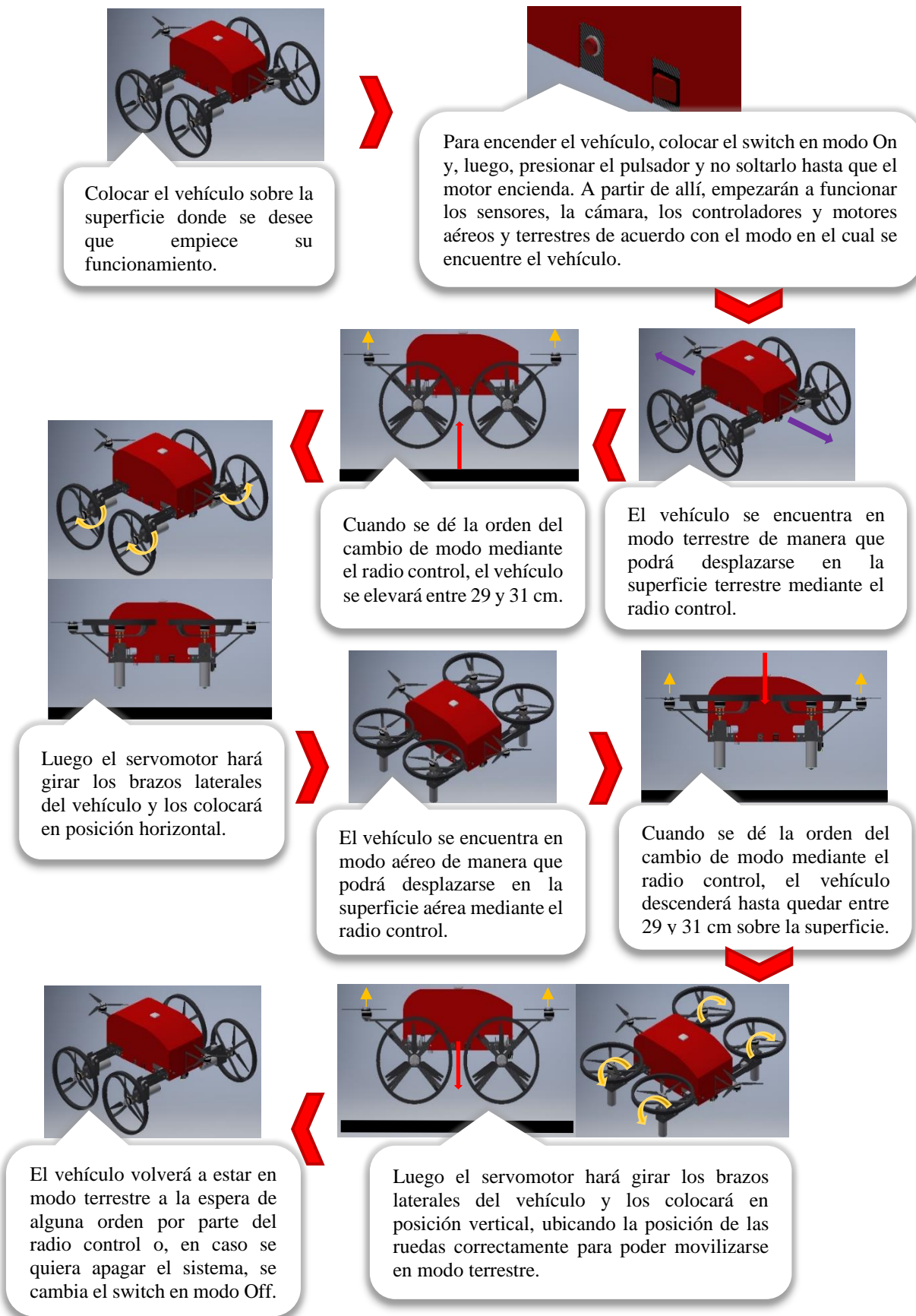


Figura 3.12: Imágenes de secuencia de funcionamiento

3.2 Diagrama de bloques del sistema mecatrónico

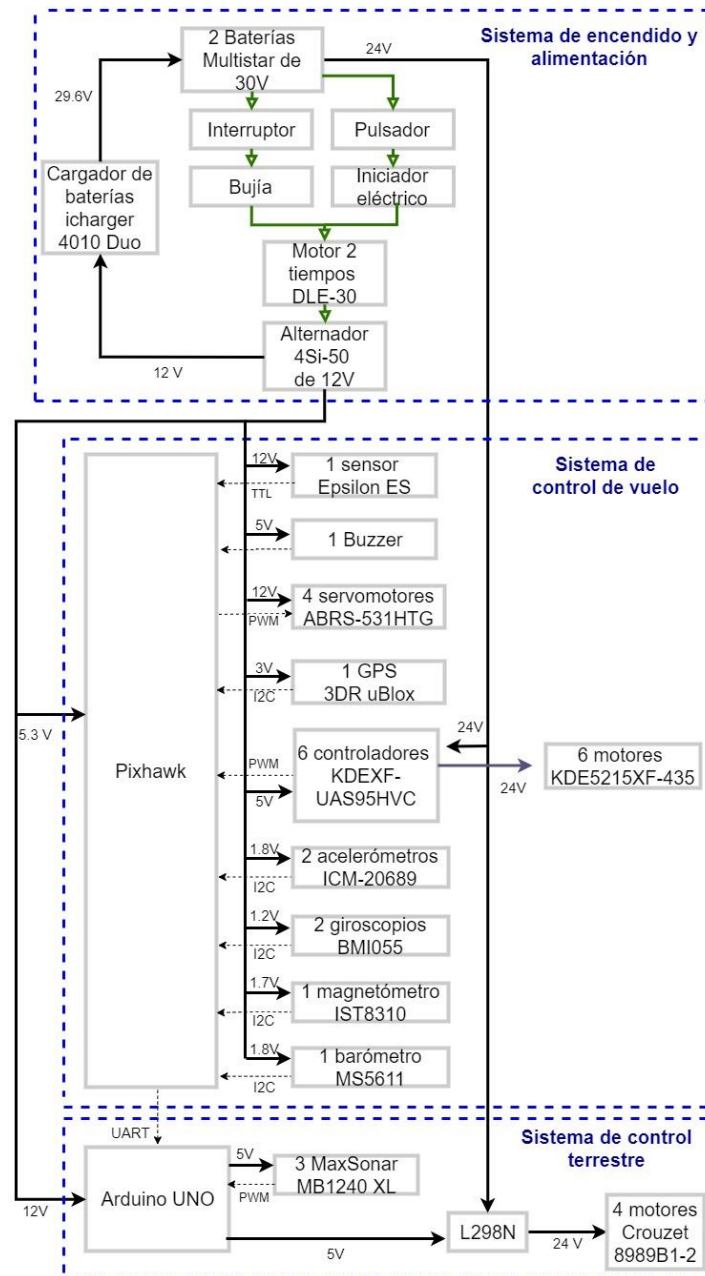


Figura 3.13: Diagrama de bloques del sistema

En la figura 3.13 se observa tres partes importantes del sistema: el sistema de encendido y alimentación, el sistema de control de vuelo y el sistema de control terrestre. El sistema de alimentación de 30 voltios (V) servirá para encender el sistema al cerrar circuito mediante un interruptor (switch) y un pulsador. Además, proveerá de energía a los actuadores (motores aéreos y motores terrestres). Así también proveerá de energía al controlador de vuelo y al controlador terrestre mediante su salida de 12V. Tanto los sensores como los servomotores serán alimentados de la misma salida de la fuente de energía de los controladores. Además, los sensores no solo recibirán energía sino también proveerán de información.

3.3 Sistema de control de vuelo

3.3.1 Controlador de vuelo

Este controlador es usado para la gestión de sensores del vehículo en modo aéreo y la gestión de las comunicaciones con dispositivos externos. En la tabla 3.4, se muestran los sensores y los puertos de conexiones que se requiere del controlador.

Tabla 3.4: Requerimientos controlador de vuelo

Criterio	Valor
Sensores	Acelerómetro
	Giroscopio
	Magnetómetro
	Barómetro
Puertos de conexión	UART
	I2C
	Salidas PWM
	GPS
	TELEM 1
	USB

De acuerdo con los sensores y puertos de conexión requeridos, se selecciona el controlador Pixhawk. Es un piloto automático (anexo H.7) que posee un alto rendimiento para multi rotores. Este módulo ejecuta el sistema operativo de tiempo real (RTOS), el cual es muy eficiente y proporciona un interfaz de sistema operativo portable (POSIX). Posee las ventajas de contar con un control de temperatura de la unidad de medición inercial (IMU) y es compatible de serie con el sistema de posicionamiento global (GPS) de navegación cinética en tiempo real (RTK). Será necesario un conector de bus serial universal (USB) para poder programar este dispositivo. Se encargará de controlar a los motores brushless, servomotores, buzzer; además, recibirá información del sensor de combustible, de las baterías, del radio control y del GPS y tendrá comunicación con el Arduino UNO.

Tabla 3.5: Características del Pixhawk

Frecuencia	Entrada del módulo de poder	Número de Interfaces	Peso
168 MHz	3.3 V - 6.6 V	10	0.0384 kg

Fuente: Adaptado de [48]



Figura 3.14: Pixhawk

Fuente: [48]

3.3.2 Motor brushless

De acuerdo con los requerimientos, el peso que deberán levantar los motores es en total 245.25 N por lo menos. De esta manera al considerar que se desarrollará un hexacóptero se analiza el empuje que deberá generar cada motor:

$$\text{Empuje} = \frac{W_{vehículo}}{N^{\circ} \text{ rotores}}, \quad (1)$$

$$\text{Empuje} = \frac{245.25 \text{ N}}{6} \approx 40.875 \text{ N}.$$

Teniendo en consideración que por seguridad los motores brushless deberán trabajar como máximo al 85% de su capacidad total, el empuje total necesario se calcula a continuación mediante una regla de tres simple:

$$\text{Empuje}_{Total} = \frac{\text{Empuje} \times 100\%}{85\%}, \quad (2)$$

$$\text{Empuje}_{Total} = \frac{40.875 \text{ N} \times 100\%}{85\%} \approx 48.09 \text{ N}.$$

De acuerdo con los cálculos realizados, en la tabla 3.6 se muestran los requerimientos del motor.

Tabla 3.6: Requerimientos del motor brushless

Criterio	Valor
Empuje	> 48.09 N

El motor brushless que cumple con los requerimientos es el motor de modelo KDE5215XF-435 que posee un peso de 305 gramos (g) que lo hace manipulable. En la figura 3.15 se podrá observar que estos motores (6 en total) cumplen con el empuje necesario para poder desplazar al móvil trabajando aproximadamente a un 60% de su capacidad. Se usan 6 de estos motores brushless para el sistema de propulsión y navegación aérea del hexacóptero y serán alimentados por la batería. Se acoplan 3 hélices para conseguir la potencia requerida y permitir un eficaz vuelo del móvil. Sus características son descritas en la tabla 3.7:

Tabla 3.7: Características del motor brushless modelo KDE5215XF-435

Voltaje de alimentación	Velocidad máxima	Empuje máximo	Potencia máxima
8S	11060 rpm	96.24 N	2633 W

Fuente: Adaptado de [31]

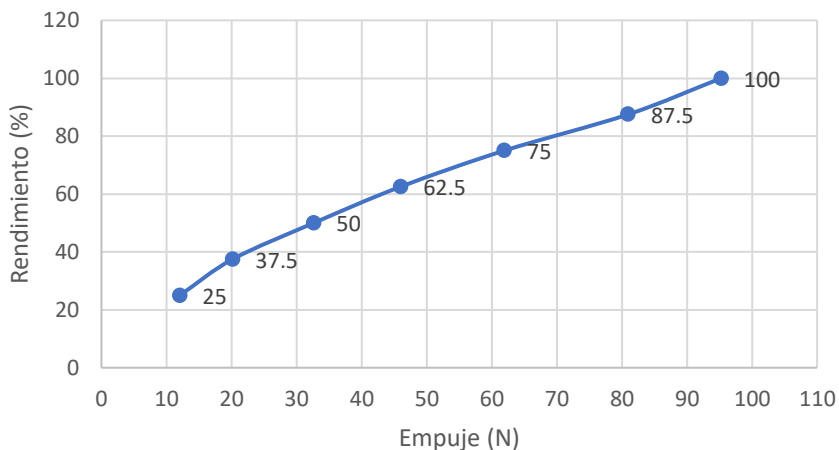


Figura 3.15: Empuje vs Rendimiento



Figura 3.16: KDE5215XF-435
Fuente: [31]

3.3.3 Controlador del motor brushless

Para seleccionar el controlador del motor brushless se debe de tener en cuenta que el amperaje del ESC debe ser por lo menos mayor al 30% del que posee el motor y que su voltaje debe de soportar el voltaje de entrada del motor para asegurar su correcta alimentación. Teniendo en cuenta que el motor, trabajando a un 87.5 % de su capacidad, consume 66 A [31] se calculará el amperaje del ESC:

$$Corriente_{ESC} = \frac{Corriente_{87.5\%} \times 130\%}{100\%}, \quad (3)$$

$$Corriente_{ESC} = \frac{66 \text{ A} \times 130\%}{100\%} \approx 85.8 \text{ A}.$$

De acuerdo con los cálculos realizados, en la tabla 3.8 se muestran los requerimientos del controlador del motor brushless.

Tabla 3.8: Requerimientos del controlador del motor brushless

Criterio	Valor
Corriente de alimentación	> 85.8 A
Voltaje de alimentación	> 29.6 V

El controlador que cumple con los requerimientos es el controlador electrónico de velocidad (ESC) modelo KDEXF-UAS95HVC. Cada controlador será conectado a cada motor brushless y sus características son mostradas en la tabla 3.9:

Tabla 3.9: Características del KDEXF-UAS95HVC

Máxima corriente continua	Máximo poder continuo	Rango de voltaje	Peso
95 A	4220 W	11.1 V - 52.2 V	0.078 kg

Fuente: Adaptado de [57]



Figura 3.17: KDEXF-UAS95HVC

Fuente: [57]

3.3.4 Buzzer

El buzzer es un dispositivo que generará una señal acústica en los siguientes casos: cuando se pierda el control del vehículo o la señal del video, si se produce algún accidente con el mismo, si las baterías se encuentren agotándose (a partir de cierto nivel de amperaje) o si el combustible llega a su nivel mínimo (a partir de cierto nivel de litros en el tanque). Por ello, es necesario que este dispositivo genere un sonido que pueda ser detectado a sus alrededores.

De acuerdo con lo mencionado, en la tabla 3.10 se muestran los requerimientos del buzzer.

Tabla 3.10: Requerimientos del buzzer

Criterio	Valor
Frecuencia	> 1000 Hz
Voltaje de entrada	12 V
Temperatura de operación	> 30°

El buzzer que cumple con los requerimientos establecidos se muestra en la Tabla 3.11, el cual será conectado al controlador de vuelo.

Tabla 3.11: Características del Buzzer

Voltaje de alimentación	Consumo de corriente	Frecuencia de Resonancia	Temperatura de operación	Peso
12V	15 mA	3300± 500 Hz	-20 - +85	0.1 kg

Fuente: Adaptado de [58]



Figura 3.18: Buzzer
Fuente: [58]

3.3.5 Sensor GPS

El GPS es el encargado de cumplir la función de determinar la posición del móvil en el espacio. Su ubicación está lejos de las fuentes de ruido (electromagnético y vibracional) que puede existir en el móvil, tales como los motores, los ESCs y la batería. Este sistema se comunica con el Pixhawk mediante el protocolo de circuito inter-integrado (I2C) bajo la comunicación serial. Las características del GPS se muestran en la Tabla 3.12:

Tabla 3.12: Características del 3DR uBlox GPS with Compass Kit

Frecuencia de actualización	Módulo	Voltaje de alimentación	Filtros	Peso
5 Hz	u-blox NEO-7	3V	LNA y SAW	0.0168 kg

Fuente: Adaptado de [59]



Figura 3.19: 3DR uBlox GPS with Compass Kit
Fuente: [59]

3.3.6 Sensor de combustible

El sensor de combustible brindará la información del nivel de combustible dentro del tanque. En la tabla 3.13 se muestran los requerimientos del sensor de combustible.

Tabla 3.13: Requerimientos del sensor de combustible

Criterio	Valor
Voltaje de entrada	12 V
Precisión	< 1mm

El sensor de combustible que cumple con los requerimientos es el Epsilon ES (anexo H.5). Tiene una interfaz de comunicación con el estándar recomendado 232 (RS-232) que por medio de un conversor lógica transistor-transistor (TTL) se conectará al Pixhawk donde se brindará la información. Será usado desde que el motor empieza a funcionar hasta que termine su tarea

designada. En caso el combustible se esté agotando, dará tiempo para poder reaccionar adecuadamente ante el problema. Sus características son mostradas en la tabla 3.14:

Tabla 3.14: Características del Epsilon ES

Voltaje de alimentación	Consumo de corriente	Resolución de medición	Interface	Peso
12V	5.5 mA	0.05 mm	RS-232	0.25 kg

Fuente: Adaptado de [60]



Figura 3.20: Epsilon ES
Fuente: [60]

3.3.7 Conversor de RS232 a TTL con conector DB9 macho

El conversor se conectará a la salida del sensor de combustible Epsilon ES (RS232) y tendrá como salida el TTL, cuyos pines serán conectados a la interfaz TELEM1 del Pixhawk y, de esa manera, recibirá la información del sensado.



Figura 3.21: Conversor de RS232 a TTL
Fuente: [61]

3.3.8 Servomotor

El brazo que será accionado por el servomotor deberá girar 90° (1.57 rad) para cambiar de modo al vehículo. El tiempo total del giro deberá ser 3 s con el fin de evitar un movimiento muy acelerado que pueda inestabilizar el sistema, además, la aceleración angular será constante.

En la tabla 3.15 se muestran los pesos de los dispositivos que deberá soportar el servomotor al momento de realizar el cambio de modo y considerando estos valores se realizarán los cálculos respectivos para la selección del servomotor.

Tabla 3.15: Peso de los ítems que soporta el servomotor

	Ítem	Masa (Kg)	
m	Brazo	0.100	
F1	Motor DC	1.600	= 36.06 N
	Prop x 3	0.077	
	Motor de vuelo	0.360	
	Soporte motor DC	0.235	
	Rueda	0.762	
	Soporte Rueda	0.342	
	Uniones	0.300	

A continuación, se hallará la aceleración tomando como referencia que el brazo partirá del reposo.

$$\theta = \omega_0 t + \frac{1}{2} \alpha t^2, \quad (4)$$

$$1.57 \text{ rad} = 0 + \frac{1}{2} \alpha (3s)^2,$$

$$\alpha = 0.35 \frac{\text{rad}}{s^2}.$$

Y cuya velocidad final será:

$$\omega_f = \omega_0 t + \alpha t, \quad (5)$$

$$\omega_f = 0 + \left(0.35 \frac{\text{rad}}{s^2}\right) 3s = 1.05 \frac{\text{rad}}{s}.$$

3.3.8.1 Análisis estático modo aéreo 1:

Cuando el sistema se encuentre en modo aéreo, los 6 motores brushless ejercerán empuje para un peso del vehículo de 25 kg.

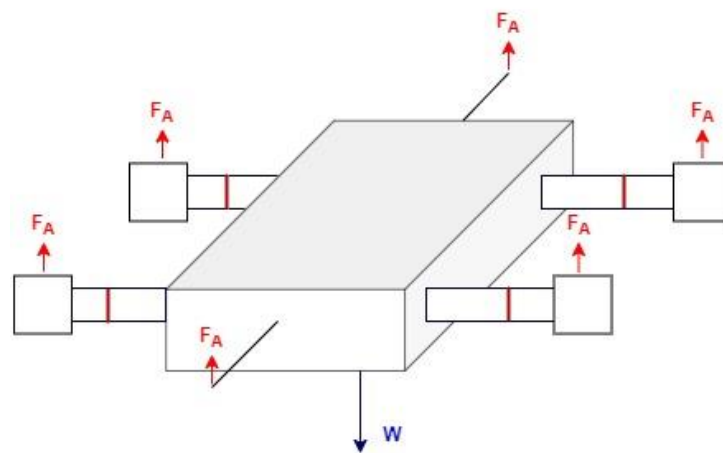


Figura 3.22: Diagrama de fuerzas del vehículo en modo aéreo 1

Se tiene que el peso total del sistema es: $W = 25 \times 9.8 = 245 \text{ N}$.

De esta manera, se halla la fuerza para mantener al vehículo estable en el aire:

$$\sum F = 0, \quad (6)$$

$$6F_A = W,$$

$$6F_A = 245 \text{ N},$$

$$F_A = 40.8 \text{ N}.$$

Análisis del brazo completo:

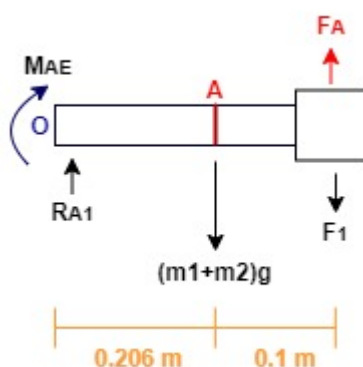


Figura 3.23: Diagrama de fuerzas del brazo completo en modo aéreo estático 1

$$R_{A1} = i$$

$$F_1 = 36.06 \text{ N}$$

$$F_A = 40.8 \text{ N}$$

$$(m_1 + m_2)g = 0.2 \text{ kg} \times 9.8 = 1.96 \text{ N}$$

Cálculo de equilibrio de fuerzas:

$$\sum F = 0,$$

$$F_A = (m_1 + m_2)g + F_1 + R_{A1},$$

$$R_{A1} = F_A - (m_1 + m_2)g - F_1,$$

$$R_{A1} = 2.78 \text{ N}.$$

Cálculo de equilibrio de momentos tomando como referencia el punto O, que es donde se encuentra la unión del brazo completo con la parte central del vehículo.

$$M_{AE} = ?, \quad M_1 = (m_1 + m_2)g \times \frac{l_1 + l_2}{2} = 0.29 \text{ N},$$

$$M_2 = (l_1 + l_2) \times F_A = 12.48 \text{ N}, \quad M_3 = (l_1 + l_2) \times F_1 = 11.03 \text{ N}.$$

$$\sum M = 0, \quad (7)$$

$$M_{AE} + M_1 + M_3 = M_2,$$

$$M_{AE} = 1.16 \text{ Nm}.$$

Análisis del brazo corto:

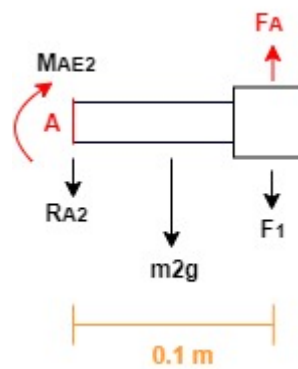


Figura 3.24: Diagrama de fuerzas del brazo corto en modo aéreo estático 1

$$R_{A2} = ?$$

$$m_2g = 0.98 \text{ N}$$

Cálculo de equilibrio de fuerzas:

$$\sum F = 0,$$

$$F_A = m_2g + F_1 + R_{A2},$$

$$R_{A2} = F_A - m_2g - F_1,$$

$$R_{A2} = 3.76 \text{ N}.$$

Cálculo de equilibrio de momentos tomando como referencia el punto A, que es donde se encuentra el servomotor.

$$M_{AE2} = ?,$$

$$M_1 = \frac{l_2}{2} \times m_2g = 0.049 \text{ N},$$

$$M_2 = l_2 \times F_A = 4.08 \text{ N},$$

$$M_3 = l_2 \times F_1 = 3.6 \text{ N}.$$

$$\sum M = 0,$$

$$M_{AE2} + M_1 + M_3 = M_2,$$

$$M_{AE2} = 0.43 \text{ Nm}.$$

Para un factor de seguridad $FS = 1.1$

$$M \times FS = \mathbf{0.47 \text{ Nm}}.$$

3.3.8.1 Análisis estático modo aéreo 2:

Cuando el sistema se prepara para realizar el cambio de modo de aéreo a terrestre, o al finalizar el cambio de modo de terrestre a aéreo, funcionarán solo los motores brushless de la parte frontal y posterior. Este estado del vehículo será de tiempo muy corto ya que al instante se procede a realizar el cambio de modo a terrestre, o se activan los demás motores brushless para estabilizar el vehículo en modo aéreo.

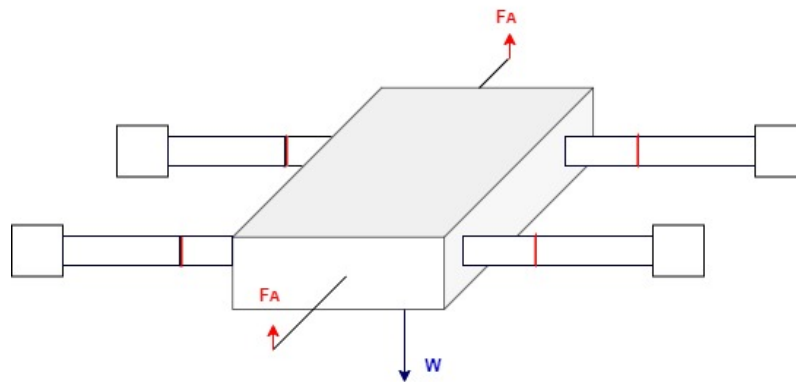


Figura 3.25: Diagrama de fuerzas del vehículo en modo aéreo 2

Se tiene que el peso total del sistema es: $W = 25 \times 9.8 = 245 \text{ N}$. De esta manera, no actúan las fuerzas de los motores brushless en los 4 brazos laterales.

Análisis del brazo completo:

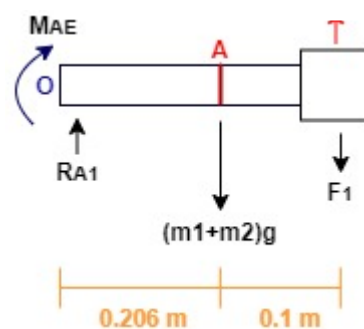


Figura 3.26: Diagrama de fuerzas del brazo completo en modo aéreo estático 2

$$R_{A1} = ?$$

$$F_1 = 36.06 \text{ N}$$

$$(m_1 + m_2)g = 0.2 \text{ kg} \times 9.8 = 1.96 \text{ N}$$

Cálculo de equilibrio de fuerzas:

$$\sum F = 0,$$

$$R_{A1} = (m_1 + m_2)g + F_1,$$

$$R_{A1} = 38.02 \text{ N}.$$

Cálculo de equilibrio de momentos tomando como referencia el punto O, que es donde se encuentra la unión del brazo completo con la parte central del vehículo.

$$M_{AE} = ?, \quad M_1 = (m_1 + m_2)g \times \frac{l_1 + l_2}{2} = 0.29 \text{ N},$$

$$M_2 = (l_1 + l_2) \times F_1 = 11.03 \text{ N}.$$

$$\sum M = 0,$$

$$M_{AE} = M_1 + M_2,$$

$$M_{AE} = 11.32 \text{ Nm}.$$

Análisis del brazo corto:

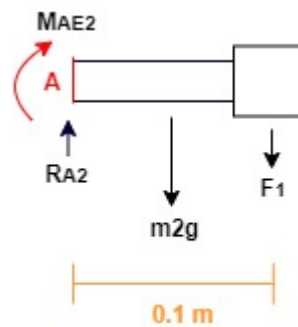


Figura 3.27: Diagrama de fuerzas del brazo corto en modo aéreo estático 2

$$R_{A2} = ?$$

$$m_2g = 0.98 \text{ N}$$

Cálculo de equilibrio de fuerzas:

$$\sum F = 0,$$

$$R_{A2} = m_2g + F_1,$$

$$R_{A2} = 37.04 \text{ N}.$$

Cálculo de equilibrio de momentos tomando como referencia el punto A, que es donde se encuentra el servomotor.

$$M_{AE2} = ?,$$

$$M_1 = \frac{l_2}{2} \times m_2g = 0.049 \text{ N},$$

$$M_2 = l_2 \times F_1 = 3.6 \text{ N}.$$

$$\sum M = 0,$$

$$M_{AE2} = M_1 + M_2,$$

$$M_{AE2} = 3.64 \text{ Nm}.$$

Para un factor de seguridad $FS = 1.1$

$$M \times FS = 4 \text{ Nm}.$$

3.3.8.2 Análisis estático modo terrestre:

Cuando el sistema se encuentre en modo terrestre, las 4 ruedas ejercerán soporte para un peso del vehículo de 25 kg.

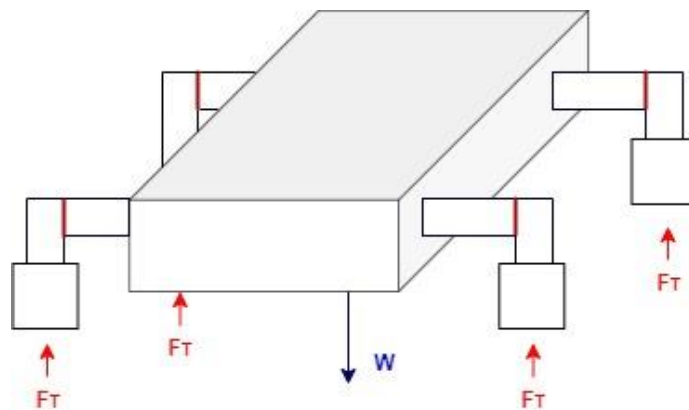


Figura 3.28: Diagrama de fuerzas del vehículo en modo terrestre

Se tiene que el peso total del sistema es: $W = 25 \times 9.8 = 245 \text{ N}$. De esta manera, se halla la fuerza para mantener al vehículo estable en la tierra:

$$\sum F = 0,$$

$$4F_T = W,$$

$$4F_T = 245 \text{ N},$$

$$F_T = 61.25 \text{ N}.$$

Análisis del brazo completo:

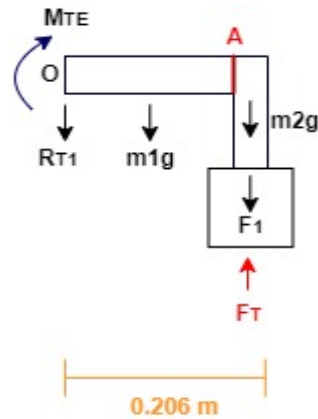


Figura 3.29: Diagrama de fuerzas del brazo completo en modo terrestre estático

$$R_{T1} = ?$$

$$F_1 = 36.06 \text{ N}$$

$$m_1g = m_2g = 0.1 \text{ kg} \times 9.8 = 0.98 \text{ N}$$

Cálculo de equilibrio de fuerzas:

$$\sum F = 0,$$

$$F_T = m_1g + m_2g + F_1 + R_{T1},$$

$$R_{T1} = F_T - m_1g - m_2g - F_1,$$

$$R_{T1} = 23.23 \text{ N}.$$

Cálculo de equilibrio de momentos tomando como referencia el punto O, que es donde se encuentra la unión del brazo completo con la parte central del vehículo.

$$M_{TE} = ?, \quad M_1 = m_1g \times \frac{l_1}{2} = 0.1 \text{ N},$$

$$M_2 = l_1 \times (F_1 + m_2g) = 7.63 \text{ N}, \quad M_3 = l_1 \times F_T = 12.62 \text{ N}.$$

$$\sum M = 0,$$

$$M_{TE} + M_1 + M_2 = M_3,$$

$$M_{TE} = 4.8 \text{ Nm}.$$

Análisis del brazo corto:

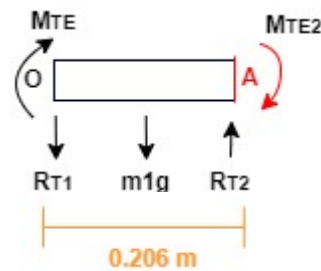


Figura 3.30: Diagrama de fuerzas del brazo corto en modo terrestre estático

$$R_{T2} = ?$$

$$m_1g = 0.98 \text{ N}$$

Cálculo de equilibrio de fuerzas:

$$\sum F = 0,$$

$$R_{T2} = R_{T1} + m_1g,$$

$$R_{T2} = 24.21 \text{ N}.$$

Cálculo de equilibrio de momentos tomando como referencia el punto A, que es donde se encuentra el servomotor.

$$M_{TE2} = ?,$$

$$M_1 = \frac{l_1}{2} \times m_1g = 0.1 \text{ N},$$

$$M_2 = l_1 \times R_{T1} = 4.79 \text{ N},$$

$$M_3 = M_{TE} = 4.8 \text{ Nm}.$$

$$\sum M = 0,$$

$$M_{TE2} = M_1 + M_2 - M_3,$$

$$M_{TE2} = 0.09 \text{ Nm}.$$

3.3.8.3 Análisis de cambio de modo

Para los análisis de cambio de modo (aéreo a terrestre / terrestre a aéreo) no se considera la fuerza ejercida por los motores brushless debido a que, cuando se da el cambio de modo, los 4 motores laterales dejan de funcionar y solo los 2 motores (frontal y posterior) estarán en acción los 3 segundos (tiempo establecido inicialmente) que dure el cambio de modo.

Análisis cambio de modo aéreo a terrestre:

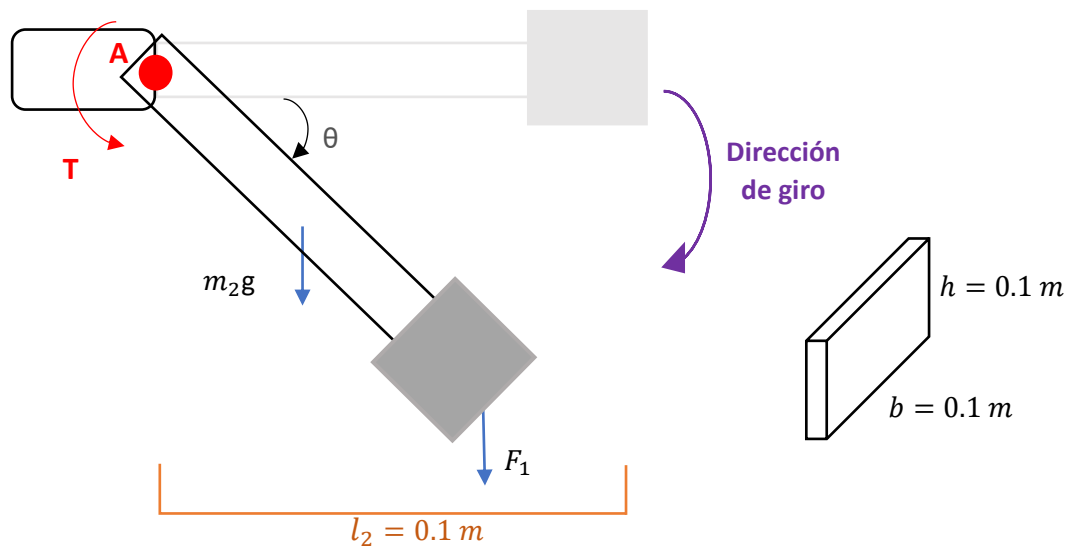


Figura 3.31: Diagrama de fuerzas y perfil del brazo aéreo a terrestre

Se hallarán los momentos que se generan por la masa del brazo y la fuerza que existe en su extremo tomando como referencia el punto A, que es donde se encuentra el servomotor.

$$\tau_1 = F1 \times l_2 \times \cos \theta,$$

$$\tau_2 = m_2 g \times \frac{l_2}{2} \times \cos \theta,$$

Para $\cos \theta = \max$ \rightarrow $\theta = 0$ \rightarrow $\cos 0 = 1$

$$\tau_1 = 36.06 \text{ N} \times 0.1 \text{ m} = 3.606 \text{ Nm.}$$

$$\tau_2 = 0.1 \times 9.8 \times \frac{0.1}{2} = 0.049 \text{ Nm.}$$

Se calcula la inercia total, que incluye la del brazo y la de la masa concentrada en el extremo, teniendo como referencia el eje de giro en un extremo:

$$I = \frac{1}{3} m_2 l_2^2 + m_{F1} l_2^2, \quad (8)$$

$$I = \frac{1}{3} \times 0.1 \times 0.1^2 + 3.676 \times 0.1^2 = 0.037 \text{ kg.m}^2.$$

Con los valores calculados, se halla el torque necesario:

$$\sum \tau = I\alpha, \quad (9)$$

$$\tau_1 + \tau_2 - \tau = I\alpha,$$

$$3.606 + 0.049 - \tau = 0.037 \times 0.35,$$

$$\tau = 3.64 \text{ Nm.}$$

Para un factor de seguridad $FS = 1.1$

$$\tau \times FS = 4 \text{ Nm.}$$

A continuación, se muestra en la figura 3.32, gráfico elaborado en el software *Matlab*, la variación del torque conforme el brazo va girando hacia la posición vertical (terrestre).

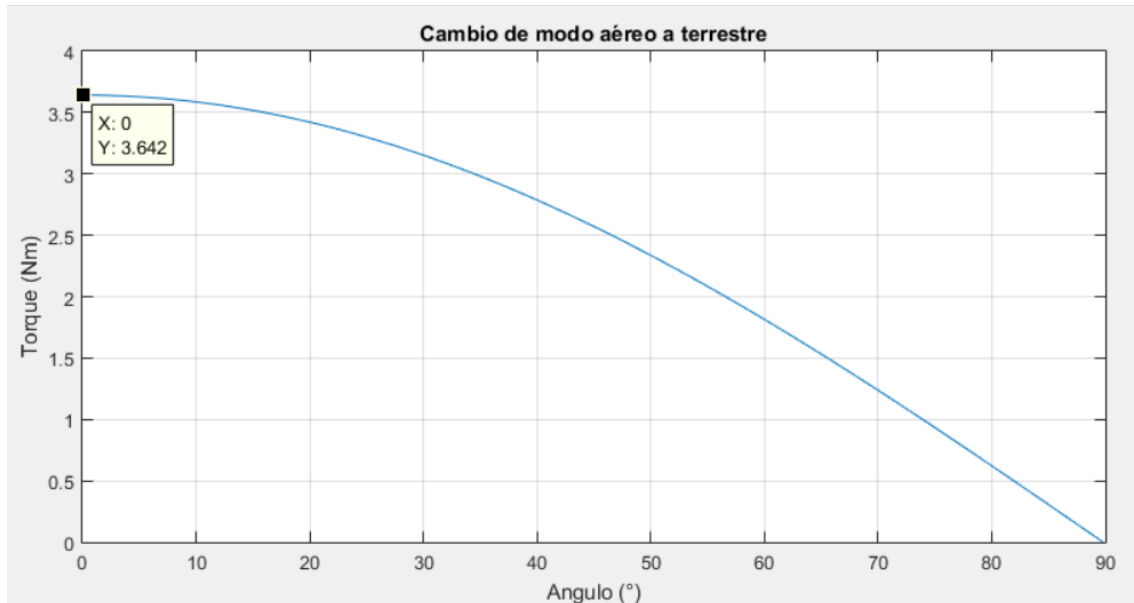


Figura 3.32: Cambio de modo aéreo a Terrestre (Torque vs Ángulo)

Análisis cambio de modo terrestre a aéreo:

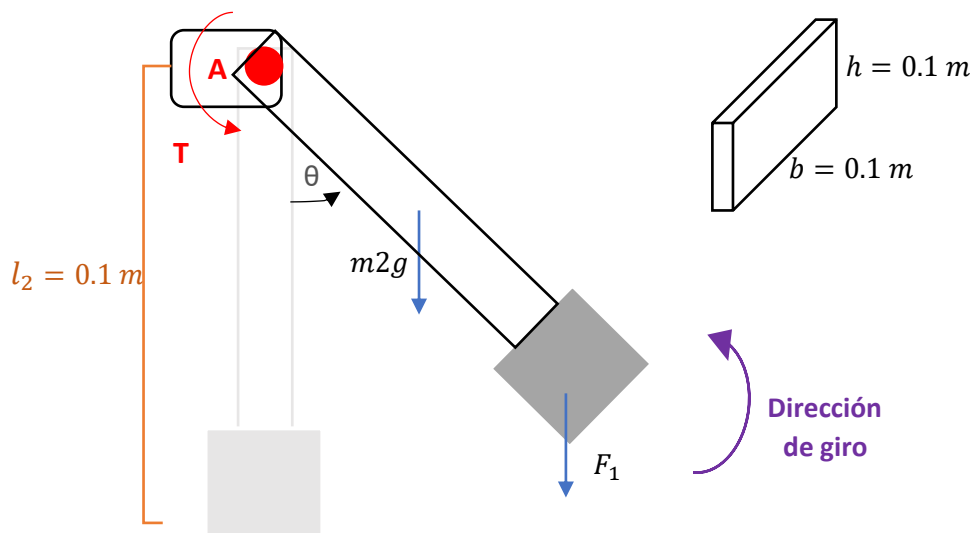


Figura 3.33: Diagrama de fuerzas y perfil del brazo terrestre a aéreo

Se hallarán los momentos que se generan por la masa del brazo y la fuerza que existe en su extremo tomando como referencia el punto A, que es donde se encuentra el servomotor.

$$\tau_1 = F1 \times l_2 \times \sin \theta,$$

$$\tau_2 = m_2 g \times \frac{l_2}{2} \times \sin \theta,$$

Para $\sin \theta = \max$ \rightarrow $\theta = 90$ \rightarrow $\sin 90 = 1$

$$\tau_1 = 36.06 \text{ N} \times 0.1 \text{ m} = 3.606 \text{ Nm}.$$

$$\tau_2 = 0.1 \times 9.8 \times \frac{0.1}{2} = 0.049 \text{ Nm}.$$

Se calcula la inercia total, que incluye la del brazo y la de la masa concentrada en el extremo, teniendo como referencia el eje de giro en un extremo:

$$I = \frac{1}{3} m_2 l_2^2 + m_{F1} l_2^2,$$

$$I = \frac{1}{3} \times 0.1 \times 0.1^2 + 3.676 \times 0.1^2 = 0.037 \text{ kg} \cdot \text{m}^2.$$

Con los valores calculados, se halla el torque necesario:

$$\sum \tau = I \alpha,$$

$$\tau_1 + \tau_2 - \tau = I \alpha,$$

$$3.606 + 0.049 - \tau = 0.037 \times 0.35,$$

$$\tau = 3.64 \text{ Nm}.$$

Para un factor de seguridad $FS = 1.1$

$$\tau \times FS = \mathbf{4 \text{ Nm}}.$$

A continuación, se muestra en la figura 3.34, gráfico elaborado en el software *Matlab*, la variación del torque conforme el brazo va girando hacia la posición horizontal (aéreo).

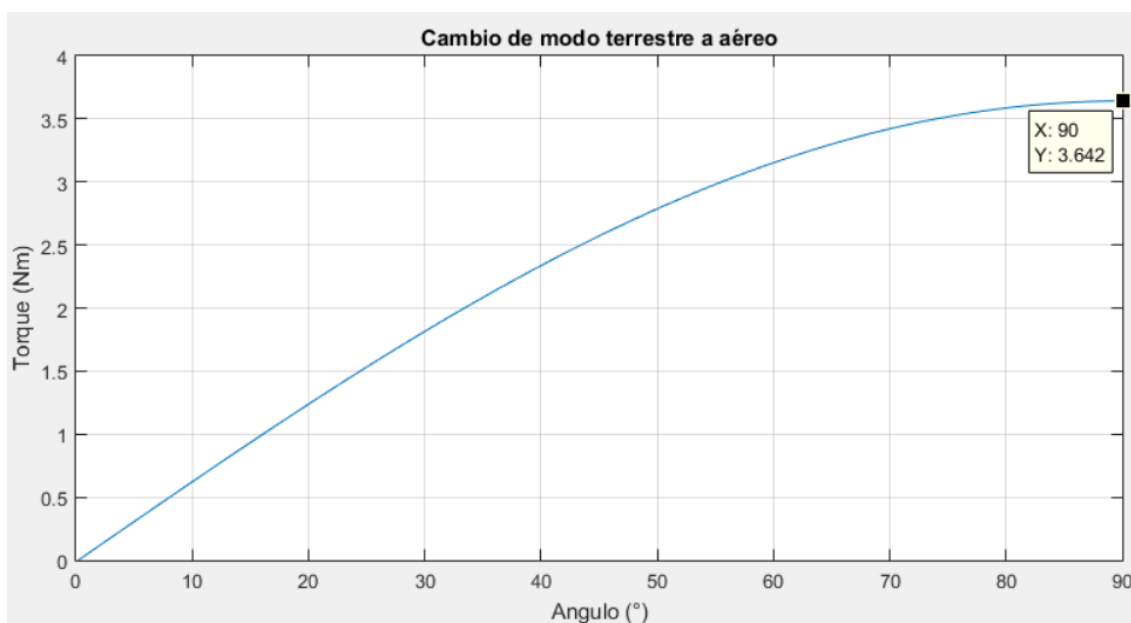


Figura 3.34: Cambio de modo terrestre a aéreo (Torque vs Angulo)

✓ Según los análisis realizados para el brazo completo en modo terrestre y modo aéreo, el mayor torque (11.32 Nm) y la mayor fuerza (38.02 N) se dan en el instante en el que el vehículo solo es soportado en el aire por los dos motores brushless (frontal y posterior) y los brazos están en posición horizontal. Con estos valores y, de acuerdo con el cálculo de los tornillos realizados en el capítulo 3.8.4.1.1, se comprueba que los tornillos que unen los brazos con la parte central no fallarán.

✓ El mayor torque que el servomotor deberá generar debe ser mayor a 4. Nm, debido a que, según los análisis estáticos y dinámicos realizados, se genera un torque máximo de 3.64 Nm (4 Nm con un FS=1.1) en el momento que se dan los cambios de modo en el vehículo.

De acuerdo con los cálculos realizados, en la tabla 3.16 se muestran los requerimientos del servomotor.

Tabla 3.16: Requerimientos del servomotor

Criterio	Valor
Torque	> 4 Nm
Velocidad angular mínima	> 1.05 rad/s
Voltaje de entrada	12V

El servomotor que cumple con los requerimientos es el modelo ABRS-531HTG+Full HV, este componente genera la torsión necesaria y, además, cumple con la velocidad angular inicialmente calculada. Sus características son mostradas en la Tabla 3.17:

Tabla 3.17: Características del servomotor

Entrada de voltaje	Salida velocidad	Torsión Nominal	Peso
12V	0.14 s/60°	5.21 Nm	0.081 kg

Fuente: Adaptado de [33]



Figura 3.35: ABRS-531HTG+Full HV

Fuente: [33]

Para analizar la carga extra que puede soportar el servomotor, se consideran los cálculos estáticos y dinámicos realizados, en la tabla 3.18. se muestran los resultados:

Tabla 3.18: Cálculos del servomotor para carga extra

Carga Extra	Torque requerido con FS = 1.1	
	Análisis estático modo aéreo	Análisis estático modo terrestre
5 kg	4 Nm	2.6 Nm
10 kg	4 Nm	5.6 N

El máximo valor de torque en modo aéreo sigue siendo 4 Nm, pues el aumento de peso en el vehículo no afecta en los brazos laterales ya que solo están en funcionamiento los motores brushless frontal y posterior.

De acuerdo con los resultados mostrados en la tabla 3.18, este motor dará estabilidad a la unión del brazo con el soporte del motor DC solo cuando el vehículo cuente con un peso extra de 5 kg (Total 30 kg).

3.4 Sistema de control terrestre

3.4.1 Controlador terrestre

El controlador terrestre es usado para la comunicación con sensores del vehículo, la gestión de las comunicaciones con los motores DC y con el controlador de vuelo. En la tabla 3.19, se muestran los requerimientos del controlador.

Tabla 3.19: Requerimientos controlador de terrestre

Criterio	Valor
Número de pines de entradas analógicas	> 3
Número de pines de salidas analógicas	> 6
Puerto UART	Si

El controlador que cumple con los requerimientos es el Arduino UNO. El Arduino (anexo H.9) permitirá controlar los motores DC mediante un controlador intermediario (L298N), así como recibir información directa de los sensores ultrasónicos. Usa un microcontrolador Atmega238 y será conectado al controlador Pixhawk mediante los pines de transmisión y recepción. Sus características son mostradas en la tabla 3.20:

Tabla 3.20: Características del Arduino UNO

Voltaje de entrada	Voltaje de salida	Número de Pines	Corriente de entrada
7 V – 12 V	5 V	14	40 mA

Fuente: Adaptado de [62]



Figura 3.36: Arduino UNO

Fuente: [62]

3.4.2 Controlador de motor DC

El controlador del motor DC será el encargado de controlar el desplazamiento terrestre del vehículo. En la tabla 3.21 se muestran los requerimientos del controlador del motor DC.

Tabla 3.21: Requerimientos del controlador del motor DC

Criterio	Valor
Voltaje de salida	> 24 V
Motores a controlar	4

El controlador del motor DC que cumple con los requerimientos es el controlador L298N (anexo H.8) que será conectado al Arduino y su comunicación será mediante modulación de ancho de pulsos (PWM). Este controlador posee 2 puentes H los cuales harán efectiva la función de poder manipular los 4 motores DC para realizar la función de desplazamiento del móvil en modo terrestre. Posee un alto valor de voltaje de alimentación para los motores, con lo cual suple la necesidad establecida para manejar los motores elegidos. Sus características son mostradas en la tabla 3.22:

Tabla 3.22: Características del L298N

Voltaje de alimentación	Voltaje de salida	Número de Salidas	Consumo de corriente máximo
5V	12V-35V	2	500 mA

Fuente: Adaptado de [63]



Figura 3.37: L298N

Fuente: [63]

3.4.3 Motor DC

En el caso más desfavorable, el vehículo se encontrará ante una pendiente donde los motores DC deberán funcionar de manera correcta para que no falle el desplazamiento del vehículo.

El móvil pesará 25 kg y se plantea que la velocidad de traslación del vehículo sea de 1.8 m/s (6.48 km/h), un valor mayor en comparación con el promedio de velocidad (5.8 km/h) de los vehículos terrestres que pesan menos de 25 kg encontrados en el capítulo 1 (tabla 1.1) y mucho mayor a la velocidad del drone aéreo – terrestre encontrado (0.011 km/h). Además, su velocidad mínima deberá ser 0.47 m/s (1.7 km/h), pues es la velocidad del vehículo terrestre que tiene la menor velocidad en comparación con los otros encontrados (tabla 1.1).

Teniendo en consideración que se plantea que el vehículo alcance su velocidad máxima en 2 s, se calculará la aceleración del vehículo:

$$a_{max} = \frac{V_f - V_i}{t}, \quad (10)$$

$$a_{max} = \frac{1.8 \frac{m}{s} - 0 \frac{m}{s}}{2 s} = 0.9 \frac{m}{s^2}.$$

Además, como el vehículo debe superar una pendiente moderadamente inclinada (entre 4 y 8%), para asegurar ese desplazamiento se calculará a partir de una pendiente fuertemente inclinada (entre 8 y 15%) [52] por eso, para los cálculos, se toma un ángulo de inclinación de $10^\circ = 11.11\%$. Además, el coeficiente de rozamiento de las ruedas, que son de material ABS, es 0.35 [64].

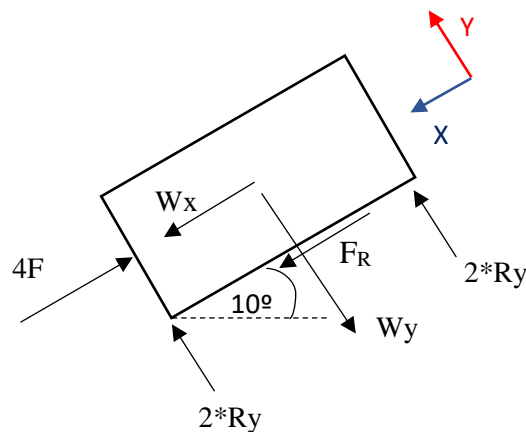


Figura 3.38: DCL del móvil

Sabiendo que $W = 245 N$:

$$W_x = 245 \times \text{sen}(10) = 42.54 N. \quad W_y = 245 \times \text{cos}(10) = 241.28 N.$$

Se obtiene la fuerza de rozamiento para $\mu = 0.35$ y donde $N = W_y$.

$$Fr = \mu \times N. \quad (11)$$

$$Fr = 0.35 \times 241.28 = 84.45 N$$

A continuación, se calcula la fuerza resultante

$$\begin{aligned}\Sigma F &= m \times a, \\ 4F - Fr - Wx &= m \times a,\end{aligned}\tag{12}$$

Donde $a = a_{max}$

$$F = \frac{25 \times 0.9 + 42.54 + 84.45}{4} = 37.37 \text{ N}.$$

Entonces se tiene que cada motor debe ejercer una fuerza de 37.37 N para poder superar dicho obstáculo. Además, como dato se cuenta que el diámetro exterior de las llantas es de 45,37 cm, por lo tanto: $r = 0,22685 \text{ m}$

$$\begin{aligned}T &= F \times r, \\ T &= 37.37 \text{ N} \times 0,22685 \text{ m} = 8.48 \text{ Nm}, \\ T &= 8.48 \text{ Nm} = 86.72 \text{ kg} - \text{cm} = 1232.02 \text{ oz} - \text{in}, \\ T \times \mathbf{FS} &= 1232.02 \times 1.3 = 1601.62 \text{ oz} - \text{in}.\end{aligned}\tag{13}$$

✓ Se escoge un motor con torque mayor a 1601.629 oz-in (> **11.3 Nm**)

$$\begin{aligned}P &= T \times \omega = F \times V, \\ P &= 38.5 \times 1.8 = 69.3 \text{ Watt}.\end{aligned}\tag{14}$$

$$\begin{aligned}\omega &= \frac{V}{r}, \\ \omega_{max} &= \frac{1.8 \left(\frac{\text{rad}}{\text{s}}\right) \times \frac{60}{2\pi}}{0.22} = 78 \text{ rpm}.\end{aligned}\tag{15}$$

Para calcular la velocidad angular mínima, se tiene en cuenta que, la velocidad mínima es 0.47 m/s y se considera el mismo diámetro de llanta:

$$\begin{aligned}\omega_{min} &= \frac{V_{min}}{r} = \frac{0,47 \text{ m/s}}{0,22 \text{ m}} = 2.14 \frac{\text{rad}}{\text{s}}, \\ \omega_{min} &= 2.14 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \times 60 \text{ s} \times \frac{1 \text{ rev}}{2\pi \text{ rad}}, \\ \omega_{min} &= 20.44 \text{ rpm}.\end{aligned}$$

✓ La velocidad angular debe de estar en el rango: $20.44 \text{ rpm} \leq \omega \leq 78 \text{ rpm}$

De acuerdo con los cálculos realizados, en la tabla 3.23 se muestran los requerimientos del motor DC.

Tabla 3.23: Requerimientos del Motor DC

Criterio	Valor
Torque	> 11.3 Nm
Velocidad angular mínima	20.44 rpm
Velocidad angular máxima	78 rpm
Potencia	> 69.3 W

El motor DC que cumple con los requerimientos es de la empresa Crouzet modelo 8989B1-2 (anexo H.2), sus características son mostradas en la tabla 3.24:

Tabla 3.24: Características del Motor DC

Potencia Nominal	Salida velocidad	Entrada de voltaje	Torsión Nominal	Peso
209 W	74 rpm	24 V	12 Nm	0.9 kg

Fuente: Adaptado de [24]



Figura 3.39: Motor DC

Fuente: [24]

Al tener los datos del motor DC, se calcula la carga extra que puede tener el vehículo la cual dependerá del grado de inclinación de la pendiente que podrá desplazarse. A continuación, en la tabla 3.25 se muestra un cuadro con el ángulo de la pendiente de acuerdo con el peso extra de carga.

Tabla 3.25: Ángulos de inclinación de acuerdo con la carga del vehículo

Carga extra	Peso Total	Ángulo
0	25 kg	10°
5 kg	30 kg	5°
10 kg	36 kg	0°

3.4.4 Sensor de Ultrasonido

El sensor ultrasónico sirve para determinar la distancia que existe entre el móvil y otro objeto. Se usarán tres sensores, uno servirá para medir la distancia con el suelo para poder realizar el cambio de modo, mientras que los otros dos estarán ubicados en la parte frontal y posterior del vehículo con el fin de evitar algún impacto con algún obstáculo. En la tabla 3.26 se muestran los requerimientos del sensor ultrasónico.

Tabla 3.26: Requerimientos del sensor ultrasonido

Criterio	Valor
Alcance	> 500 cm
Precisión	< 3 cm

El sensor ultrasónico que cumple con los requerimientos es el MB1240 XL-MaxSonar (anexo H.4). Es alimentado por el Arduino UNO y su comunicación se da a través del voltaje recibido por el conversor analógico digital (ADC) del mismo. Posee una alta resistencia al ruido ya que su frecuencia de operación está muy por encima de la frecuencia del sonido ambiente, lo que permite trabajar en ambientes cercanos a fuentes de considerable ruido eléctrico. Sus características son mostradas en la tabla 3.27:

Tabla 3.27: Características del MB1240 XL-MaxSonar

Rango de trabajo	Resolución	Voltaje de alimentación	Consumo de corriente	Sensibilidad
0 – 765 cm	1 cm	5 V	3.4 mA	4.9 mV/cm

Fuente: Adaptado de [44]



Figura 3.40: MB1240 XL-MaxSonar

Fuente: [44]

3.5 Sistema de encendido y alimentación

3.5.1 Iniciador eléctrico de motor

El iniciador eléctrico es un sistema que cuenta con engranajes y un servomotor cuya función es la de hacer girar el eje del motor. En la tabla 3.28 se muestran los requerimientos del iniciador eléctrico.

Tabla 3.28: Requerimientos del iniciador eléctrico de motor

Criterio	Valor
Voltaje	12 V
Compatibilidad	Motor DLE-30

El motor eléctrico que cumple con los requerimientos está debidamente acondicionado para ensamblarse en el motor DLE-30. Cuenta con una entrada entre 3 a 15 V, es accionado mediante un pulsador y alimentado por las baterías. Cuando el motor ya este activo, el iniciador eléctrico dejará de funcionar al soltar el pulsador.



Figura 3.41: Iniciador eléctrico

Fuente: [65]

3.5.2 Motor de 2 tiempos

El motor de combustión de 2 tiempos (anexo H.1) de 30.5 cm^3 contará con la ignición de la descarga del condensador (CDI) el cual recibirá el voltaje de la batería (cuando el Switch este en ON) y activará la bujía. Con el movimiento de giro que generará el iniciador electrónico al motor y las chispas que emana la bujía, se realizará la primera explosión y de esa manera comenzará a funcionar el cigüeñal.

La elección de este motor se debe al bajo peso que posee, se diferencia del motor de 4 tiempos debido a su sencillez de funcionamiento y mayor potencia. Y se diferencia del motor glow pues no usa como combustible una mezcla de metanol, nitrometano y aceites, lo que brinda al motor seleccionado una mayor facilidad para iniciar de su funcionamiento. Antes de montar el motor en el soporte principal del móvil se deberá calibrar la aguja del carburador para obtener los 6026 rpm necesarios de acuerdo con el alternador que posee. Además, al iniciar se deberá realizar unos ajustes dispuestos de antemano en las agujas del carburador y al finalizar se deberá mutar el switch en Off para apagar el motor.

Este motor necesitará entre 80 a 93 octanos de gasolina y una relación de compresión de 7.6:1; todo esto, para obtener un buen rendimiento del motor al asegurar una detonación a tiempo y aprovechar eficientemente la energía del combustible. Sus características son mostradas en la tabla 3.29:

Tabla 3.29: Características del DLE-30

Desplazamiento	Rango de velocidad	Estilo de encendido	Peso total
30.5 cm^3	1600 rpm – 8500 rpm	Electrónico	1.1 kg

Fuente: Adaptado de [35]



Figura 3.42: DLE-30

Fuente: [35]

3.5.2.1 Cálculo del tiempo de consumo del combustible del motor

El motor de combustión de 2 tiempos será la fuente principal de energía del vehículo, en este caso fue seleccionado el motor DLE 30. Este motor cuenta con una potencia máxima de 2.76 kW a 8500 rpm según su hoja de datos; sin embargo, se necesitará que el motor solo gire a 6026 rpm, es decir a un 70% de su capacidad máxima asegurando el buen uso de este motor.

Para hallar el consumo específico de este motor, fue necesario tomar en cuenta el libro de F. Payri donde se encuentra la tabla con los valores de consumo específico de distintos tipos de motor, entre ellos, un motor pequeño de 2 tiempos de gasolina como el motor a usar (DLE 30).

A continuación, se muestra en la tabla 3.30 los valores de los consumos específicos:

Tabla 3.30: Consumos específicos (gasolina y gasoil) de distintos tipos de motor.

	Motor MEP	g_{ef} [g/kWh]	Motor MEC	g_{ef} [g/kWh]
4T	Motocicletas	260	Automóvil (IDI)	240
	Automóvil	240	Automóvil (DI sobrealimentado)	190
			Industrial / Vehículo pesado	180
2T	2T pequeño tamaño	335	2T gran tamaño	150

Fuente: [66]

Como se puede apreciar, el valor de consumo específico es de $335 \frac{g}{kWh}$ el cual se define como el consumo horario de combustible (g/h) en relación con la potencia producida por el motor seleccionado (2.76 kW).

$$g_{ef} = \frac{\dot{m}}{\dot{W}_e} \quad \rightarrow \quad \dot{m} = g_{ef} \times \dot{W}_e, \quad (16)$$

$$\dot{m} = 335 \frac{g}{kW \cdot h} \times P(kW),$$

$$\dot{m} = \frac{335 g}{kW \cdot h} \times 2.76 kW = 924.6 \frac{g}{h}.$$

Una vez obtenido el consumo horario en g/h según la ecuación general, se procede a hallar el consumo horario en l/h para poder calcular el tiempo de funcionamiento del vehículo de acuerdo con la cantidad de combustible (en litros) que se tendrá en el tanque. Para ello, se divide el valor del consumo hallado entre la densidad del combustible a usar con el fin de realizar el análisis en función de la fuente energética del motor. Este motor DLE 30 consume

gasolina sin plomo como fuente de energía y cuya densidad es de $0.731 \frac{g}{cm^3}$, este valor es de acuerdo con el tipo de gasolina que se usará (gasolina de 90 – ecológica, gasolina no plomada) [67]. A continuación, se hallará el consumo por hora.

$$\dot{V} = \frac{\dot{m}}{\rho}, \quad (17)$$

$$\dot{V} = \frac{924.6 \frac{g}{h}}{0.731 \frac{g}{cm^3}} = 1264 \frac{cm^3}{h} \times \frac{1l}{1000cm^3} = 1.264 \frac{l}{h}$$

Con este cálculo, se aprecia que este motor consume 1.264 litros en una hora. Sin embargo, debido a que el valor que muestra la tabla 3.30 es un valor de referencia, es preciso tomar valores entre un rango de +50 tomando como base $335 \frac{g}{kWh}$, pues cada motor posee un consumo diferente, aunque los valores sean semejantes.

Se realizan los cálculos anteriores con cada valor dentro del rango, para hallar el consumo másico y consumo por hora de cada valor. Luego de realizar las operaciones, se obtiene la tabla 3.31 con los resultados.

Tabla 3.31: Resultado de valores de consumo másico y consumo por hora.

g_{ef} [g/kWh]	\dot{m} [g/h]	\dot{V} [l/h]
335	924.6	1.264
345	952.2	1.302
355	979.8	1.340
365	1007.4	1.378
375	1035	1.415
385	1062.6	1.453

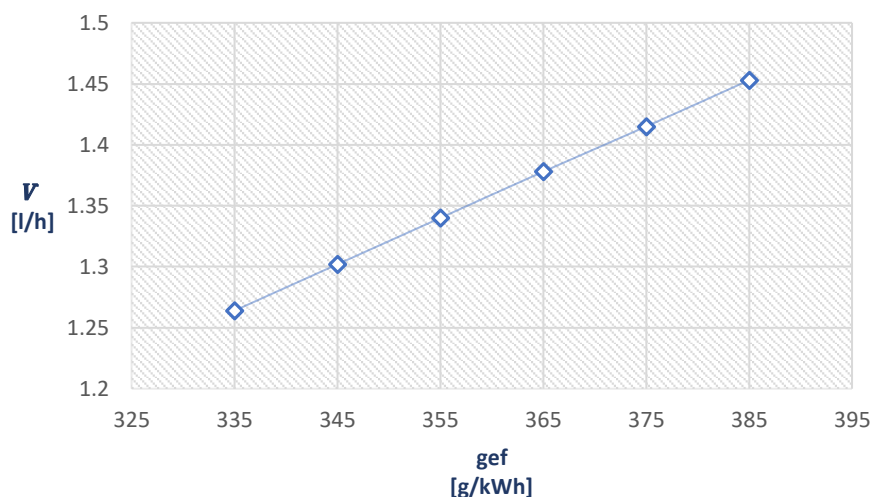


Figura 3.43: Consumo específico vs consumo por hora.

Como se puede apreciar tanto en la tabla 3.31 como en la figura 3.43, el valor más conveniente sería que el consumo específico de combustible sea el menor posible. Sin embargo, se tomará en cuenta el peor de los casos en donde el valor del consumo específico de combustible es de $385 \frac{g}{kWh}$ y dará como consumo por hora el valor de $1.453 \frac{l}{h}$.

Si, según los cálculos, el motor consume 1.453 litros en una hora y el tanque de combustible almacena 1.2 litros, el tiempo que demorará en consumir el combustible del tanque se determinará mediante una regla de tres simple:

$$T_{funcionamiento} = \frac{l_{tanque} \times 1h}{l_{consumo}}, \quad (18)$$

$$T_{funcionamiento} = \frac{1.2 l \times 1h}{1.453 l} = 0.83 h \times \frac{60 min}{1 h} = 50 min.$$

De esta manera, se obtiene un tiempo de funcionamiento del vehículo de 50 min en el peor de los casos, tomando en consideración solo el funcionamiento del motor.

3.5.2.2 Efecto de la altitud en el consumo de combustible

A medida que la altitud aumenta, la presión atmosférica disminuye pues el aire es menos denso, esto afecta de manera directa en la eficiencia del funcionamiento del motor de combustión pues disminuye la potencia del motor.

El factor de potencia del motor en función a la altitud se define mediante la siguiente expresión [68]:

$\sigma \cdot \delta$ = Factor de potencia

P_{alt} = Potencia a la altitud considerada

P_{si} = Potencia indicada a nivel del mar

P_0 = Presión atmosférica estándar a nivel del mar

P_d = Presión atmosférica a altitud considerada

ρ_d = Densidad del aire según la altitud

ρ_0 = Densidad estándar a nivel del mar

r = Relación de compresión

z = Altura geopotencial en metros

$$\frac{P_{alt}}{P_{si}} = \sigma \cdot \delta = \frac{\rho_d}{\rho_0} \left[\frac{r^{0.35} - \left(\frac{P_0}{P_d}\right)^{\frac{0.35}{1.35}}}{r^{0.35} - 1} \right]^{0.5} \quad (19)$$

Además, las ecuaciones de los cocientes de densidad y de presión son los siguientes:

$$\frac{\rho_d}{\rho_0} = \left[1 - \frac{z}{44330.769} \right]^{4.2559}, \quad (20)$$

$$\frac{P_0}{P_d} = \left[1 - \frac{z}{44330.769} \right]^{-5.2559}. \quad (21)$$

Se reemplaza las ecuaciones de los cocientes en la relación de potencia y se tiene como característica del motor de combustión seleccionado que su relación de compresión es 7.6:1.

$$\frac{P_{alt}}{P_{si}} = \sigma \cdot \delta = \left[1 - \frac{z}{44330.769} \right]^{4.2559} \left[1.97 - 1.03 \left[1 - \frac{z}{44330.769} \right]^{-1.362} \right]^{0.5}. \quad (22)$$

En la tabla 3.32 se muestra el resultado de los cálculos matemáticos realizados de los valores del factor de potencia y el impacto en el amperaje del alternador.

Tabla 3.32: Resultado de valores del factor de potencia en función a la altitud y el impacto en la energía que emite el alternador.

Z (m)	$\frac{P_{alt}}{P_{si}} = \sigma \cdot \delta$	Potencia (kW)	rpm	Amperaje del alternador (A)
0	1	2.76	8500	49.8
1000	0.87	2.39	7361	49.8
2000	0.77	2.14	6591	49.8
3000	0.68	1.88	5790	49.8
4000	0.59	1.63	5020	47.7
5000	0.52	1.44	4435	44.8
6000	0.46	1.27	3911	44
7000	0.39	1.08	3326	42.1

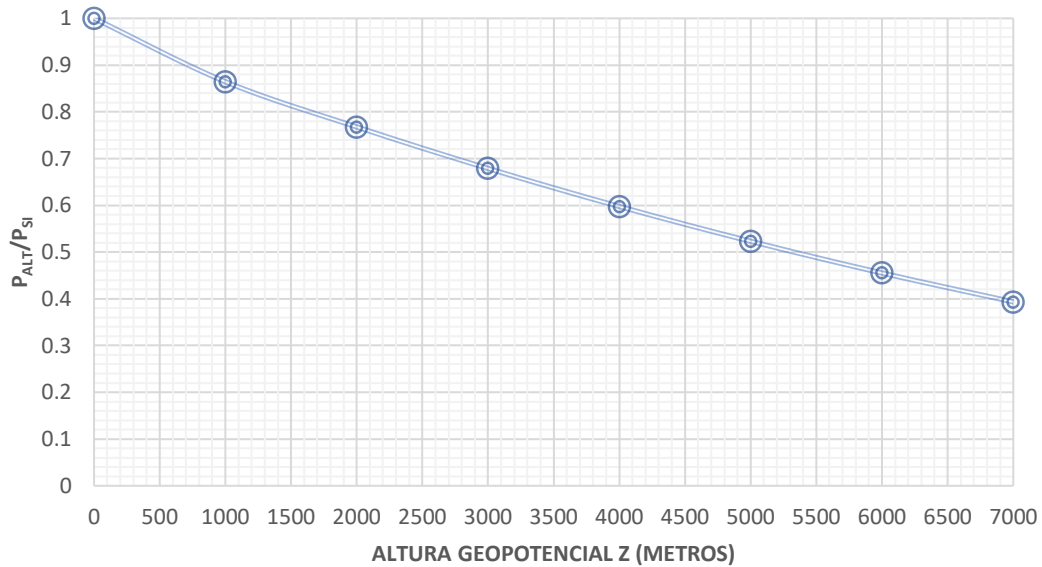


Figura 3.44: Factor de potencia vs altura geopotencial z.

Como se puede apreciar, la altura a la cual se eleva el vehículo es un factor importante en el funcionamiento y rendimiento del motor de combustión, por lo que, a mayor altura, la potencia del motor disminuye y la energía que emite el alternador también se reduce. Como el motor funcionará a un 70% de su rendimiento, entonces, podrá funcionar correctamente a una altura aproximada de 3000 metros.

Teniendo en consideración que la altura máxima en el Perú es de 6757 metros [1], además, de que a esa altura el amperaje que emitirá el alternador es de aproximadamente 43 A; y, que entonces el vehículo necesita de 42710.7 mA (tabla 3.35), se concluye que el vehículo recibirá la energía que necesita para funcionar correctamente (sin incluir las cargas extras que el vehículo podrá transportar).

3.5.3 Alternador

El alternador es una máquina que transforma energía mecánica en energía eléctrica. En la tabla 3.33 se muestran los requerimientos del alternador.

Tabla 3.33: Requerimientos del alternador

Criterio	Valor
Revoluciones	< 8500 rpm
Voltaje de salida	> 12V
Corriente de salida	> 45A

El alternador que cumple con los requerimientos es el Compact lightweight (anexo H.3) que es de bajo peso respecto a otros del mercado, los cuales son mayores a 5 kg. Posee resistencia a la vibración y refrigeración constante para evitar recalentamiento del sistema. Su estator está totalmente sujetado, además su regulador de voltaje de una pieza y caja de cepillo aíslan eléctricamente la cubierta trasera de acero inoxidable.

El alternador será conectado a la salida del eje del motor de combustión y será el encargado de convertir en energía eléctrica la energía mecánica generada por el motor. Para obtener el sincronismo del giro entre el motor de 2 tiempos y el alternador se realizará, mediante pruebas previamente al montaje y la unión, el ajuste de las agujas del motor para obtener el mismo valor de rpm que el que se requiere del alternador. Sus características son mostradas en la Tabla 3.34:

Tabla 3.34: Características del 4Si-50 Compact lightweight Alternator

Rotor rpm	Voltaje de salida	Corriente de salida	Peso
6026	13.5 V	50.3 A	2.35 kg

Fuente: Adaptado de [69]

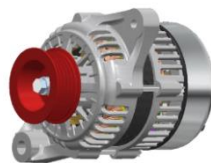


Figura 3.45: 4Si-50 Compact lightweight Alternator

Fuente: [69]

El alternador, que posee una corriente de salida de 50300 mA, alimentará directamente a varios dispositivos cuyo voltaje de entrada no supere los 13.5 V que el alternador provee, a continuación, en la tabla 3.35 se muestran los dispositivos y el amperaje que brindará a cada uno.

Tabla 3.35. Dispositivos que alimenta el alternador

Dispositivo	Cantidad	Corriente que consume	Total corriente que consume
Arduino UNO	1	100 mA	100 mA
L298N	1	500 mA	500 mA
Max Sonar	3	3.4 mA	10.2 mA
Sensor combustible	1	5.5 mA	5.5 mA
GPS	1	80 mA	80 mA
Buzzer	1	15 mA	15 mA
Total 1			710.7 mA
Cargador de baterías	1	40000 mA	42000 mA
Total 2			42710.7 mA

Servomotor	4	5700 mA	22800 mA
Total 3			23510.7 mA

El alternador alimentará al servomotor durante los cambios de modo, es decir solo durante 0.21 s que otorgará a los dispositivos 23510.7 mA. Durante este corto periodo de tiempo habrá una descompensación para poder alimentar correctamente al cargador de baterías pues se priorizará alimentar al servomotor; sin embargo, como el tiempo es poco significativo, no afectará la correcta carga de las baterías como lo demuestran los cálculos realizados sobre el tiempo de rendimiento de estas. Después de ello, otorgará de manera continua 42710.7 mA. Es decir, el alternador seleccionado cumple con la cantidad de energía necesaria para alimentar los componentes designados.

3.5.4 Batería y cargador de batería

3.5.4.1 Cálculos del tiempo de funcionamiento de las baterías en modo aéreo

El cargador de baterías será alimentado directamente por el alternador (tabla 3.35) y alimentará principalmente a las baterías LiPo y los motores DC, pues necesitan un voltaje mayor a los 13.5 V que genera el alternador. En la tabla 3.36 se muestran los requerimientos del cargador:

Tabla 3.36: Requerimientos del cargador de batería

Criterio	Valor
Voltaje de salida	> 29.6 V

De acuerdo con los requerimientos, se escogió el cargador “Icharger 4010 DUO” que cuenta con 2 canales y posee la capacidad de carga de 70 A por cada canal. Este cargador alimentará a los dispositivos que necesiten un voltaje mayor que los 12 V que el alternador brinda, como las baterías (29.6 V) y motores DC (24V). Sus características son mostradas en la tabla 3.37:

Tabla 3.37: Características del icharger 4010 Duo

Voltaje de Alimentación	N° de Baterías	Capacidad máxima de carga	Corriente de carga por canal	Peso
9 – 50 V	2	2000 W	70 A	1.470 kg

Fuente: Adaptado de [70]



Figura 3.46: Cargador icharger 4010 Duo

Fuente: [70]

Usando la ecuación de potencia, se obtiene la corriente de carga de la batería:

$$P = V \times I \rightarrow I = \frac{P}{V} \quad (23)$$

$$I = \frac{2000}{29.6} = 68 \text{ A.}$$

Para hallar la capacidad de la batería, se procede a realizar los cálculos de tiempo de carga para un tiempo aproximado de 10 minutos tomando en consideración los 68 A calculados:

$$\text{Tiempo de carga} = \frac{\text{Capacidad de la batería}}{\text{Capacidad del cargador}} \quad (24)$$

$$10 \text{ min} = \frac{X \text{ mAh} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}}}{68000 \text{ mA}},$$

$$X = 11333 \text{ mAh.}$$

Así, de acuerdo con los cálculos realizados, la batería deberá tener como mínimo una capacidad de 11333 mAh.

Luego, se procede a calcular el tiempo de descarga de la batería, y para ello, primero se debe conocer el gasto de energía que la batería realizará. Debido a que el peso del vehículo es de 25 kg y se usarán 6 motores para movilizarlo en el aire, cada motor deberá levantar: $\frac{25 \text{ kg}}{6} = 4.16 \text{ kg} = 4160 \text{ g}$. En la tabla 3.38, se observará los detalles del motor elegido.

Tabla 3.38: Datos de prueba de rendimiento del motor KDE5215XF-435.

MOTOR VERSION	VOLTAGE LiHV [V]	PROPELLER SIZE	THROTTLE RANGE	AMPERAGE [A] (LOWER IS BETTER)	THRUST OUTPUT [g]
KDE5215XF-435 (435Kv) KDEXF-UAS95HVC S.R. ENABLED	30.8V (8S) 34.8V MAX	15.5'' x 5.3 KDE-CF155-TP TRIPLE-BLADE	25.0%	4.8	1230
			37.5%	9.3	2120
			50.0%	17.9	3340
				X	4160
			62.5%	29.0	4690
			75.0%	45.5	6320
			87.5%	66.0	8260
			100.0%	85.5	9810

Fuente: [31]

Como la tabla 3.38 originalmente no posee un amperaje específico para el peso exacto que levantará cada motor, se aplicará interpolación de valores de la siguiente manera:

$$\frac{4690 - 4160}{29 - x} = \frac{4690 - 3340}{29 - 17.9},$$

$$x = 24.5 \text{ A.}$$

De esta manera, se obtiene la capacidad que necesita cada motor; sin embargo, se usarán 2 baterías que estarán conectadas en paralelo y cada una alimentará a 3 motores, por lo que cada batería deberá otorgar en total $24.5 \times 3 = 73.5 A$.

Teniendo en consideración que el tiempo de carga es de 10 min, se buscará que el tiempo de descarga tenga la misma duración para que las baterías se mantengan cargadas.

$$\text{Tiempo de descarga} = \frac{\text{Capacidad de la batería}}{\text{Consumo de las baterías}} \quad (25)$$

$$10 \text{ min} = \frac{X \text{ mAh} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}}}{73500 \text{ mA}},$$

$$X = 12200 \text{ mAh}.$$

De acuerdo con los cálculos realizados, en la tabla 3.39 se muestran los requerimientos de la batería.

Tabla 3.39: Requerimientos de la batería

Criterio	Valor
Tiempo de descarga	12200 mAh
Voltaje de alimentación	29.6 V (8S)

La batería que cumple con los requerimientos es la batería Multistar que posee 12000 mAh de capacidad y de descarga constante de 2C. Sus características son mostradas en la tabla 3.40:

Tabla 3.40: Características de batería Multistar

Capacidad	Descarga	Voltaje de alimentación	Peso
12000 mAh	2C Constante	8S	1.400 kg

Fuente: Adaptado de [42]



Figura 3.47: Batería Multistar 8S

Fuente: [42]

Entonces, tomando en cuenta el tiempo de funcionamiento del motor de 2T y de las baterías, se obtendrá un tiempo aproximado de funcionamiento del vehículo solo en modo aéreo de 60 min.

3.5.4.2 Cálculos del tiempo de funcionamiento de las baterías en modo aéreo con carga extra de 5 kg

Se busca que el vehículo pueda transportar un objeto de 5 kg, de esta manera, el peso total sería de 30 kg y cada motor debería levantar: $\frac{30 \text{ kg}}{6} = 5 \text{ kg} = 5000 \text{ g}$, por dicha razón se interpola los valores del cuadro del motor para conocer el amperaje necesario a alimentar por cada batería.

$$\frac{6320 - 5000}{45.5 - x} = \frac{6320 - 4690}{45.5 - 29},$$

$$x = 32 \text{ A} \times 3 (\text{N}^\circ \text{ de motores}) = 96 \text{ A}.$$

Debido a que se necesitará mayor energía, se utilizará a la batería para alimentar a los motores de la siguiente manera:

$$\text{Capacidad de la batería Multistar} = 12000 \text{ mAh} \times 2C = 24000 \text{ mA}.$$

Al poder usar a la batería a una capacidad mayor debido a la posibilidad de multiplicarla por el valor de su descarga constante, se podrá usarla a una capacidad de 24000 mA. Sin embargo, el tiempo ya no sería por hora sino se dividiría la hora entre el valor de la descarga constante, es decir sería 24000 mA de capacidad en media hora de tiempo.

Si la batería se descarga 24000 mA en media hora, el tiempo que demorará en descargar 96000 mA será:

$$\frac{96000 \text{ mA}}{24000 \text{ mA}} = \frac{30 \text{ min}}{T} \rightarrow T = 7.5 \text{ min}.$$

Teniendo en consideración que la batería se cargará simultáneamente mientras se descarga:

$$\text{Tiempo de carga} = 10 \text{ min} \times \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = 600 \text{ s}.$$

$$\text{Tiempo de descarga} = 7.5 \text{ min} \times \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = 450 \text{ s}.$$

Si en 600 s carga 100%, en 1 s cargará:

$$D = \frac{100}{600} = 0.17\%.$$

Si en 450 s se descarga al 100%, en 1 s se descargará:

$$E = \frac{100}{450} = 0.22\%.$$

Es decir, por cada segundo que pase cargará el 0.17% y se descargará 0.22%, en total por cada segundo se descargará:

$$\%_{descarga} = 0.22 - 0.17 = 0.05\%.$$

Al descargarse 0.05% por segundo, tardará en descargarse completamente:

$$Total\ descarga = \frac{100\% \times 1s}{0.05\%} = 2000\ s \times \frac{1\ min}{60\ s} = 33.4\ min.$$

Con estos cálculos se puede tener en cuenta que el vehículo al cargar 5 kg extra de carga (en total 30 kg) podrá funcionar en el aire de manera segura por 27 min (80% de 33.4 min por seguridad).

En este caso, tomando en cuenta el tiempo de funcionamiento del motor de 2T, de las baterías y una carga extra de 5 kg, se obtendrá un tiempo aproximado de funcionamiento del vehículo solo en modo aéreo de 57.5 min.

3.5.4.3 Cálculos del tiempo de funcionamiento de las baterías en modo terrestre

Cuando el vehículo se encuentre en modo terrestre, las baterías energizarán a los 4 motores DC, los cuales consumirán como máximo 8.7 A cada uno al funcionar en su capacidad máxima. De esta manera, se procede a calcular el tiempo de operación de las baterías teniendo en consideración que estas poseen 12000 mAh y el cargador demora en cargarla aproximadamente 10 minutos.

$$Tiempo\ de\ descarga = \frac{Capacidad\ de\ la\ batería}{Consumo\ de\ las\ baterías'}$$

$$Tiempo\ de\ descarga = \frac{12000\ mAh \times \frac{60\ min}{1h}}{8700\ mA \times 4} = 21\ min.$$

Con los cálculos anteriores, se obtiene que el tiempo aproximado que durarán las baterías sin cargarlas mientras el vehículo se encuentre en modo terrestre es de 21 minutos. Además, al descargarse en un tiempo mayor al de carga que es aproximadamente de 10 min, se puede tener la seguridad de que la batería estará cargada mientras el cargador siga recibiendo energía del alternador.

Es así como, tomando en cuenta el tiempo de funcionamiento del motor de 2T y de las baterías, se obtendrá un tiempo aproximado de funcionamiento del vehículo solo en modo terrestre de 71 min.

3.6 Sistema de transmisión de video en tiempo real

3.6.1 Transmisor de video

El transmisor Boscam 5.8 GHz FPV System (TS352 TX 500mw) se colocará a la cámara GoPro para transmitir la señal del video a un receptor en tiempo real. Sus características son mostradas en la tabla 3.41:

Tabla 3.41: Características del Boscam 5.8 GHz FPV System

Voltaje de alimentación	Consumo de corriente	Frecuencia de Trabajo	Estándares de video	Peso
12V	550 mA	5.8 GHz	PAL / NTSC	55 g

Fuente: Adaptado de [71]



Figura 3.48: Boscam 5.8 GHz FPV System

Fuente: [71]

3.6.2 Receptor de video

El receptor Lilliput 339DW recibirá la señal que le envíe el transmisor para de esa manera mostrar en tiempo real las imágenes que la GoPro le envíe. Esto servirá para monitorear correctamente el paisaje por donde se desplazará el móvil. Sus características son mostradas en la tabla 3.42:

Tabla 3.42: Características del Lilliput 339DW

Voltaje de alimentación	Consumo de corriente	Frecuencia de recepción de video	Resolución de video	Peso
12V	960 mA	5.8 GHz	1280 x 800	385 g

Fuente: Adaptado de [72]



Figura 3.49: Lilliput 339DW

Fuente: [72]

3.7 Dispositivo de control general

3.7.1 Radio control FrSky

Este radio control (anexo H.6) posee un procesador 60 megahercio (MHz) STM32 ARM Cortex M3 el cual hace efectiva la comunicación con el controlador principal del sistema ya que puede responder inmediatamente a las señales que se desean enviar y a las señales que le son enviadas. Además, posee una batería de 2000 miliamperio por hora (mAh) que le dará el tiempo necesario de funcionamiento (mayor a una hora). Fue seleccionado debido a que cuenta con 16 canales y el sistema necesita de 14 canales para su funcionamiento, de esta manera cumple con dichos requerimientos. En la figura 3.51 se muestran los canales que se usarán y las señales que usarán cada uno de ellos:



Figura 3.50: FrSky 2.4 GHz ACCST TARANIS X9D

Fuente: [73]



Figura 3.51: Indicación de canales usados y señales que envía el FrSky

Fuente: [74]

3.8 Partes de la estructura del sistema mecatrónico

3.8.1 Rueda

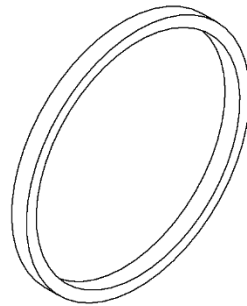


Figura 3.52: Rueda

En la figura 3.52, se puede observar la imagen de la rueda, la cual está constituida de Policloruro de vinilo (PVC) y espuma de poliuretano que sirven para el desplazamiento seguro y el amortiguamiento del vehículo cuando se encuentre en modo terrestre.

La selección del PVC se da debido a su buena resistencia a la rotura al impacto, buena resistencia mecánica, baja densidad, resistencia a la corrosión. Todas las características mencionadas son importantes para poder desplazar el vehículo con la seguridad de conseguir la eficiencia de la labor. Así también, se recubrirá las ruedas de PVC con espuma de Poliuretano, el cual es un material plástico que proveerá de amortiguamiento a las ruedas y, por ende, al vehículo y además ayudará a proteger las ruedas de cualquier impacto que pueda tener. Actualmente, la empresa Parrot produce y vende estos tipos de ruedas que son partes de sus drones terrestres.

$$\rho_{\text{PVC}} = \text{Densidad del PVC} = 1,4 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho_{\text{Poliuretano}} = \text{Densidad del Poliuretano de alta densidad} = 1,2 \text{ g/cm}^3$$

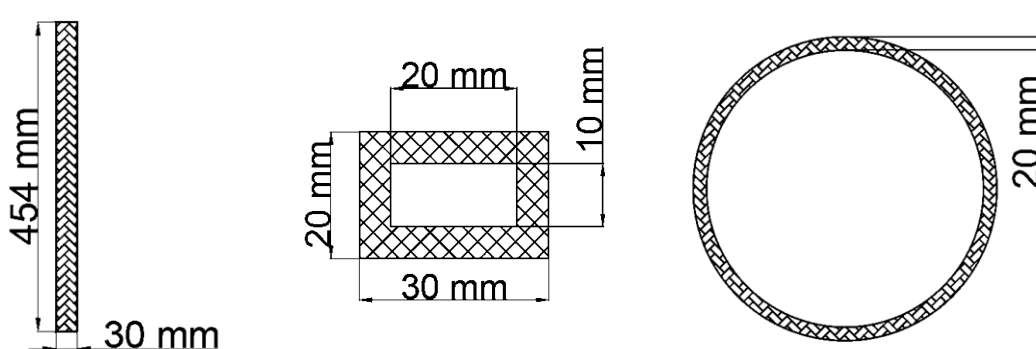


Figura 3.53: Dimensiones de las Ruedas laterales

Se calcula el área total de la rueda:

$$A = (\pi \times r_1^2 - \pi \times r_2^2) \times 3, \quad (26)$$

$$A = (\pi \times 22.7^2 - \pi \times 20.7^2) \times 3 = 818.00 \text{ cm}^3,$$

$$B = (\pi \times 22.2^2 - \pi \times 21.2^2) \times 2 = 272.69 \text{ cm}^3,$$

$$\text{Área Total} = A - B = 818 - 272.69 = 545.31 \text{ cm}^3.$$

Se calcula el peso total de la rueda:

$$\text{Peso} = (A \times \rho_{\text{PVC}}) + (A \times \rho_{\text{Poliuretano}}), \quad (27)$$

$$\text{Peso Total} = \left(\frac{545.31}{2} \times 1.4 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right) + \left(\frac{545.31}{2} \times 1.2 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right) = 708 \text{ g} = \mathbf{0.708 \text{ kg}}.$$

3.8.2 Soporte de la rueda

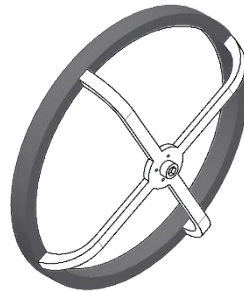


Figura 3.54: Soporte de la rueda

En la figura 3.54, se puede observar la imagen del soporte de la rueda, el cual estará hecho de ABS (anexo I1.1) y estará acoplado al motor DC, el cual accionará el giro de la rueda. Además, este soporte estará acoplado al kit de motor brushless en su centro para desplazar el móvil en modo aéreo.

3.8.3 Acople de la rueda

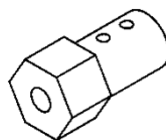


Figura 3.55: Acople de la rueda

En la figura 3.55, se puede observar la imagen del acople de la rueda, el cual estará hecho de una aleación de bronce y estaño. Esta pieza será mecanizada y servirá de unión entre el motor DC y el soporte de la rueda para generar correctamente la transmisión de movimiento.

3.8.4 Soporte del motor DC

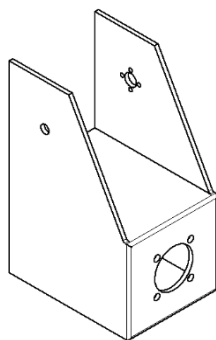


Figura 3.56: Soporte del motor DC

En la figura 3.56, se puede observar la imagen del soporte del motor DC al cual se le acoplará tanto el motor como el servomotor. Esta pieza estará hecha de fibra de carbono, la selección de ese material se dio mediante los cálculos de esfuerzos generados por el empuje por el motor brushless, y mediante el servomotor girará para cambiar de orientación (horizontal o vertical) con el fin de conmutar el vehículo en modo terrestre o aéreo.

3.8.4.1 Análisis del soporte del motor DC

En el modo aéreo, el soporte del motor DC sufrirá constantemente de una tensión en la superficie donde están los tornillos que lo unen al motor DC. Esto debido a que el kit del motor brushless (motor + hélices) ejercerá una fuerza de empuje sobre el motor DC, para este análisis se considera el empuje máximo generado y, que los componentes suman 3.68 kg. Por dicha razón, se analizará el impacto que tiene esta fuerza sobre los tornillos seleccionados y sobre el soporte del motor DC para verificar su diseño.

$F = \text{Empuje del motor aéreo}$

$F = 96.24 \text{ N}$

$W = \text{Peso de componentes}$

$W = 36.1 \text{ N}$

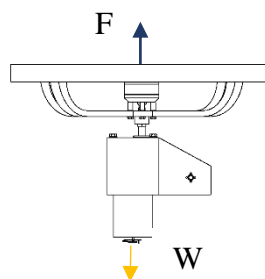


Figura 3.57: DCL del soporte motor DC

3.8.4.1.1 Cálculos de los tornillos:

Debido a que la fuerza total del empuje del motor brushless es 96.24 N, cada tornillo soportará una fuerza:

$$F = \frac{96.24 \text{ N}}{4} = 24.06 \text{ N}$$

El tornillo posee las siguientes características:

Diámetro = M5 = 5 mm

Longitud = 30 mm

$E = 2.1 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$

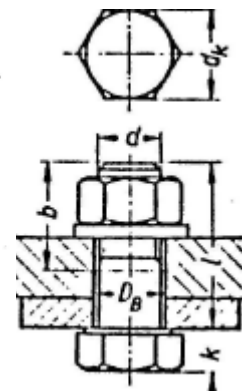
Tabla 3.43: Estimación del diámetro nominal del tornillo

Fuerza en N	Diámetro nominal en mm			
	Clase de resistencia			
	12.9	10.9	8.8	
250				
400				
630				
1 000				
1 600	3	3	3	3
2 500	3	3	4	4
4 000	4	4	5	5
6 300	4	5	5	5
10 000	5	6	8	8
16 000	6	8	8	8
25 000	8	10	10	10
40 000	10	12	14	14
63 000	12	14	16	16
100 000	16	16	20	20
160 000	20	20	24	24
250 000	24	27	30	30
400 000	30	36		
630 000	36			

Fuente: Introducción al diseño de máquinas

Tabla 3.44: Medidas de tornillos hexagonales según DIN 931

Diámetro nominal d	Medidas del tornillo				Agujero pasante $D_B^{1)}$		Superficie de apoyo de la cabeza A_k in mm^2	
	d_k	k	$l^{4)}$	b	fino	medio	$2)$	$3)$
M 5	8	3,5	18... 30	12	5,3	5,5	9,4	35
M 6	10	4	20... 50	15	6,4	6,6	24,6	41,8
M 8	13	5,5	25... 50	18	8,4	9	41,2	65,5
M 10	17	7	28... 50	20	10,5	11	83,2	102
M 12	19	8	30... 60	22	13	14	75	96
(M 14)	22	9	35... 70	25	15	16	112	171
M 16	24	10	40... 80	28	17	18	125	190
(M 18)	27	12	40... 80	30	19	20	176	251
M 20	30	13	40... 80	32	21	22	236	318
(M 22)	32	14	45... 80	35	23	24	249	392
M 24	36	15	50... 80	38	25	26	373	490
(M 27)	41	17	55... 80	40	28	30	485	535
M 30	46	19	60...100	45	31	33	645	710



Fuente: Introducción al diseño de máquinas

Tabla 3.45: Medidas de tornillos hexagonales según DIN 931

Tramo	Diámetro	Longitud	Observaciones
	d_i (mm)	l_i (mm)	
I: cabeza hexagonal	d	$0,5 d$	d = diámetro de tramo adyacente a la cabeza. Si no hay tramo II, entonces $d = d_m$
I: cabeza redonda		$0,4 d$	

Fuente: Introducción al diseño de máquinas

De las tablas 3.44 y 3.45 se obtienen los siguientes valores:

$$d = M5 \quad d_k = 8 \quad k = 3.5 \quad b = 12 \quad D_B = 5.3 \quad A_K = 9.4 \text{ mm}^2$$

$$d_i = 8 \text{ mm} \quad l_i = 4 \text{ mm}$$

Tabla 3.46: Fuerza de montaje F_M y momento de ajuste para tornillos normales con rosca normal.

Medida	Clase	Fuerza de pretensión de montaje F_t en N para $\nu_t =$						Momento de ajuste M_t en Nm para $\nu_t =$							
		0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,20	0,24	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,20	0,24
M 4	8.8	4400	4200	4050	3900	3700	3400	3150	2.2	2.5	2.8	3.1	3.3	3.7	4.0
	10.9	6400	6200	6000	5700	5500	5000	4600	3.2	3.7	4.1	4.5	4.9	5.4	5.9
	12.9	7500	7300	7000	6700	6400	5900	5400	3.8	4.3	4.8	5.3	5.7	6.4	6.9
M 5	8.8	7200	6900	6600	6400	6100	5600	5100	4.3	4.9	5.5	6.1	6.5	7.3	7.9
	10.9	10500	10100	9700	9300	9000	8200	7500	6.3	7.3	8.1	8.9	9.6	10.7	11.6
	12.9	12300	11900	11400	10900	10500	9600	8800	7.4	8.5	9.5	10.4	11.2	12.5	13.5
M 6	8.8	10100	9700	9400	9000	8600	7900	7200	7.4	8.5	9.5	10.4	11.2	12.5	13.5
	10.9	14900	14300	13700	13200	12600	11600	10600	10.9	12.5	14.0	15.5	16.5	18.5	20.0
	12.9	17400	16700	16100	15400	14800	13500	12400	12.5	14.5	16.5	18.0	19.5	21.5	23.5
M 7	8.8	14800	14200	13700	13100	12600	11600	10600	12.0	14.0	15.5	17.0	18.5	21.0	22.5
	10.9	21700	20900	20100	19300	18500	17000	15600	17.5	20.5	23.0	25	27	31	33
	12.9	25500	24500	23500	22600	21700	19900	18300	20.5	24.0	27	30	32	36	39
M 8	8.8	18500	17900	17200	16500	15800	14500	13300	18	20.5	23	25	27	31	33
	10.9	27000	26000	25000	24200	23200	21300	19500	26	30	34	37	40	45	49
	12.9	32000	30500	29500	28500	27000	24900	22800	31	35	40	43	47	53	57
M 10	8.8	29500	28500	27500	26000	25000	23100	21200	36	41	46	51	55	62	67
	10.9	43500	42000	40000	38500	37000	34000	31000	52	60	68	75	80	90	98
	12.9	50000	49000	47000	45000	43000	40000	36500	61	71	79	87	94	106	115
M 12	8.8	43000	41500	40000	38500	36500	33500	31000	61	71	79	87	94	106	115
	10.9	63000	61000	59000	56000	54000	49500	45500	90	104	117	130	140	155	170
	12.9	74000	71000	69000	66000	63000	58000	53000	105	121	135	150	160	180	195
M 14	8.8	59000	57000	55000	53000	50000	46500	42500	97	113	125	140	150	170	185
	10.9	87000	84000	80000	77000	74000	68000	62000	145	165	185	205	220	250	270
	12.9	101000	98000	94000	90000	87000	80000	73000	165	195	215	240	260	290	320
M 16	8.8	81000	78000	75000	72000	70000	64000	59000	145	170	195	215	230	260	280
	10.9	119000	115000	110000	106000	102000	94000	86000	215	250	280	310	340	380	420
	12.9	139000	134000	130000	124000	119000	110000	101000	250	300	330	370	400	450	490

Fuente: Introducción al diseño de maquinas

Tabla 3.47: Valores de sección de tensión y raíz (As y A3), resistencia a fluencia $F_{0.2}$

Medida	Paso	Sección de tensión A_s	Sección de la raíz A_{r1}	Fuerza con el límite mínimo de fluencia $F_{0.2} = R_{p0.2 \text{ min}} \cdot A_s$		
				Clase de resistencia		
				8.8	10.9	12.9
				N	N	N
Rosca métrica normal						
M 4	0.7	8.78	7.749	5600	8300	9700
M 5	0.8	14.2	12.69	9100	13300	15600
M 6	1.0	20.1	17.89	12500	18900	22100
M 7	1.0	28.9	26.18	18500	27000	32000
M 8	1.25	36.6	32.84	23400	34500	40500
M 10	1.5	58.0	52.30	37000	55000	64000
M 12	1.75	84.0	76.25	54000	79000	93000
M 14	2.0	115	104.7	74000	108000	127000
M 16	2.0	157	144.1	100000	148000	173000
M 18	2.5	193	175.1	127000	181000	212000
M 20	2.5	245	225.2	162000	230000	270000
M 22	2.5	303	281.5	200000	285000	335000
M 24	3.0	353	324.3	233000	330000	390000
M 27	3.0	459	427.1	305000	430000	500000
M 30	3.5	551	519.0	370000	530000	620000
M 33	3.5	694	647.2	460000	650000	760000
M 36	4.0	817	759.3	540000	770000	900000
M 39	4.0	976	913.0	640000	920000	1070000

Fuente: Introducción al diseño de maquinas

De la tabla 3.47 se obtienen los siguientes valores:

$$P = 0.8 \text{ mm}$$

$$A_S = 14.2 \text{ mm}^2$$

$$A_3 = 12.69 \text{ mm}^2$$

La longitud que atravesará el tornillo es:

$$l_k = 30 \text{ mm}$$

La longitud total es:

$$l = l_k + l_i = 30 + 4 = 34 \text{ mm}$$

De esta manera se obtiene l_{sr} y l_r :

$$l_{sr} = l - b = 34 - 12 = 22 \text{ mm}$$

$$l_r = l_k - l_{sr} = 30 - 22 = 8 \text{ mm}$$

A continuación, se realizarán los cálculos de la elasticidad del tornillo:

$$\delta = \frac{1}{E_t} \sum_1^6 \frac{l_i}{A_i}, \quad (28)$$

$$\delta_s = \frac{1}{E} \left[\frac{0.4d}{\frac{\pi d^2}{4}} + \frac{l_{sr}}{\frac{\pi d^2}{4}} + \frac{l_r}{A_3} + \frac{0.5d}{A_3} + \frac{0.4d}{\frac{\pi d^2}{4}} \right],$$

$$\delta_s = \frac{1}{E} \left[\frac{0.4(5)}{\frac{\pi 5^2}{4}} + \frac{22}{\frac{\pi 5^2}{4}} + \frac{8}{12.69} + \frac{0.5(5)}{12.69} + \frac{0.4(5)}{\frac{\pi 5^2}{4}} \right],$$

$$\delta_s = \frac{2.1767}{E} = 1.04 \times 10^{-5} \frac{\text{mm}}{\text{N}}.$$

A continuación, se realizarán los cálculos de la elasticidad de la placa:

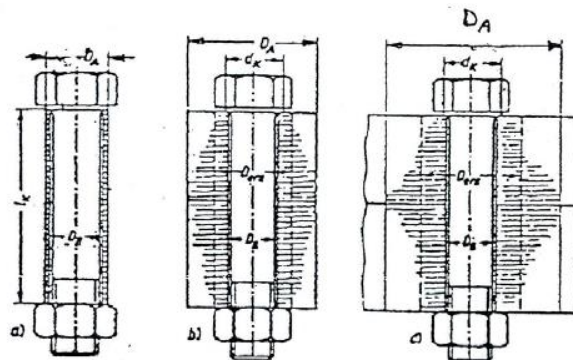


Figura 3.58: Valores D_A , d_k del tornillo
Fuente: Introducción al diseño de maquinas

Se tiene como dato que la distancia entre el centro del agujero y el borde más cercano es 21 mm. De esta manera, para calcular D_A , se duplica esta distancia:

$$D_A = 2(21) = 42 \text{ mm.}$$

Además, se tiene que:

$$d_k + l_k = 30 + 8 = 38 \text{ mm.}$$

a) $d_k \geq D_A$

$$A_{eq} = (D_A^2 - D_B^2) \pi / 4$$

b) $d_k < D_A < d_k + l_k$

$$A_{eq} = (d_k^2 - D_B^2) \pi / 4 + (\pi / 8) d_k (D_A - d_k) [(x + 1)^2 - 1]$$

$$\text{con: } X = \sqrt[3]{\frac{l_k d_k}{D_A^2}}$$

c) $D_A \geq d_k + l_k$

usar: $D_A = d_k + l_k$

Figura 3.59: Condiciones de D_A y d_k del tornillo
Fuente: Introducción al diseño de maquinas

Debido a que $D_A \geq d_k + l_k$, se utilizará el tercer caso: $D_A = d_k + l_k = 38 \text{ mm}$

$$\text{Además: } X = \sqrt[3]{\frac{30 \times 8}{38^2}} = 0.5498. \quad (29)$$

$$A_{eq} = (d_k^2 - D_B^2) \frac{\pi}{4} + (D_A - d_k) \frac{\pi}{8} d_k [(x + 1)^2 - 1], \quad (30)$$

$$A_{eq} = (8^2 - 5.3^2) \frac{\pi}{4} + (38 - 8) \frac{\pi}{8} \cdot 8 [(0.5498 + 1)^2 - 1],$$

$$A_{eq} = 160.32 \text{ mm}^2.$$

Con los datos anteriores se halla δP :

$$\delta P = \frac{l_k}{E \times A_{eq}}, \quad (31)$$

$$\delta P = \frac{30}{2.1 \times 10^5 \times 170.4}$$

$$\delta P = 8.38 \times 10^{-7} \text{ mm/N.}$$

A continuación, se halla la **relación entre fuerzas** (Φ):

$$\Phi = \frac{\delta P}{\delta_S + \delta P} \quad (32)$$

$$\Phi = 0.0745$$

Se calcula el **Asentamiento** (f_z):

$$f_z = 3.25 \left(\frac{l_k}{d} \right)^{0.34} 10^{-3} \text{ mm}, \quad (33)$$

$$f_z = 5.98 \times 10^{-3} \text{ mm}.$$

Se calcula la **pérdida de pretensión** (F_z):

$$F_z = f_z \frac{\Phi}{\delta P}, \quad (34)$$

$$F_z = 531.63 \text{ N}.$$

Se procede a calcular la **fuerza de montaje** (F_M):

- Se tiene que el factor de ajuste $\alpha_A = 1.6$ y no existe fuerza residual $F_k = 0$.

$$F_M = \alpha_A \left[F_k + \left(1 - \frac{l_r}{l_k} \Phi \right) F + F_z \right], \quad (35)$$

$$F_M = 1.6[0 + (1 - 0.27 \times 0.0745)24.06 + 531.63],$$

$$F_M = 888.33 \text{ N}.$$

Se verifica:

$$F_M = 888.33 \text{ N} < 6400 \text{ N} (\mu = 0.14, \text{ Calidad 8.8, Tornillo M5}) \quad \text{OK!}$$

Se realizan los cálculos para la **comprobación por fluencia**:

- De la tabla 3.47 se obtiene la fuerza con el límite mínimo de fluencia $F_{0.2}$:

$$\Delta F_{SA} = \frac{l_r}{l_k} \varphi F < 0.1 (F_{0.2}), \quad (36)$$

$$\Delta F_{SA} = 0.27 \times 0.0745 \times 24.06 < 0.1 (9100),$$

$$\Delta F_{SA} = 0.48 \text{ N} < 910 \text{ N}. \quad \text{OK!}$$

Se realizan los cálculos para la **verificación por fatiga**:

$$F_a = \frac{l_r}{2l_k} \varphi F, \quad (37)$$

$$F_a = \frac{0.27}{2} \times 0.0745 \times 24.06 = 0.24 \text{ N}.$$

$$\sigma_a = \frac{F_a}{A_3} = \frac{0.24}{12.69} = 0.021 \frac{N}{mm^2}. \quad (38)$$

$$\sigma_A = 0.75 \left(\frac{180}{d} + 52 \right) = 66 \frac{N}{mm^2}. \quad (39)$$

$$F.S = \frac{\sigma_A}{\sigma_a} = \frac{66}{0.021} > 1.5. \quad \text{OK!} \quad (40)$$

Se realizan los cálculos para la verificación por **presión superficial**:

$$F_{S \max} = F_M + \Delta F_{SA}, \quad (41)$$

$$F_{S \max} = 888.33 + 0.48,$$

$$F_{S \max} = 888.81 \text{ N}.$$

Se procede a calcular la presión superficial, donde A_k se obtiene de la tabla 3.44:

$$p = \frac{F_{S \max}}{A_k} = \frac{888.81}{9.4} = 94.55 \frac{N}{mm^2}. \quad (42)$$

Sabiendo que la presión superficial límite $P_G = 420 \text{ N/mm}^2$ se cumple:

$$p < P_G \quad \text{OK!}$$

- ✓ Según los cálculos anteriores se comprueba que el Tornillo seleccionado cabeza hexagonal M5 x 30 DIN 931 – 8.8 no fallará.

Simulación de esfuerzos en la estructura:

Se procederá a realizar la simulación de esfuerzos mediante el software *Autodesk Inventor Professional* ® para verificar si existe alguna falla significativa en la estructura del soporte.

En la figura 3.60, se muestra la simulación que se realizó al aplicar la fuerza que ejerce el motor brushless al soporte a través de los tornillos que unen ambos componentes. El color rojo de la figura inferior indica la zona donde existe el máximo desplazamiento de deformación cuyo valor es de 0.12 mm. Así también, se puede observar en la figura superior (esfuerzo de Von Mises), que el máximo esfuerzo será de 2.5 MPa, muy por debajo de los 36 MPa que puede soportar el material de fibra de carbono (anexo I.2.1). De esta manera, se corrobora que esta estructura elaborada con fibra de carbono no fallará durante el funcionamiento del vehículo.

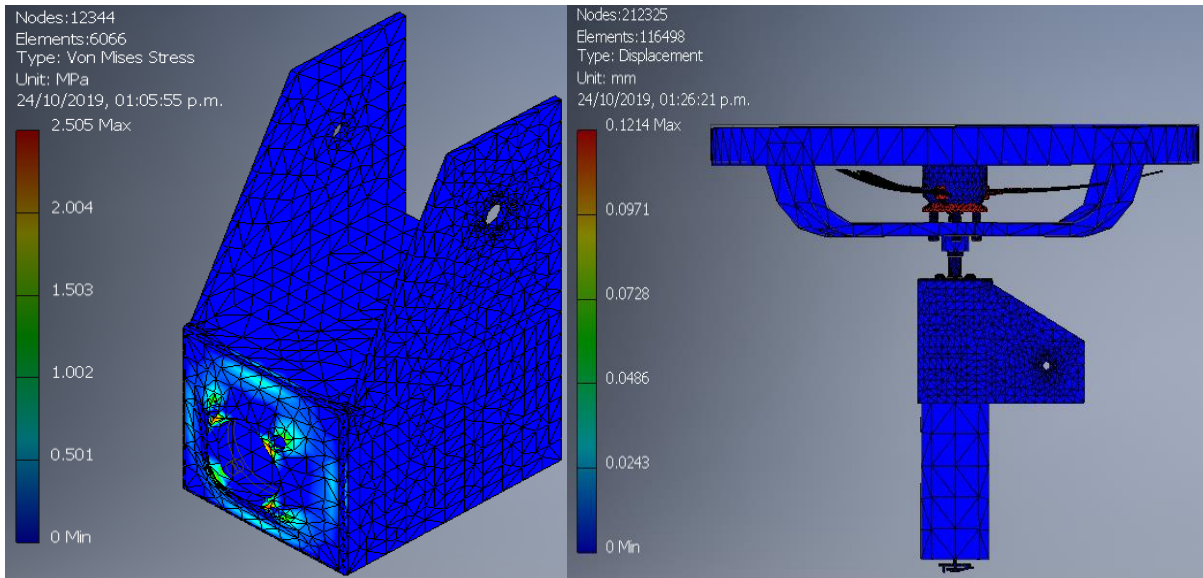


Figura 3.60: Resultado de esfuerzo de Von Mises (izquierda) y desplazamiento (derecha)

3.8.5 Bocina

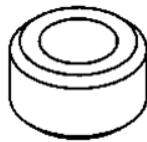


Figura 3.61: Bocina

En la figura 3.61, se observa la imagen de la bocina, la cual estará hecha de una aleación de bronce y estaño. Esta pieza será mecanizada y servirá para el tope entre el soporte del servomotor y la unión del servomotor, a través de estas dos piezas se colocará un pin que dará libre giro para la rotación.

3.8.6 Soporte del servomotor

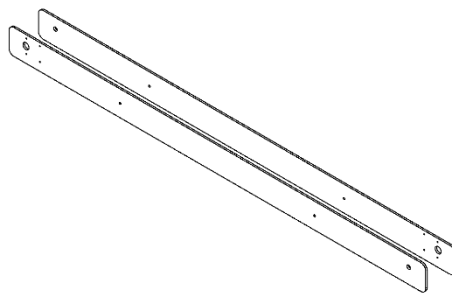


Figura 3.62: Soporte del servomotor

En la figura 3.62, se puede observar la imagen del soporte del servomotor, el cual estará hecho de fibra de carbono. Este servirá de eje para las ruedas y es la pieza donde los servomotores

estarán acoplados. El soporte del motor DC se integrará a este soporte para formar la suspensión del sistema.

3.8.7 Pin

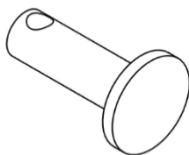


Figura 3.63: Pin

En la figura 3.63, se puede observar la imagen del pin, el cual estará hecho de acero. Será mecanizado y servirá para hacer juego en el giro entre el soporte del servomotor y la unión del servomotor.

3.8.8 Soporte del motor de combustión

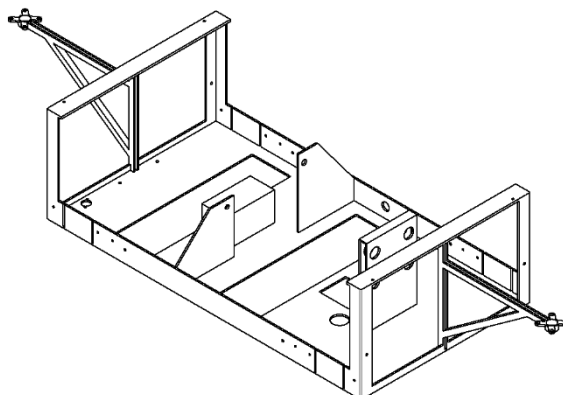


Figura 3.64: Soporte del motor de combustión

En la figura 3.64, se puede observar la imagen del soporte del motor de combustión, el cual estará hecho de fibra de carbono; la selección de este material se obtuvo mediante los cálculos de esfuerzos en los brazos del soporte del motor brushless y por los cálculos de vibración generado por el motor de combustión. Sobre este soporte se colocarán el motor de 2 tiempos y el alternador, 2 piezas fundamentales que brindarán energía al sistema. En sus brazos laterales se ubicarán los motores Brushless.

Además, como se puede observar hay un orificio circular en la base cerca al soporte del motor de combustión donde se situará el tubo de escape por medio del cual saldrá el aire de escape fuera del sistema y mediante los otros orificios de la base ingresará aire al sistema y al motor.

3.8.8.1 Análisis del brazo soporte del motor brushless

La estructura del soporte del motor de combustión estará acoplada, en sus brazos frontal y posterior, a los motores brushless. Cuando el vehículo se encuentre en modo aéreo, estos motores generarán un empuje para elevar el vehículo el cual puede provocar complicaciones y hacer fallar la estructura del soporte. Para el análisis se tomaron en cuenta el máximo empuje generado por los motores y que el vehículo contará con 10 kg de carga extra, en total 24 kg.

A continuación, se procederá a realizar los cálculos de resistencia de materiales para hallar el esfuerzo máximo.

$F = \text{Empuje del motor aéreo}$

$$F = 96.24 \text{ N}$$

$W = \text{Peso base principal}$

$$W = 235.44 \text{ N}$$

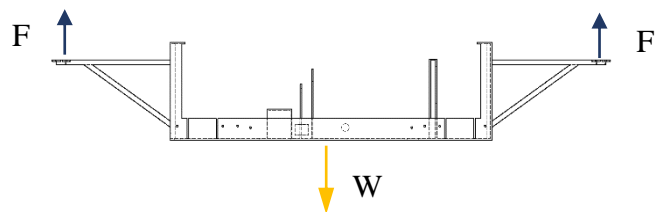


Figura 3.65: DCL del soporte motor brushless

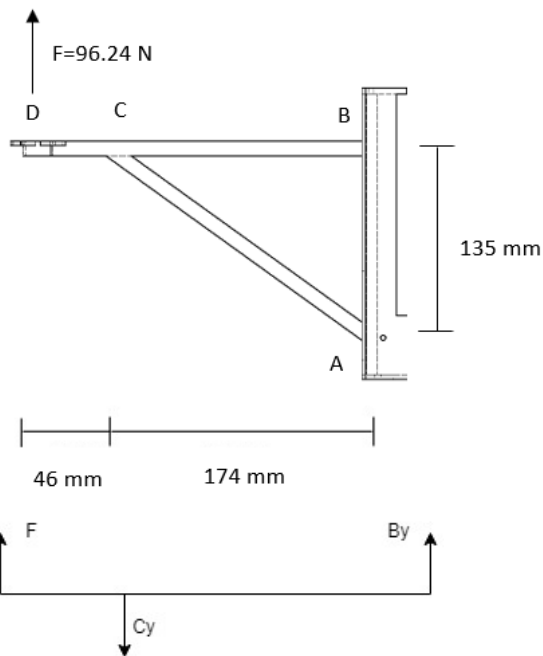


Figura 3.66: DCL del brazo del soporte motor brushless

$$\sum F_y = 0, \quad (43)$$

$$F - C_y + B_y = 0,$$

$$F + B_y = C_y.$$

$$\sum M_C = 0, \quad (44)$$

$$174B_y - 46F = 0,$$

$$174B_y = 46F,$$

$$B_y = 25.44 \text{ N}.$$

$$C_y = 96.24 + 25.44 = 121.68 \text{ N}.$$

$$\sigma_{max} = \frac{Mc}{I}. \quad (45)$$

$$M = \frac{Fab}{(a+b)}. \quad (46)$$

$$I = \frac{bh^3}{12} + Ad^2. \quad (47)$$

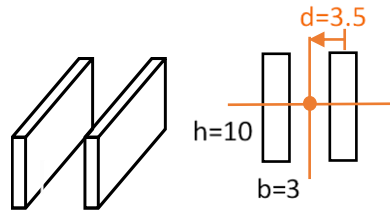


Figura 3.67: Perfil del soporte del brazo del soporte motor brushless

$$M = \frac{96.24(46 \times 174)}{(46 + 174)} = 3501.39 \text{ Nmm}.$$

$$I = 2 \left[\frac{3 \times 10^3}{12} + (3 \times 10)3.5^2 \right] = 617.5 \text{ mm}^4.$$

$$\sigma_{max} = \frac{3501.39 \text{ Nmm} \times 5 \text{ mm}}{617.5 \text{ mm}^4} = 28.35 \text{ MPa}.$$

Según los cálculos de resistencia de materiales, se obtiene un esfuerzo máximo de 28.35 MPa. Ahora, se procederá a realizar los análisis de esfuerzos mediante la simulación en el software indicado para corroborar los cálculos anteriores y observar si existe alguna falla significativa en la estructura del soporte.

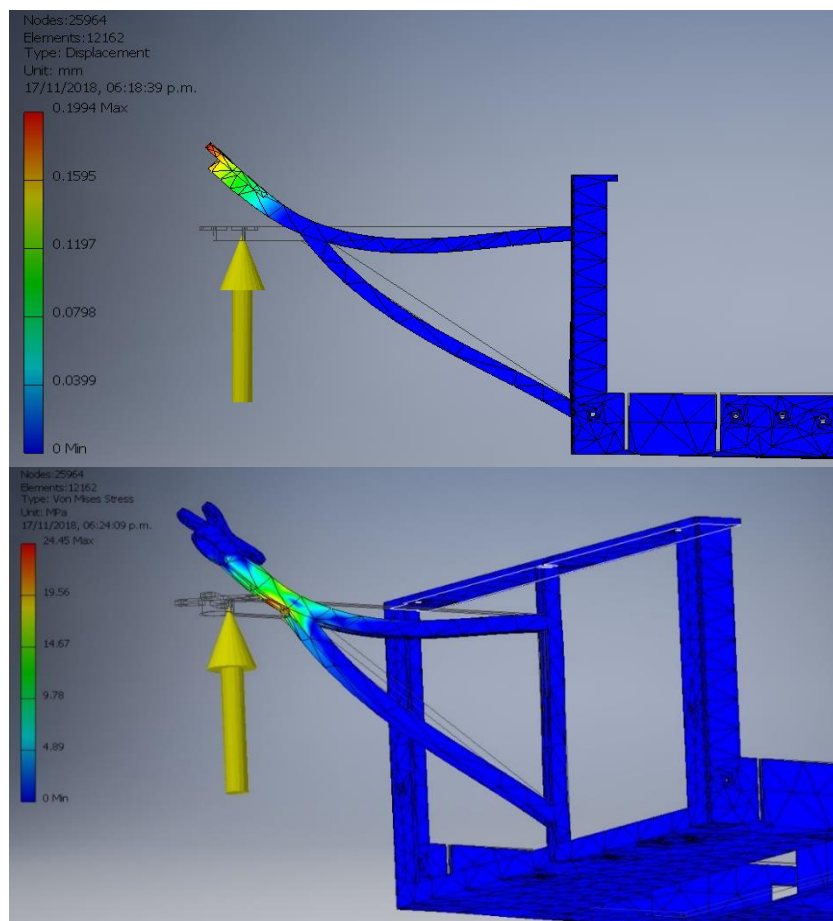


Figura 3.68: Resultado de desplazamiento (superior) y esfuerzo de Von Mises (inferior)

Como se aprecia en la figura 3.68, la zona que presenta mayor desplazamiento de deformación es el extremo del brazo del soporte cuyo valor es de 0.1994 mm siendo este un valor poco significativo. Además, en la figura inferior (esfuerzo de Von Mises) se observa el esfuerzo máximo de 24.45 MPa.

Con los valores obtenidos en los cálculos iniciales y la simulación en el software se comprueba que la resistencia del material de fibra de carbono (65.7 MPa) (anexo I.2.1), soporta el empuje del motor, y de esta manera, no afecta a la estructura del soporte del motor.

3.8.9 Soporte de la cámara

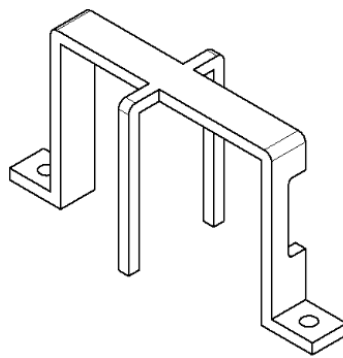


Figura 3.69: Soporte de la cámara

En la figura 3.69, se puede observar la imagen del soporte de la cámara Go Pro, el cual estará hecho de ABS. Será colocado en la parte inferior del soporte del motor de combustión y será el encargado de asegurar la cámara Go Pro al sistema mientras esta realiza las transmisiones de video.

3.8.10 Goma antivibración

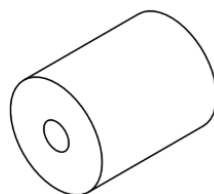


Figura 3.70: Goma antivibración

En la figura 3.70, se puede observar la imagen de la goma antivibración, la cual estará hecha de fibra de carbono, material que se seleccionó luego del análisis de vibración (3.8.16.3) que genera el motor de combustión en la base inferior. Esta pieza se comprará, pero su agujero será manipulado para hacerlo pasante y conectar los pernos que unan al motor de 2 tiempos con su soporte.

3.8.11 Soporte de componentes electrónicos

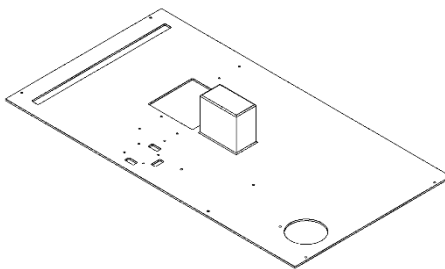


Figura 3.71: Soporte de componentes electrónicos

En la figura 3.71, se puede observar la imagen del soporte de los componentes electrónicos, el cual estará hecho de ABS. En este soporte se colocarán todos los controladores, así como, las baterías, cargadores de baterías y el tanque de combustible. Así mismo, este soporte será unido al soporte del motor de combustión y a la carcasa.

3.8.12 Soporte del tanque de combustible

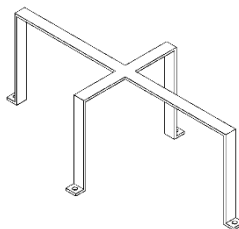


Figura 3.72: Soporte del tanque de combustible

En la figura 3.72, se puede observar la imagen del soporte del tanque de combustible, el cual estará hecho de ABS. Este soporte estará unido al soporte de componentes electrónicos y se encargará de asegurar y fijar en su posición al tanque de combustible.

3.8.13 Carcasa

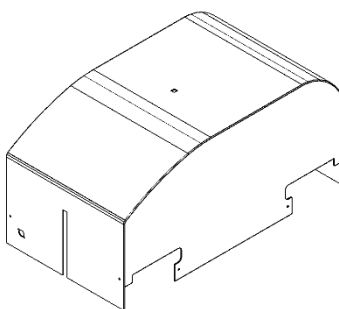


Figura 3.73: Carcasa

En la figura 3.73, se puede observar la imagen de la carcasa, la cual estará hecha de ABS, un material resistente y adecuado para proteger del ingreso de agua y polvo a los componentes electrónicos y controladores del sistema pues la carcasa cubre y aísla completamente a estos componentes del exterior. Además, el GPS y los sensores ultrasónicos estarán unidos a la carcasa y esta a su vez, al soporte de componentes electrónicos.

3.8.14 Unión de los brazos 1 y 2

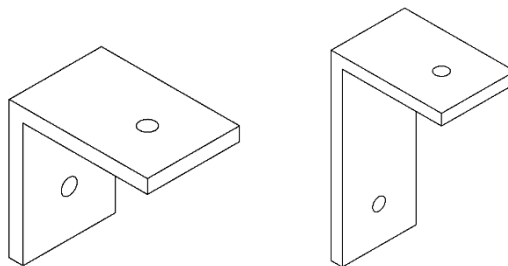


Figura 3.74: Unión de los brazos 1 y 2

En la figura 3.74, se puede observar la imagen de la unión del brazo 1 y la unión del brazo 2, las cuales estarán hechas de ABS. Estas piezas servirán de unión entre el soporte del motor de combustión y el soporte del servomotor, de esta manera mantendrán a ambos asegurados y brindarán seguridad en el movimiento y estabilidad del vehículo.

3.8.15 Sistema de suspensión

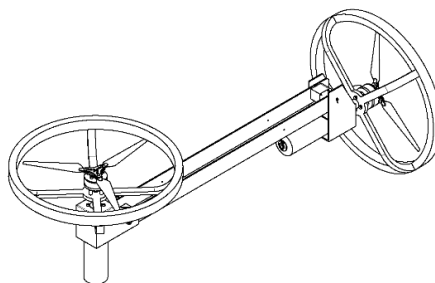


Figura 3.75: Sistema de suspensión

En la figura 3.75, se puede observar la imagen del ensamble de la suspensión, el cual estará conformado por 12 piezas. Entre las piezas principales se tienen la rueda, el soporte de la rueda, el acople de la rueda, el soporte del motor DC, el motor DC, el servomotor, y el kit de motor brushless.

Este mecanismo de suspensión será el encargado de dar movimiento al vehículo en el modo terrestre. Los motores DC se activarán y harán girar las ruedas por medio de los soportes de las ruedas. Son dos mecanismos de suspensión del mismo modelo los cuales se colocarán paralelamente para dar estabilidad terrestre al móvil. Cuando se realice el cambio de modo a aéreo, tanto la rueda como los componentes que estén dentro de ella girarán mediante el servomotor de manera que las ruedas quedarán en posición horizontal. A partir de entonces funcionará el kit de motor brushless para dar paso al desplazamiento aéreo.

Las uniones del motor DC y el servomotor con sus respectivos soportes se darán con pernos especiales de acero que encajen correctamente en estos tipos de motores y aseguren la unión de estos con los soportes que están hechos de fibras de carbono. Además, en la unión del soporte del servomotor y del motor DC se usará un Pin que permitirá la rotación libre que será accionada por el servomotor.

3.8.15.1 Análisis del soporte del servomotor en modo aéreo

En el modo aéreo, los motores brushless, ensamblados en los soportes de los motores DC, generarán un empuje con el fin de elevar al vehículo. Por otro lado, el soporte del servomotor tendrá que soportar no solo su peso, sino también el de la base inferior, superior, el de la cubierta y una carga extra de 10 kg en caso exista; todo lo anterior sumará 24 kg.

Todo lo mencionado anteriormente ejercerá una fuerza en contra de la dirección del empuje de los motores, como dos barras forman un soporte, cada barra soportará el empuje de 48.12 N. Los extremos del soporte del servomotor están acoplados a los soportes de los motores DC, por ello se producirá un esfuerzo en la estructura debido a que las fuerzas están en direcciones opuestas y son de magnitudes diferentes. A continuación, se procederá a realizar los cálculos de resistencia de materiales para hallar el esfuerzo máximo.

$W = \text{Peso de la base principal}$

$W = 117.72 \text{ N}$

$F = \text{Empuje del motor aéreo}$

$F = 96.24 \text{ N}$

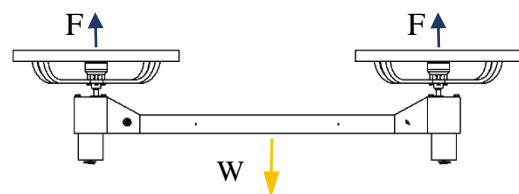


Figura 3.76: DCL del brazo modo aéreo

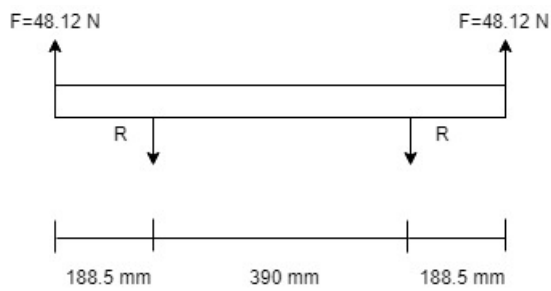


Figura 3.77: DCL del perfil del brazo modo aéreo

$$\sum F_y = 0,$$

$$F + F - R - R = 0,$$

$$F = R.$$

$$\sigma_{max} = \frac{Mc}{I}.$$

$$M = Fa. \quad (48)$$

$$I = \frac{bh^3}{12}. \quad (49)$$

$$M = 48.12 \text{ N} \times 188.5 \text{ mm},$$

$$M = 9070.62 \text{ Nmm}.$$

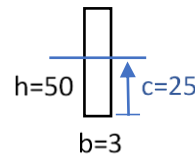


Figura 3.78: Perfil del brazo modo aéreo

$$I = \frac{3 \times 50^3}{12} = 31250 \text{ mm}^4.$$

$$\sigma_{max} = \frac{9070.62 \text{ Nmm} \times 25 \text{ mm}}{31250 \text{ mm}^4} = 7.26 \text{ MPa}.$$

Según los cálculos de resistencia de materiales, se obtiene un esfuerzo máximo de 7.26 MPa. Luego, se procederá a realizar los análisis de esfuerzos mediante la simulación en el software indicado para corroborar los cálculos anteriores y observar si existe alguna falla significativa en la estructura del soporte.

Como se aprecia en la figura 3.79 en la simulación que se realizó mediante el software *Autodesk Inventor Professional*®, el desplazamiento de deformación es de 0.6137 mm como máximo y se da en el centro del soporte del servomotor tal como se puede distinguir pues el color rojo indica el lugar donde se da esta máxima deformación en la figura superior. Esto se justifica puesto que en esa zona está la unión con el soporte del motor DC. Además, teniendo en cuenta que la resistencia del material de fibra de carbono es de 65.7 MPa (anexo I.2.1), se comprueba que no fallará durante el desplazamiento aéreo pues, como se observa en la figura inferior (esfuerzo de Von Mises), presenta un esfuerzo máximo de 3.661 MPa.

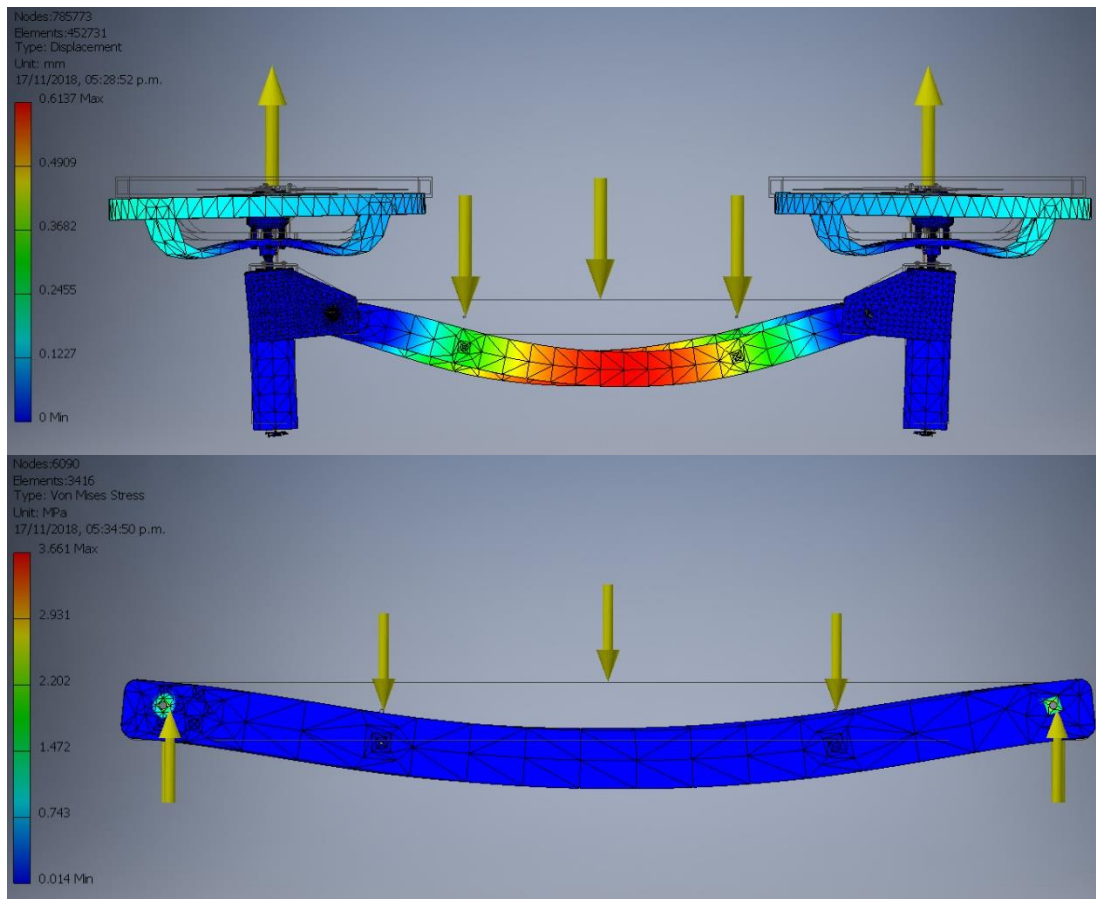


Figura 3.79: Resultado de desplazamiento (superior) y esfuerzo de Von Mises (inferior)

3.8.15.2 Análisis del soporte del servomotor en modo terrestre

Cuando el vehículo se encuentra en modo terrestre los soportes del vehículo serán las ruedas que están unidas al soporte del motor DC. Estas deben de soportar el peso de la base inferior, superior y de la cubierta. Además, se consideran los 10 kg extras de carga que podrá transportar el vehículo y en total sumará 24 kg, pero como son 2 soportes, cada uno soportará 12 kg y cada barra 6 kg, pues dos barras forman un soporte. Esta carga se transmite directamente al soporte del servomotor que, al estar ensamblado al soporte del motor DC, puede provocar que se flexione. A continuación, se realiza la simulación dinámica de fuerzas para comprobar si existe flexión significativa que pueda afectar la estructura del vehículo. A continuación, se procederá a realizar los cálculos de resistencia de materiales para hallar el esfuerzo máximo.

$W = \text{Peso de la base principal}$

$$W = 235.44 \text{ N}$$

$$2R_y = W$$

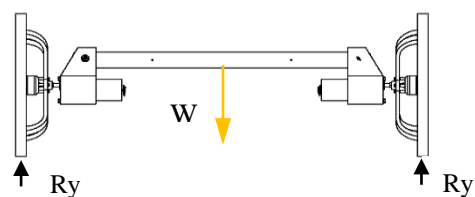


Figura 3.80: DCL del brazo modo terrestre

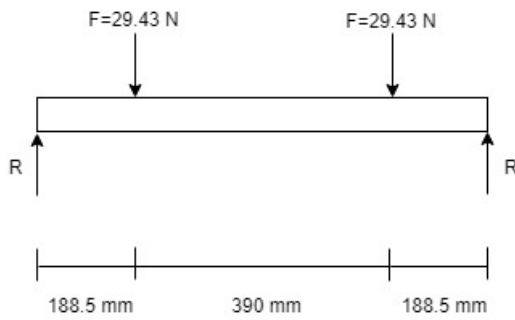


Figura 3.81: DCL del perfil del brazo modo terrestre

$$\sum F_y = 0,$$

$$F + F - R - R = 0,$$

$$F = R.$$

$$\sigma_{max} = \frac{Mc}{I}.$$

$$M = Fa.$$

$$I = \frac{bh^3}{12}.$$

$$M = 29.43\text{ N} \times 188.5\text{ mm},$$

$$M = 5547.56\text{ Nmm}.$$

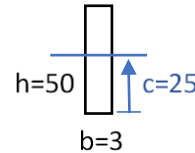


Figura 3.82: Perfil del brazo modo terrestre

$$I = \frac{3 \times 50^3}{12} = 31250\text{ mm}^4.$$

$$\sigma_{max} = \frac{5547.56\text{ Nmm} \times 25\text{ mm}}{31250\text{ mm}^4} = 4.44\text{ MPa}.$$

Según los cálculos de resistencia de materiales, se obtiene un esfuerzo máximo de 4.44 MPa. Ahora, se procederá a realizar los análisis de esfuerzos mediante la simulación en el software indicado para corroborar los cálculos anteriores y observar si existe alguna falla significativa en la estructura del soporte.

Como se aprecia en la figura 3.83 en la simulación que se realizó mediante el software *Autodesk Inventor Professional*®, el desplazamiento de deformación es de 0.6296 mm como máximo y se da en la zona roja de la figura superior. Así también, en la figura inferior (esfuerzo de Von Mises) se puede observar que el esfuerzo máximo generado es de 3.661 MPa.

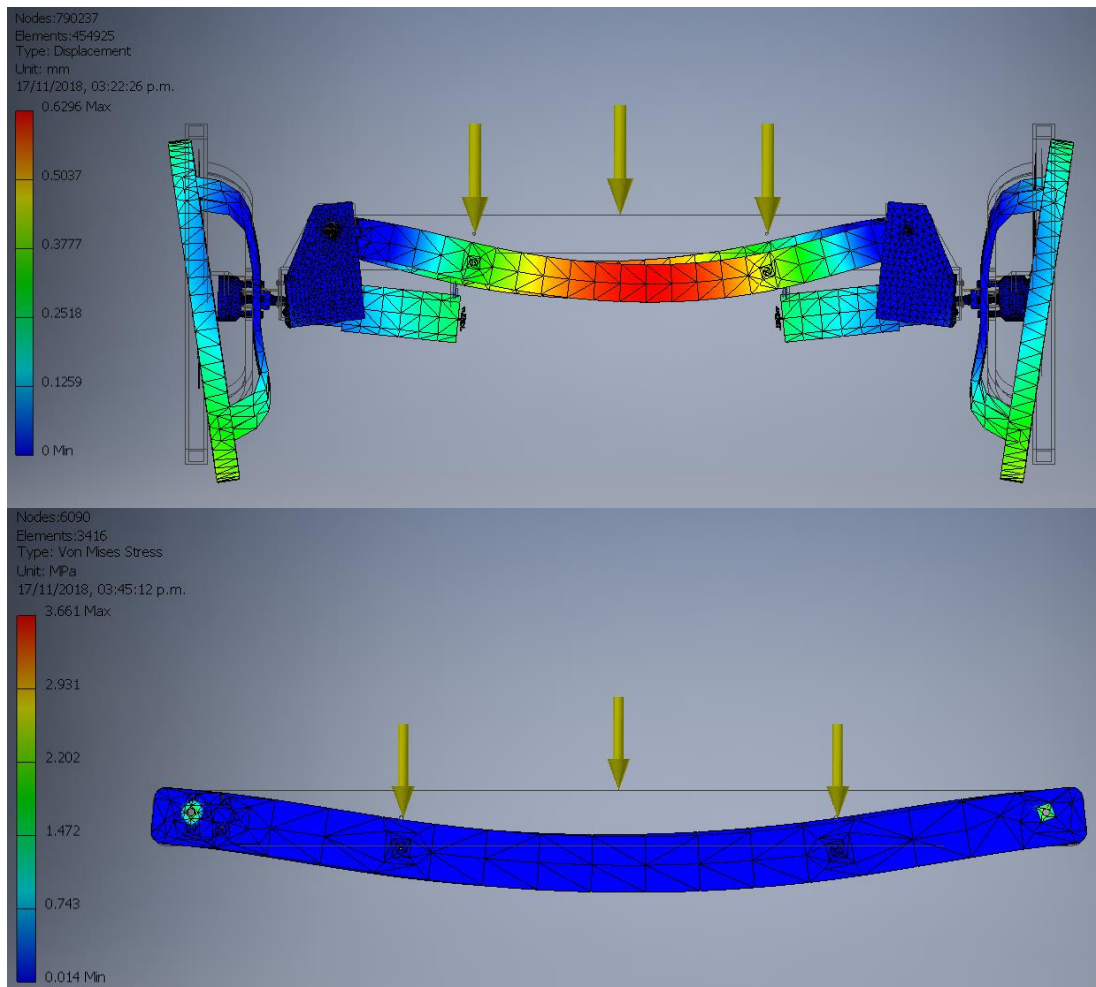


Figura 3.83: Resultado de desplazamiento (superior) y esfuerzo de Von Mises (inferior)

Con los valores obtenidos en los cálculos iniciales y la simulación en el software se comprueba que la resistencia del material de fibra de carbono (65.7 MPa) (anexo I.2.1), soporta el peso de la base principal, y de esta manera no afecta a la estructura del brazo modo terrestre.

3.8.16 Base inferior

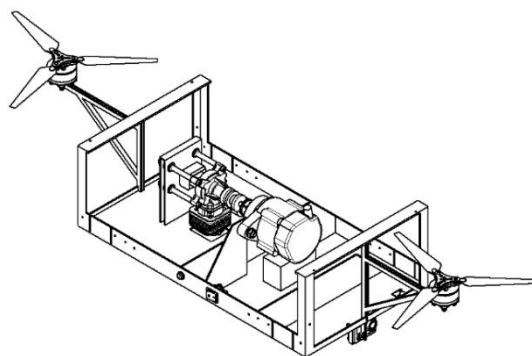


Figura 3.84: Base inferior

En la figura 3.84, se puede observar la imagen de ensamble de la base inferior, el cual estará conformado por 13 piezas. Entre las piezas principales se tienen el soporte del motor de combustión, el motor de 2 tiempos, el alternador, el acople alternador-motor y el kit de motor brushless.

Este mecanismo dará soporte tanto al motor como al alternador y servirá de soporte para las 2 suspensiones del sistema. Para el ensamble del motor al soporte, se tendrá a las gomas antivibratorias como mecanismo intermediario para reducir las vibraciones. Así también, sostendrá a la Go Pro en la parte baja, la cual será necesaria para poder transmitir en vivo las imágenes de la exploración del vehículo. Cuenta con 2 kits de motor brushless los cuales serán activados en el modo aéreo. Además, en esta base se acoplarán tanto el switch como el pulsador, los cuales servirán para encender el sistema.

El motor de 2 tiempos estará asegurado a la base mediante pernos de acero especiales que vienen con el mismo motor, al igual que los pernos del alternador y los del motor brushless. Así también, los pernos que unen al sensor Max sonar y al soporte de la cámara con la base serán pernos de Nylon bajo medidas DIN.

3.8.16.1 Análisis de vibración generado por el motor de combustión

El motor de 2 tiempos es un componente que genera vibraciones de manera constante y funcionará durante todo el tiempo que el sistema este en marcha. Esta oscilación se puede extender y puede afectar de manera significativa a otros componentes del sistema e incluso a la estructura del vehículo, debido a ello es necesario estudiar dichas vibraciones con el objetivo de corroborar si el modelo del soporte del motor es el adecuado o si es que se necesita modificar. El motor seleccionado DLE - 30 funcionará a una velocidad constante de 6026 rpm o 100 Hz.

Se realizará la simulación de vibraciones mediante el software *ANSYS R19.0*® y el análisis se dará en la base donde el motor estará instalado, con el fin de determinar sus frecuencias armónicas modales y confirmar si se encuentran fuera del rango de las del motor.

3.8.16.2 Análisis de vibraciones sin goma antivibración

En primer lugar, se analizó la base con el soporte del motor sin las gomas antivibración. El motor genera una fuerza de acuerdo con su peso de 11 N y las partes laterales de la estructura

se asumen como fijas, pues en modo terrestre las ruedas le darán estabilidad y en modo aéreo serán el giro de las hélices.

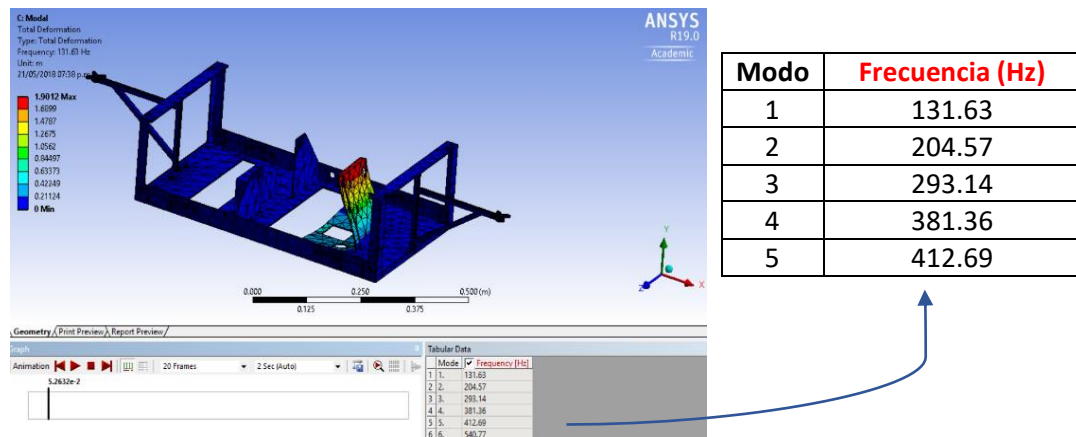


Figura 3.85: Análisis de la base del motor DLE-30 sin goma antivibración

En la figura 3.85 se observa que la primera frecuencia modal (131.63 Hz) presenta un valor superior en el rango de trabajo del que genera el motor (100 Hz). Por dicha razón, se comprueba que la estructura del soporte del motor es la correcta al tolerar las vibraciones generadas por el motor.

3.8.16.3 Análisis de vibraciones con goma antivibración

En segundo lugar, se analizó la base incluyendo las gomas antivibración en el soporte del motor con el objetivo de aminorar el trabajo ejercido solo por el soporte. El motor genera una fuerza de acuerdo con su peso de 11 N y las partes laterales de la estructura se asumen como fijas.

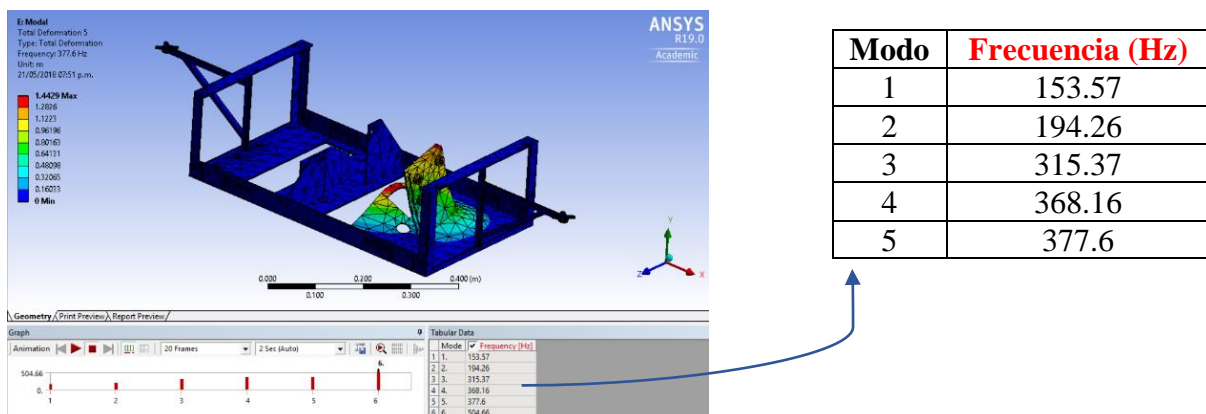


Figura 3.86: Análisis de la base del motor DLE-30 con goma antivibración

En la figura 3.86 se observa que la primera frecuencia modal (153.57 Hz) no solo presenta un valor superior en el rango de trabajo al que genera el motor, sino también posee un valor mayor al presentado en el análisis sin la goma antivibración (131.63 Hz).

De este modo, se comprueba que el uso de estas gomas sirve de amortiguadores ante las vibraciones del motor y no solo protegen al sistema sino también amplían el rango de trabajo del soporte asegurando un funcionamiento eficiente y seguro.

3.8.17 Base superior

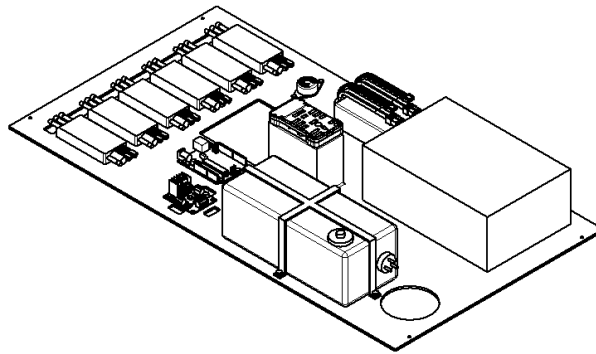


Figura 3.87: Base superior

En la figura 3.87, se puede observar la imagen del ensamblaje de la base superior, el cual estará conformado por 9 piezas. Entre las piezas principales se tienen el soporte componentes electrónicos, el tanque de combustible, las baterías, el cargador de las baterías, el Pixhawk, el Arduino UNO, el L298N y los ESCs.

Este mecanismo dará soporte a los controladores del sistema, los cuales estarán ubicados adecuadamente según los requerimientos del sistema. Tanto los ESC como las baterías, el cargador de baterías y el pixhawk estarán unidos a la base mediante pega pega adhesivos a diferencia del buzzer, del Arduino uno, del L298N y del soporte del tanque de combustible que se unirán a la base mediante pernos de Nylon bajo medidas DIN con el fin de reducir pesos.

3.8.18 Cubierta

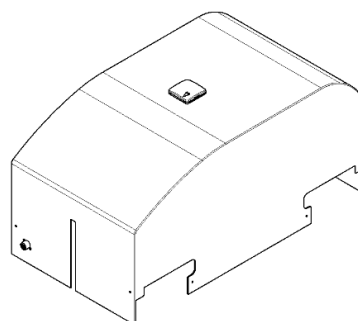


Figura 3.88: Cubierta

En la figura 3.88, se puede observar la imagen del ensamblaje de la cubierta, la cual estará conformada por 4 piezas: la carcasa, 2 MaxSonar y el GPS. Esta cubierta servirá para albergar solo a los tres sensores mencionados. El GPS se encontrará colocado sobre la carcasa y estará alejado de los demás componentes. Los 2 MaxSonar se encontrarán ubicados en la parte frontal y posterior (uno en cada zona) para localizar los obstáculos. El GPS y los Max sonar se unirán a la cubierta mediante pernos de Nylon bajo medidas DIN con el fin de evitar corrosión por fenómenos climáticos como la lluvia, humedad, etc. a los que estos dispositivos estarán expuestos.

3.8.19 Vehículo aéreo - terrestre

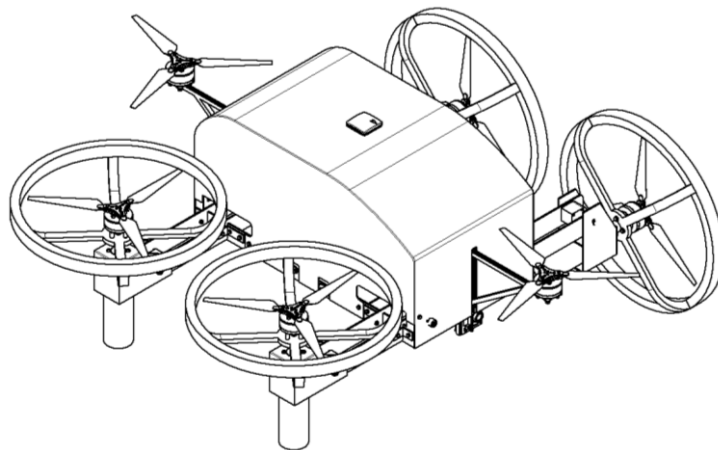


Figura 3.89: Vehículo aéreo-terrestre

En la figura 3.89, se puede observar la imagen del ensamblaje completo del vehículo aéreo-terrestre, el cual estará conformado por 5 subensambles, de los cuales 2 son de la suspensión, 1 de la base inferior, 1 de la base superior y 1 de la cubierta.

Todos los componentes del sistema quedarán asegurados para el correcto funcionamiento del vehículo. La base inferior se unirá a la base superior mediante pernos de Nylon bajo medidas DIN ya que se busca reducir pesos sin disminuir la efectividad de mantener unidas ambas partes. Así también, la cubierta se unirá a la base inferior mediante pernos de Nylon bajo medidas DIN con el fin de evitar corrosión por fenómenos climáticos a los que estará expuesta la cubierta y cuya función principal es la de proteger los componentes electrónicos y de control que se encuentran en su interior.

3.8.19.1 Análisis aerodinámicos

Uno de los mayores obstáculos que deberá afrontar este vehículo es el poder volar eficientemente a través de vientos en contra que se presentan en el país. Para ello se realizaron los cálculos aerodinámicos respectivos y las simulaciones mediante el software *Autodesk Flow Design*®, los cuales determinaron el coeficiente de arrastre del vehículo que ayudó posteriormente a hallar la velocidad capaz de vencer.

De acuerdo con el Atlas eólico del Perú [75], la mayor velocidad del viento a nivel nacional a 125 metros sobre el nivel del mar (msnm) es mayor a $12 \frac{m}{s}$. Con esta información se busca que el vehículo pueda soportar vientos mucho mayores a ese valor con el objetivo de vencer las limitaciones de este fenómeno atmosférico a alturas mucho más significativas.

Tomando en consideración la limitación del empuje de los motores aéreos, la carga máxima a poder levantar será de 37.92 kg. Se harán los mismos cálculos para pesos mayores al designado en caso se necesite aumentar una carga útil, cuyos resultados se muestran en la tabla 3.48.

Cálculos:

Empuje máximo de cada motor (suponiendo que no debe llegar a su límite, se selecciona a un 75% de funcionamiento): $61.936 N$

Como son 6 motores $\rightarrow F = 61.936 * 6 = 371.616 N$

Se hallará el ángulo de inclinación $\rightarrow \alpha = ?$

$W = \text{Peso del vehículo} = 245 N$

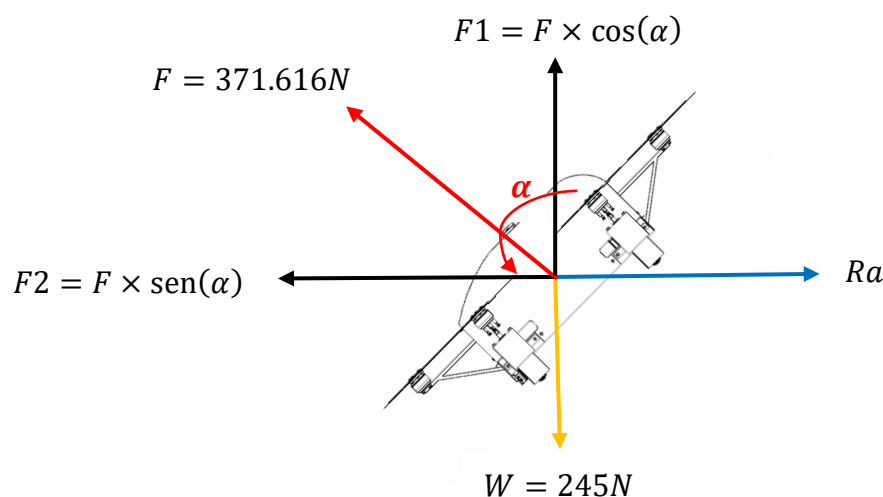


Figura 3.90: DCL del vehículo para el análisis aerodinámico

Al igualar las fuerzas verticales se obtiene:

$$F1 = 371.616 \times \cos(\alpha) = 245.25 \text{ N.}$$

$$\alpha = \text{Arcos} \left(\frac{F1}{F} \right) = \text{Arcos} \left(\frac{245}{371.616} \right) = 48.75^\circ.$$

$$F2 = 371.616 \times \text{sen}(48.75^\circ) = 279.39 \text{ N.}$$

Ecuación de la resistencia aerodinámica:

$$R_a = \frac{\rho}{2} C_D A_f V_r^2. \quad (50)$$

Simulación para hallar C_D :

El coeficiente de arrastre (C_D) o también llamado coeficiente de la resistencia aerodinámica, se obtiene a través de la simulación en el software antes mencionado, para ello se introduce el diseño del vehículo a un ángulo de inclinación hallado anteriormente (48.75°) y a través de vientos de velocidad mínima de 12 m/s.

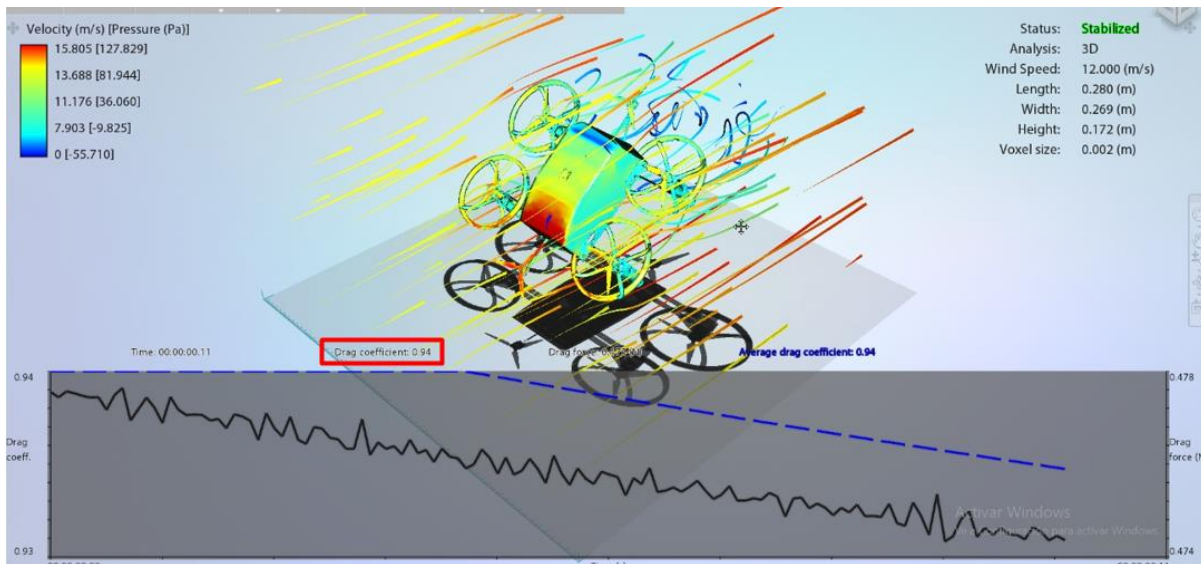


Figura 3.91: Simulación del diseño con viento en contra de velocidad mínima de 11 m/s.

Como se puede observar en la figura 3.91, el coeficiente de arrastre obtenido para el sistema estabilizado es de 0.94. Además, se puede observar que la mayor fricción del viento con el vehículo se da en la parte inferior, la cual es la primera zona en exponerse a la fuerza del viento.

Cálculo para hallar A_f :

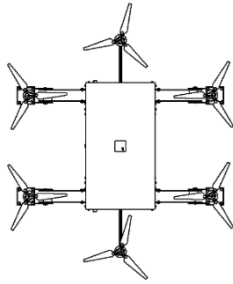


Figura 3.92: Área frontal al flujo

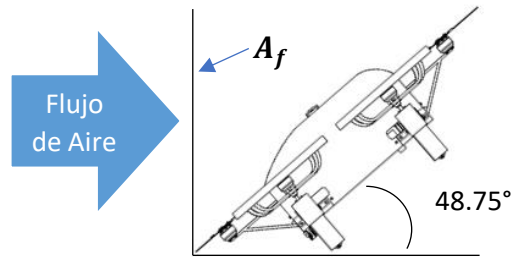


Figura 3.93: Proyección del área a plano normal al flujo

Hallar área proyectada del vehículo:

$$A = 6 \left(\frac{1}{4} k \pi D^2 \right) + A_2. \quad (51)$$

$k =$ Índice de permeabilidad = 50%

$D =$ Diámetro de las hélices = 393.70 mm = 0.3937 m

$A_2 =$ Área de la superficie central

$$A_2 = (654 \times 354) + 2(210 \times 10) + 8(242.5 \times 3),$$

$$A_2 = 231516 + 4200 + 5820 = 241536 \text{ mm}^2 = 0.241536 \text{ m}^2.$$

$$A = 6 \left(\frac{1}{4} \times 0.5 \times \pi \times 0.3937^2 \right) + 0.2415 = 0.6067 \text{ m}^2,$$

$$A_f = A \times \text{sen}(\alpha) = 0.6067 \times \text{sen}(48.75) = 0.4561 \text{ m}^2.$$

De esta manera, se obtienen los valores de los datos necesarios para realizar los cálculos matemáticos para hallar la velocidad a vencer del diseño del vehículo.

Datos:

$C_D =$ Coeficiente de la resistencia aerodinámica = 0.94

$\rho =$ Densidad del aire = 1.225 kg/m³

$A_f =$ Área proyectada del vehículo en dirección del movimiento = 0.4561 m²

$R_a = F_2 = 279.39 \text{ N}$

$V_r =$ Velocidad a vencer

Cálculo para hallar V_r :

$$¿ V_r > 12 \frac{m}{s} ?$$

Se reemplazan los valores anteriores en la ecuación 53:

$$V_r^2 = \frac{2R_a}{C_D A_f \rho} = \frac{2(279.39)}{0.94 \times 0.4561 \times 1.225} = 1063.939,$$

$$V_r = \sqrt{1063.939} = 32.62 \frac{m}{s}.$$

$$V_r > 12 \frac{m}{s} \quad \checkmark \text{ Sí cumple}$$

A continuación, se muestra la tabla 3.48 donde se presentan las velocidades de viento a vencer de acuerdo con los siguientes pesos: 25 kg, 30 kg y 35 kg.

Tabla 3.48: Velocidad a vencer con pesos de 25 kg, 30 kg y 35 kg.

W	α	C_D	$V_r \left(\frac{m}{s} \right)$	$V_r \left(\frac{km}{h} \right)$
25 kg	48.75°	0.94	32.62	117.43
30 kg	37.71°	0.87	34.07	122.65
35 kg	22.63°	0.67	39.01	140.44

De esta manera, se puede apreciar que el vehículo en modo aéreo puede poseer una carga útil máxima de 10 kg con la seguridad de vencer velocidades de viento mayores a los $12 \frac{m}{s}$ ($43.2 \frac{km}{h}$).

3.9 Diagramas esquemáticos del sistema mecatrónico

A continuación, se presentan los diagramas esquemáticos de los dispositivos principales de control, así como el esquemático general. Los diagramas del Pixhawk y del Arduino UNO se encuentran en el anexo G.

3.9.1 Diagrama esquemático del controlador Pixhawk

Se muestra en el anexo G.1 el esquemático elaborado por PX4 Autopilot del controlador del sistema [76]. Este tipo de controlador posee el compás (GPS con magnetómetro) dentro de otra

carcasa, la cual se encuentra apartada del controlador lo que disminuye los problemas de ruido eléctrico.

Dentro de este controlador se puede encontrar sensores ya incorporados como el giroscopio, acelerómetro, magnetómetro y barómetro. Los otros sensores serán conectados externamente como el sensor de nivel de combustible, el cual será conectado al Pixhawk mediante su interfaz TELEM1. Los sensores sonar y los motores DC serán conectados indirectamente a este controlador por medio del Arduino Uno, el cual, por medio del serial UART4, recibirá y transmitirá información mediante comunicación serial con el Pixhawk.

El Pixhawk trabaja con un procesador Cortex-M4 a 168 MHz y posee 14 salidas PWM (8 con prueba de fallos y anulación manual, y 6 auxiliares) de las cuales 6 serán usadas para los ESC, los cuales serán encargadas de controlar los motores del hexacóptero cuando el vehículo se encuentre en modo aéreo. Se usarán otras 4 salidas para los servomotores que controlarán la dirección de los brazos haciendo posible los cambios de modo requeridos.

El controlador Pixhawk tiene externamente las interfaces directas para conectar el GPS y el Buzzer, que es un zumbador de alarma. Las interfaces mencionadas llevan su mismo nombre lo que facilita su conexión.

3.9.2 Diagrama esquemático del controlador L298N

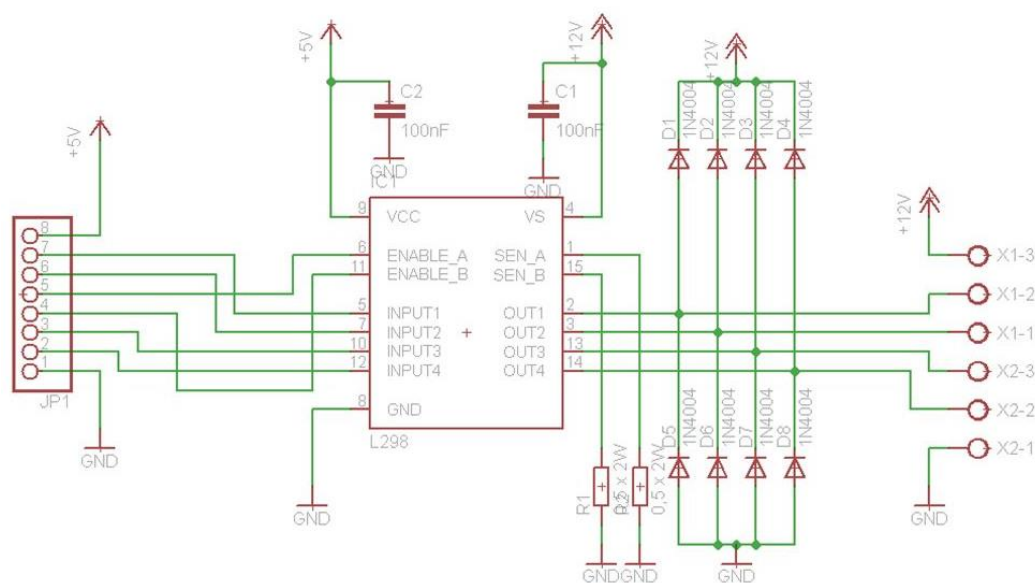


Figura 3.94: Esquemático del controlador L298N

Fuente: [77]

En la figura 3.94 se muestra el esquemático elaborado por Instructables del controlador L298N el cual se encargará de recibir las señales del Arduino Uno y las transmitirá a los motores DC los cuales darán movimiento al vehículo cuando este se encuentre en modo terrestre.

Los pines izquierdos del esquemático serán conectados a los pines del Arduino, y los pines de la derecha serán conectadas a los 4 motores DC. El pin de voltaje en conector común (VCC) será conectado a la fuente de 5 V que entrega el Arduino mientras que el pin VS será conectado a la fuente de 24 V que provendrá de las baterías, las cuales darán la energía directa a los motores DC.

3.9.3 Diagrama esquemático del Arduino UNO

En el anexo G.2 se muestra el esquemático del Arduino [78] el cual permitirá controlar los motores DC mediante el controlador L298N cuya conexión se explicó anteriormente.

La comunicación con el Pixhawk, el cual recibe la señal directa del Radio Controller, será por medio de los pines de receptor (RX) y transmisor (TX) del Arduino. El Arduino Uno estará conectado a tres sonar, dos de ellos monitorearán si existe algún obstáculo a un metro del vehículo (frontal y posterior), mientras que el otro sonar será el encargado de medir la altura que se encuentra el vehículo sobre la tierra para poder realizar los cambios de modo de manera efectiva. Estos sonar serán conectados al Arduino mediante los pines de comunicación PC2, PC1 y PC0, de esta manera, enviarán información del Arduino al Pixhawk.

3.9.4 Diagrama esquemático del Power Distribution Board

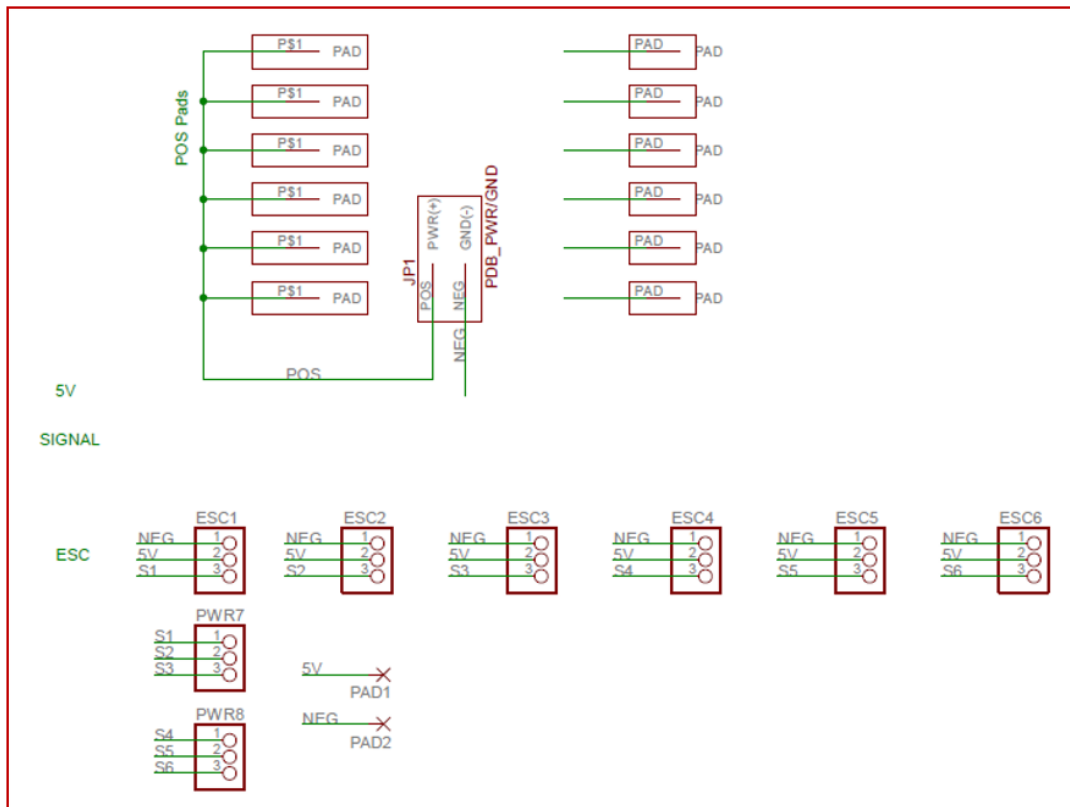


Figura 3.95: Esquemático del Power Distribution Board
Fuente: [79]

En la figura 3.95 se muestra el esquemático elaborado por 3DR Robotics del Hexacóptero Power Distribution Board. Es una tarjeta que se encarga de distribuir la potencia recibida del conversor de voltaje a los seis ESC que controlarán los seis motores brushless del vehículo.

JP1 es la entrada del conversor de voltaje que se puede observar en la parte media del esquemático, esta otorgará la corriente y los 24V necesarios. Los bloques de los seis ESC tienen tres pines de conexión que corresponden a tierra (GND), 5V y las señales PWM que llegarán del Pixhawk.

3.9.5 Diagrama esquemático del Power Module

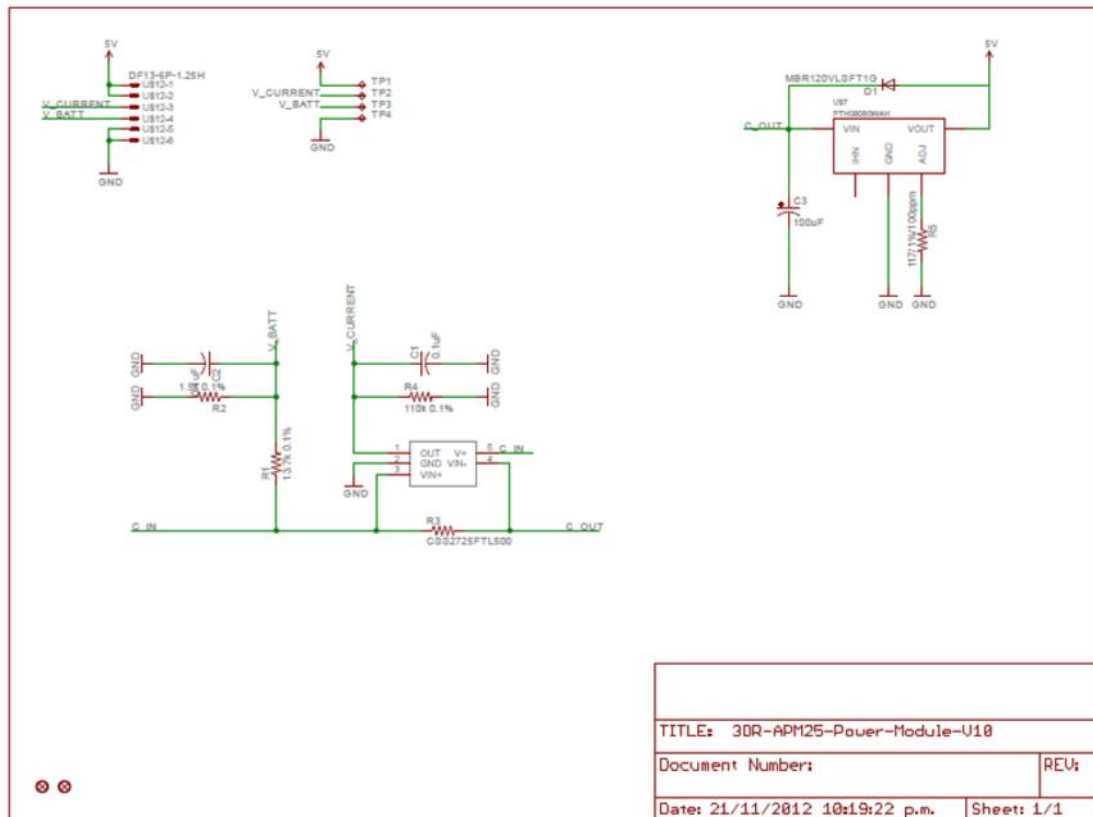


Figura 3.96: Esquemático del Power Module
Fuente: [80]

En la figura 3.96 se muestra el esquemático elaborado por 3DR Robotics del Power Module. Es la tarjeta de alimentación del Pixhawk que le otorga un voltaje máximo de 5.3 V y una corriente de 2.25 A como máximo.

El voltaje positivo del alternador (12V) entra por la línea C_IN como se puede observar en la parte inferior del esquemático. Los seis pines de la esquina superior izquierda, que se muestra en la figura, serán las salidas de alimentación hacia el Pixhawk.

3.9.6 Diagrama esquemático general

En la figura 3.97 se muestra el esquemático general, donde se muestra las conexiones entre los controladores, sensores y actuadores del vehículo

Inicialmente, las baterías serán las encargadas de mandar el voltaje necesario para inicializar el sistema y encender el motor de combustión.

La fuente primaria de energía es el alternador, el cual cuenta con dos salidas, el voltaje de los 12V y GND. Estas salidas serán conectadas al Power Module que a su vez estará conectado y alimentará al Pixhawk por medio de su interfaz de poder (POWER).

Los cargadores de baterías recibirán también la energía del alternador mediante sus entradas de VCC y GND. Las baterías estarán en paralelo y proveerán los 24V para alimentar a los motores DC mediante el controlador L298N. Una salida de este controlador se conectará a los dos motores DC que estarán ubicados al extremo derecho del vehículo, tanto el delantero como el trasero, mientras que la otra salida se conectará a los otros dos motores DC ubicados al extremo izquierdo del vehículo. Estas conexiones se dan mediante los pines VCC (24V) y GND de la salida del controlador hacia los motores.

Los pines del controlador L298N (ENA, IN1, IN2, IN3, IN4 y ENB) se conectarán respectivamente con los siguientes pines del microcontrolador del Arduino UNO: 15, 13, 12, 11, 6 y 5, los cuales son: PB1=PWM, PD7, PD6, PD5, PD4, PD3=PWM respectivamente.

La tarjeta del Power Distribution Board será alimentada por las baterías que otorgarán los 24 V y el amperaje necesarios para suministrar de energía a los motores brushless mediante los ESC. Esta tarjeta estará conectada a los pines de salida PWM del Pixhawk del cual recibirá señales y además se conectará a los pines de entrada de los 6 ESC (VCC, GND, SX). Los motores brushless recibirán energía por parte de los ESC mediante los pines de entrada de alimentación VCC(8S) y GND. El Power Distribution Board está adaptado para entregar independientemente el voltaje y señal necesaria a cada uno de los 6 ESC.

El sensor GPS cuenta con dos diferentes conexiones, una será conectada a los pines GPS del Pixhawk que figuran físicamente en el interfaz del controlador, mientras que la otra será conectada a los pines I2C que figuran también físicamente en el interfaz del Pixhawk, debido a que la conexión que se da en la interfaz I2C corresponde a la brújula que viene agregada en el GPS.

El buzzer, o zumbador, será conectado en los dos pines del interfaz que presenta el controlador general exclusivamente para dicho componente.

El sensor de combustible tiene como salida un conector RS232 el cual mediante un conversor (RS232/TTL) será conectado al Pixhawk. Los pines de la salida del conversor (VCC, RX, TX, GND) serán conectados al interfaz físico TELEM1 del Pixhawk mediante sus 4 pines: 1=VCC, 2=TX, 3=RX, 6=GND, con los cuales se da la comunicación entre el sensor y el controlador.

Para poder realizar la comunicación entre el radio control y el Pixhawk, se conecta este controlador a una tarjeta de conexión, cuyos pines se conectan a las entradas PWM que posee el Pixhawk específicamente para dicha tarjeta. Con ello se podrá enviar información del radio control para activar los motores brushless, motores DC, servomotores y recibir la información de los sensores.

Para realizar los cambios de modo (aéreo - terrestre) se usan 4 servomotores, los cuales van conectados a los pines de entrada auxiliares PWM del Pixhawk. Estos servomotores recibirán la misma información con el fin de que los brazos que soportan las ruedas reciban el movimiento en el mismo sentido y al mismo tiempo.

Los tres sensores ultrasónicos que se utilizan en el vehículo son conectados a la tarjeta del Arduino UNO. De los 6 pines que tiene el sonar, solo 3 son necesarios para realizar la comunicación (VCC, GND y AN). Los pines VCC y GND de los sensores serán conectados a los pines VCC y GND del Arduino UNO. Los pines AN de los sensores serán conectados, a su vez, a los pines 25, 24 y 23 del Arduino UNO, los cuales son PC2, PC1 y PC0 (entradas analógicas del Arduino UNO) respectivamente.

El microcontrolador Arduino UNO, encargado de los sensores ultrasónicos y los motores DC, estará conectado mediante sus 4 pines (RX, TX, VCC, GND) al controlador principal Pixhawk en los pines de su puerto UART4: VCC, TX4, RX4 y GND, mediante los pines de la interfaz externa SERIAL 4/5: 1, 2, 3 y 6 respectivamente.

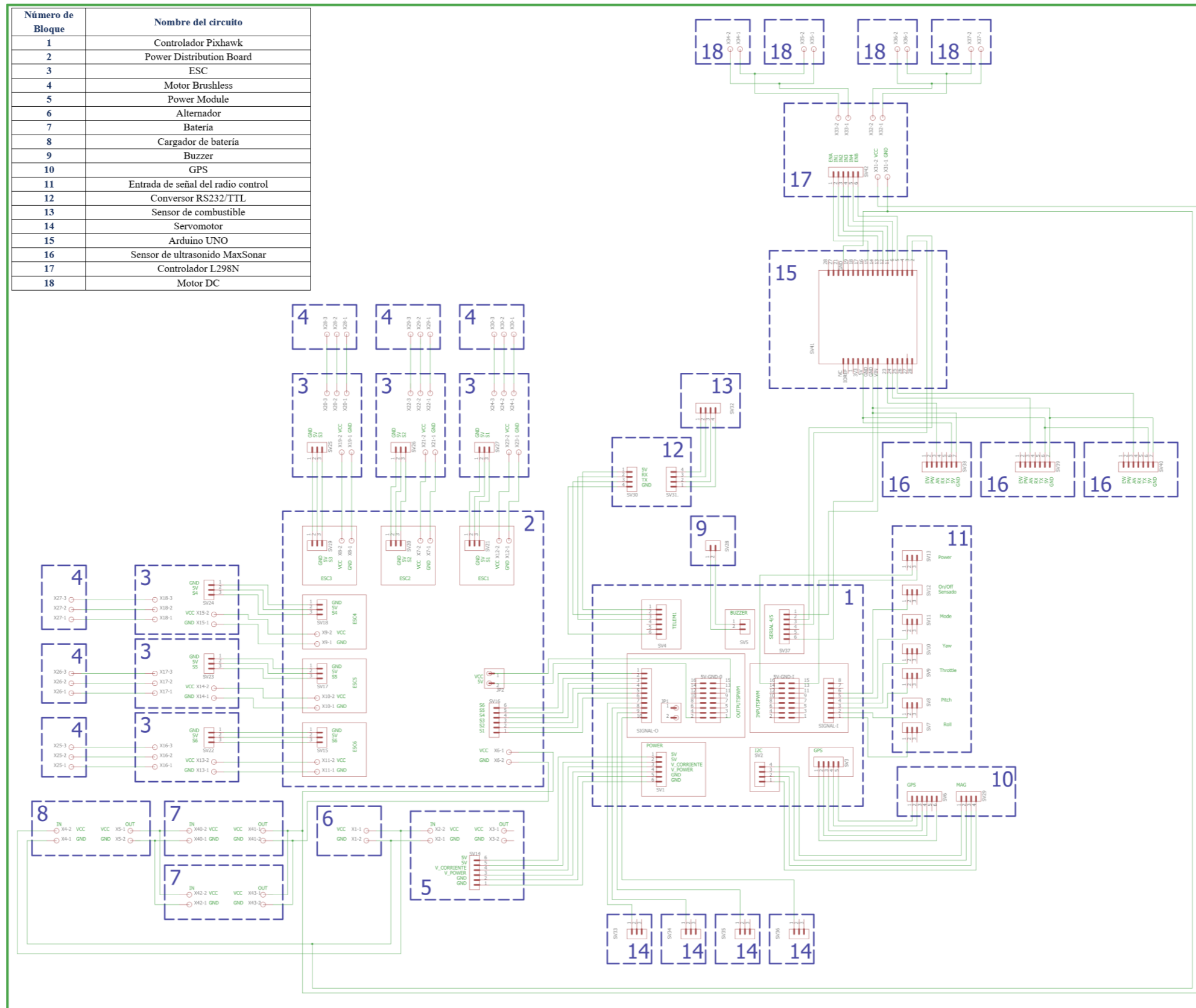


Figura 3.97: Esquemático general

3.10 Diagramas de flujo del sistema mecatrónico

3.10.1 Diagrama general del sistema

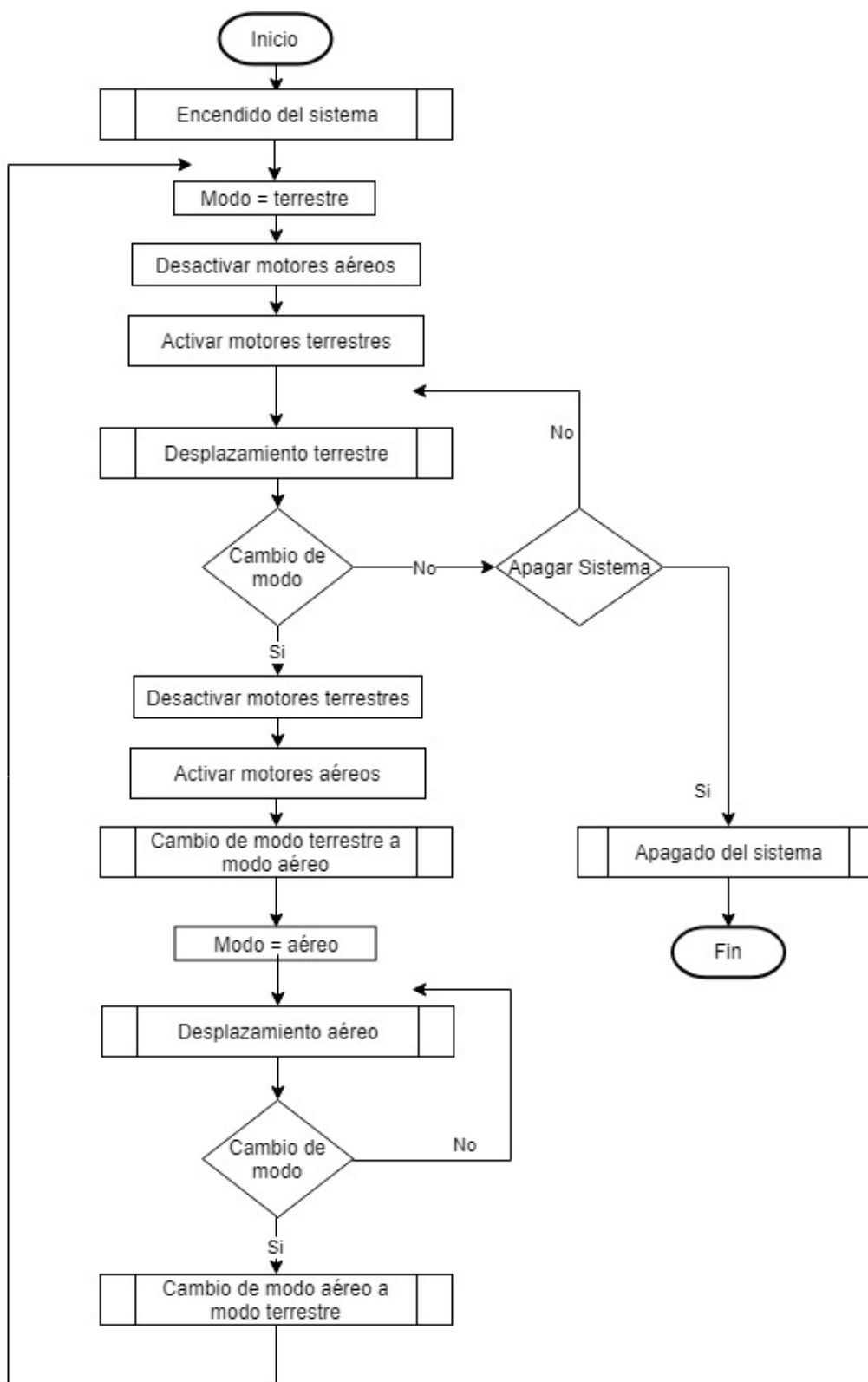


Figura 3.98: Diagrama de flujo general del sistema

Al inicio se deberá encender el sistema tomando las consideraciones iniciales de funcionamiento. En primer lugar, el vehículo estará en modo terrestre de manera que se pueda colocar sobre el lugar deseado, a partir de eso, funcionarán solamente los motores terrestres y los aéreos estarán desactivados. Con el radio control, se podrá manipular el desplazamiento terrestre hasta que se dé la orden de cambio de modo o se decida apagar el sistema. Para poder apagar el sistema el vehículo se deberá encontrar necesariamente en modo terrestre.

Una vez que se dé la señal de cambio de modo, los motores terrestres dejarán de funcionar y se activarán los aéreos. El vehículo adquirirá el modo aéreo y podrá ser desplazado a partir de las órdenes que se le proporcione. Cuando se le dé la orden del cambio de modo, el vehículo regresará a tierra adquiriendo el modo terrestre.

3.10.2 Diagrama del encendido del sistema

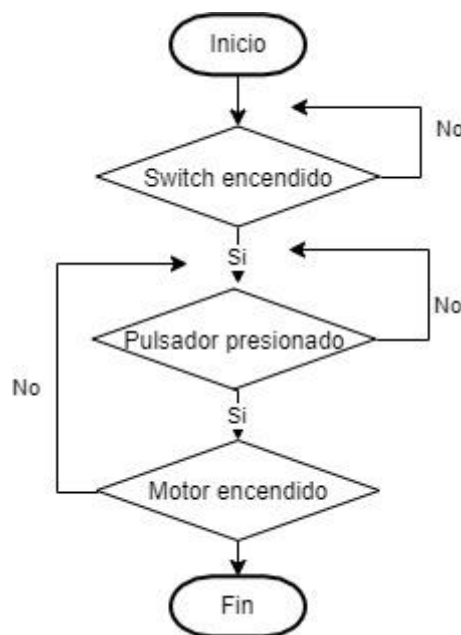


Figura 3.99: Diagrama del encendido del sistema

Para encender el sistema, en primer lugar, se deberá encender el switch del vehículo. En segundo lugar, se tendrá que mantener presionado el pulsador hasta que el motor de 2 tiempos inicie su funcionamiento.

3.10.3 Diagrama del desplazamiento terrestre

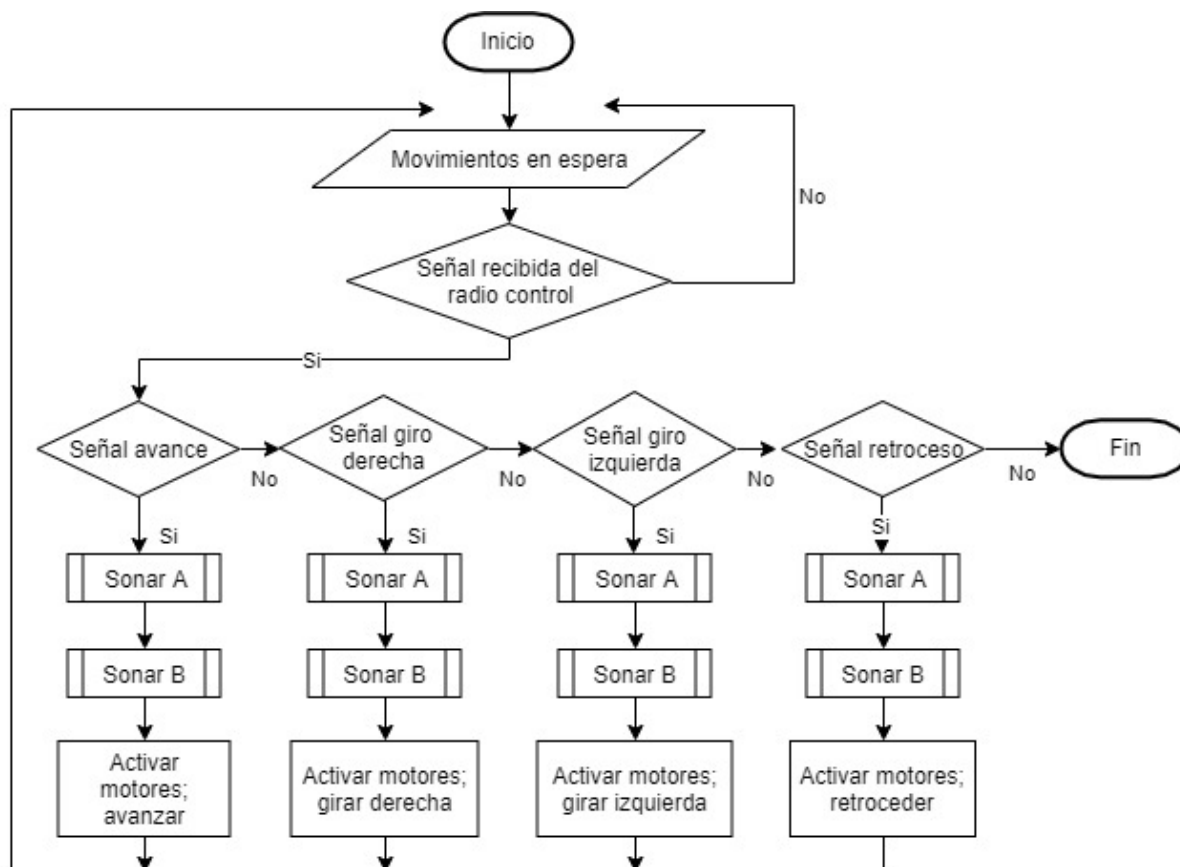


Figura 3.100: Diagrama del desplazamiento terrestre

Para el desplazamiento terrestre, hay 4 señales que se pueden transmitir al vehículo mediante el radio control, las cuales son: la señal de avance, de retroceso, giro hacia la derecha y giro hacia la izquierda. La señal avance hará que el móvil se desplace frontalmente, la señal retroceso que se desplace posteriormente, la señal giro hacia la derecha que pueda girar sobre su propio eje en sentido horario y señal giro hacia la izquierda que pueda girar sobre su propio eje en sentido antihorario.

Sin embargo, por precaución el desplazamiento estará siendo controlado por los sonar A y B; de este modo, se evitarán daños al vehículo o de este a su entorno.

3.10.4 Diagrama de cambio de modo terrestre a modo aéreo

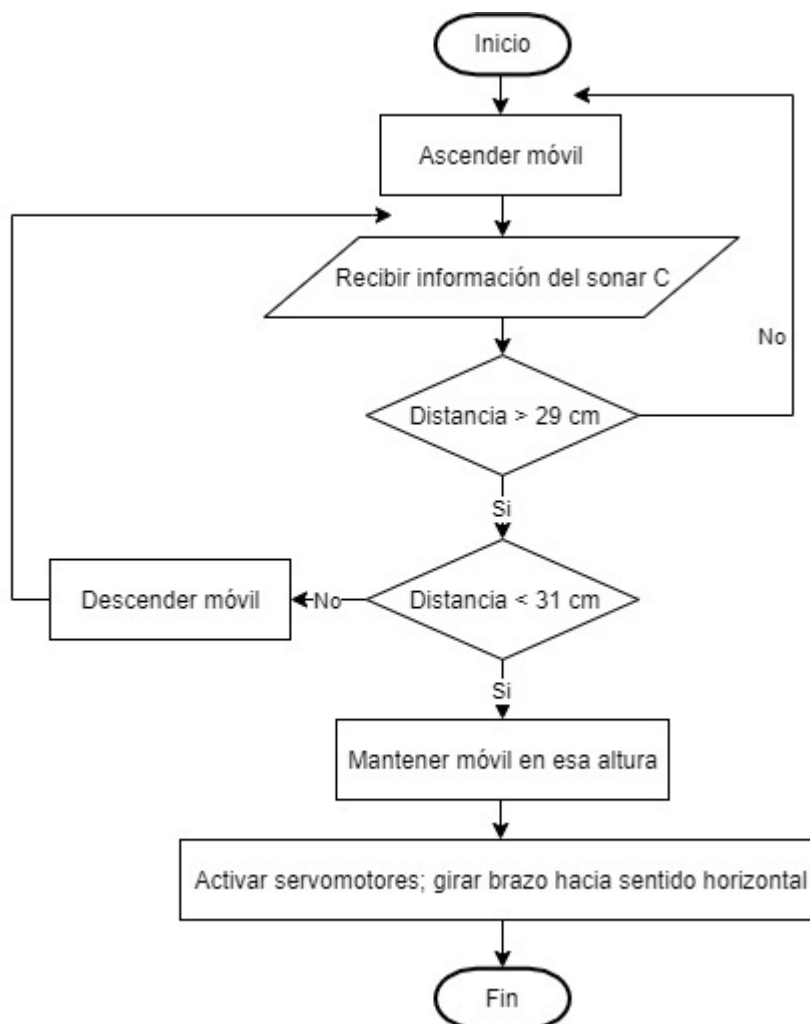


Figura 3.101: Diagrama de cambio de modo terrestre a modo aéreo

Cuando se dé la señal del cambio de modo al aéreo, los 6 rotores empezarán a funcionar y harán que el móvil se eleve a una altura entre 29 cm y 31 cm (se toma en cuenta esos valores pues el sensor estará a 28 cm del ras del suelo). Esta altura será medida y controlada por el sonar C el cual se encuentra ubicado debajo de la base inferior. Una vez que el vehículo se encuentre entre esas distancias, este se mantendrá a esa altura y las ruedas procederán a cambiar de dirección para formar un hexacóptero. De esta manera, el vehículo pasará a estar en modo aéreo.

3.10.5 Diagrama del desplazamiento aéreo

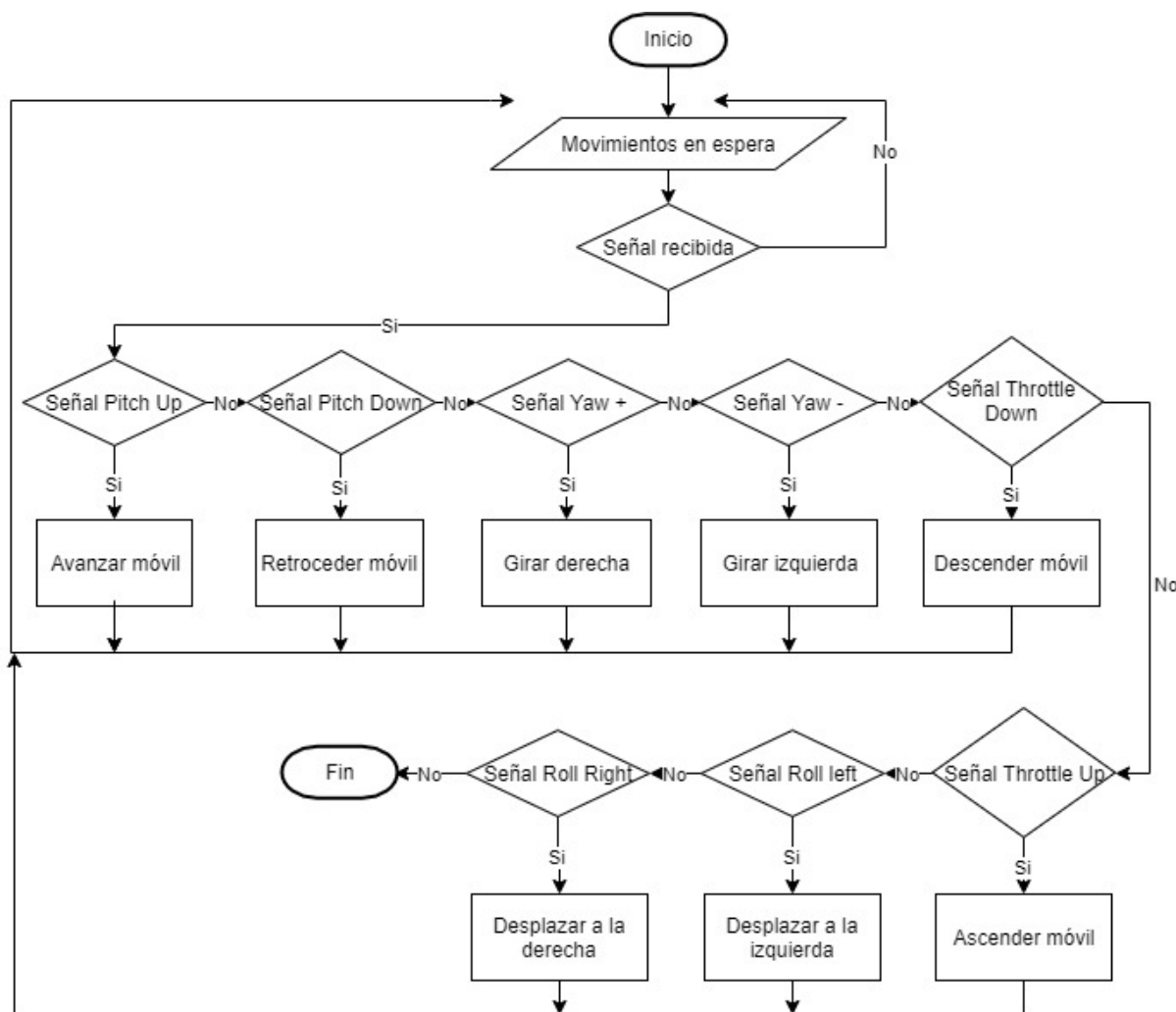


Figura 3.102: Diagrama del desplazamiento aéreo

Cuando el vehículo se encuentre en modo aéreo, hay 9 señales que se podrán transmitir al vehículo para su desplazamiento a través del radio control, las cuales son: la señal Pitch Up, Pitch Down, Yaw +, Yaw-, Throttle Up, Throttle Down, Roll left y Roll right. La señal Pitch Up es la que hará que el móvil se desplace frontalmente, la señal Pitch Down que se desplace posteriormente, la señal Yaw + que pueda girar sobre su propio eje en sentido horario, señal Yaw - que pueda girar sobre su propio eje en sentido antihorario, señal Throttle Up que pueda ascender, señal Throttle Down que pueda descender, señal Roll Left que se desplace hacia la izquierda y la señal Roll Right que se desplace hacia la derecha.

3.10.6 Diagrama cambio de modo aéreo a modo terrestre

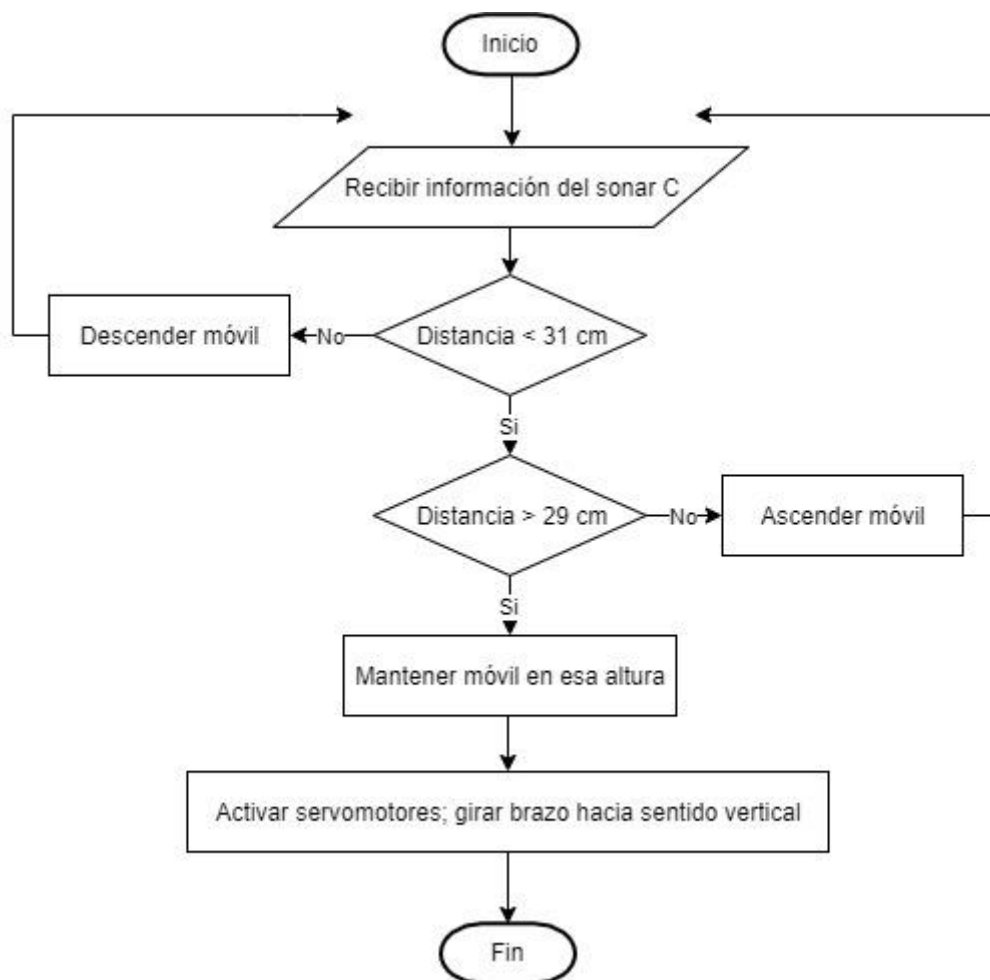


Figura 3.103: Diagrama cambio de modo aéreo a modo terrestre

Cuando se dé la señal del cambio de modo al terrestre, el móvil empezará a descender y mediante el sonar C se le ubicará a una altura entre 29 cm y 31 cm (se toma en cuenta esos valores pues el sensor estará a 28 cm del ras del suelo). Cuando se encuentre el vehículo a esta altura el móvil se mantendrá en dicha posición y se procederá a cambiar la orientación de las ruedas en sentido vertical. Cuando las ruedas estén ubicadas correctamente, el móvil empezará a descender hasta que el sonar detecte la altura de 28 cm lo cual indicará que el vehículo ya se encuentra sobre la superficie.

3.10.7 Diagrama de los sonar A y B



Figura 3.104: Diagrama del sonar A

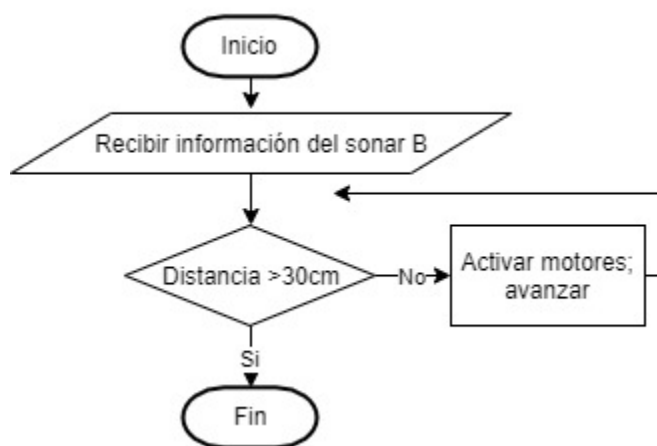


Figura 3.105: Diagrama del sonar B

El sonar A estará ubicado en la parte frontal del vehículo, mientras que el sonar B estará en la parte posterior.

Cuando el vehículo se encuentre en modo terrestre, recibirán constantemente información de la distancia entre el móvil y los objetos que se encuentren en la parte frontal y posterior del vehículo. En caso de que se detecte alguna presencia y esta se encuentre a una distancia menor o igual a 30 cm el móvil procederá a retroceder o avanzar, según sea el caso, hasta que la distancia sea superior a los 30 cm.

3.10.8 Diagrama del apagado del sistema

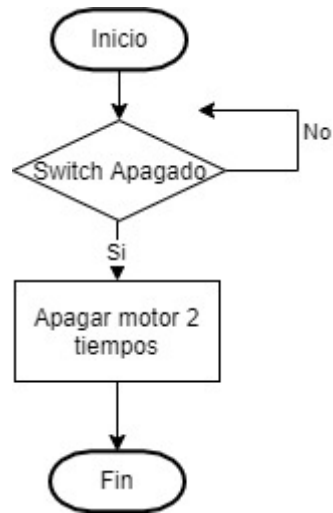


Figura 3.106: Diagrama de apagado del sistema

Finalmente, cuando se desee apagar el motor y el sistema, se deberá proceder a apagar el switch.

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS DE COSTOS

En este capítulo se expondrá una lista de todos los componentes que se encuentran presentes en este diseño con sus respectivos precios de compra y elaboración (anexo I), pues algunos fueron seleccionados de catálogos mientras que otros fueron diseñados y cotizados (anexos I.1 y I.2). Además, se considerará las cantidades, materiales, modelos y proveedores de cada componente para tener un inventario completo. Los precios se presentarán en dólares y en soles, a un tipo de cambio de 3.34.

4.1 Componentes mecánicos

Tabla 4.1: Análisis de costos de los componentes mecánicos

Cant.	Ítem	Material/ Modelo	Proveedor	Precio unidad (\$)	Precio total (\$)
Componentes mecánicos					
1	Motor de dos tiempos	DLE-30	HobbyKing	185.40	185.40
1	Alternador	4Si-50	Brise	248.25	248.25
4	Motor DC	Crouzet 8989B1-2	RS Components	420.00	1680.00
6	Motor Brushless	KDE5215XF-435	KDE- Direct	194.95	1169.70
4	Servomotor	ABRS-531HTG	Amazon	45.50	182.00
1	Tanque de combustible	Capacidad de 1.2 litros	HobbyKing	6.00	6.00
4	Montura Antivibración	Silent Block - SDD	Essentra Components	6.22	24.88

1	Combustible	Gasolina de 90 – ecológica no plomada	Petroperú	1.70	1.70
18	Propeller	KDE-CF155-TP	KDE- Direct	75.65	1361.70
4	Acople de rueda 5–7 mm	Bronce/estaño	C.C. Las Malvinas	8.98	35.92
1	Acople 13-10 mm	Bronce/estaño	C.C. Las Malvinas	14.97	14.97
20	Bocina	Bronce/estaño	C.C. Las Malvinas	5.98	119.6
4	Pin	Acero	C.C. Las Malvinas	2.99	11.96
4	Seguro de Pin	Acero	C.C. Las Malvinas	1.49	5.96
8	Perno M6 x 30	Acero	Aliexpress	0.18	1.44
8	Perno M5 x 40	Acero	Aliexpress	0.14	1.12
8	Perno M5 x 10	Acero	Aliexpress	0.07	0.56
12	Perno M4 x 14	Acero	Aliexpress	0.08	0.96
8	Perno M4 x 12	Acero	Aliexpress	0.07	0.56
2	Perno M3 x 16	Acero	Aliexpress	0.09	0.18
8	Perno M3 x 10	Acero	Aliexpress	0.08	0.64
20	Tuerca M4	Acero	Aliexpress	0.05	1.00
8	Tuerca M3	Acero	Aliexpress	0.02	0.16
8	Perno M4 x 14	Nylon	Aliexpress	0.04	0.32
2	Perno M4 x 12	Nylon	Aliexpress	0.04	0.08
4	Perno M4 x 10	Nylon	Aliexpress	0.03	0.12
16	Perno M3 x 10	Nylon	Aliexpress	0.03	0.48
14	Tuerca M4	Nylon	Aliexpress	0.03	0.42
16	Tuerca M3	Nylon	Aliexpress	0.02	0.32
8	Arandela A 6.4	Caucho	Aliexpress	0.06	0.48
8	Arandela A 5.3	Caucho	Aliexpress	0.06	0.48
64	Arandela A 4.3	Caucho	Aliexpress	0.05	3.20
16	Arandela A 3.2	Caucho	Aliexpress	0.05	0.80
				Total (\$)	5061.36
				Total (S/.)	16904.94

4.2 Componentes eléctricos-electrónicos

Tabla 4.2: Análisis de costos de los componentes eléctricos-electrónicos

Cant.	Ítem	Material/ Modelo	Proveedor	Precio unidad (\$)	Precio total (\$)
Componentes eléctricos-electrónicos					

1	Iniciador eléctrico	Para motores DLE-30	Aliexpress	109.00	109.00
2	Batería	Multistar 12000 mAh	HobbyKing	109.95	219.90
2	MAX Sonar	MB1240 XL	J-Drones	34.95	69.90
6	ESC	KDEXF-UAS95HVC	KDE- Direct	195.95	1175.70
1	Cargador de batería	Icharger 4010 DUO	Electrónica RC	409.00	409.00
1	Buzzer	-	HobbyKing	3.12	3.12
1	GPS	3DR uBlox - Compass Kit	3DR	91.79	91.79
1	Sensor de combustible	Epsilon - ES	Alibaba	110.00	110.00
1	Cámara de video	Hero Black 5	GoPro	399.99	399.99
1	Transmisor de video	Boscam 5.8 Ghz FPV System	Helipal	29.90	29.90
1	Convertor de RS232 a TTL	-	Alibaba	0.50	0.50
1	Receptor de video	Liliput 339 DW 7" Super FPV Monitor w/ Dual Receivers and IPS Panel	Helipal	219.00	219.00
Total (\$)					2837.80
Total (S/.)					9478.25

4.3 Componentes de control

Tabla 4.3: Análisis de costos de los componentes de control

Cant.	Ítem	Material/ Modelo	Proveedor	Precio unidad (\$)	Precio total (\$)
Componentes de control					
1	Pixhawk	Autopilot	J-Drones	259.00	259.00
1	Power Module Vehicle	3d Robotics 10S	3DR	37.99	37.99
1	Arduino	UNO REV3	Arduino Store	22.39	22.39
1	Driver Punte H	L298N	NayLamp Mechatronics	5.00	5.00

1	Radio Control	FrSky 2.4 GHz ACCST TARANIS X9D	HobbyKing	208.00	208.00
				Total (\$)	532.38
				Total (s/.)	1778.15

4.4 Impresión en 3D y manufactura

Tabla 4.4: Análisis de costos de impresión 3D y manufactura de la estructura del vehículo

Cant.	Ítem	Material	Característica	Proveedor	Precio unidad (\$)	Precio total (\$)
Partes de la estructura del vehículo						
1	Rueda	PVC con relleno de poliuretano	Impresión en 3D	Impresión y Diseño 3D	45.00	180.00
1	Soporte del motor DC	Fibra de carbono	Impresión en 3D	Impresión 3D Morelia	1000	1000
6	Soporte del servomotor	Fibra de carbono	Manufactura		200	1200
1	Soporte del motor de combustión	Fibra de carbono	Impresión en 3D y Manufactura		4900	4900
4	Soporte de la rueda	ABS	Impresión en 3D	Sala de manufactura Digital VEO 3D	-	529.94
1	Soporte de la cámara	ABS	Impresión en 3D			
1	Soporte de componente s electrónicos	ABS	Impresión en 3D			
1	Soporte del tanque de combustible	ABS	Impresión en 3D			
1	Carcasa	ABS	Impresión en 3D			
4	Unión de brazo 1	ABS	Impresión en 3D			
4	Unión de brazo 2	ABS	Impresión en 3D			
					Total (\$)	7809.94
					Total (s/.)	26085.20

4.5 Ingeniería

Se consideran 450 horas invertidas a lo largo de un semestre académico en la elaboración del presente proyecto.

Tabla 4.5. Análisis de costos de ingeniería

Responsable	Tareas	N° de horas	Precio por hora (s/.)	Precio Total (s/.)	Precio Total (\$)
Bachiller de ingeniería mecatrónica	Calibración de sensores y de las agujas del carburador del motor de combustión	450	30	13500.00	4041.92
	Configuración del controlador Pixhawk				
	Configuración y programación del Arduino UNO				
	Implementación de algoritmos				
	Integración de componentes y dispositivos				
	Pruebas de funcionamiento del sistema integrado				

4.6 Costos Totales

Tabla 4.6. Costos Totales

Concepto	Precio total (\$)
Componentes mecánicos	5061.36
Componentes eléctricos - electrónicos	2837.80
Componentes de control	532.38
Impresión en 3D y manufactura	7809.94
Ingeniería	4041.92
Total (\$)	20283.40
Total (s/.)	67746.56

Los mayores costos se presentan en la impresión y manufactura, en especial la impresión de las estructuras en fibra de carbono, debido a que actualmente no existen muchas empresas que puedan efectuar dichas impresiones. Además, considerando el precio de los drones actuales del mercado, es un valor de costo total alto; sin embargo, tomando en cuenta los beneficios expuestos se puede valorar la importancia de este vehículo en labores de búsqueda y rescate,

como el desplazamiento por aire y tierra en un tiempo prolongado. Asimismo, podría sustituir y/o apoyar a personas que realizan estas funciones; incluso podría reducir la necesidad de que estas personas se desplacen en zonas peligrosas. Por lo que se considera que es un costo que tendría un valor adicional en su producción.

CONCLUSIONES

Una vez terminado el diseño del vehículo aéreo-terrestre no tripulado con autonomía de funcionamiento de larga duración orientado a operaciones de búsqueda y rescate, se tiene un completo conocimiento del funcionamiento del sistema, lo cual permite concluir lo siguiente:

- Se logró cumplir con el objetivo principal de la presente tesis de diseñar un vehículo multirotor no tripulado con la capacidad de poder desplazarse tanto por aire como por tierra en un tiempo prolongado de funcionamiento, cuyas características son las siguientes:
 - El presente diseño de un vehículo aéreo – terrestre cuenta con un peso total de 23.67 kg, sus dimensiones en modo aéreo son 1479.7 mm x 1387 mm x 400 mm (largo x ancho x alto) y, en modo terrestre, 1479.7 mm x 1159 mm x 597 mm (largo x ancho x alto). El vehículo puede contar con un peso máximo de 30 kg, pues posee una carga útil de aproximadamente 5 kg y puede ser útil ya sea para transportar algún objeto que pueda servir en su labor o para agregar algún dispositivo adicional que sirva para mejorar su desempeño. En modo terrestre, el vehículo sin carga extra puede desplazarse por pendientes de hasta 10°. Mientras que, en modo aéreo, el vehículo sin carga extra tendrá resistencia a ráfagas de vientos en contra, que se presentan en periodos de tiempo muy cortos y en intervalos variables, de hasta $32.62 \frac{m}{s}$ ($117.43 \frac{km}{h}$) y con carga útil máxima, hasta $34.07 \frac{m}{s}$ ($122.67 \frac{km}{h}$).
 - El análisis de las vibraciones producidas por el motor de 2 tiempos demuestra que la frecuencia de resonancia de la estructura que soporta al motor está por encima del rango de trabajo del motor. Además, también se demuestra que la colocación de montajes anti vibratorios como las gomas de caucho incrementan el nivel de seguridad.
 - El implementar el motor de 2 tiempos brinda un mayor rendimiento en cuestión del tiempo en el funcionamiento del sistema, este tiempo es de aproximadamente 50 minutos y sumado al tiempo que brindan las baterías, en total el tiempo de funcionamiento es de 60 min aproximadamente. Con esto, se demuestra su autonomía de mayor duración en comparación con la que ofrecen solo las baterías.
 - La facilidad de manipulación mediante el radio control ofrece viabilidad para realizar labores de exploración en territorio nacional y con la integración de un receptor de

video, se podrá hacer un seguimiento de la búsqueda al obtener imágenes en tiempo real.

- Se plantean y cumplen los requerimientos físicos – mecánicos: peso y dimensiones manipulables, no mayor de 25 kg, desplazamiento por aire a través de ráfagas de viento mayor a 12 m/s, desplazamiento por tierra a través de una pendiente moderadamente inclinada; electrónicos: selección y uso de un alternador, sistema físico de protección para los componentes, ubicación segura de los motores eléctricos y sensores; y de control: transmisión de video en tiempo real, control del sistema a través de un radio control para realizar los cambios de modo, recibir información de sensores y direccionar el desplazamiento del vehículo.
- De acuerdo con los objetivos planteados, se realizaron los cálculos matemáticos necesarios para la selección de la fuente de energía eléctrica como la batería y el cargador de batería, para los motores brushless y sus controladores, el alternador, así como para los motores DC y servomotores.
- Se cumplió con el objetivo de realizar los cálculos matemáticos y simulaciones de resistencia de materiales mediante software necesarios para la selección de la fibra de carbono como material para el soporte del motor de combustión, para el soporte del motor DC y como eje para la unión de la base y las ruedas.
- Se logró elaborar los planos de las partes de la estructura del sistema, elaborar el diagrama esquemático general con los componentes integrados en el sistema, los diagramas de flujo tanto del procedimiento en modo terrestre, modo aéreo y cambio de modo, y la secuencia de funcionamiento del sistema mediante gráficos y comandos.
- Se llegó a cumplir el objetivo planteado previamente de realizar los análisis de costos de los componentes mecánicos, eléctricos – electrónicos, de control, impresión y manufactura e Ingeniería. Donde finalmente se obtuvo el costo total de la producción del diseño.

RECOMENDACIONES

Como recomendaciones para trabajos futuros se toma en cuenta el desarrollo de los cargadores de baterías LiPo que puedan proporcionar un tiempo menor de carga. Esto permitiría el aumento del tiempo de funcionamiento de las baterías y podrá brindar mayor potencia a los motores terrestres y aéreos con el fin de lograr desplazarse por pendientes de mayor magnitud, poder transportar una mayor carga extra e incluir otros sensores para que el vehículo pueda cumplir con otros tipos de actividades y pueda mejorar el rendimiento de las operaciones de búsqueda y rescate.

Se sugiere incluir juntas tóricas en las uniones de los ejes con la base principal para aumentar la protección del sistema frente a las ráfagas de polvo y granizadas moderadas.

Además, se recomienda reemplazar el motor de combustión por otra fuente de energía menos contaminante pero que pueda generar la potencia y rendimiento que este brinda.

Finalmente, se recomienda realizar adecuadamente la configuración de las agujas del motor de combustión previa prueba experimental para que brinde los rpm necesarios; así como realizar su mantenimiento teniendo en cuenta las recomendaciones de la ficha técnica del motor.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] DE OLARTE, Liliana
2011 “GEOGRAFÍA DEL PERÚ Aspectos físicos, humanos y económicos”. Lima, setiembre de 2011.
<<http://www.lilianatorresmuga.net/wp-content/uploads/geo1.pdf>>
- [2] MINISTERIO DE SALUD
1998 Capítulo I: “Características climáticas y oceanográficas del Fenómeno del Niño 1997-98 en Perú”.
< http://www.minsa.gob.pe/ogdn/cd1/pdf/elai_04/parte1.pdf>
- [3] DIARIO EL COMERCIO
2011 “Cronología: Caso Ciro, 206 días de una búsqueda que llegó a su fin.”
Lima, jueves 27 de octubre del 2011.
- [4] DIARIO EL COMERCIO
2011 “Dramático rescate de geólogo de la minera Río Blanco”. Lima, martes 21 de julio del 2015.
- [5] 4FRONTROBOTICS
2017 Navig8 Electric Unmanned Aerial Vehicle (Datasheet). Consulta: 8 de abril del 2017.
<https://media.wix.com/ugd/34579f_49d1b67e32224fdc82d928c4e00400c7.pdf>
- [6] AEROHYBRIX
2017 Aerohybrix. Consulta: 3 de febrero del 2018.
<<https://aerohybrix.com/>>
- [7] QUATERNIUM
2015 Hybrix-20 “The first Petrol-Electric Multicopter”. Consulta: 8 de abril del 2017.
<<http://www.quaternium.com/portfolio/hybrix-uav/>>
- [8] TOP FLIGHT
2018 Airborg™ H8 10K with Top Flight Hybrid-Power System. Consulta: 3 de febrero del 2018.
<<http://www.tflighttech.com/products/airborg-h8-10k-with-top-flight-hybrid-power-system.html>>
- [9] ARDN’S COMPANY
2017 SKYF “Universal unmannes VTOL Platform (vertical take-off and landing)”. Consulta: 3 de febrero del 2018.
<http://www.generaldrones.es/axdron_lifeguard_drone/>

- [10] RECON ROBOTICS
 2015 Recon Scout XL “Video and Audio Reconnaissance from an Obstacle-Climbing Tactical Micro-Robot”. Consulta: 8 de abril del 2017.
 <http://beta.reconrobotics.com/wp-content/uploads/2016/03/REC.XL_July-2015-1.pdf>
- [11] AQUILES ROBOTICS
 2017 Aquiles Observer “Robots de Seguridad”. Consulta: 8 de abril del 2017.
 <<http://www.aquilesrobotic.com/robotica-de-seguridad/aquiles-observer/>>
- [12] PARROT
 2016 Parrot Jumping Sumo “Races, slaloms, acrobatics, you can do it all”. Consulta: 8 de abril del 2017.
 <<https://www.parrot.com/us/minidrones/parrot-jumping-sumo#parrot-jumping-sumo>>
- [13] NEXTER ROBOTICS
 2013 Nerva LG “Announcement”. Londres, 10 de setiembre del 2013.
 <<http://www.nexter-group.fr/en/press/608-nexter-robotics-devoile-son-nouveau-robot-nervar-s-et-annonce-le-lancement-commercial-du-systeme-nervar-lg-lors-du-salon-dsei-2013>>
- [14] ROBOTNIK
 2016 Summit XL (Datasheet). Consulta: 8 de abril del 2017.
 <http://www.robotnik.es/web/wp-content/uploads/2014/03/SUMMIT_XL_Datasheet_2016.pdf>
- [15] MINISTERIO DE DEFENSA
 2003 “Plan Nacional de Búsqueda y Salvamento Aeronáutico (SAR)”. Lima, 2003.
 <http://www.indeci.gob.pe/planes_proy_prg/p_operativos/p_oper_emerg/2008/02_plan_nac_bus_sal_aer.pdf>
- [16] MINISTERIO DE TRABAJO Y PROMOCIÓN DEL EMPLEO
 2007 “Seguridad y Salud en el Trabajo de los Estibadores Terrestres y Transportistas Manuales”. Lima, 19 de Setiembre del 2007.
 <<http://www.mintra.gob.pe/archivos/file/dnrt/publicaciones/triptico/2008/11-EstibadoresTerrestres.pdf>>
- [17] Henrik I. Christensen, John R. Folkson, Andreas Hedstrom, Carl Lundberg
 2004 “UGV technology for urban environments”. Consulta: 30 de noviembre del 2019.
 <<https://www.semanticscholar.org/paper/UGV-technology-for-urban-environments-Christensen-Folkson/a9ab77643a35f3555e63a9d1dac67bcc94b39082>>

- [18] J. Carlson; R.R. Murphy
2005 “How UGVs physically fail in the field”. Consulta: 30 de noviembre del 2019.
<<https://ieeexplore.ieee.org/document/1435486>>
- [19] Ahmed Mashood, Ahmed Dirir, Mousa Hussein, Hassan Noura and Falah Awwad
2018 “Quadrotor Object Tracking using Real-Time Motion Sensing”. Consulta: 30 de noviembre del 2019.
<https://www.researchgate.net/profile/Mousa_Hussein/publication/311614283_Quadrotor_Object_Tracking_using_Real-Time_Motion_Sensing/links/5bd9d90c4585150b2b944c74/Quadrotor-Object-Tracking-using-Real-Time-Motion-Sensing.pdf>
- [20] Sonia Waharte ; Niki Trigoni
2010 “Supporting Search and Rescue Operations with UAVs”. Consulta: 30 de noviembre del 2019.
<<https://ieeexplore.ieee.org/document/5600072>>
- [21] Yong Zeng; Rui Zhang
2017 “Energy-Efficient UAV Communication With Trajectory Optimization”.
Consulta: 30 de noviembre del 2019.
<<https://ieeexplore.ieee.org/document/7888557>>
- [22] David Erdos; Abraham Erdos; Steve E. Watkins
2013 “An experimental UAV system for search and rescue challenge”. Consulta: 30 de noviembre del 2019.
<<https://ieeexplore.ieee.org/document/6516147>>
- [23] Sumeet Sagar, Sunidhi Garg, Siddharth Aggarwal, Vinayak Chakravarty, Swati Sondhi
2017 “A Modified Design of Unmanned Aerial & Ground Vehicle (UAGV)”.
Consulta: 30 de noviembre del 2019.
<https://pdfs.semanticscholar.org/e8fa/f5b97a6c7fcb490b8dd672d8c4f2322281eb.pdf?_ga=2.152885872.839737384.1576431465-1887042361.1576431465>
- [24] Sumeet Sagar; Siddharth Aggarwal; Vinayak Chakravarty; Sunidhi Garg; Swati Sondhi
2018 “PROTOTYPING OF UNMANNED AERIAL & GROUND VEHICLE (UAGV)”. Consulta: 30 de noviembre del 2019.
<<https://ieeexplore.ieee.org/document/8453334>>
- [25] INDIEGOGO
2015 B-Unstoppable “World's First TankCopter Drone”. Consulta: 8 de abril del 2017.

<[https://www.indiegogo.com/projects/b-unstoppable-world-s-first-tankcopter-drone-gadget-technology#/>](https://www.indiegogo.com/projects/b-unstoppable-world-s-first-tankcopter-drone-gadget-technology#/)

[26] PARROT

2014 Parrot Rolling Spider “Vuela y rueda”. Consulta: 8 de abril del 2017.
<[http://global.parrot.com/mx/productos/rolling-spider/>](http://global.parrot.com/mx/productos/rolling-spider/)

[27] FIRST QUADCOPTER

2015 SY X25 “Car Quadcopter Review”. 16 de noviembre del 2015.
<[http://www.firstquadcopter.com/quadcopter-reviews/sy-x25-car-quadcopter-review/>](http://www.firstquadcopter.com/quadcopter-reviews/sy-x25-car-quadcopter-review/)

[28] DIRECT INDUSTRY

2018 “Motor AC”. Consulta: 20 de mayo del 2018.
<<http://www.directindustry.es/prod/bodine-electric-company/product-9033-422331.html>>

[29] O. Moseler; R. Isermann

2000 “Application of model-based fault detection to a brushless DC motor”.
Consulta: 30 de noviembre del 2019.
<<https://ieeexplore.ieee.org/document/873209>>

[30] RS COMPONENTS

2017 Motor DC Crouzet modelo 8989B1-2. Consulta: 5 de junio del 2017.
<[https://uk.rs-online.com/web/p/dc-geared-motors/7893054/>](https://uk.rs-online.com/web/p/dc-geared-motors/7893054/)

[31] KDE DIRECT

2017 KDE5215XF-435 “Brushless motor for heavy-lift electric multirotor”.
Consulta: 5 de junio del 2017.
<<https://www.kdedirect.com/collections/uas-multi-rotor-brushless-motors/products/kde5215xf-435>>

[32] Wei-Sheng Huang; Chun-Wei Liu; Pau-Lo Hsu; Syh-Shiuh Yeh

2009 “Precision Control and Compensation of Servomotors and Machine Tools via the Disturbance Observer”. Consulta: 30 de noviembre del 2019.
<<https://ieeexplore.ieee.org/document/5291793>>

[33] ALTURN USA

2017 Servo ABRS-531HTG+Full HV. Consulta: 5 de junio del 2017.
<<http://alturn-usa.com/products/PDF/ABRS-5314HTG+HV.pdf>>

- [34] BRICO GEEK
2018 “Motor paso a paso”. Consulta: 20 de mayo del 2018.
<<https://tienda.bricogeek.com/motores/75-motor-paso-a-paso-24kg-cm.html>>
- [35] HOBBICO
2010 DEL-30 “Operator’s Manual” (Datasheet). Consulta: 5 de junio del 2017.
<<https://hobbyking.com/media/file/611475811X144058X44.pdf>>
- [36] AGROADS
2018 “Motor de 4 tiempos”. Consulta: 20 de mayo del 2018.
<<https://www.agroads.com.ar/detalle.asp?clasi=467128>>
- [37] HIGHMOTOR
2018 “Mazda estaría ensayando un encendido usando láser en sus motores rotativos”. Consulta: 20 de mayo del 2018.
<<https://www.highmotor.com/mazda-estaria-ensayando-encendido-usando-laser-motores-rotativos.html>>
- [38] ELECTRÓNICA EMBAJADORES
2018 “Batería plomo”. Consulta: 20 de mayo del 2018.
<<https://www.electronicaembajadores.com/es/Productos/Detalle/BA11NP1212/baterias-pilas-y-cargadores/baterias-de-plomo/bateria-plomo-12v-12-0ah-yuasa-np12-12>>
- [39] MERCADO LIBRE
2018 “Batería Li-ion”. Consulta: 20 de mayo del 2018.
<https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-445327910-bateria-li-ion-1430-mah-para-radios-kenwood-pkt-03k-_JM?quantity=1>
- [40] ALIEXPRESS
2018 “Batería ni-mh”. Consulta: 20 de mayo del 2018.
<https://es.aliexpress.com/item/2pc-7-2v-battery-2400mah-ni-mh-bateria-7-2v-nimh-battery-pilas-recargables-7-2v/32806560501.html?dp=43pj34oyngz8nfud7z01nbbqcrbsj1p&af=10546&cv=6023439&cn=43pj34oyngz8nfud7z01nbbqcrbsj1p&aff_platform=default&cpt=1543713154846&sk=4dTZ0Rm&aff_trace_key=a49cb0201e6240989fe84fc5fe8b020a-1543713154846-05799-4dTZ0Rm&terminal_id=48edd4ca08674f748bbc805df4774699>

- [41] Akram Eddahech; Olivier Briat ; Habib Al Jed ; Ramzi Chaari ; André Mieze ; Rémi Simon ; Jean-Michel Vinas
2011 “Li-Po batteries modeling for mail delivery electric vehicles”. Consulta: 30 de noviembre del 2019.
<<https://ieeexplore.ieee.org/document/6043113>>
- [42] HOBBYKING
2017 “Multistar alta capacidad 12000mAh Ligera 8S 2C Multi-Rotor Lipo Paquete. Consulta: 10 de mayo del 2018.
<https://hobbyking.com/es_es/multistar-high-capacity-lightweight-8s-12000mah-2c-multi-rotor-lipo-pack.html?__store=es_es>
- [43] NAYLAMP MECHATRONICS
2018 “Sensor de proximidad capacitivo”. Consulta: 20 de mayo del 2018.
<<https://naylampmechatronics.com/sensores-proximidad/296-sensor-de-proximidad-capacitivo-ljc18a3-h-zbx.html>>
- [44] 3DR
2017 MB1240XL-MasSonar. Consulta: 5 de junio del 2017.
<https://3dr.com/support/articles/mb1240_xl-maxsonar-ez4_range_finder/>
- [45] NAYLAMP MECHATRONICS
2018 “Sensor infrarrojo de distancia”. Consulta: 20 de mayo del 2018.
<<https://naylampmechatronics.com/sensores-proximidad/204-sensor-infrarrojo-de-distancia-sharp-gp2y0a02.html>>
- [46] IFM
2018 “Sensor laser para automatización industrial”. Consulta: 20 de mayo del 2018.
<https://www.ifm.com/mx/es/category/010/010_070>
- [47] Lorenz Meier; Petri Tanskanen; Friedrich Fraundorfer; Marc Pollefeys
2011 “PIXHAWK: A system for autonomous flight using onboard computer vision”. Consulta: 30 de noviembre del 2019.
<<https://ieeexplore.ieee.org/document/5980229>>
- [48] JIETAI
2015 Pixhawk “user’s manual” (Datasheet). 7 de marzo del 2015.
<<https://www.geeetech.com/Documents/Pixhawk%20%20user%20maual%20.pdf>>

[49] MERCADO LIBRE

2018 “Pieza control vuelo Multiwii”. Consulta: 20 de mayo del 2018.
<https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-621906769-pieza-control-vuelo-mwc-multiwii-lite-ligera-4-eje-junta-_JM?quantity=1>

[50] ARDUPILOT

2018 “Ardupilot Mega”. Consulta: 20 de mayo del 2018.
<<https://www.ardupilot.co.uk/>>

[51] RCMUMBAI

2018 “DJI Naza–M V2 Multirotor Flight Controller”. Consulta: 20 de mayo del 2018.
<<https://rcmumbai.com/dji-naza-m-v2-multi-rotor-flight-controller.html>>

[52] MINISTERIO DE AGRICULTURA Y RIEGO

2007 “Reglamento de clasificación de tierras por su capacidad de uso mayor”. Lima, 14 de octubre del 2009.
<<http://www3.vivienda.gob.pe/dnc/archivos/difusion/tallares/CUM-DS-017-2009-AG-2.pdf>>

[53] ALVAREZ, Jesús y CALLEJÓN, Ismael

2005 “*Motores alternativos de combustión interna*”. Barcelona: Edicions UPC.

[54] DIE BOT REISE

2012 ¿Por qué y cómo vuela un Cuadricóptero y Hexacóptero? “Teoría”
3 de marzo del 2012.
< <http://diebotreise.blogspot.pe/2012/03/porque-y-como-vuela-un-cuadricoptero.html> >

[55] ROBOLINK

2016 “Lesson 4: throttle, yaw, pitch and roll”. Consulta: 02 de febrero del 2018.
<<https://www.robolink.com/lesson-b04-flight-part-ii/>>

[56] VUELO ARTIFICIAL

2017 “Los principios básicos de vuelo”. *Vuelo Artificial*. Consulta: 10 de junio del 2017.
< <https://vueloartificial.com/introduccion/toma-de-contacto/principios-basicos-de-vuelo/>>

- [57] KDE DIRECT
2017 KDEXF-UAS95HVC “95A + HV ESC for electric multirotor”. Consulta: 5 de junio del 2017.
<<https://www.kdedirect.com/products/kdexf-uas95hvc>>
- [58] HOBBYKING
2017 Buzzer “Descubrimiento del zumbador”. Consulta: 10 de noviembre del 2017.
<https://hobbyking.com/es_es/hobbykingr-discovery-buzzer.html?__store=es_es>
- [59] 3DR
2017 3DR UBLOX GPS with compass kit. Consulta: 5 de junio del 2017.
<https://3dr.com/support/articles/3dr_ublox_gps_with_compass_kit/>
- [60] RCS
2015 EPSILON ES “El captador de alta precisión del nivel de combustible”. Consulta: 5 de junio del 2017.
<<http://fuel-level.com/oldfuellevel/es/sobre-nosotros/37-epsilon-description/61-epsilon-general.html?showall=1>>
- [61] ALTRONICS
2017 “Conversor de RS-232 a TTL con Conector DB9 Macho”. Consulta: 18 de junio del 2017.
<<https://altronics.cl/conv-rs232-ttl-male>>
- [62] ARDUINO
2017 ARDUINO UNO (Datasheet). Consulta: 5 de junio del 2017.
<<http://digital.csic.es/bitstream/10261/127788/7/D-c-%20Arduino%20uno.pdf>>
- [63] STMICROELECTRONICS
2000 L298 (Datasheet). Consulta: 5 de junio del 2017.
<https://www.sparkfun.com/datasheets/Robotics/L298_H_Bridge.pdf>
- [64] MEXPOLIMEROS
2018 “Propiedades de los Polímeros”. Consulta: 20 de mayo del 2018.
<<https://www.mexpolimeros.com/coeficientes%20de%20fricci%C3%B3n.html>>
- [65] MILE HIGH RC
2017 Electric Starter. Consulta: 10 de noviembre del 2017.

- <http://www.milehighrc.com/EME_E_Start.html>
- [66] PAYRI, Franciso
- 2011 “Motores de combustión interna alternativos”. Valencia, 2011.
<<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/70998/IPP-Payri%3BDesantes%20-%20MOTORES%20DE%20COMBUSTI%C3%93N%20INTERNA%20ALTERNATIVOS.pdf?sequence=2>>
- [67] REPSOL
- 2006 FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD. “Gasolina de 90 (Ecológica)”. 25 de mayo del 2006.
<https://imagenes.repsol.com/pe_es/gas90__168185_tcm18-208368.pdf>
- [68] MIRALLES, José; DOMENECH, Luis y GARCÍA, Víctor
- 2015 “Efecto de la Relación de Compresión en el Rendimiento de Motores de Combustión Interna a diferentes Altitudes”. Agosto del 2015.
<<https://scielo.conicyt.cl/pdf/infotec/v26n4/art09.pdf>>
- [69] BRISE
- 2017 4Si-50 Compact lightweight Alternator (Datasheet). 10 de enero del 2017.
<<http://www.brise.co.uk/ckeditor/4Si-50%20Spec%20Sheet.png>>
- [70] ELECTRONICA RC
- 2017 “Cargador DUO 4010 DUAL, 2000W, 70Amp. 1-10S LiPo”. Consulta: 30 de noviembre del 2017.
<<http://electronicarc.com/catalogo/cargador-duo-4010-bdual-2000w-70ampb-10s-lipo-p-1395.html>>
- [71] HELIPAL
- 2017 Boscám 5.8 GHz FPV System (TS352 TX 500mw). Consulta: 5 de junio del 2017.
<<http://www.helipal.com/boscám-5-8ghz-fpv-system-tx-500mw.html>>
- [72] HELIPAL
- 2017 Lilliput 339DW 7" Super FPV Monitor w/ Dual Receivers and IPS Panel. Consulta: 5 de junio del 2017.
<<http://www.helipal.com/lilliput-7-super-fpv-monitor-w-dual-receiver-and-ips-panel.html>>
- [73] HOBBYKING
- 2017 FrSky 2.4 GHz ACCST TARANIS X9D. Consulta: 5 de junio del 2017.

< https://hobbyking.com/es_es/frsky-2-4ghz-accst-taranis-x9d-plus-digital-telemetry-radio-system-mode-2.html >

[74] HOBBYREAL

2017 FrSky 2.4 GHz ACCST TARANIS X9D Plus transmisor con X8R Receptor 16 Canales. Consulta: 5 de junio del 2017.

< <http://www.hobbyreal.com/es-frsky-2-4ghz-accst-taranis-x9d-plus-transmisor-con-x8r-receptor-p239634.htm> >

[75] MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS

2008 “Atlas Eólico del Perú”. Consulta: 15 de marzo del 2018.

<http://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Otros-Estudios/Atlas-Eolico/AtlasEolicoLibro.pdf>

[76] PX4AUTOPILOT

2017 Pixhawk autopilot. Consulta: 18 de junio del 2017.

< <https://pixhawk.org/modules/pixhawk>>

[77] INSTRUCTABLES

2017 Dual H-Bridge – L298 Breakout Board. Consulta: 18 de junio del 2017.

< <http://www.instructables.com/id/Dual-H-Bridge-L298-Breakout-Board-Homemade/>>

[78] ARDUINO

2017 Arduino UNO. Consulta: 18 de junio del 2017.

< <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>>

[79] 3DR

2017 “Hexacóptero Power Distribution Board kit”. Consulta: 18 de junio del 2017.

<https://3dr.com/support/articles/hexacopter_power_distribution_board/>

[80] 3DR

2017 “APM Power Module with XT60 Connectors Kitt”. Consulta: 18 de junio del 2017.

<https://3dr.com/support/articles/apm_power_module_with_xt60_connectors/>

ANEXO A

Requerimientos del sistema

Tabla A.1: Cuadro de requerimientos del sistema

Deseo /Exigencia	Requerimientos
<p>D</p> <p>D</p> <p>D</p>	<p>a) <u>Geometría</u></p> <ul style="list-style-type: none"> – Largo: 1 - 1.5 m – Ancho: 1 - 1.5 m – Alto: 0.5 – 1.5 m
<p>E</p> <p>E</p> <p>D</p> <p>E</p> <p>E</p> <p>E</p>	<p>b) <u>Cinemática</u></p> <ul style="list-style-type: none"> – Posicionamiento vertical y horizontal de brazos con precisión de 5 mm. – Desplazamiento en modo aéreo y terrestre. – Posicionamiento en la ubicación deseada con precisión de 1 m. – Desplazamiento terrestre con tracción de cuatro ruedas con la capacidad de escalar una pendiente mínima de 10°. – Elevación y desplazamiento aéreo (motor + hélice) para un peso mínimo de 25 kg. – Desplazamiento aéreo a través de corrientes de aire mayores a 12 m/s.
<p>E</p> <p>D</p> <p>E</p>	<p>c) <u>Fuerzas</u></p> <ul style="list-style-type: none"> – Peso del vehículo ≤ 25 kg – Carga útil > 5 kg – Capacidad de empuje total de motores aéreos > 30 kg
<p>E</p> <p>E</p>	<p>d) <u>Energía</u></p> <ul style="list-style-type: none"> – Eléctrica – Mecánica
<p>D</p> <p>E</p> <p>E</p> <p>D</p> <p>D</p>	<p>e) <u>Material</u></p> <ul style="list-style-type: none"> – Cubierta: Policarbonato/acrilonitrilo butadieno estireno (PC/ABS) – Soporte de la unidad central: Fibra de carbono – Brazos del vehículo: Fibra de carbono – Rango de Temperatura: -10°C a 35°C – Humedad: 90%
<p>E</p> <p>E</p> <p>E</p>	<p>f) <u>Seguridad</u></p> <ul style="list-style-type: none"> – Sensores, controladores y motores electrónicos apartados del motor de combustión. – Protección para los componentes del sistema. – Aviso en la interfaz de la PC de bajo combustible
<p>E</p>	<p>g) <u>Producción</u></p> <ul style="list-style-type: none"> – Consideración de las tolerancias

E	h) <u>Operación</u> – Sencilla manipulación. – Uso de Radio control – Modo Aéreo y terrestre
E	
E	
D	i) <u>Mantenimiento</u> – Cambio de piezas – Limpieza interna y externa
D	
E	j) <u>Comunicación</u> – Mediante radiofrecuencia – Frecuencia: 2.4 GHz – Radio Control / 5.8 GHz – Video
E	

ANEXO B

Estructura de Funciones

B.1 Representación según Hubka

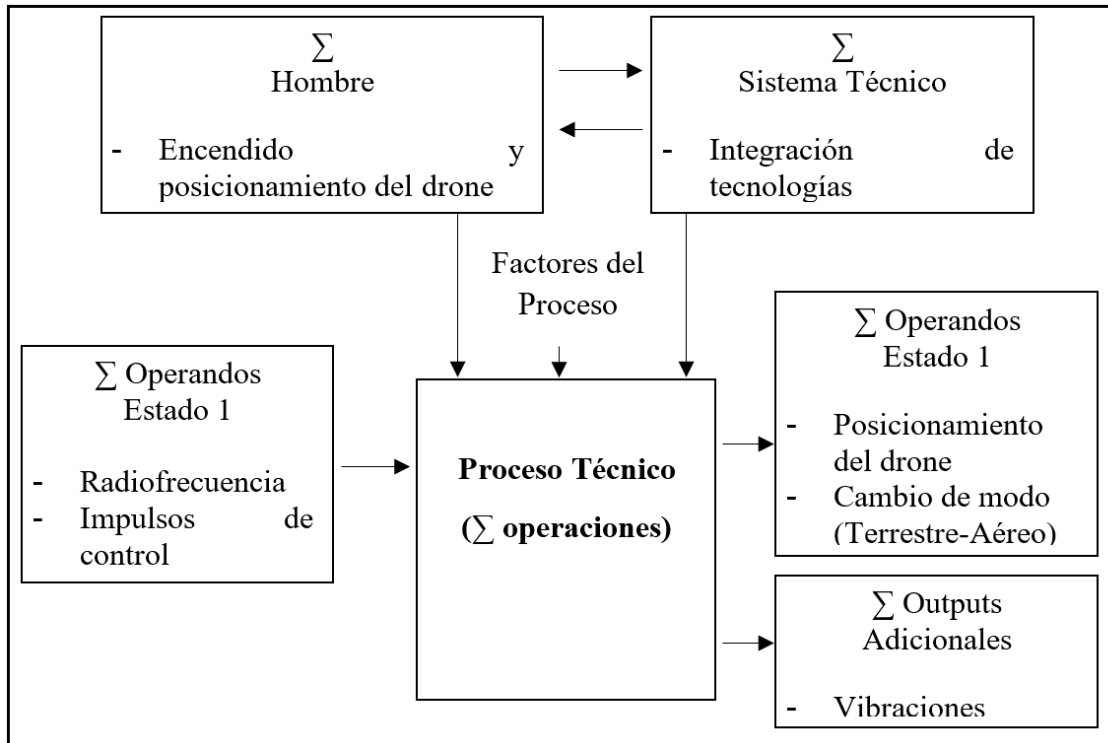


Fig. A.1: Representación de un proceso técnico según Hubka

B.2 Fijación de los procesos técnicos

1) Preparación

- a. Colocar el drone sobre el lugar deseado.
- b. Calibrar sensores.
- c. Encender el vehículo.

2) Ejecución

- a. Desplazar el drone a la posición deseada.
- b. Cambiar modo en caso se requiera.
- c. En modo aéreo cambio en la orientación de las ruedas laterales a horizontales.
- d. En modo aéreo activar las hélices.
- e. En modo terrestre cambio en la orientación de las ruedas laterales a verticales.
- f. En modo terrestre activar motores de ruedas laterales.

g. Transmitir video del recorrido.

3) Control

- a. Verificar que el drone se encuentra en las condiciones iniciales.
- b. Encender motor de 2 tiempos.
- c. Controlar velocidad y posición de cada motor.
- d. Controlar posición de desplazamiento.
- e. Controlar altura de vuelo.
- f. Controlar cambios de modos.
- g. Controlar situaciones de emergencia en caso existiese.

4) Fase Final

- a. Drone vuelve a la posición inicial.
- b. Apagar el vehículo.

ANEXO C
Estructura de Funciones según Breiing – Fleming

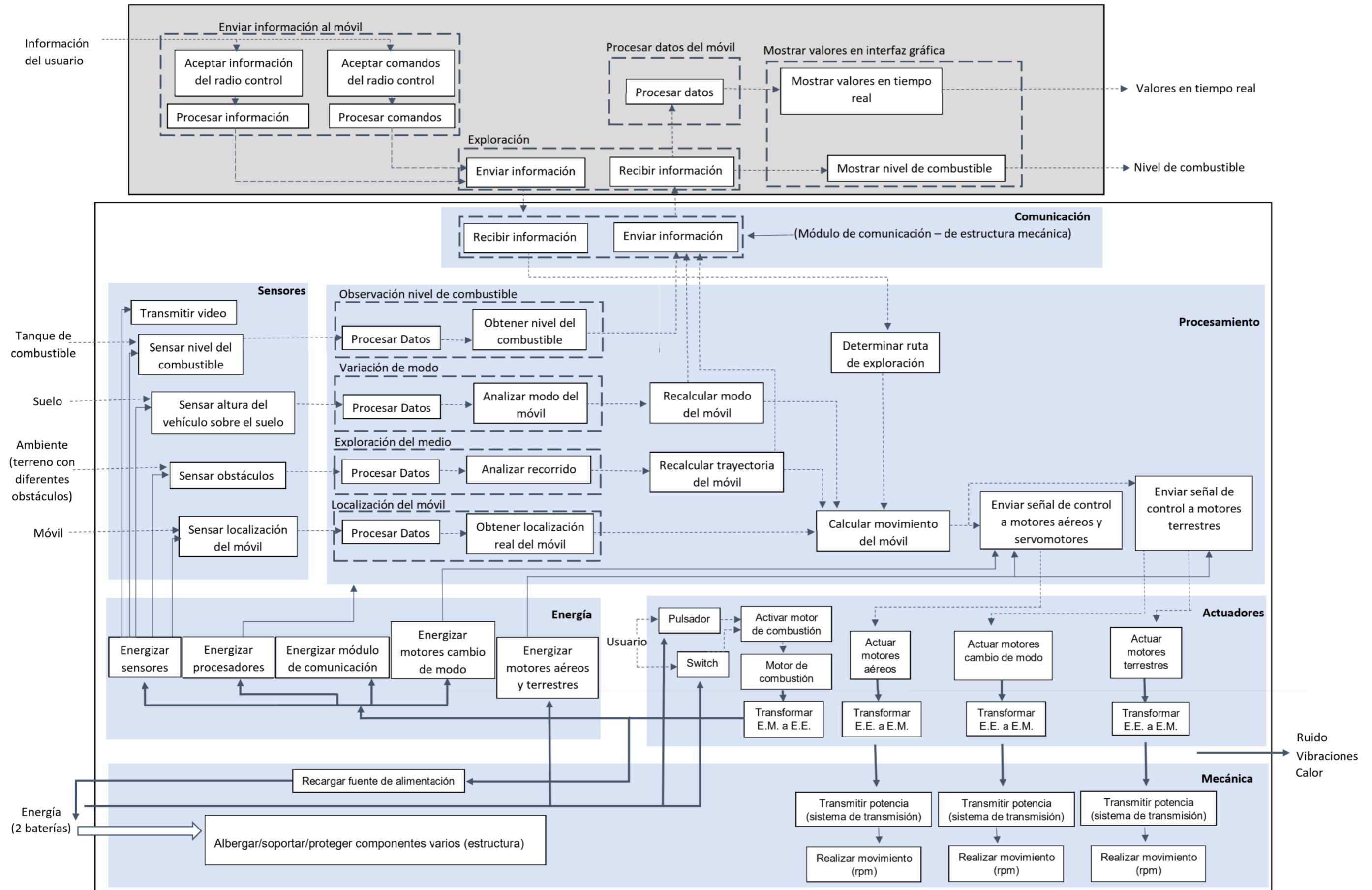
























Fig. B.1: Estructura de funciones según Breiing-Fleming

ANEXO D
Matriz Integrada

D.1 Dominio Mecánico

Actuar motores aéreos					
Transformar EE. a EM.					
Transmitir potencia (sistema de transmisión)	Motor AC	Motor DC	Brushless	Servomotor	
Realizar movimiento (rpm).					
Actuar motores cambio de modo					
Transformar EE. a EM.					
Transmitir potencia (sistema de transmisión)	Motor AC	Motor DC	Brushless	Servomotor	Motor paso a paso
Realizar movimiento (rpm)					
Actuar motores terrestres					
Transformar EE. a EM.					
Transmitir potencia (sistema de transmisión)	Motor AC	Motor DC	Brushless	Servomotor	
Realizar movimiento (rpm).					
Switch					
	Interruptor ON-OFF	Interruptor palanca			
					

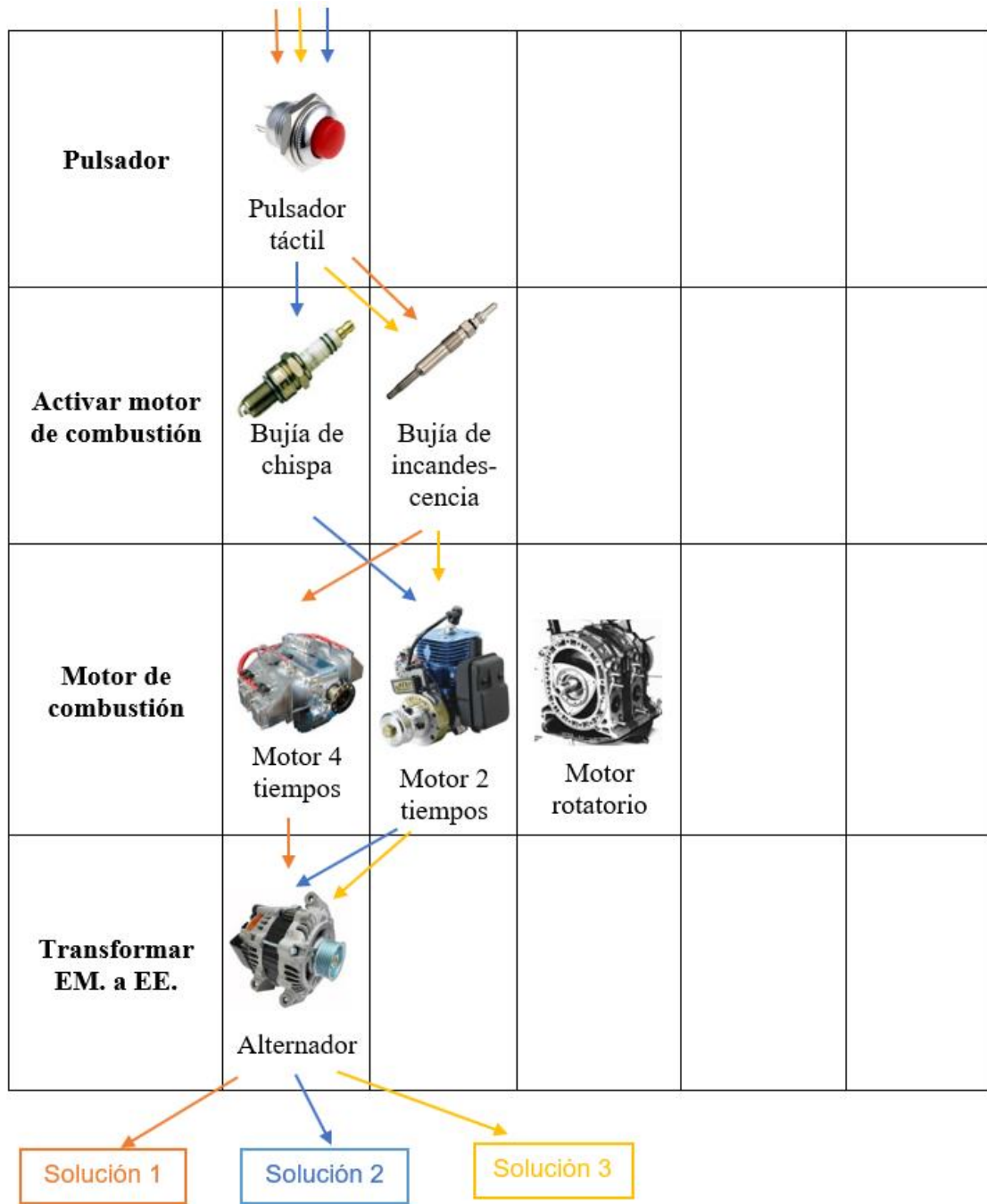


Fig. D.1: Matriz integrada del dominio Mecánico

D.2 Dominio Eléctrico

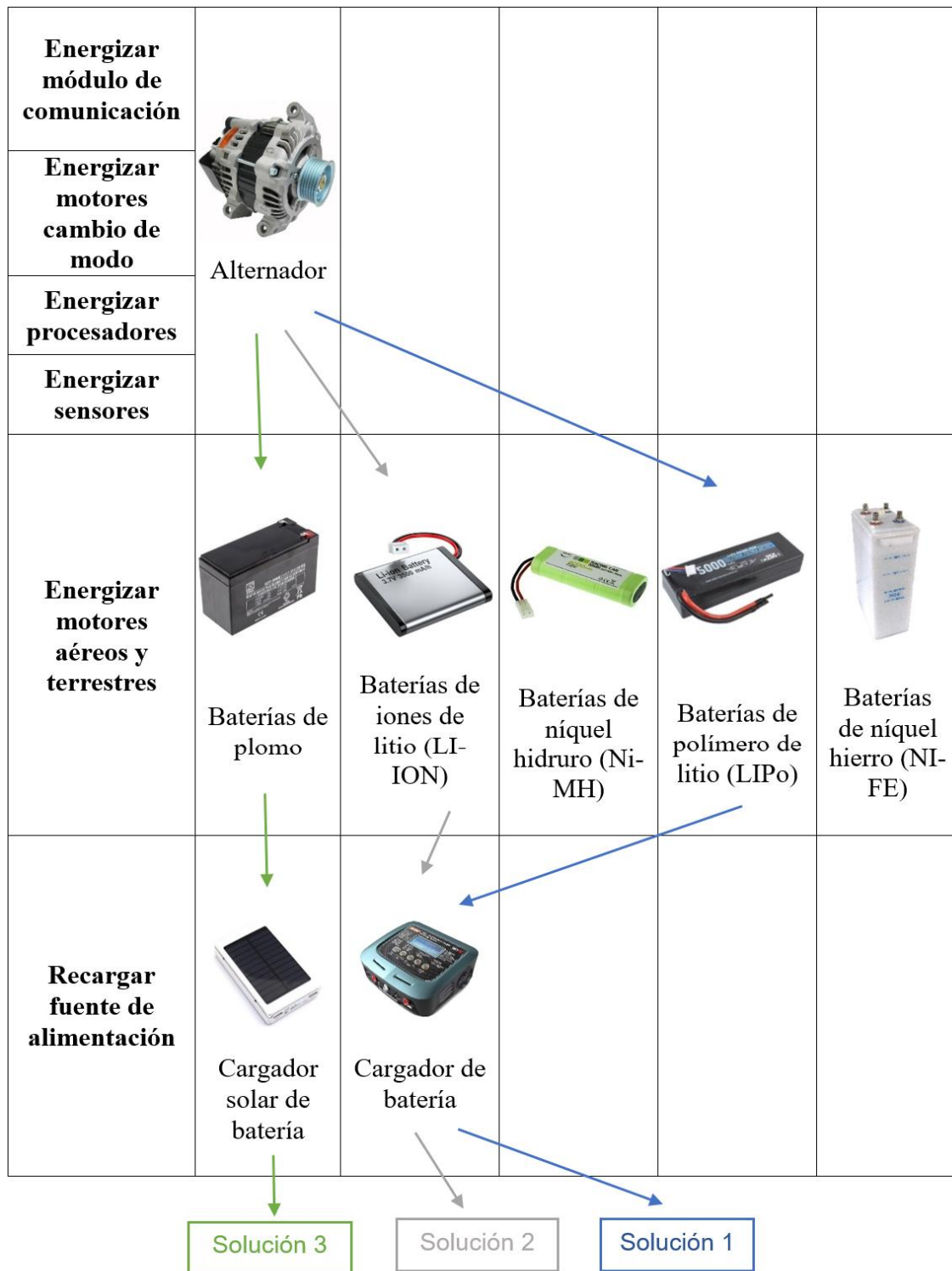

















Fig. D.2: Matriz integrada del dominio Eléctrico

D.3 Dominio electrónico

Grabar video	 Hero 3+	 GC XA2	 Innov		
Sensar nivel de combustible	 Epsilon ES				
Sensar altura del vehículo sobre el suelo	 Sensor Inductivo	 Sensor Capacitivo	 Ultrasonido	 Infrarrojo	 Laser
Sensar obstáculos					
Sensar localización del móvil	 GPS				
Procesar datos					
Obtener nivel del combustible	 Pixhawk	 Multi wii	 Ardupilot	 Naza MV2	 Naza M-Lite
Analizar modo del móvil					
Analizar recorrido					
Obtener localización real del móvil					

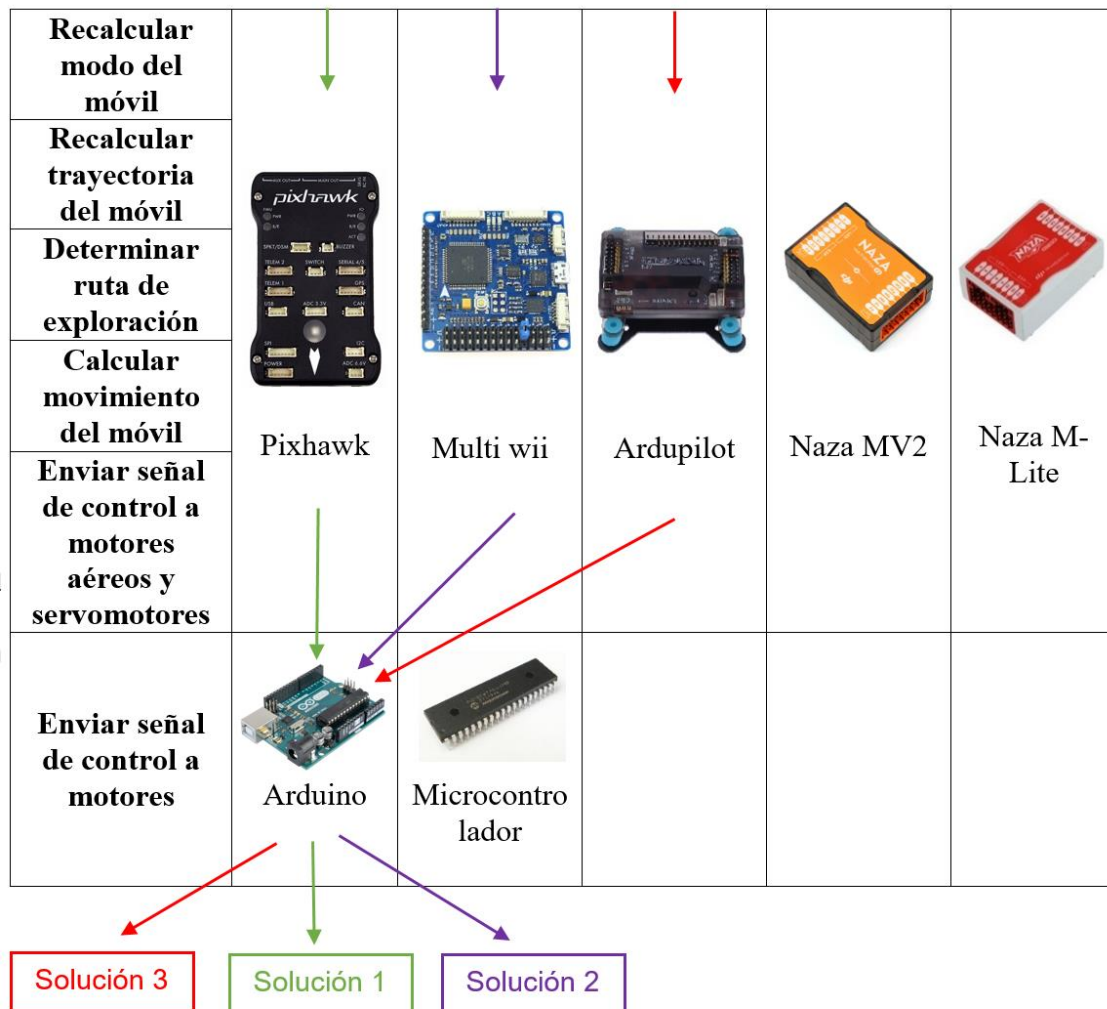


Fig. D.3: Matriz integrada del dominio Electrónico

D.4 Dominio de control

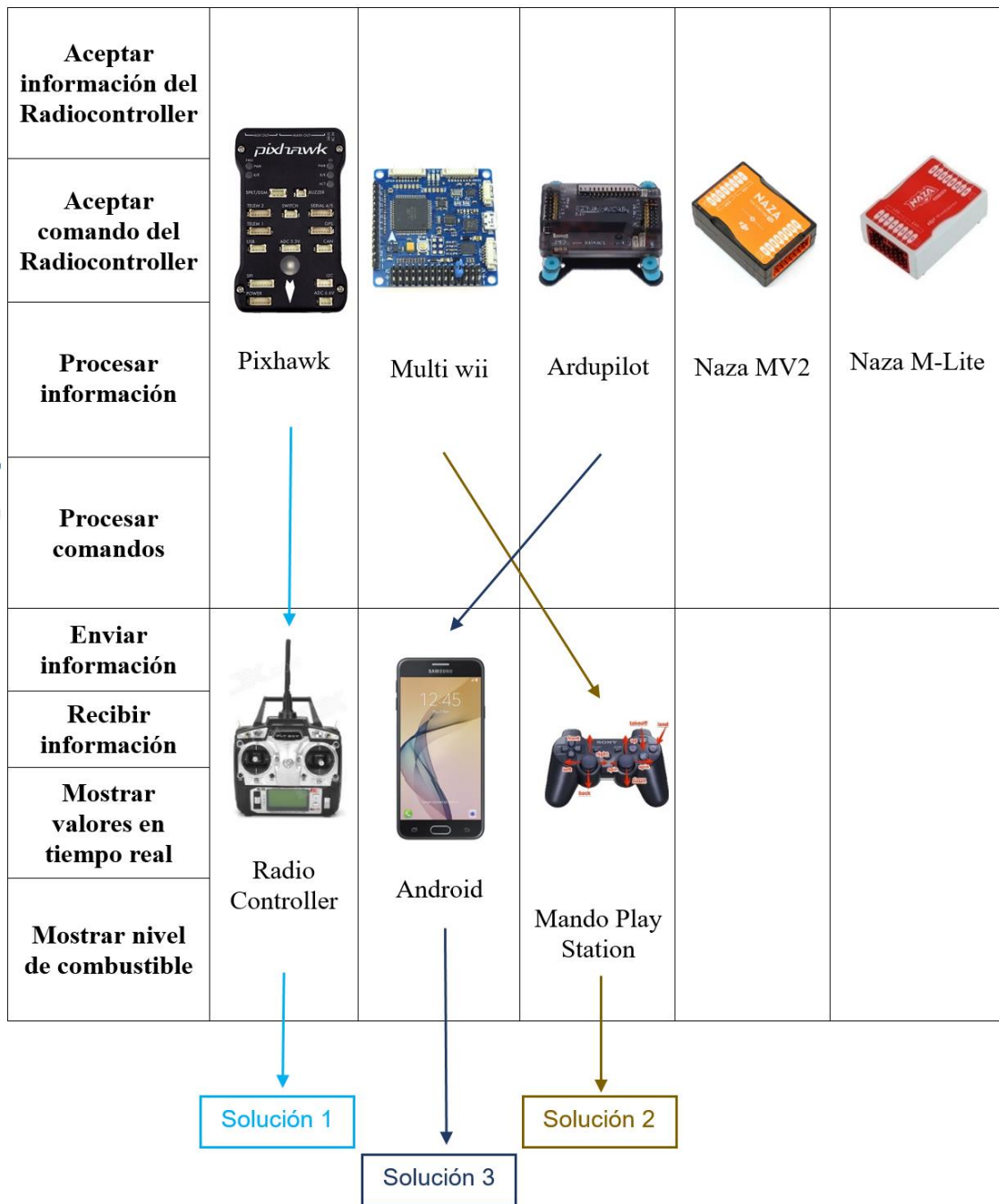


Fig. D.4: Matriz integrada del dominio de Control

ANEXO E

Conceptos integrados de Solución

E.1 Concepto Integrado 1

Dominio mecánico: Solución 3

Dominio eléctrico: Solución 3

Dominio electrónico: Solución 2

Dominio de control: Solución 2

En este concepto, un motor 2 tiempos será la fuente de poder del vehículo no tripulado y usará una bujía de incandescencia. Se aprovechará el reducido tamaño y bajo peso de este motor. Para este vehículo a parte del alternador, se utilizará un cargador solar para alimentar a la batería de plomo, este cargador solar estará ubicado en la superficie para que pueda recibir la energía solar.

Cuando el vehículo se encuentre en modo terrestre, se movilizará a través de ruedas, las cuales serán accionadas, cada una, mediante un motor AC. El cambio de modo será a través de servomotores debido a su precisión en el giro, estos se encargarán de hacer el cambio de orientación a horizontal o vertical de las ruedas, según sea el caso.

En el modo aéreo, su fisionomía de funcionamiento será con alas fijas y una hélice posterior que dará el impulso de movimiento, para activar dicha hélice será necesario el uso de un motor Brushless.

La activación de los dispositivos de control terrestre y aéreo será mediante un Multi wii para asegurar la estabilidad angular del vehículo. Así también, se usará un sensor ultrasonido para evitar algún impacto del vehículo en modo terrestre y para conocer el momento en el que el vehículo se encuentra a cierta distancia del suelo para poder hacer los giros de las llantas en los cambios de modo.

El motor será activado mediante un pulsador el cual será uno de los botones del mando de Play Station con el cual se dará las instrucciones de control mediante la señal WIFI.

Por último, la transmisión de video será mediante una cámara GC XA2.

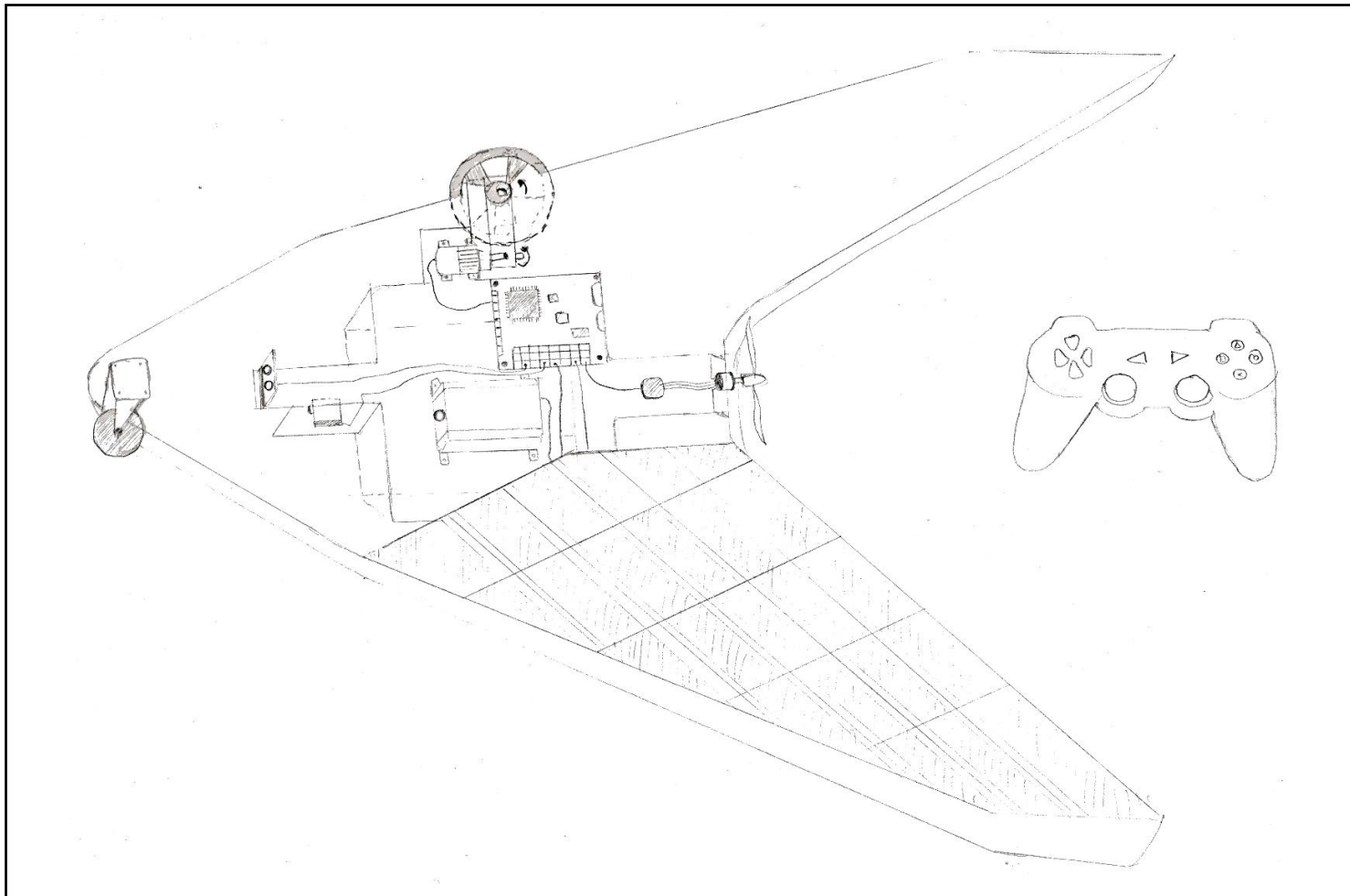


Fig. E.1: Concepto Integrado 1

E.2 Concepto Integrado 2

Dominio mecánico: Solución 2

Dominio eléctrico: Solución 1

Dominio electrónico: Solución 1

Dominio de control: Solución 1

En este concepto, un motor de combustión de 2 tiempos será la fuente de poder del vehículo no tripulado, para así ofrecer mayor tiempo de funcionamiento. Este motor, a través del alternador que energizará a los controladores, sensores y algunos actuadores, alimentará el cargador de batería que a su vez alimentará constantemente a la batería LiPo, la cual posee una mayor densidad energética en comparación a otras. Esta batería será la encargada de alimentar los motores aéreos y terrestres.

Cuando el vehículo este en modo terrestre, se movilizará a través de ruedas las cuales serán accionadas, cada una, mediante un motor DC debido a la facilidad de control y precisión de movimiento. El cambio de modo será a través de servomotores los cuales se encargarán de hacer el cambio de orientación a horizontal o vertical, según sea el caso.

En el modo aéreo, su fisionomía de funcionamiento será con multirotores, para activar dichas hélices será necesario el uso de motores Brushless. El número de rotores a usar serán de 6 para dar la estabilidad de vuelo necesaria.

La activación de los dispositivos de control terrestre y aéreo será mediante un Pixhawk con el cual se obtendrá mayor facilidad de control del sistema. Así también se usará sensores ultrasonidos para evitar algún impacto del vehículo en modo terrestre, y para conocer el momento en el que el vehículo se encuentra a cierta distancia del suelo para poder hacer los giros de las llantas en los cambios de modo.

El motor será activado mediante un pulsador ON-OFF momentáneo el cual será uno de los botones del Radio Controller con el cual se dará las instrucciones de control mediante la señal de radiofrecuencia.

Por último, la transmisión de video será mediante una cámara Go Pro.

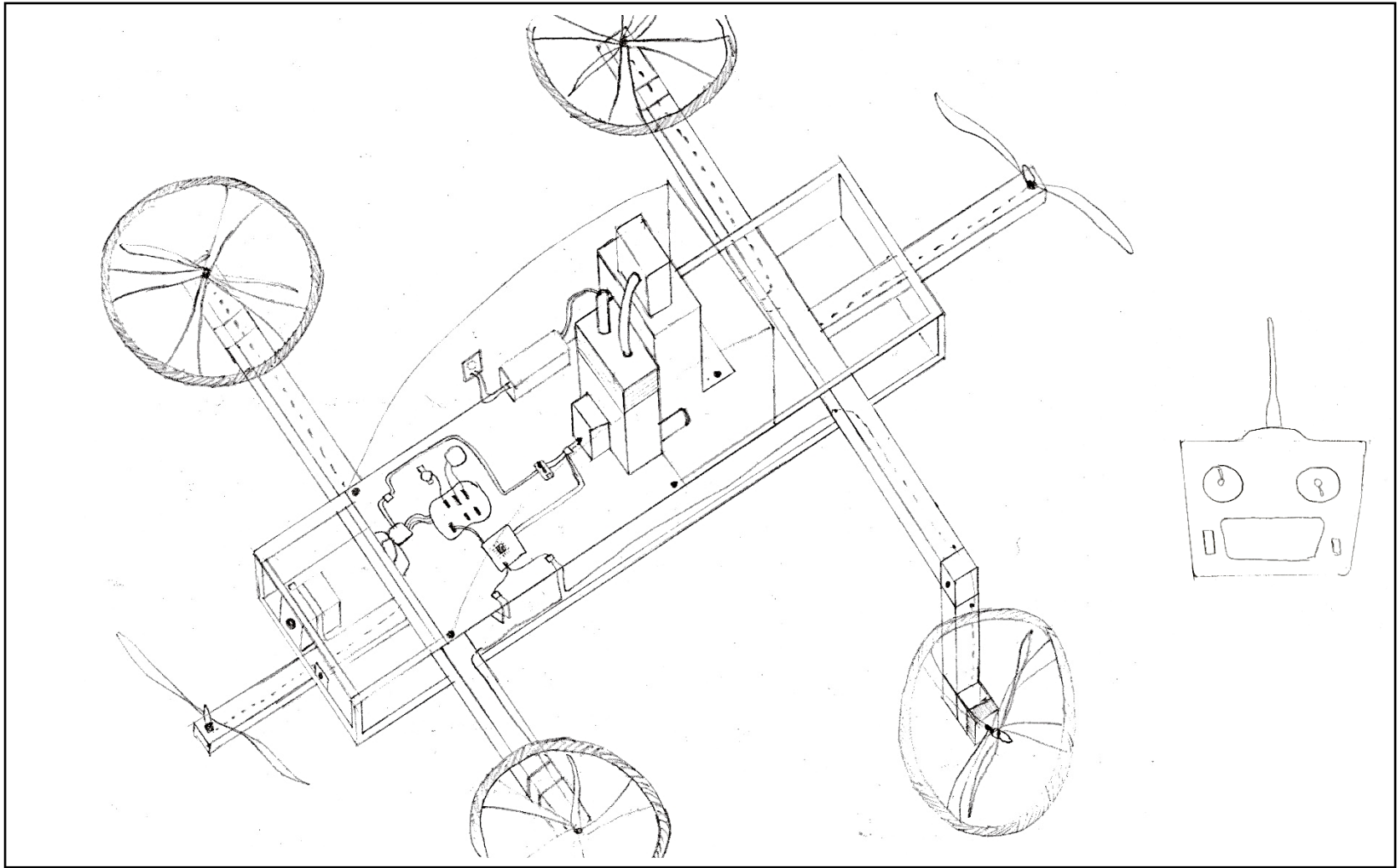


Fig. E.2: Concepto Integrado 2

E.3 Concepto Integrado 3

Dominio mecánico: Solución 1

Dominio eléctrico: Solución 2

Dominio electrónico: Solución 3

Dominio de control: Solución 3

En este concepto, un motor de 4 tiempos será la fuente de poder del vehículo no tripulado. Además, el sistema que se utilizará para energizar eléctricamente el sistema será el de un alternador que alimentará al cargador de batería, al cual se le conectará una batería LI-ION que asegura un buen rendimiento a pesar de su carga y descarga constante, las cuales energizarán a algunos componentes.

Cuando el vehículo este en modo terrestre, se movilizará a través de orugas las cuales serán accionadas, cada una en sus extremos, mediante un motor AC.

En el modo aéreo, su fisionomía de funcionamiento será con multirotores, para activar dichas hélices será necesario el uso de motores Brushless. Se usarán 2 rotores y se contará con las orugas en la parte inferior del vehículo.

La activación de los dispositivos de control terrestre y aéreo será mediante un Ardupilot con el que el control será directo. Así también se usará un sensor infrarrojo para evitar algún impacto del vehículo en modo terrestre y para conocer el momento en el que el vehículo se encuentra a cierta distancia del suelo para poder descender de manera segura.

El motor será activado mediante un interruptor ON-OFF el cual estará integrado en la parte exterior del vehículo. Se utilizará un celular Android con el cual se dará las instrucciones de control mediante la señal de Bluetooth.

Por último, la transmisión de video será mediante una cámara Innov.

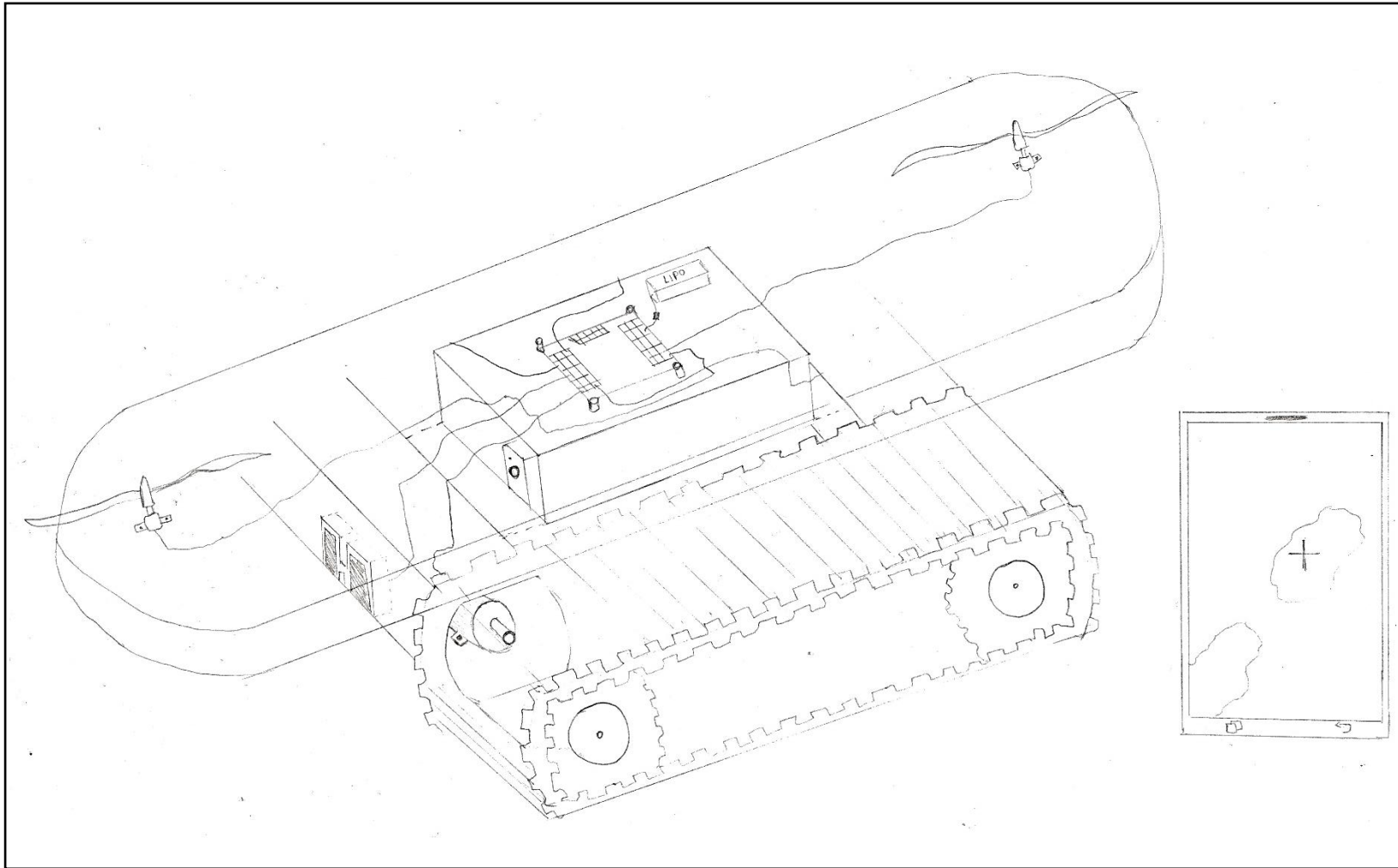


Fig. E.3: Concepto Integrado

ANEXO F

Evaluación de conceptos de solución

Tabla F.1: Cuadro de evaluación de proyectos (valor técnico)

DISEÑO MECATRÓNICO – EVALUACIÓN DE PROYECTOS									AREA DE DISEÑO	
Valor técnico (Xi)										
PROYECTO: Vehículo no tripulado terrestre-aéreo con motor de combustión interna										
p: Puntaje de 0 a 4 (Escala de valores según VDI 225)										
g: Es el peso ponderado y se da en función de la importancia de los criterios de evaluación										
Variantes de concepto/Proyectos			Solución 1 S1		Solución 2 S2		Solución 3 S3		Solución Ideal Sideal	
Nº	Criterios de evaluación	g	p	gp	p	gp	p	Gp	p	gp
1	Función	0.1	2	0.2	3	0.3	2	0.2	4	0.4
2	Forma	0.025	2	0.05	3	0.075	2	0.05	4	0.1
3	Fabricación	0.05	3	0.15	2	0.1	2	0.1	4	0.2
4	Control	0.05	3	0.15	3	0.15	2	0.1	4	0.2
5	Uso de energía	0.05	2	0.1	3	0.15	3	0.15	4	0.2
6	Seguridad	0.025	3	0.075	2	0.05	2	0.05	4	0.1
7	Rapidez	0.05	3	0.15	3	0.15	2	0.1	4	0.2
8	Manipulación	0.1	2	0.2	3	0.3	3	0.3	4	0.4
9	Transportabilidad	0.1	3	0.3	3	0.3	3	0.3	4	0.4
10	Calidad de trabajo	0.1	2	0.2	3	0.3	1	0.1	4	0.4
11	Complejidad	0.05	2	0.1	3	0.15	3	0.15	4	0.2
12	Cumplimiento de lista de exigencias	0.2	2	0.4	3	0.6	2	0.4	4	0.8
13	Control de calidad	0.05	3	0.15	3	0.15	2	0.1	4	0.2
14	Grado de automatización	0.05	3	0.15	3	0.15	3	0.15	4	0.2
Puntaje máximo $\sum p$ o $\sum gp$		1	35	2.375	40	2.925	32	2.25	56	4
Valor técnico xi			0.59		0.73		0.56		1	
Orden			1		2		3			

Tabla F.2: Cuadro de evaluación de proyectos (valor económico)

DISEÑO MECATRÓNICO – EVALUACIÓN DE PROYECTOS									AREA DE DISEÑO	
Valor económico (Yi)										
PROYECTO: Vehículo no tripulado terrestre-aéreo con motor de combustión interna										
p: Puntaje de 0 a 4 (Escala de valores según VDI 225)										
g: Peso ponderado de 0 a 1										
Variantes de concepto/Proyectos			Solución 1 S1		Solución 2 S2		Solución 3 S3		Solución Ideal Sideal	
N°	Criterios de evaluación	g	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp
1	Función	0.1	2	0.2	3	0.3	2	0.2	4	0.4
2	Fácil adquisición de los materiales de fabricación	0.05	3	0.15	3	0.15	3	0.15	4	0.2
3	Fácil adquisición de programas de procesamiento	0.025	2	0.05	3	0.075	3	0.075	4	0.1
4	Fácil adquisición de los elementos de control	0.05	3	0.15	3	0.15	2	0.1	4	0.2
5	Productividad	0.025	3	0.075	3	0.075	3	0.075	4	0.1
6	Costos	0.05	3	0.15	3	0.15	2	0.1	4	0.2
7	Pocos desperdicios	0.025	2	0.05	2	0.05	2	0.05	4	0.1
8	Número de operarios	0.1	3	0.3	3	0.3	3	0.3	4	0.4
9	Costo de Tecnología	0.05	2	0.1	3	0.15	3	0.15	4	0.2
10	Facilidad de montaje	0.1	2	0.2	3	0.3	3	0.3	4	0.4
11	Fácil mantenimiento	0.05	2	0.1	3	0.15	3	0.15	4	0.2
12	Costos de operación	0.05	3	0.15	3	0.15	2	0.1	4	0.2
13	Transportabilidad	0.1	3	0.3	3	0.3	3	0.3	4	0.4
14	Cumplimiento con lista de exigencias	0.1	2	0.2	3	0.3	2	0.2	4	0.4
15	Eficiencia	0.125	3	0.375	3	0.375	2	0.25	4	0.5
Puntaje máximo $\sum p$ o $\sum gp$		1	38	2.55	44	2.975	38	2.5	60	4
Valor económico yi			0.64		0.74		0.625		1	
Orden			1		2		3			

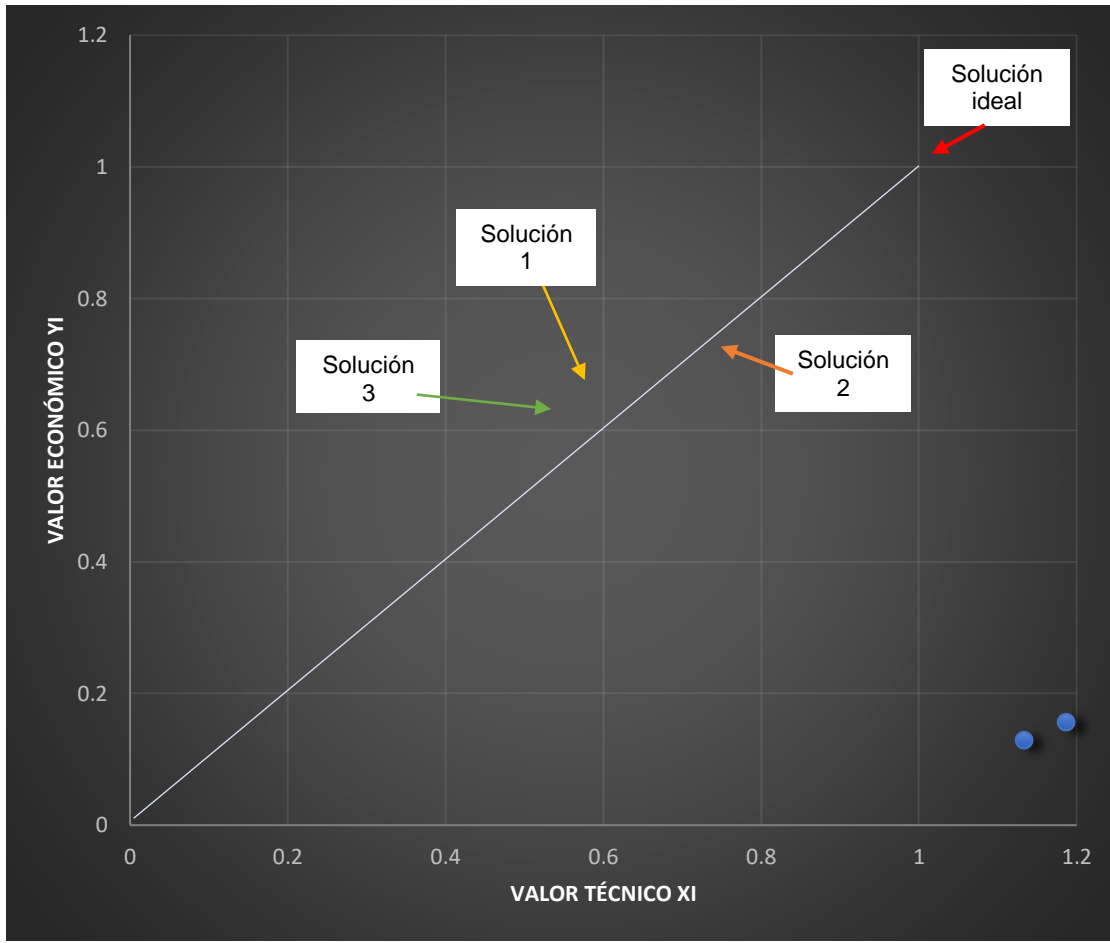
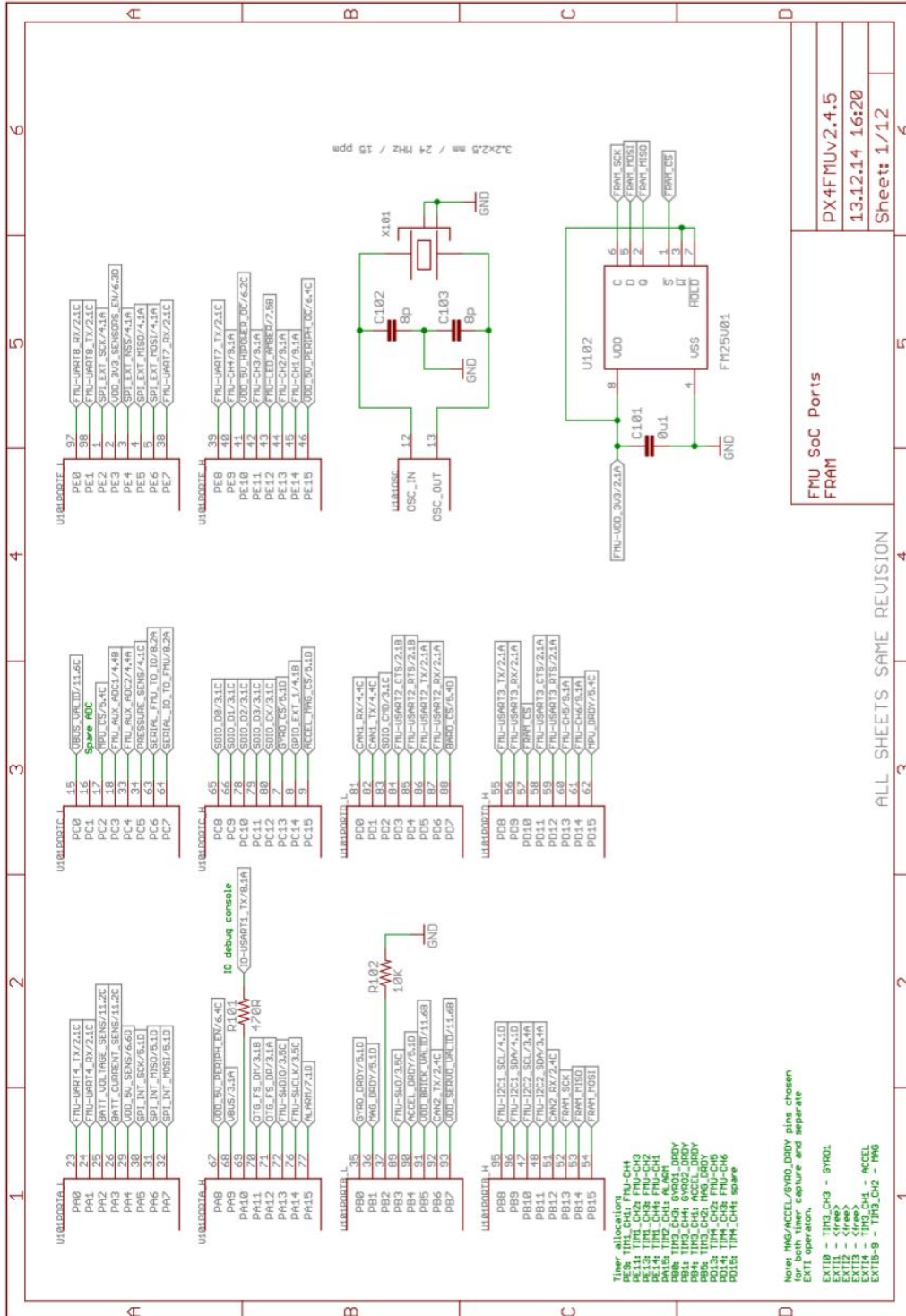


Fig. F.1: Diagrama de evaluación según VDI 225

ANEXO G

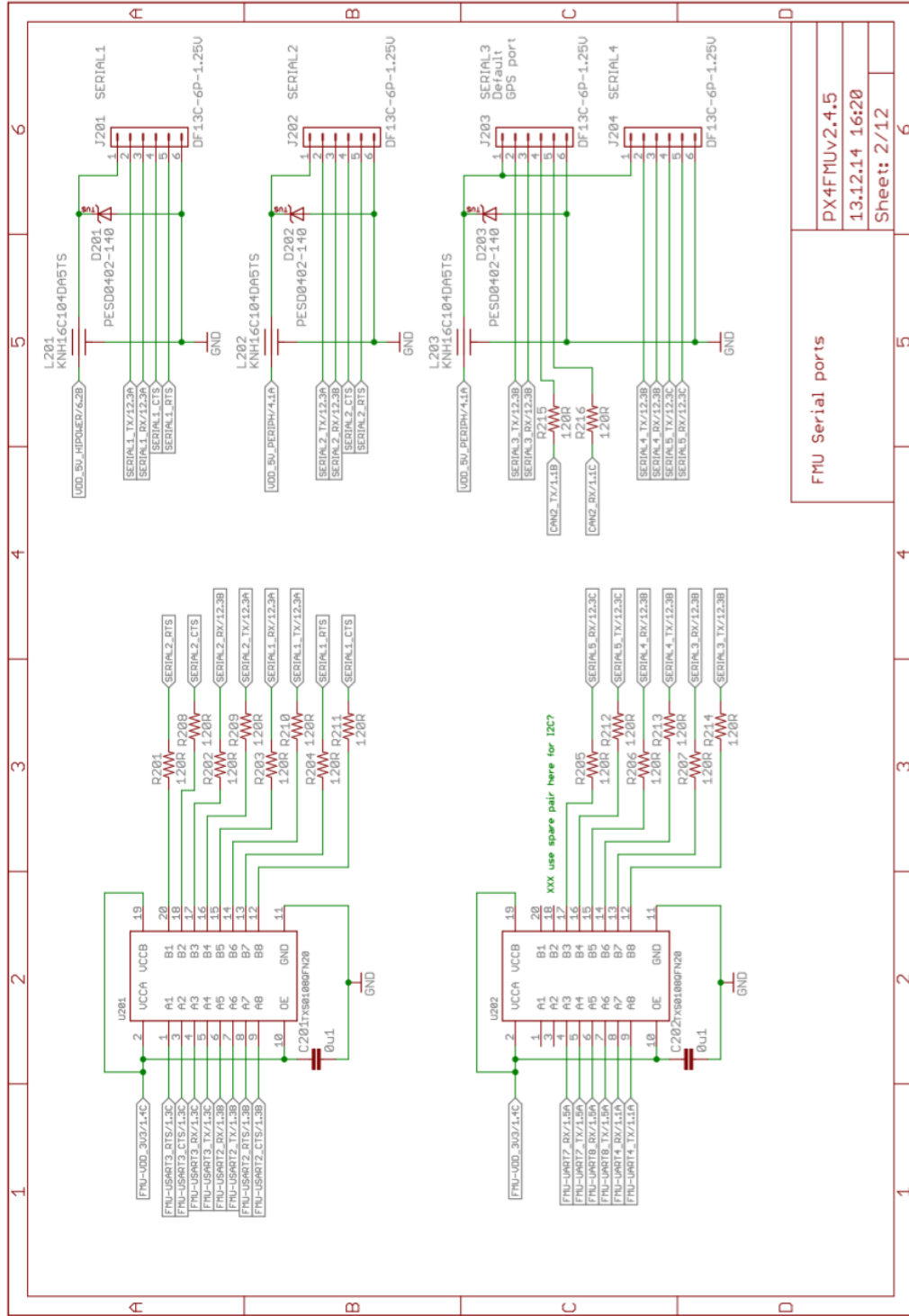
Diagramas esquemáticos del Pixhawk y del Arduino UNO

G.1 Diagrama esquemático del Pixhawk



ALL SHEETS SAME REVISION

FMU SoC Ports
FRAM
PX4FMUv2.4.5
13.12.14 16:20
Sheet: 1/12

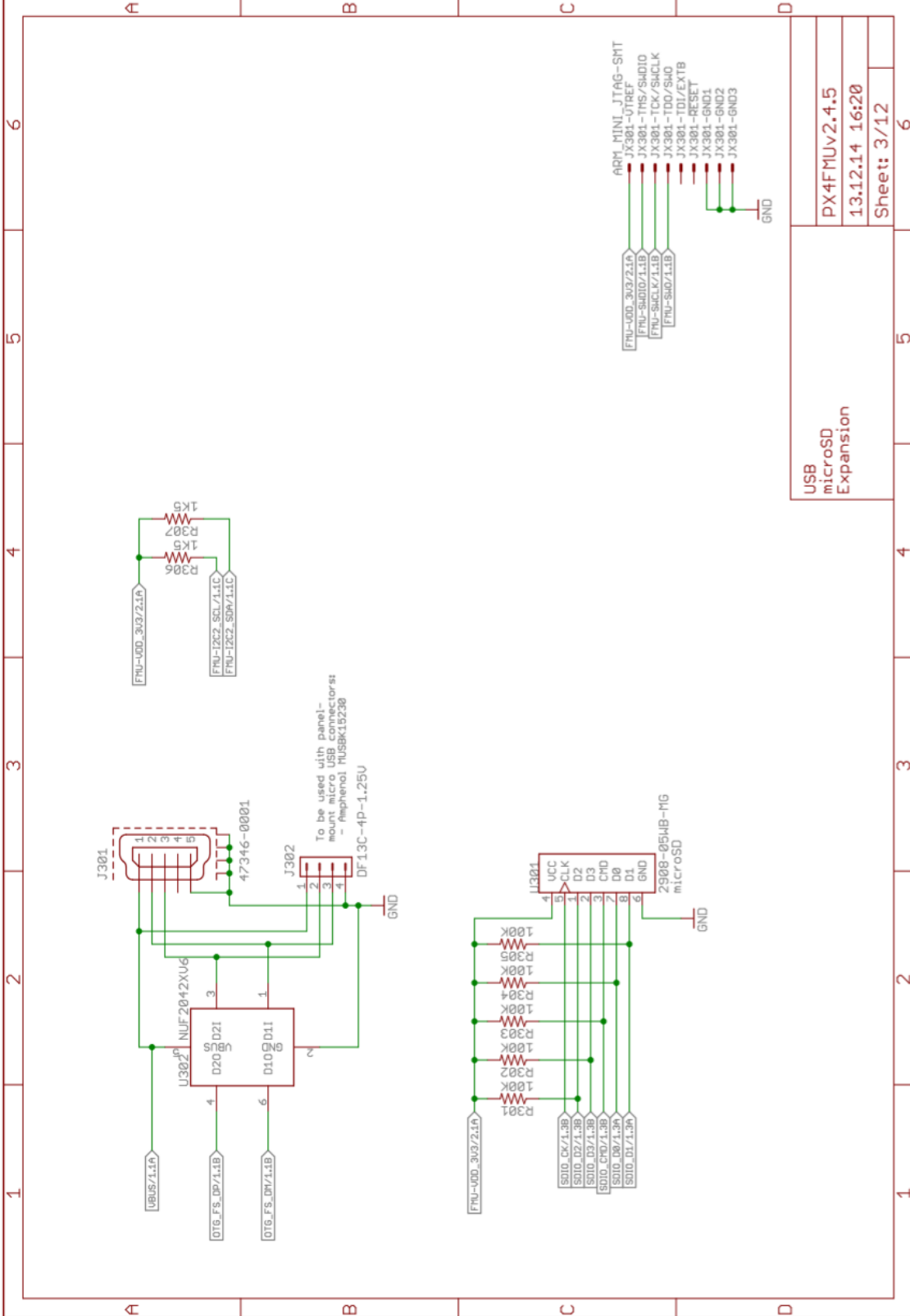


FMU Serial ports

PX4FMUV2.4.5

13:12.14 16:20

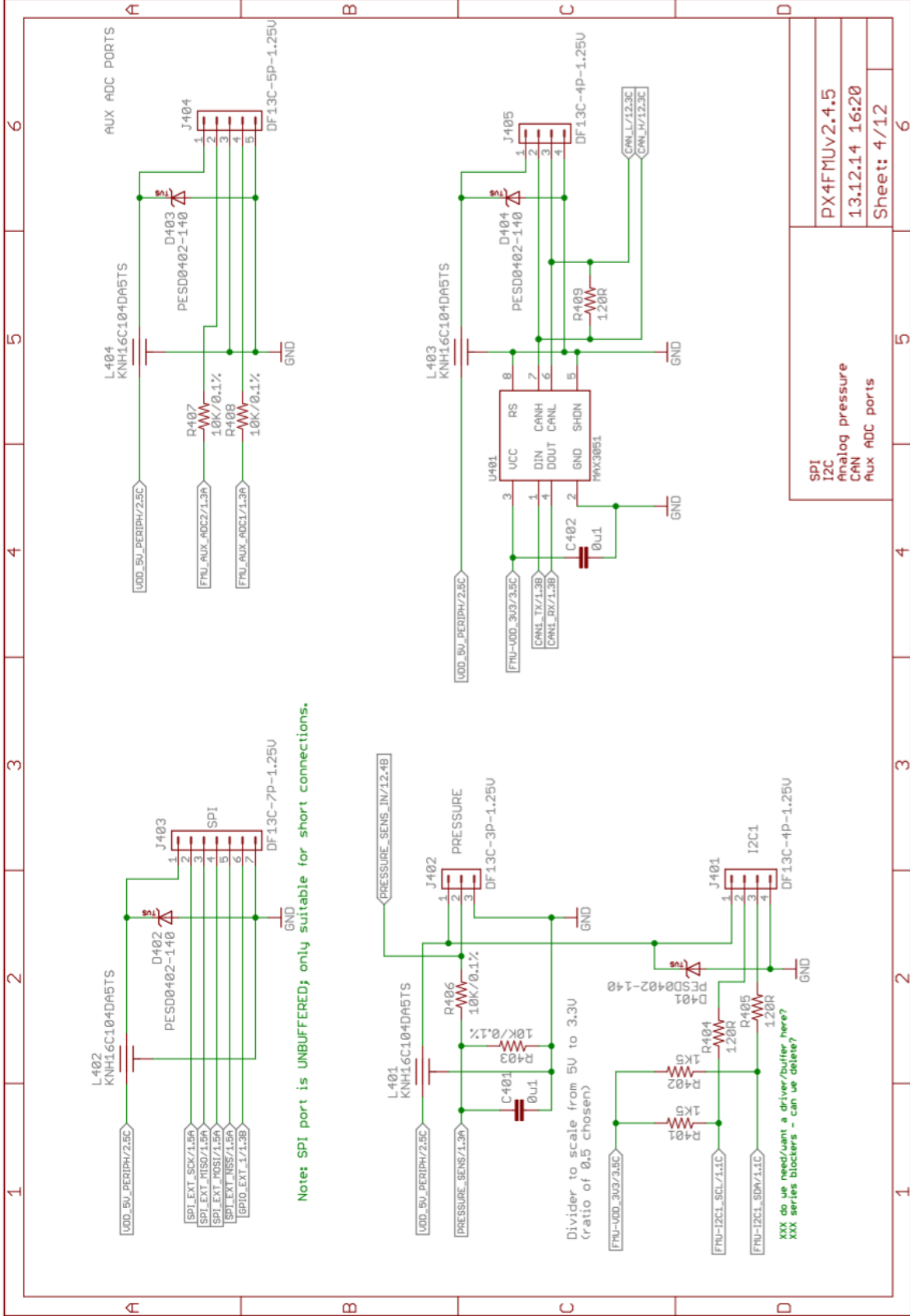
Sheet: 2/12



USB
microSD
Expansion

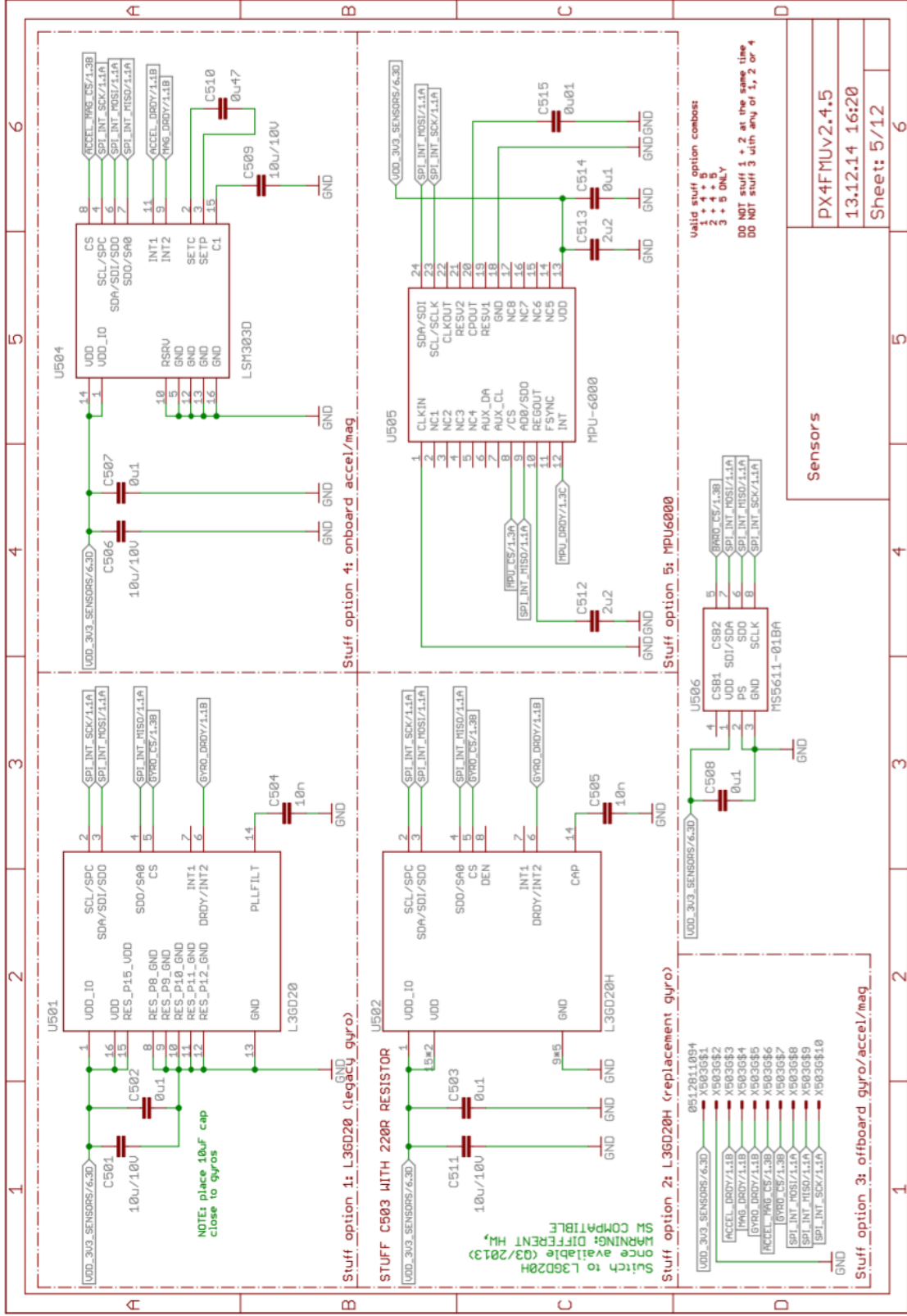
PX4FMUv2.4.5
13.12.14 16:20
Sheet: 3/12

1	2	3	4	5	6
A	B	C	D		



Note: SPI port is UNBUFFERED; only suitable for short connections.

SPI	PX4FMUv2.4.5
I2C	13.12.14 16:20
Analog pressure	Sheet: 4/12
CAN	
Aux ADC ports	



Stuff option 4: onboard accel/mag

Stuff option 5: MPU6000

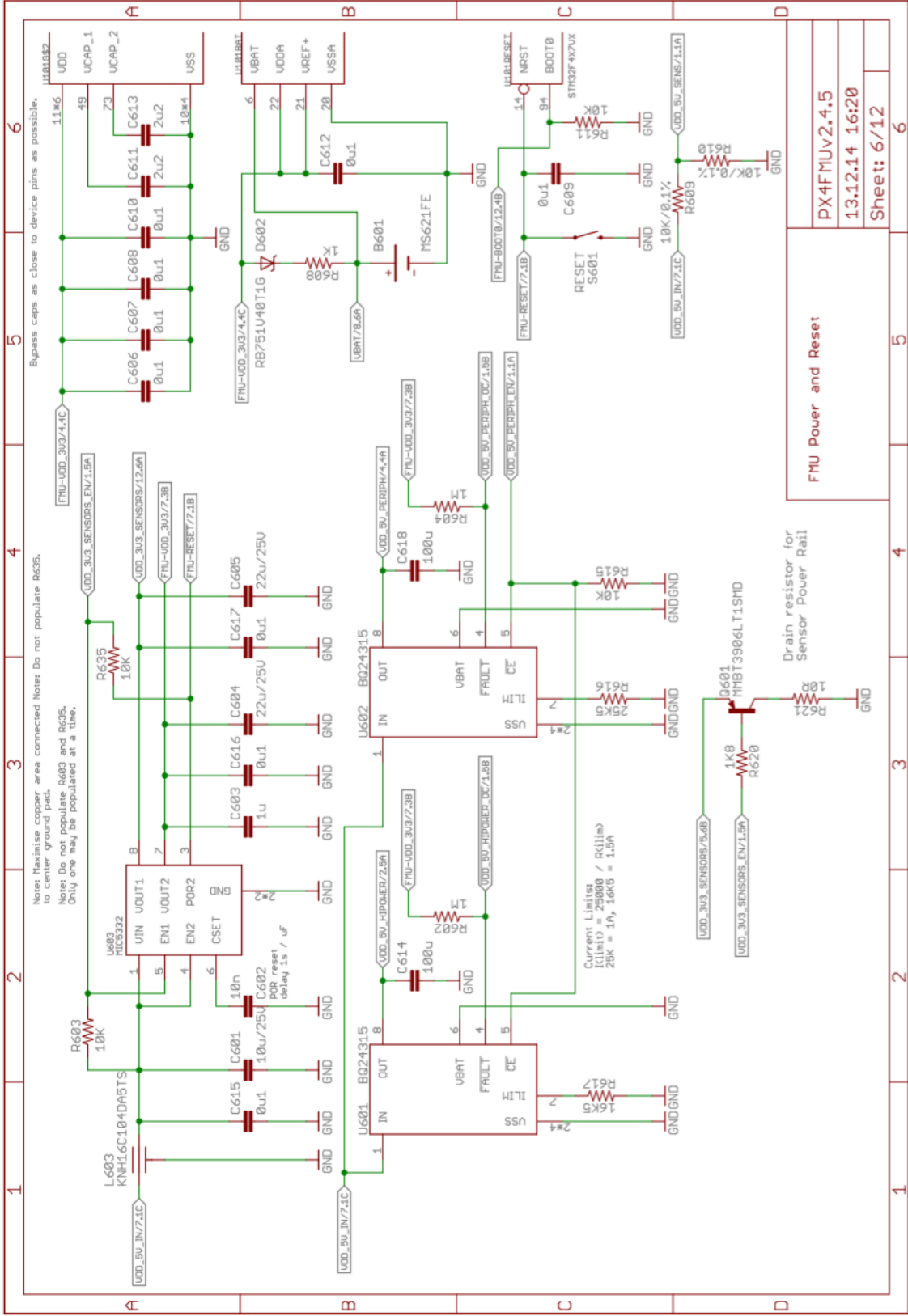
Stuff option 1: L3GD20H (legacy gyro)

Stuff option 2: L3GD20H (replacement gyro)

Stuff option 3: onboard gyro/accel/mag

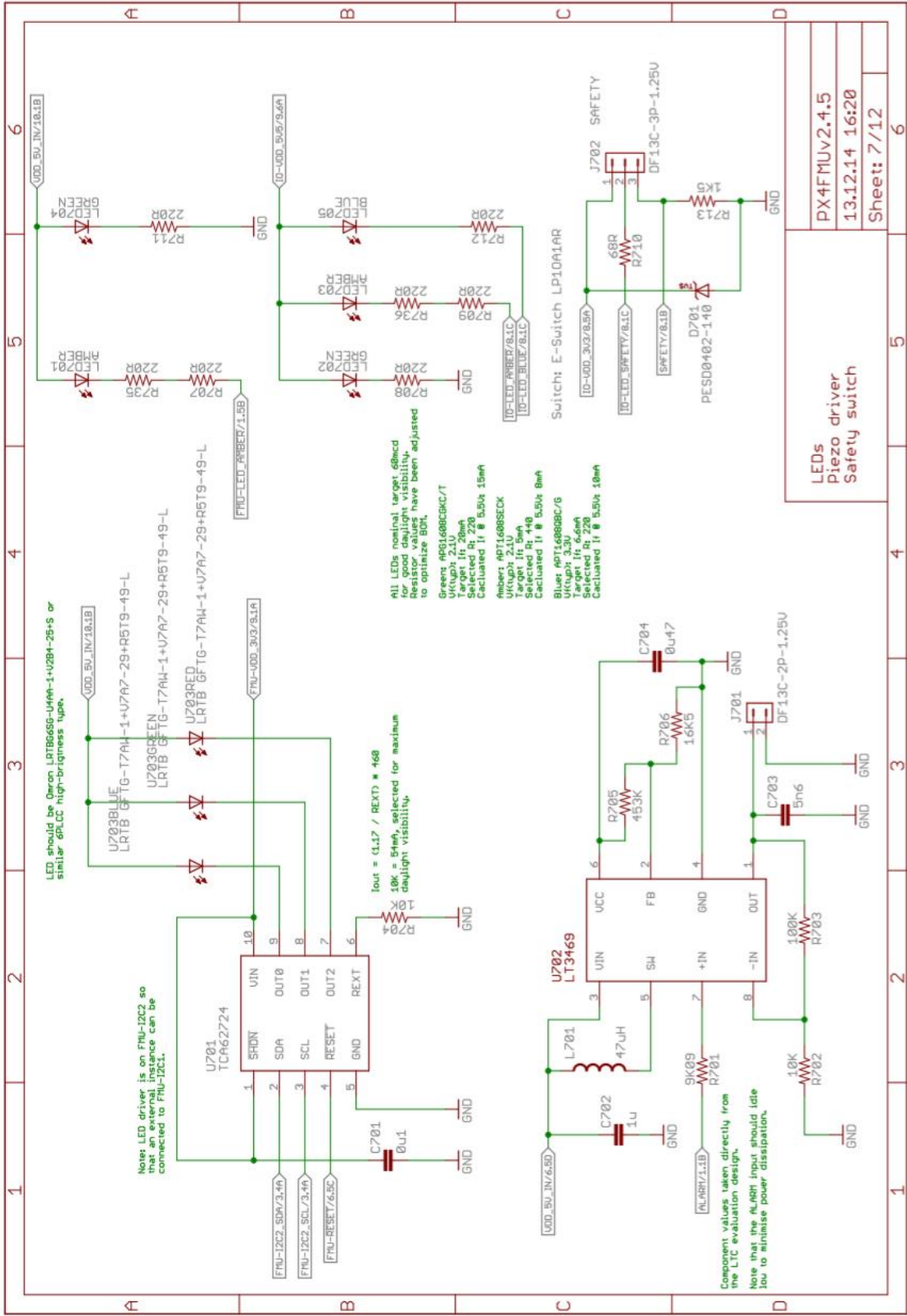
Sensors

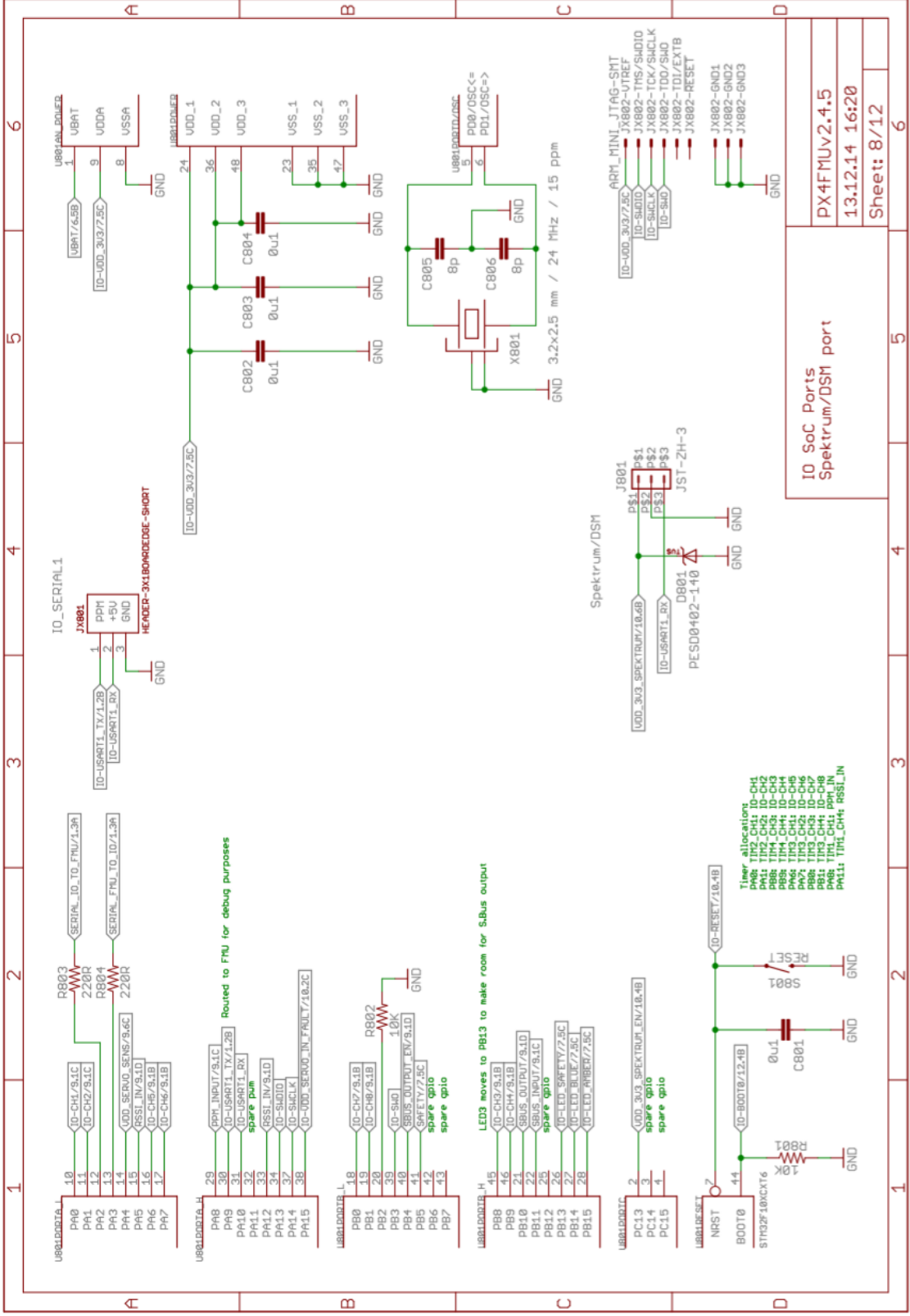
PX4FMUV2.4.5
13.12.14 16:20
Sheet: 5/12



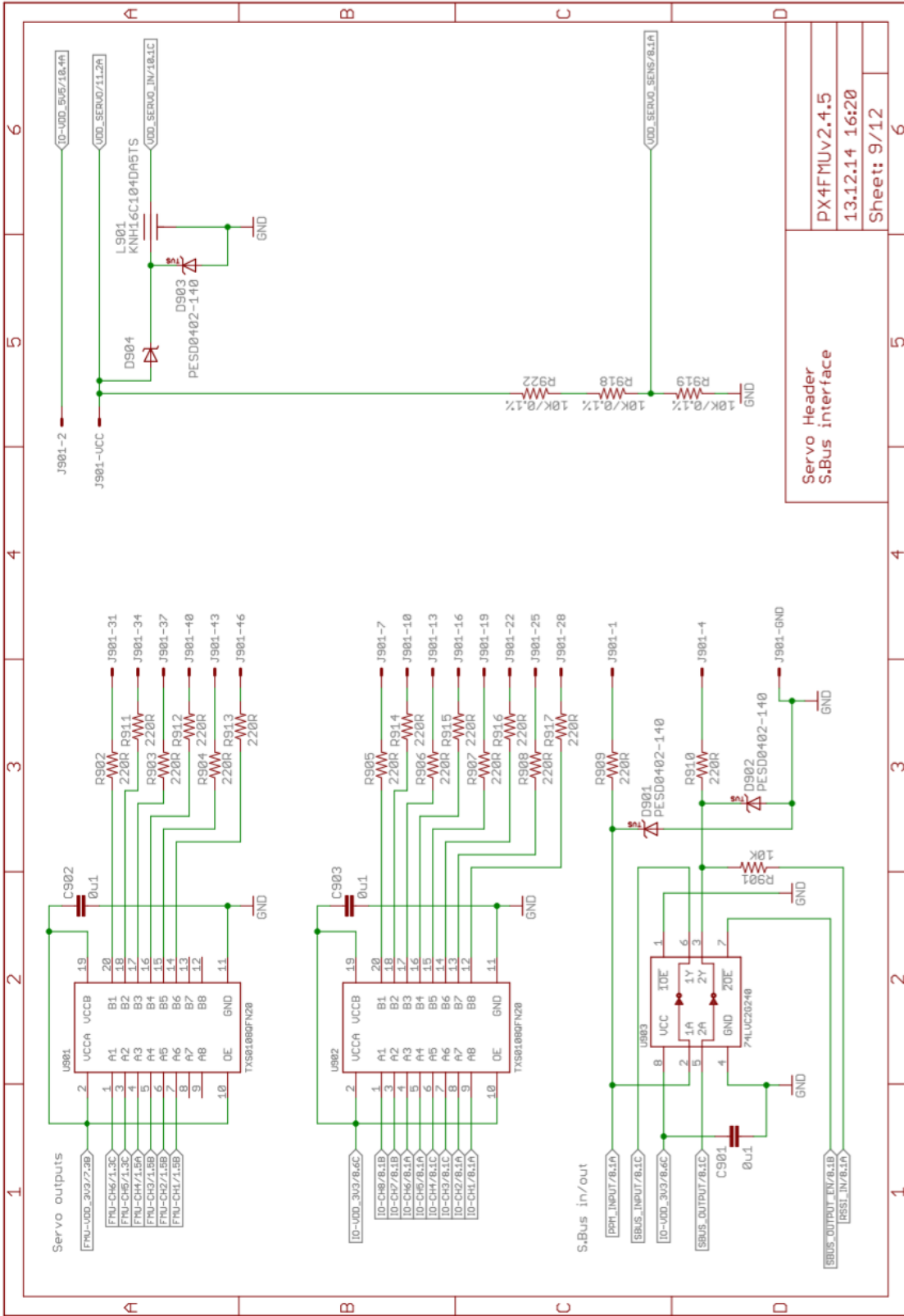
FX4FMUv2.4.5	
13.12.14 16:20	
Sheet: 6/12	

FX4 Power and Reset



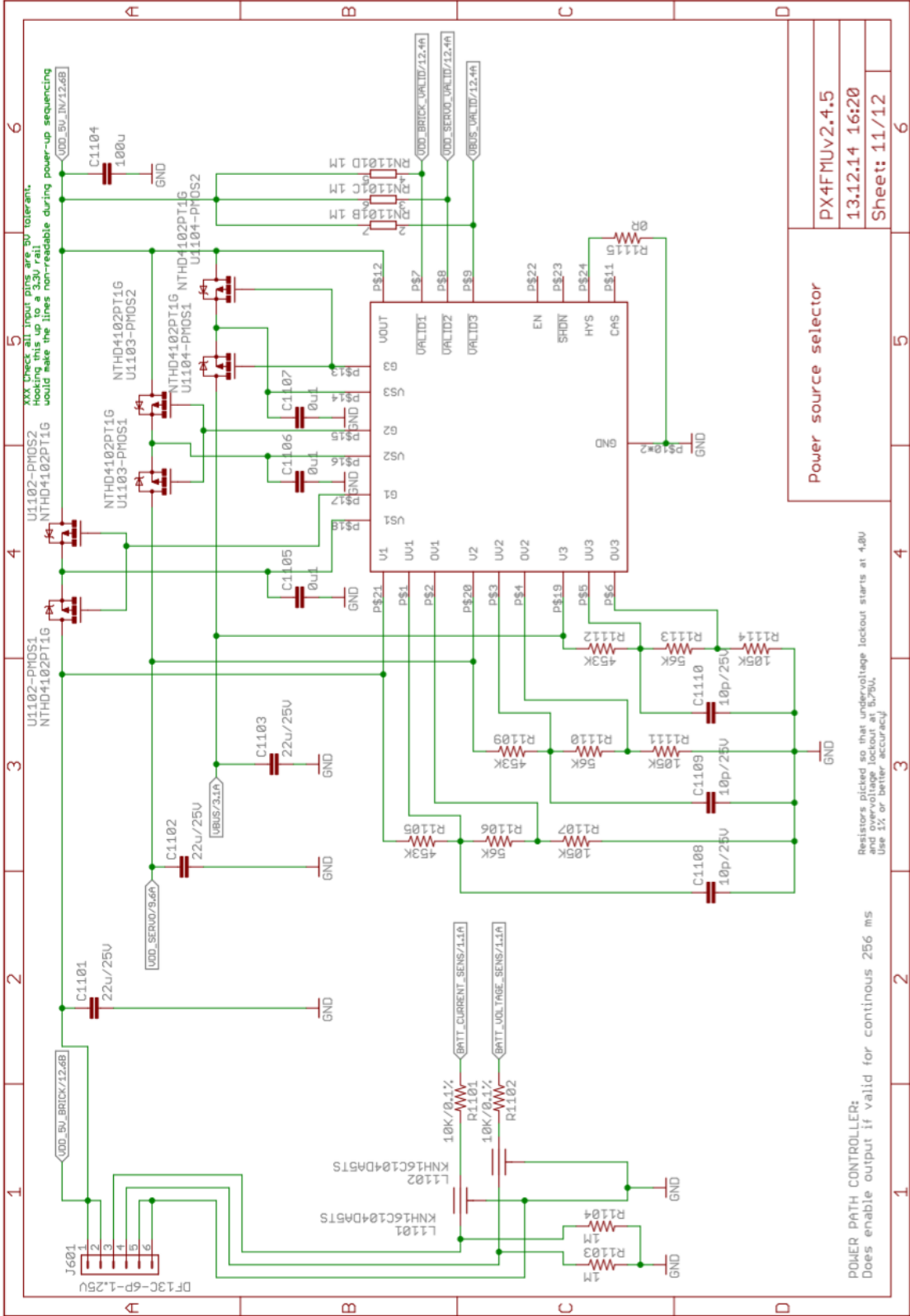


PX4FMuV2.4.5
13.12.14 16:20
Sheet: 8/12



Servo Header
S.Bus interface

PX4FMUV2.4.5
13.12.14 16:20
Sheet: 9/12

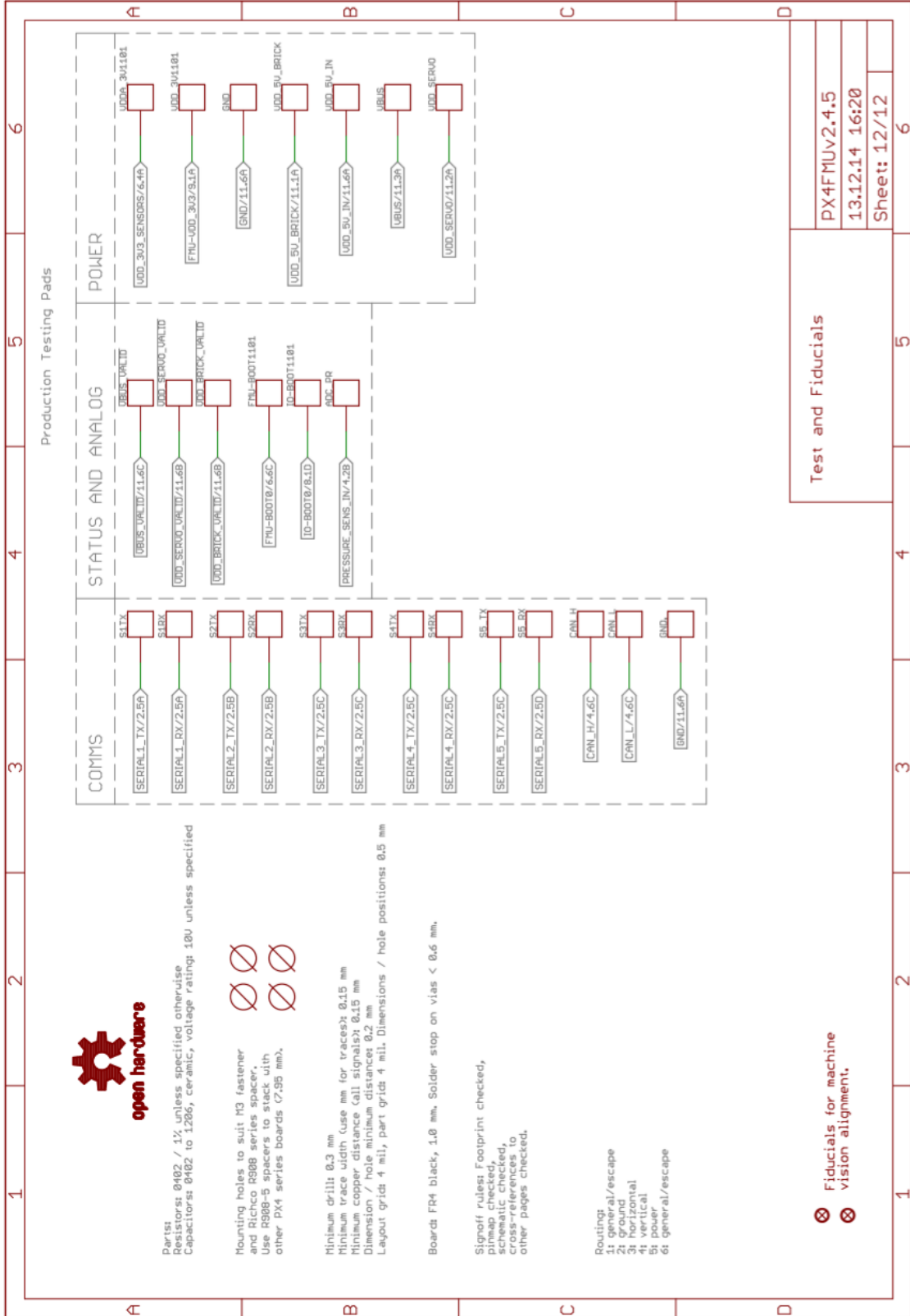


XX check all input pins are 3V tolerant.
 would make the lines non-releable during power-up sequencing

Power source selector	
PX4FMUV2.4.5	
13.12.14 16:20	
Sheet: 11/12	

Resistors picked so that undervoltage lockout starts at 4.8V
 and overvoltage lockout at 5.75V,
 Use 1% or better accuracy

POWER PATH CONTROLLER:
 Does enable output if valid for continuous 256 ms



open hardware

Partist
Resistors: 0402 / 1% unless specified otherwise
Capacitors: 0402 to 1206, ceramic, voltage rating: 10V unless specified



Mounting holes to suit M3 fastener and Richco R988 series spacer. Use R988-5 spacers to stack with other PX4 series boards (7.95 mm).

Minimum drill: 0.3 mm
Minimum trace width (use mm for traces): 0.15 mm
Minimum copper distance (all signals): 0.15 mm
Dimension / hole minimum distances: 0.2 mm
Layout grid: 4 mil, part grid: 4 mil. Dimensions / hole positions: 0.5 mm

Board: FR4 black, 1.6 mm. Solder stop on vias < 0.6 mm.

Signoff rules: Footprint checked, pinmap checked, schematic checked, cross-references to other pages checked.

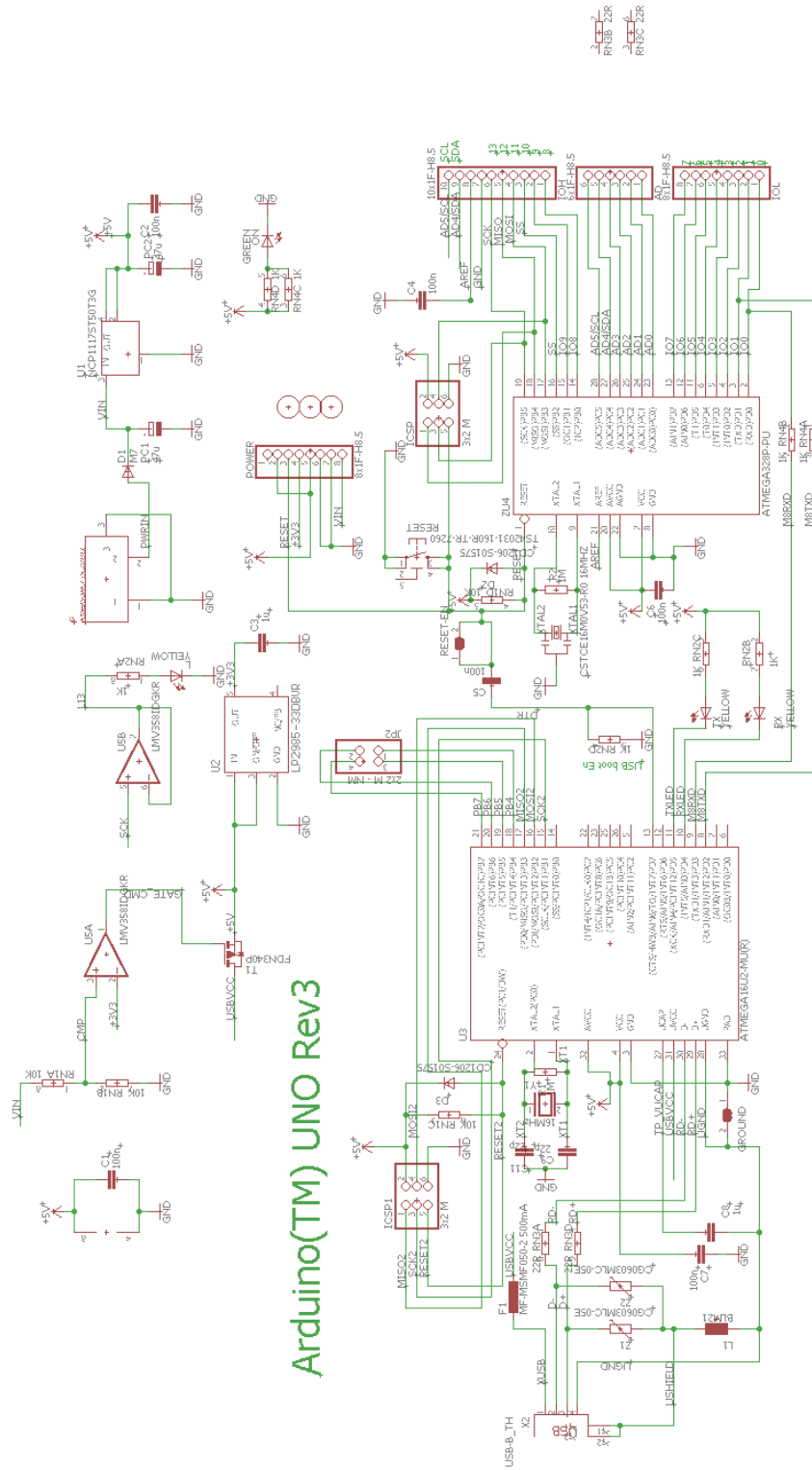
- Routing:
- 1: general/escape
 - 2: ground
 - 3: horizontal
 - 4: vertical
 - 5: power
 - 6: general/escape

- ⊗ Fiducials for machine
- ⊗ vision alignment.

Test and Fiducials

PX4FMUV2.4.5
13.12.14 16:20
Sheet: 12/12

G.2 Diagrama esquemático del Arduino UNO



ANEXO H

Especificaciones técnicas

H.1 Motor de combustión de 2 tiempos DLE - 30

DLE-30

Operator's Manual

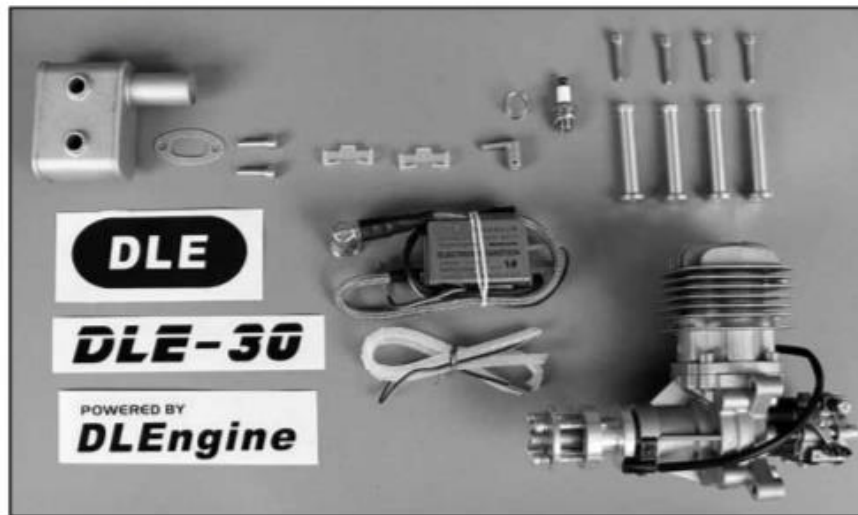


Specifications

Displacement:	30.5 cc [1.86 cu. in.]
Performance:	3.7HP / 8,500 rpm
Idle Speed:	1,600 rpm
Ignition Style:	Electronic Ignition
Recommended Propellers:	18×8, 18×10, 19×8, 20×8
Spark Plug Type:	CM6 (Gap) 0.018in. – 0.020 in. [0.45mm – 0.51mm]
Diameter × Stroke:	1.41in. [36 mm] × 1.18in. [30 mm]
Compression Ratio:	7.6:1
Carburetor:	DLE with Manual Choke
Weight:	Main Engine – 2 lb [910g] Muffler – 2.11oz [60g] Electronic Ignition – 4.23oz [120g] Engine Mount Standoffs – 0.71oz [20g]
Fuel:	87 – 93 Octane Gasoline with a 30:1 gas/2-stroke (2-cycle) oil mixture



Parts List



- (1) DLE-30cc Gas Engine with DLE carburetor
- (1) CM6 Spark plug with spare ignition wire spring
- (1) Muffler w/gasket
- (2) 5x20mm SHCS (muffler mounting)
- (1) Electronic Ignition Module w/ additional tachometer lead
- (4) 30mm Engine Mounting Standoffs
- (4) 4x30mm SHCS with 4mm lock washers & flat washers (propeller mounting)
- (4) 5x25mm SHCS with 5mm flat washers (mounting engine to standoffs)
- (1) Silicone Pick-up Wire Cover / Ignition Wire Cover
- (1) Red Three Pin Connector Lead w/ Pig Tail (ignition switch)
- (1) Long Heavy Duty Throttle Control Arm
- (2) Three Pin Connector Securing Clips
- (1) DLE Decal Set

Safety Tips and Warnings

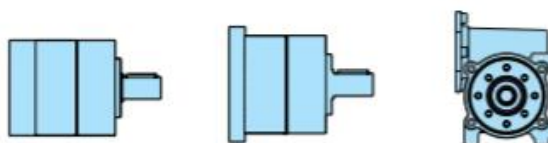
- This engine is not a toy. Please place your safety and the safety of others paramount while operating. DLE will not be held responsible for any safety issues or accidents involving this engine.
- Operate the engine in a properly ventilated area.
- Before starting the engine, please make sure all components including the propeller and the engine mount are secure and tight. It is strongly recommended that a screw sealant is used (Great Planes Threadlocker GPMR6060) during engine installation.
- During the break-in period, it is recommended that the engine be installed on the aircraft or a test stand with an appropriate shock absorber. Otherwise it is probable that vibration could rebound

H.2 Motor DC modelo 8989B1-2

Gearboxes for DCmind brush range

→ 3 to 25 Nm

- Planetary and worm gearboxes, very silent versions
- Shafts on ball bearings
- Long service life



Part numbers

Gearboxes	A1			B1			RAD10
Family	A1			B1			RAD10
Type of gearbox	Planetary ø 42			Planetary ø 52			Worm gear
Associated motors	Gear motor reference			Gear motor reference			Gear motor reference
89810 IP65 / Holding brake / Encoder	8981 A1 / A5 / A9						
89800 IP65 / Holding brake / Encoder	8980 A1 / A5 / A9						
89850 IP65 / Holding brake / Encoder	8985 A1 / A5 / A9						
89830 IP65 / Holding brake / Encoder				8983 B1 / B5 / B9			8983 10 / 15 / 19
89890 IP65 / Holding brake / Encoder				8989 B1 / B5 / B9			8989 10 / 15 / 19
General characteristics							
Number of stages	1	2	3	1	2	3	1
Maximum permitted torque (Nm)	3	7.5	15	4	12	25	10
Efficiency	0.8	0.75	0.7	0.8	0.75	0.7	0.6 → 0.3
Axial dynamic load (daN)	5	8	11	6	10	15	10
Radial dynamic load (daN)	16	23	30	20	32	45	15
Weight (kg)	0.3	0.4	0.5	0.7	0.9	1.1	0.6
Standard reduction ratios	9	45	302	7-9	28-45	302	5 - 10 - 20 - 30 - 50
Other ratios possible	58 - 137 - 232 - 393			58 - 137 - 192 - 232 - 393			15 - 100
Operating temperature	-30 → +70°C			-30 → +70°C			-10 → +75°C
Typical noise level	45 dBA			45 dBA			45 dBA
Comments							

Planetary gearboxes:

To maintain a very low noise level, the motor pinion is precision machined on motor shaft to obtain optimum concentricity and parallelism. The gears in the first stage are helical-cut and made from a composite material. This design significantly improves gear life by reducing wear due to misalignment, increases gearbox efficiency and ensures a very low noise level even with the gearbox under load.

Worm gearbox:

This gearbox combines a tempered steel worm gear with a hardened bronze helical wheel, a combination that ensures a long service life. The helical wheel rotates in a grease reservoir to provide an excellent slip coefficient and dissipate heat. O-rings and lip seals equipped with garter springs are used to ensure sealing the gearbox output shaft.

The gearbox casing is made of aluminium to maximize heat dissipation.

However, because of the high power rating of this gearbox and the lower efficiency inherent in ratio worm gearboxes, care must be taken not to exceed a temperature of 75°C on the gearbox casing during operation.

The output shaft configuration can be right, left, or a dual shaft (shaft output on both sides).

Product adaptations, contact us



- Special shafts
- Other reduction ratios
- Other fixing holes
- Special mounting flange

H.3 Alternador 4Si-50 Compact lightweight

4Si-50 Compact lightweight Alternator

Compatible and interchangeable with Denso 40A type (Brise ALT-5305)

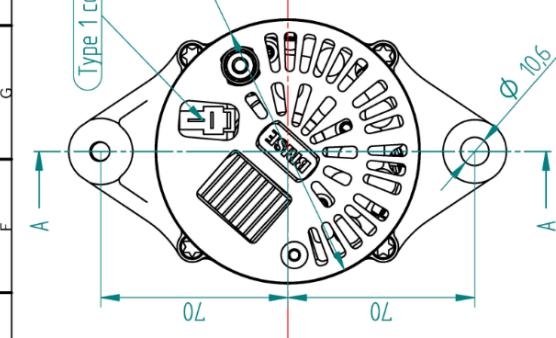
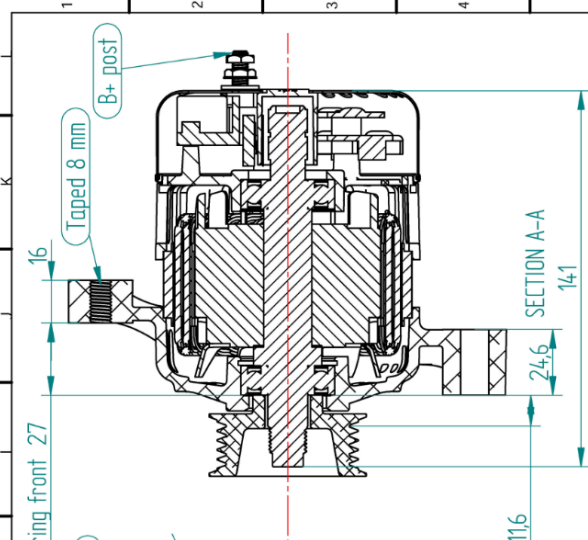
Advantages: Lighter Weight
Improved airflow and cooling
Available in 50A or 100A versions
Improved vibration resistance
Fully clamped stator
One piece voltage regulator and brush box
Electrically Isolated Stainless steel rear cover
'clockable' mounting - 4 possible options.


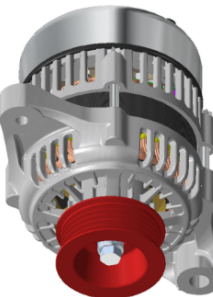
Alternator Test Report Result **PASS**

Alternator Type 4Si Test date: 11/01/2017 11:45

Test Parameters	Volts	Amperes	Results
Rotor RPM	1000	13.5	1054
	1500	13.5	1229
	2000	13.5	28.6
	2500	13.5	38.9
	3000	13.5	41.8
	3500	13.5	43.5
	4000	13.5	44.7
	4500	13.5	45.5
	5000	13.5	46.9
	5500	13.5	49.9
	6000	13.5	50.3
	0	0.0	0.0
	0	0.0	0.0
	0	0.0	0.0

Tested Lampless = TRUE

Weight: 2.35kg. (without pulley)

material	finish
name	date
drawn	T.M.
checked	
approved	
note	

BRISE Auto Electrical Systems	
Project	Hybrid
Item	4Si
cadfile	
scale	1/1
Sheet	1 of 1
Issue	A
Copyright Brise Ltd. Unit Q3 Northfleet Industrial Estate DA11 9SN All Rights Reserved	

REV.	DESCRIPTION	DATE	APPRO

KEY:

- S - BATTERY SENSE
- D - DUMMY (DO NOT USE)
- W - IGNITION SWITCHED 12V+
- IG - IGNITION SWITCHED 12V+
- W - STATOR TAP (DO NOT USE)

NOTE: NEVER DISCONNECT BATTERY CABLE FROM ALTERNATOR WHILE THE ENGINE IS RUNNING !! THIS WILL CAUSE DAMAGE TO THE ALTERNATOR !!

H.4 Sensor XL – Max Sonar

XL-MaxSonar® - EZ/AE™ Series

XL-MaxSonar® - EZ™ Series

High Performance Sonar Range Finder

MB1200, MB1210, MB1220, MB1230, MB1240, MB1260, MB1261
MB1300, MB1310, MB1320, MB1330, MB1340, MB1360, MB1361⁸



The XL-MaxSonar-EZ series has high power output along with real-time auto calibration for changing conditions (temperature, voltage and acoustic or electrical noise) that ensure you receive the most reliable (in air) ranging data for every reading taken. The XL-MaxSonar-EZ/AE sensors have a low power requirement of 3.3V – 5.5V and operation provides very short to long-range detection and ranging, in a tiny and compact form factor. The MB1200 and MB1300 sensor series detects objects from 0-cm¹ to 765-cm (25.1 feet) or 1068cm (35 feet) (select models) and provide sonar range information from 20-cm² out to 765-cm or 1068-cm (select models) with 1-cm resolution. Objects from 0-cm¹ to 20-cm^{2,3} typically range as 20-cm^{2,3}. The interface output formats included are pulse width output (MB1200 series), real-time analog voltage envelope (MB1300 series), analog voltage output, and serial digital output.

¹ Objects from 0-mm to 1-mm may not be detected. ² For the MB1200/MB1300, MB1210/1310, MB1260/MB1360, and MB1261/MB1361, this distance is 25-cm. ³ Please see Close Range Operation

Features

- High acoustic power output
- Real-time auto calibration and noise rejection for every ranging cycle
- Calibrated beam angle
- Continuously variable gain
- Object detection as close as 1-mm from the sensor
- 3.3V to 5.5V supply with very low average current draw^{6,7}
- Readings can occur up to every 100mS, (10-Hz rate)
- Free run operation can continually measure and output range information
- Triggered operation provides the range reading as desired
- Pulse Width (MB1200 series)
- Real-time analog envelope (MB1300 series)
- All interfaces are active simultaneously
- Sensor operates at 42KHz
- Serial, 0 to Vcc, 9600Baud, 81N
- Analog, (Vcc/1024) / cm⁴
- Analog, (Vcc/1024 / 2cm⁵

Benefits

- Acoustic and electrical noise resistance
- Reliable and stable range data
- Low cost
- Quality controlled beam characteristics
- Very low power ranger, excellent for multiple sensor or battery based systems
- Ranging can be triggered externally or internally
- Sensor reports the range reading directly, frees up user processor
- Fast measurement cycle
- User can choose any of the sensor outputs
- Easy mounting
- No power up calibration required
- Perfect for objects may be directly in front of the sensor during power up

Applications and Uses

- Bin level measurement
- Proximity zone detection
- People detection

- Robot ranging sensor
- Autonomous navigation
- Environments with acoustic and electrical noise
- Multi-sensor arrays
- Distance measuring
- Long range object detection
- Users who prefer to process the analog voltage envelope (MB1300 series)
- -40°C to +65°C operation (+85°C limited operation) (40°C to 0°C recommended operation in environments that are non-frosting, non-condensation, and indoor only)⁷

Notes:

¹ Objects from 0-mm to 1-mm may not be detected.

² For the MB1200/MB1300, MB1210/1310, MB1260/MB1360, and MB1261/MB1361, this distance is 25-cm.

³ Please see Close Range Operation.

⁴ MB1200 through MB1240 and MB1300 through MB1340.

⁵ MB1260, MB1261, MB1360, MB1361.

⁶ See page 2, Pin 6 Vcc Operation.

⁷ Please reference page 4 for minimum operating voltage verses temperature information.

⁸ Please reference page 16 for part number key.

Close Range Operation

Applications requiring 100% reading-to-reading reliability should not use MaxSonar sensors at a distance closer than 20cm. Although most users find MaxSonar sensors to work reliably from 0 to 20cm (25cm select models) for detecting objects in many applications, MaxBotix® Inc. does not guarantee operational reliability for objects closer than the minimum reported distance. Because of ultrasonic physics, these sensors are unable to achieve 100% reliability at close distances.

Warning: Personal Safety Applications

We do not recommend or endorse this product be used as a component in any personal safety applications. This product is not designed, intended or authorized for such use. These sensors and controls do not include the self-checking redundant circuitry needed for such use. Such unauthorized use may create a failure of the MaxBotix® Inc. product which may result in personal injury or death. MaxBotix® Inc. will not be held liable for unauthorized use of this component.

MaxBotix® Inc.

Copyright 2005 - 2016 MaxBotix Incorporated
Patent 7,679,996


MaxBotix Inc., products are engineered and assembled in the USA.

Page 1
Web: www.maxbotix.com
PO11840F

H.5 Sensor Epsilon ES

Nombramiento de característica o parametros	Und. de med.	Valor	Notas
General			
Los valores permitidos de conductividad electrica del combustible controlado, no mayor	Cm/m	10 ⁻⁸	2
La gama de temperatura de funcionamiento	°C	-40...+75	
El nivel de protección de cabeza de medición	IP68		certificado de contra explotación
Medición			
La gama de valores de medición de situación del nivel de combustible controlado	mm	От 10 до 910	1,3,4,5
La capacidad de resolución de medición del nivel de gasóleo en el regimen estatico, no es peor	mm	0,05	6
El error permisible de medición del nivel de combustible en regimen estatico, no es más	mm	0,5	7
El periodo del resultados medios de medición en el regimen dinamico	s	8	
Los códigos de bites que representan el resultado de medición	bit	10/12/16	Nivel (8)
		8	Temperatura
Alimentación			
La tensión de alimentación, la gama de funcionamiento	V	+12 ⁻⁴ ÷ +24 +12	Nominal
		+80	Limite
La corriente de consumo	mA	5,5±0,5	Con12V
		2,5±0,2	Con24V
Régimen de funsionamiento		Durativo	
El influjo permisible de tensión de impulso en circuitos de alimentación		± 200V, 1s ± 1100V, 1ms	9
Interface			
Digital		RS-485	Principal
		RS-232	10
Analógico			11
Los tamaños, masa de conexión			
Resolución del flanje		SAE, 5 agj d=5mm	12
Tipo de talla de sonda		M25×1,5	
El tamaño "para agaradera" de hexaedro de cabeza de medición	mm	36	Según GOST6424
La altura de cabeza de medición sobre la superficie del tanque, incluyendo el flanje, no má	mm	29	13, 14
El peso de sensor, no más	gr	250	4, 14

H.6 Radio Control FrSky 2.4 GHz ACCST TARANIS X9D

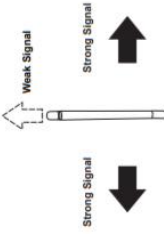


www.frsky-c.com

⚠ Cautions on handling antenna

- ⊘ Do not touch the antenna during operation. There is the danger of erroneous operation causing a crash.
- ⊘ Do not carry the transmitter by the antenna. There is the danger that the antenna wire will break and operation will become impossible.
- ⊘ Do not pull the antenna forcefully. There is the danger that the antenna wire will break and operation will become impossible.

Rotating Antenna




The antenna can be rotated 180 degrees and angled 90 degrees. Forcing the antenna further than this can cause damage to the antenna. The antenna is not removable.

Angle adjustment of the antenna

The antenna rotation and angle can be adjusted. The antenna features weak radio signal in the forward direction and strong radio signal directions. Adjust the antenna angle to match your flying style.

Technical Support: sales@frsky.com



www.frsky-c.com


Specifications

Model Name: Taranis X9D
 Number of Channels: Up to 16 channels
 Operating Voltage Range: 6-15V (2S, 3S, LiPo, are acceptable)
 Operating Current: 260mA maximum (both RF module and backlit are on)
 Operating Temperature: -10-60°C
 Backlight LCD Screen: 212*64, monochrome
 Model Memories: 60 (extendible by SD card)
 Compatibility: FrSky X series, D series and V8-II series receivers

Features

- Quad Ball Bearing Gimbals
- Receiver Match
- Audio Speech Outputs (values, alarms, settings, etc.)
- Antenna Status Detection and Alters
- Real-time Flight Data Logging
- Reception Signal Strength Alerts
- Super Low Latency
- Smart Port Supported

Technical Support: sales@frsky.com



www.frsky-c.com

Introduction

Thank you for purchasing the FrSky 2.4GHz ACCST TARANIS X9D digital telemetry radio system. In order for you to make the best use of your system and to fly safely, please read this manual carefully. If you have any difficulties while using your system, please consult the manual, your hobby dealer, or FrSky technical support.

Due to unforeseen changes in production procedures, the information contained in this manual is subject to change without notice.

Meanings of Special Markings

Pay special attention to safety where indicated by the following marks:

- ⚠ **DANGER**- Procedures which may lead to dangerous conditions and cause death/serious injury if not carried out properly.
- ⚠ **WARNING**- Procedures which may lead to a dangerous condition or cause death or serious injury to the user if not carried out properly or procedures where the probability of superficial injury or physical damage is high.
- ⚠ **CAUTION**- Procedures where the possibility of serious injury to the user is small, but there is a danger of injury, or physical damage, if not carried out properly.

Ⓜ = Mandatory ⊘ = Prohibited

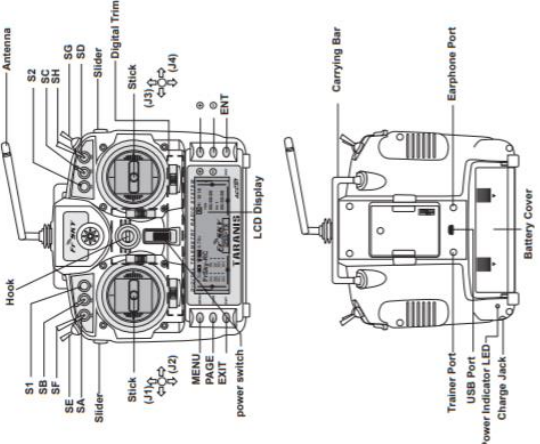
⚠ **Warning:** Always keep electrical components away from small children.

Technical Support: sales@frsky.com

Overview
(Switch Default Settings)

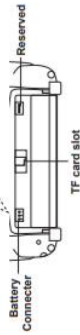
- SA: 3 positions, Alternate; Short Lever
- SB: 3 positions, Alternate; Long Lever
- SC: 3 positions, Alternate; Long Lever
- SD: 3 positions, Alternate; Short Lever
- SE: 3 positions, Alternate; Short Lever
- SF: 2 positions, Alternate; Long Lever
- SG: 3 positions; Alternate; Short lever
- SH: 2 positions, Momentary; Long Lever

You can choose the Switch and the ON/OFF position in the menu of Mixer.



Battery Connector Polarity

Pay attention to the battery connector polarity when connecting other batteries than the provided 600mAh NiMH battery into the battery compartment, otherwise the Taranis X9D could not be powered on.

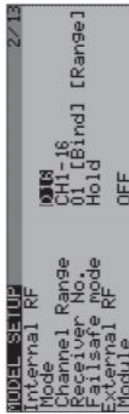


⚠ Notes and Warnings for Battery & Charger

- ⊗ Please connect the provided battery in the battery compartment before use.
- ⊗ The NiMH battery is for your TARANIS X9D use only.
- ⊗ Be sure to use the provided battery charger to charge the battery.
- ⊗ Be careful not to drop the battery.
- ⊗ Don't pull the battery wirings when it short-circuits, there may be danger of explosion ignition.
- ⊗ Never take out the battery from the TARANIS X9D transmitter while the voltage warning is blinking. Internal settings and memories can be destroyed.
- ⊗ Do not use the transmitter if a "Backup Error" warning occurs.
- ⊗ Be sure to turn off the Taranis X9D before power charging.
- ⊗ The Power Indicator LED will be on during charging, and be off after the charging is finished.

Model Setup for Taranis X9D Internal RF Module

The internal RF module of FSKY Taranis X9D is newly developed by FSKY under the name of XJT. Enter the MODEL SETUP menu (refer to the guide from the SD card for details, or download it from FSKY website).



Step 1: Set the Mode for Taranis X9D Internal RF

Refer to the table below and set the Taranis X9D to corresponding mode (D8, D16 or LR12 mode) for your receiver.

Mode of Taranis X9D	Compatible Receivers	Number of Output Channels
D8	V8-II series in D mode (V8FR-II, V8R7-II, V8R4-II, VDSM, etc.) D series (D8R-II plus, D8R-XP, D8FR, D4R-II, etc.)	8 channels
D16	X series (X8R, etc.)	Up to 16 channels
LR12	L series (L8R, etc.)	12 channels

If you want to make full use of old V8 receivers, just plug DJT or V8JT to the external module slot.

Step 2: Set the Channel Range
The internal RF module of Taranis X9D supports up to 16 channels. The channel range is configurable, and needs double check before use.

Step 3: Set the Receiver No.

When you create a new model, the system will assign you a receiver No. automatically. The range of the receiver No. is 00-53. 01 is the default receiver No. and 00 is not recommended here. Once the receiver is set to your required receiver number and finishes the binding procedure with Taranis X9D, the binding procedure will not need to be repeated next time, unless the receiver number is changed to another different number. In this case, you need to either set the receiver number to the previous one, or do the binding procedure again.

Step 4: Bind

Bind refers to Taranis X9D binding mode. Move the cursor to "Bind", press ENTER button, the cursor will flash and the speaker will beep to remind you that the RF module has entered the bind mode. Then put your receiver into binding mode and finish the bind procedure (refer to the receiver's manual for details). Press ENTER or EXIT to exit.

Step 5: Set Failsafe mode

- There are 3 failsafe modes: No Pulse, Hold, Custom.
- No Pulse: no pulses output on lost signal, just choose, wait 9 seconds before the failsafe takes effect, and you are done.
 - Hold: hold the last positions before signal is lost, just choose, wait 9 seconds before the failsafe takes effect, and you are done.
 - Custom: pre-set to required positions on lost signal. Move the cursor to "Set" and press ENTER, you will see FAILSAFE SETTING screen below. Move the cursor to the channel you want to set failsafe on, and press ENTER. When moving the corresponding sticks or switches, you will see the channel bar moving. Move the channel bar to the place you want for failsafe and long press ENTER to finish the setting. Wait 9 seconds before the failsafe takes effect.

Notice:

- SBUS port always outputs, No Pulse could not perform properly on it. Set "Hold" or "Custom" for SBUS port.
- When the internal RF module of Taranis X9D is in D8 mode, failsafe could only be set on the receiver side.



Step 6: Range

Range refers to Taranis X9D range check mode. A pre-flight range check should be done before each flying session. Move the cursor to "Range" and press ENTER. In range check mode, the effective distance will be decreased to 1/30. Press ENTER or EXIT to exit.

Model Setup for Taranis X9D External RF Module



The external RF module could be powered on or off by software. The setup is the same as that for the internal RF. If you use other brand RF module than FSKY, please choose PPM mode.

H.7 Pixhawk



Pixhawk is an advanced autopilot system designed by the PX4 open-hardware project and manufactured by 3D Robotics. It features advanced processor and sensor technology from ST Microelectronics® and a NuttX real-time operating system, delivering incredible performance, flexibility, and reliability for controlling any autonomous vehicle.

The benefits of the Pixhawk system include integrated multithreading, a Unix/Linux-like programming environment, completely new autopilot functions such as Lua scripting of missions and flight behavior, and a custom PX4 driver layer ensuring tight timing across all processes. These advanced capabilities ensure that there are no limitations to your autonomous vehicle. Pixhawk allows existing APM and PX4 operators to seamlessly transition to this system and lowers the barriers to entry for new users to participate in the exciting world of autonomous vehicles.

The flagship Pixhawk module will be accompanied by new peripheral options, including a digital airspeed sensor, support for an external multi-color LED indicator and an external magnetometer. All peripherals are automatically detected and configured.

Features

- Advanced 32 bit ARM Cortex® M4 Processor running NuttX RTOS
- 14 PWM/servo outputs (8 with failsafe and manual override, 6 auxiliary, high-power compatible)
- Abundant connectivity options for additional peripherals (UART, I2C, CAN)
- Integrated backup system for in-flight recovery and manual override with dedicated processor and stand-alone power supply
- Backup system integrates mixing, providing consistent autopilot and manual override mixing modes
- Redundant power supply inputs and automatic failover
- External safety button for easy motor activation

- Multicolor LED indicator
- High-power, multi-tone piezo audio indicator
- microSD card for long-time high-rate logging

Specifications

Microprocessor

- 32 bit STM32F427 Cortex M4 core with FPU
- 168 MHz/256 KB RAM/2 MB Flash
- 32 bit STM32F103 failsafe co-processor

Sensors

- ST Micro L3GD20H 16 bit gyroscope
- ST Micro LSM303D 14 bit accelerometer / magnetometer
- MEAS MS5611 barometer

Interfaces

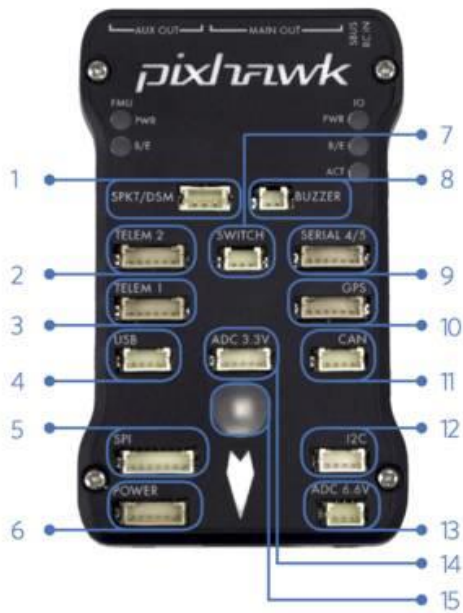
- 5x UART (serial ports), one high-power capable, 2x with HW flow control
- 2x CAN
- Spektrum DSM / DSM2 / DSM-X® Satellite compatible input
- Futaba S.BUS® compatible input and output
- PPM sum signal
- RSSI (PWM or voltage) input
- I2C®
- SPI
- 3.3 and 6.6V ADC inputs
- External microUSB port

Power System

- Ideal diode controller with automatic failover
- Servo rail high-power (7 V) and high-current ready
- All peripheral outputs over-current protected, all inputs ESD protected

Weight and Dimensions

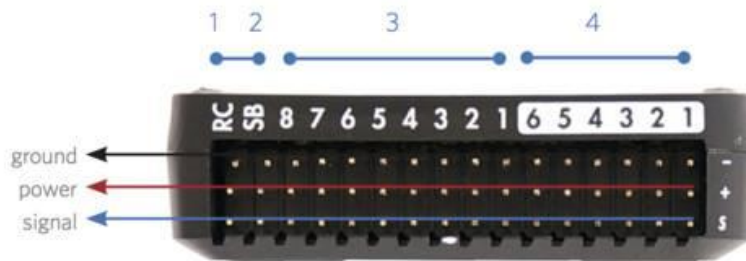
- Weight: 38g (1.31oz)
- Width: 50mm (1.96")
- Thickness: 15.5mm (.613")
- Length: 81.5mm (3.21")



- 1 Spektrum DSM receiver
- 2 Telemetry (on-screen display)
- 3 Telemetry (radio telemetry)
- 4 USB
- 5 SPI (serial peripheral interface) bus
- 6 Power module
- 7 Safety switch button
- 8 Buzzer
- 9 Serial
- 10 GPS module
- 11 CAN (controller area network) bus
- 12 I2C splitter or compass module
- 13 Analog to digital converter 6.6 V
- 14 Analog to digital converter 3.3 V
- 15 LED indicator



- 1 Input/output reset button
- 2 SD card
- 3 Flight management reset button
- 4 Micro-USB port



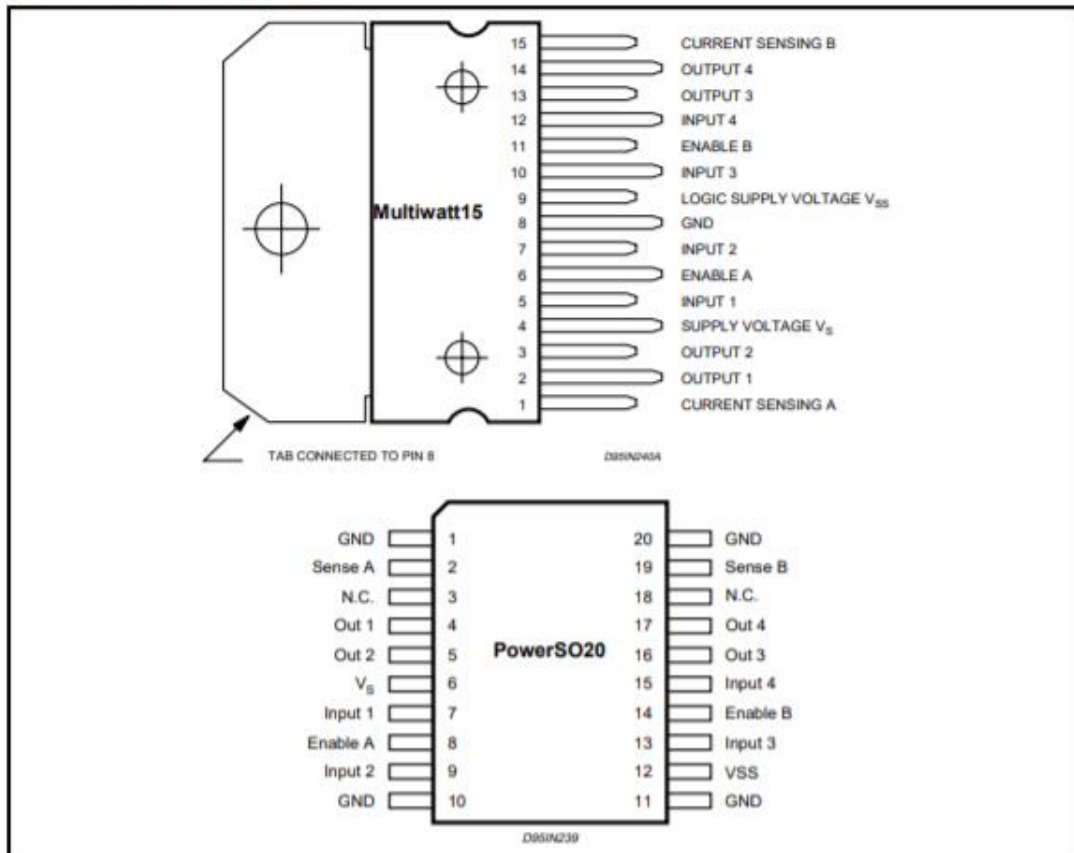
- 1 Radio control receiver input
- 2 S.Bus output
- 3 Main outputs
- 4 Auxiliary outputs

H.8 L298N

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_S	Power Supply	50	V
V_{SS}	Logic Supply Voltage	7	V
V_i, V_{en}	Input and Enable Voltage	-0.3 to 7	V
I_O	Peak Output Current (each Channel)		
	- Non Repetitive ($t = 100\mu s$)	3	A
	- Repetitive (80% on -20% off; $t_{on} = 10ms$)	2.5	A
	-DC Operation	2	A
V_{sens}	Sensing Voltage	-1 to 2.3	V
P_{tot}	Total Power Dissipation ($T_{case} = 75^\circ C$)	25	W
T_{op}	Junction Operating Temperature	-25 to 130	$^\circ C$
T_{stg}, T_j	Storage and Junction Temperature	-40 to 150	$^\circ C$

PIN CONNECTIONS (top view)



THERMAL DATA

Symbol	Parameter		PowerSO20	Multiwatt15	Unit
$R_{\theta j-case}$	Thermal Resistance Junction-case	Max.	-	3	$^\circ C/W$
$R_{\theta j-amb}$	Thermal Resistance Junction-ambient	Max.	13 (*)	35	$^\circ C/W$

(*) Mounted on aluminum substrate

PIN FUNCTIONS (refer to the block diagram)

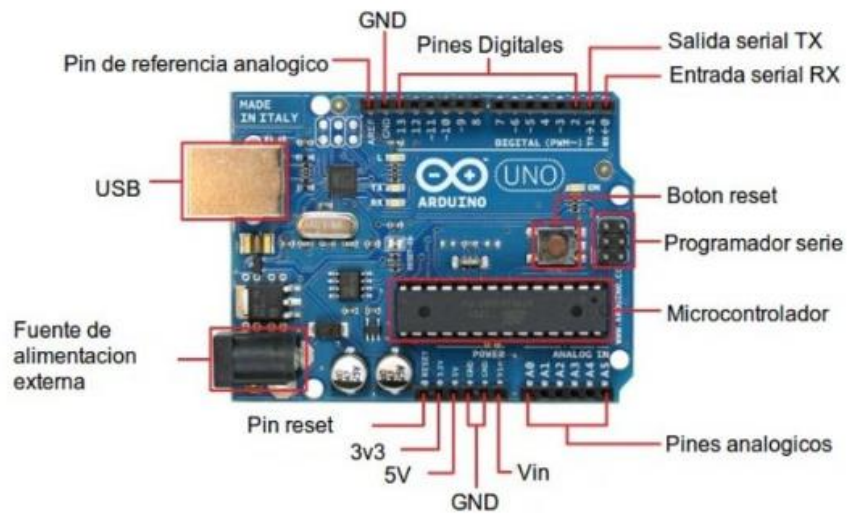
MW.15	PowerSO	Name	Function
1;15	2;19	Sense A; Sense B	Between this pin and ground is connected the sense resistor to control the current of the load.
2;3	4;5	Out 1; Out 2	Outputs of the Bridge A; the current that flows through the load connected between these two pins is monitored at pin 1.
4	6	V _S	Supply Voltage for the Power Output Stages. A non-inductive 100nF capacitor must be connected between this pin and ground.
5;7	7;9	Input 1; Input 2	TTL Compatible Inputs of the Bridge A.
6;11	8;14	Enable A; Enable B	TTL Compatible Enable Input: the L state disables the bridge A (enable A) and/or the bridge B (enable B).
8	1,10,11,20	GND	Ground.
9	12	V _{SS}	Supply Voltage for the Logic Blocks. A100nF capacitor must be connected between this pin and ground.
10; 12	13;15	Input 3; Input 4	TTL Compatible Inputs of the Bridge B.
13; 14	16;17	Out 3; Out 4	Outputs of the Bridge B. The current that flows through the load connected between these two pins is monitored at pin 15.
-	3;18	N.C.	Not Connected

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_S = 42V; V_{SS} = 5V, T_J = 25°C; unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V _S	Supply Voltage (pin 4)	Operative Condition	V _{HI} +2.5		46	V
V _{SS}	Logic Supply Voltage (pin 9)		4.5	5	7	V
I _S	Quiescent Supply Current (pin 4)	V _{en} = H; I _L = 0 V _I = L V _I = H		13 50	22 70	mA mA
		V _{en} = L V _I = X			4	mA
I _{SS}	Quiescent Current from V _{SS} (pin 9)	V _{en} = H; I _L = 0 V _I = L V _I = H		24 7	36 12	mA mA
		V _{en} = L V _I = X			6	mA
V _{IL}	Input Low Voltage (pins 5, 7, 10, 12)		-0.3		1.5	V
V _{IH}	Input High Voltage (pins 5, 7, 10, 12)		2.3		V _{SS}	V
I _{IL}	Low Voltage Input Current (pins 5, 7, 10, 12)	V _I = L			-10	μA
I _{IH}	High Voltage Input Current (pins 5, 7, 10, 12)	V _I = H ≤ V _{SS} - 0.6V		30	100	μA
V _{en} = L	Enable Low Voltage (pins 6, 11)		-0.3		1.5	V
V _{en} = H	Enable High Voltage (pins 6, 11)		2.3		V _{SS}	V
I _{en} = L	Low Voltage Enable Current (pins 6, 11)	V _{en} = L			-10	μA
I _{en} = H	High Voltage Enable Current (pins 6, 11)	V _{en} = H ≤ V _{SS} - 0.6V		30	100	μA
V _{CEsat} (H)	Source Saturation Voltage	I _L = 1A I _L = 2A	0.95	1.35 2	1.7 2.7	V V
V _{CEsat} (L)	Sink Saturation Voltage	I _L = 1A (5) I _L = 2A (5)	0.85	1.2 1.7	1.6 2.3	V V
V _{CEsat}	Total Drop	I _L = 1A (5) I _L = 2A (5)	1.80		3.2 4.9	V V
V _{sens}	Sensing Voltage (pins 1, 15)		-1 (1)		2	V

H.9 Arduino UNO

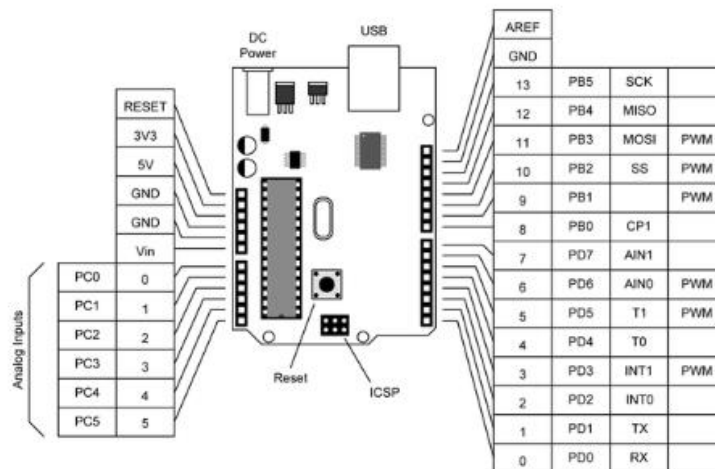
• Microcontrolador	ATmega328P
• Tensión de funcionamiento	5V
• Voltaje de entrada (recomendado)	7-12V
• Voltaje de entrada (límite)	6-20V
• Digital pines I/O	14 (de los cuales 6 proporcionan una salida PWM)
• PWM digital pines I/O	6
• Pines de entrada analógica	6
• Corriente DC por Pin I/O	20mA
• Corriente DC para Pin 3.3V	60mA
• Memoria flash por el gestor de	32KB ATmega328P de los que 0,5 KB son utilizados arranque.
• SRAM	2KB ATmega328P
• EEPROM	1KB ATmega328P
• Velocidad de reloj	16 MHz
• Longitud	68,6 mm
• Anchura	53,4 mm
• Peso	25 g



La placa electrónica Arduino Uno R3 puede ser alimentada de varias formas, con un cable USB conectado al ordenador o con una fuente externa.

Arduino cuenta con un zócalo donde se conecta un Jack de 2,1mm para conectar un adaptador que se encuentre entre los rangos de 7 - 12v que es la tensión recomendada.



La placa cuenta con un conector USB tipo-B para conectarlo al ordenador con el cual podemos programarlo y a su vez alimentarlo.



ANEXO I

Cotizaciones de impresiones y manufactura en 3D

I.1 Cotización de estructuras en ABS

	VICERRECTORADO ADMINISTRATIVO SALA DE MANUFACTURA DIGITAL VEO 3D		PUCP				
FORMATO DE COTIZACIÓN		ORDEN N°					
		FECHA	14/11/2018				
DATOS DEL CLIENTE	ESTIMADO (A)	Brian Mori					
	RUC DNI CÓDIGO PUCP						
	CORREO ELECTRÓNICO	a20112238@pucp.pe					
	DIRECCIÓN						
DATOS DE SERVICIO	<small>NOMBRE DE PIEZA O ARCHIVO: Nombre de la pieza o el archivo a cotizar. CANTIDAD: Número de copias de archivo o pieza. IMPRESORA: Impresora utilizada para la cotización. MATERIAL: Tipo de material escogido para la cotización. COLOR: Color disponible para la impresión.</small>						
	NOMBRE DE PIEZA NOMBRE DE ARCHIVO	CANTIDAD	IMPRESORA	MATERIAL	COLOR	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
	Servicio de Impresión 3D						
	Partes Drone	1	Fortus	ABS		S/. 1,500.0	S/. 1,500
Servicio de Diseño							
SUB TOTAL						S/. 1,500	
IGV 18%						S/. 270	
TOTAL						S/. 1,770	
DATOS DE ENTREGA	TIEMPO DE ENTREGA REFERENCIAL	días útiles después de emitida la boleta o factura de pago.					
	VIGENCIA DE COTIZACIÓN	30 días.					
DATOS DE CONTACTO		PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ Av. Universitaria 3801, San Miguel, Lima 32, Perú (+511) 626 2000 Anexo 3945 Correo: veo.3d@pucp.pe Web: http://www.pucp.edu.pe/veo					

I.1.1 Ficha técnica del material



ABS-M30™ is up to 25 to 70 percent stronger than standard ABS and is an ideal material for conceptual modeling, functional prototyping, manufacturing tools and production parts. ABS-M30 has greater tensile, impact and flexural strength than standard ABS. Layer bonding is significantly stronger than that of standard ABS, for a more durable part. This results in more realistic functional tests and higher quality parts for end use. ABS-M30 parts are stronger, smoother and have better feature detail. ABS-M30 runs the Xtend 500 Fortus Plus option, which enables more than 400 hours of unattended build time.

MECHANICAL PROPERTIES ¹	TEST METHOD	ENGLISH		METRIC	
		XZ Axis	ZX Axis	XZ Axis	ZX Axis
Tensile Strength, Yield (Type 1, 0.125", 0.2"/min)	ASTM D638	4,550 psi	3,750 psi	31 MPa	26 MPa
Tensile Strength, Ultimate (Type 1, 0.125", 0.2"/min)	ASTM D638	4,650 psi	4,050 psi	32 MPa	28 MPa
Tensile Modulus (Type 1, 0.125", 0.2"/min)	ASTM D638	320,000 psi	310,000 psi	2,230 MPa	2,180 MPa
Tensile Elongation at Break (Type 1, 0.125", 0.2"/min)	ASTM D638	7%	2%	7%	2%
Tensile Elongation at Yield (Type 1, 0.125", 0.2"/min)	ASTM D638	2%	1%	2%	1%
Flexural Strength (Method 1, 0.05"/min)	ASTM D790	8,700 psi	7,000 psi	60 MPa	48 MPa
Flexural Modulus (Method 1, 0.05"/min)	ASTM D790	300,000 psi	250,000 psi	2,060 MPa	1,760 MPa
Flexural Strain at Break (Method 1, 0.05"/min)	ASTM D790	4%	3.5%	4%	3.5%

MECHANICAL PROPERTIES	TEST METHOD	ENGLISH	METRIC
		XZ Axis	XZ Axis
IZOD Impact, notched (Method A, 23°C)	ASTM D256	2.4 ft-lb/in	128 J/m
IZOD Impact, un-notched (Method A, 23°C)	ASTM D256	5.6 ft-lb/in	300 J/m



THERMAL PROPERTIES ²	TEST METHOD	ENGLISH	METRIC
Heat Deflection (HDT) @ 66 psi, 0.125" unannealed	ASTM D648	204°F	96°C
Heat Deflection (HDT) @ 264 psi, 0.125" unannealed	ASTM D648	180°F	82°C
Vicat Softening Temperature (Rate B/50)	ASTM D1525	210°F	99°C
Glass Transition (T _g)	DMA (SSYS)	226°F	108°C
Coefficient of Thermal Expansion (flow)	ASTM E831	4.90x10 ⁻⁶ in/in/°F	8.82x10 ⁻⁶ mm/mm/°C
Coefficient of Thermal Expansion (xflow)	ASTM E831	4.70x10 ⁻⁶ in/in/°F	8.46x10 ⁻⁶ mm/mm/°C
Melting Point	-----	Not Applicable ³	Not Applicable ³

STRATASYS.COM

stratasys

A GLOBAL LEADER IN APPLIED ADDITIVE TECHNOLOGY SOLUTIONS

I.2 Cotización de estructuras en fibra de carbono



Brian Ernesto Mori Virhuez <brianmori.v@gmail.com>

Cotización en fibra de carbono

Impresion 3D Morelia <impresiones3dmorelia@gmail.com>
Para: brianmori.v@gmail.com

Soporte de motor dc \$1000 fibra de carbono 600 filamento normal
soporte de motor 4900 fibra de carbono \$3500 filamento normal
soporte servomotor \$2800 fibra de carbono \$1700 filamento normal

I.2.1 Ficha técnica del material

Propiedad Mecánica	Valor fisico	Método de texto
Fuerza de impacto	29 KJ/m ²	ISO 180/A
Fuerza de tensión	36 Mpa	ISO 527
Modulo de tensión	1860 Mpa	ISO 527
Enlogación en	9 %)	ISO 527
Resistencia a flexion	± 65,7 Mpa	
Frexural modulo	± 2148 Mpa	ISO 2039-1

Propiedades térmicas	Valor fisico	Método de texto
Temperatura impresión	± 220- 270°	
Temperatura de fusión	± 1450 ± 10°	ISO 294
Reblandecimiento	± 92° C	ISO 306

