

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



**DISEÑO DE UN DRONE PARA MAPEO DE ZONAS VULNERABLES  
A DESASTRES NATURALES MEDIANTE USO DE SENSOR DE  
LIDAR**

**Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Mecatrónico**

**AUTOR**

Julio Paul Ryan Avalos Villa

**ASESOR:**

Mónica Lucia Abarca Abarca

Lima, Febrero, 2022

## RESUMEN

Los últimos desastres naturales han mostrado qué tan vulnerable es el Perú, prueba de ello son los números a nivel nacional del impacto que tuvo el fenómeno del Niño Costero en el 2017: 138 personas fallecidas, 1 782 316 personas entre afectadas y damnificadas, 413 983 viviendas entre destruidas y afectadas, 234 51 kilómetros de carretera entre destruida y afectada, y 131 611 hectáreas de cultivo entre destruidas y afectadas, y todo ello pudo evitarse, o en su defecto reducir su impacto teniendo una adecuada gestión de riesgos y política de prevención. La presente tesis consiste en el diseño de un drone con un sensor LiDAR acoplado, el cual permitiría escanear zonas de interés y de difícil acceso para un topógrafo y obtener una nube de puntos, mediante la cual se puedan realizar simulaciones de desastres naturales, y así cuantificar posibles daños e identificar rutas y zonas seguras.

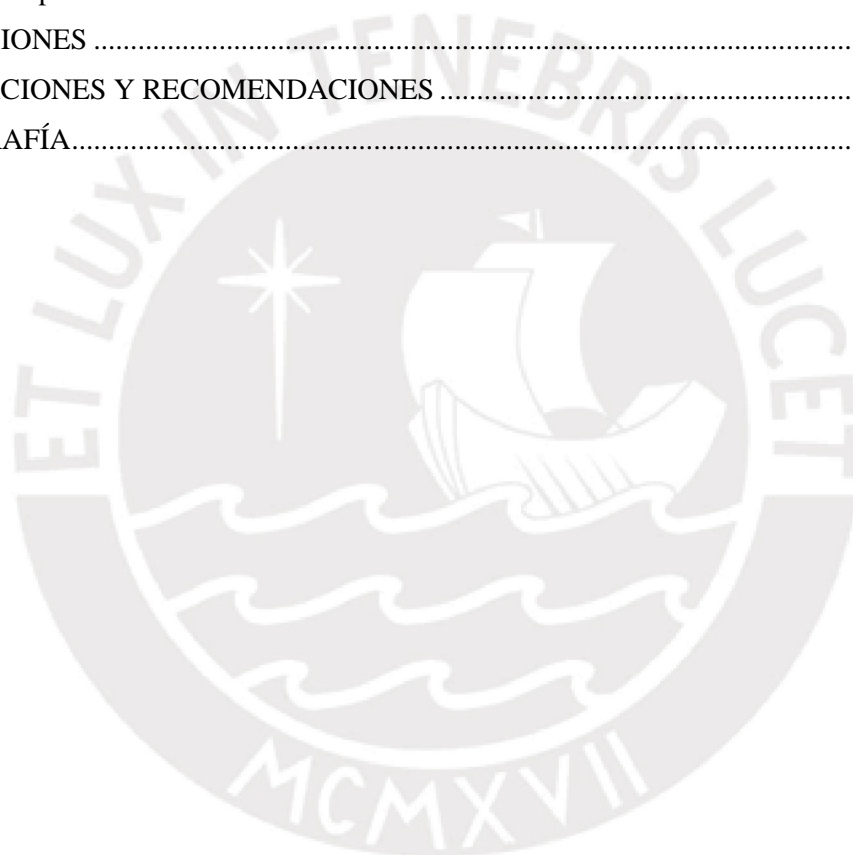
La presente tesis tiene como objetivo general el diseño de un drone que pueda llevar como carga útil un sensor LiDAR y los componentes necesarios para su funcionamiento. Ello involucra realizar previamente una investigación acerca de cómo funciona tanto el drone como el LiDAR, además de sistemas que se puedan encontrar en el mercado, para luego empezar con la selección de componentes y el diseño propiamente dicho, tanto mecánico, electrónico y de control, y ello implica realizar cálculos y simulaciones, que fueron objetivos específicos de la tesis.

El sistema diseñado permite la adquisición de datos de un terreno en forma de una nube de puntos mediante el uso del sensor LiDAR, además de que este sistema puede ser usado de forma manual o de forma autónoma, tiene una duración de 20.9 minutos, soporta vientos de hasta 7m/s y podrá ser monitoreado desde una estación en tierra, como una laptop, caracterizándose por ser de bajo costo en comparación a los modelos comerciales que existen en la actualidad.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN.....	i
LISTA DE FIGURAS .....	iv
GLOSARIO.....	viii
1. ANTECEDENTES AL DISEÑO.....	3
1.1. Problemática.....	3
1.2. Objetivos .....	5
1.3. Alcance.....	6
1.4. Lista de requerimientos .....	6
2. ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE.....	8
2.1. Antecedentes .....	8
2.1.1. Drones en la topografía .....	9
2.1.2. LiDAR vs Fotogrametría.....	10
2.1.3. Drones con LiDAR comerciales.....	11
2.1.4. Drones con LiDAR en investigación.....	14
2.2. Estado del arte .....	18
2.2.1. Drones .....	18
2.2.2. Sensores LiDAR.....	27
2.2.3. Dispositivos integrados compactos con LiDAR .....	30
3. DISEÑO CONCEPTUAL.....	32
3.1. Estructura de funciones .....	32
3.1.1. Blackbox.....	32
3.1.2. Lista de funciones.....	33
3.2. Matriz morfológica.....	35
3.3. Concepto de solución óptimo .....	35
4. DISEÑO DEL SISTEMA MECATRÓNICO .....	38
4.1. Integración del sistema mecatrónico .....	38
4.2. Funcionamiento del sistema mecatrónico .....	39
4.3. Diseño electrónico.....	40
4.3.1. Selección de componentes electrónicos sistema LiDAR .....	40
4.3.2. Selección de componentes electrónicos del Drone .....	47
4.3.3. Diagramas esquemáticos .....	60
4.4. Diseño mecánico .....	67
4.4.1. Análisis de resistencia de brazos del drone .....	67
4.4.2. Análisis de resistencia de tren de aterrizaje.....	74
4.4.3. Análisis de resistencia de sujetador de Sistema LiDAR .....	75

4.4.4.	Análisis de vibraciones y frecuencias modales de brazos .....	77
4.4.5.	Lista de planos mecánicos.....	79
4.5.	Diseño de control .....	80
4.5.1.	Diagramas de flujo .....	80
4.5.2.	Interfaz de usuario.....	84
4.5.3.	Estrategia de control del dron.....	87
5.	COSTOS DEL SISTEMA.....	89
5.1.	Costos componentes electrónicos.....	89
5.2.	Costos componentes mecánicos y de fabricación .....	90
5.3.	Costo total .....	92
5.4.	Comparación con otras alternativas .....	93
	CONCLUSIONES .....	94
	OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES .....	95
	BIBLIOGRAFÍA.....	97





## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1. Consecuencias del fenómeno del niño en la ciudad de Trujillo: .....	4
Figura 2.1. Equipo de topografía convencional .....	9
Figura 2.2. Drone con cámara.....	10
Figura 2.3. Drone con LiDAR .....	10
Figura 2.4. Tron VTOL con el LiDAR montado: a) Ensamble de TRON VTOL con el LiDAR, b) Ubicación de sensor LiDAR dentro de Tron VTOL, c) YellowScan Surveyor Ultra.....	12
Figura 2.5. DJI M210 con sensor LiDAR acoplado.....	13
Figura 2.6. Soporte de LiDAR: a) Montaje de soporte para LiDAR, cámara e IMU, b) Vistas de soporte.....	14
Figura 2.7. Vista isométrica del drone con LiDAR en tierra .....	15
Figura 2.8. Imágenes del drone diseñado para investigación y diagrama general de conexiones.....	15
Figura 2.9. HMD utilizado para visualizar la nube de puntos (PCD) .....	16
Figura 2.10. Drone DJI Matrice 100 usado para la investigación.....	17
Figura 2.11. Planta virtual de tratamiento de agua usado para la investigación .....	18
Figura 2.12. Partes comunes en un drone .....	19
Figura 2.13. Tipos de drones de ala fija:.....	20
Figura 2.14. Movimiento en un drone de ala fija: a) Movimiento Roll, b) Movimiento Yaw, c) Movimiento Pitch .....	25
Figura 2.15. Tipos de drones multirrotores .....	26
Figura 2.16. Movimiento en un dron multirrotores: a) Movimiento vertical, b) Movimiento Pitch, c) Movimiento Roll, d) Movimiento Yaw .....	26
Figura 2.17. Drone híbrido.....	27
Figura 2.18. Principio de funcionamiento de sensor LiDAR y componentes necesarios para su uso en un UAV.....	28
Figura 3.1 Blackbox del sistema .....	33
Figura 3.2. Estructura de funciones .....	34
Figura 3.3. Concepto de solución óptimo .....	37
Figura 4.1. Integración del sistema mecatrónico .....	39
Figura 4.2. Diagrama de bloques de sistema LiDAR.....	40
Figura 4.3. Módulo WiFi 4 .....	44
Figura 4.4. Curva Eficiencia vs Corriente de salida del regulador de voltaje UBEC DUO.....	45
Figura 4.5. Diagrama de bloques de componentes electrónicos del drone .....	47
Figura 4.6. Diagrama esquemático del controlador de vuelo.....	61
Figura 4.7. Diagrama esquemático del GPS del drone .....	62
Figura 4.8. Diagrama esquemático del módulo de telemetría del drone.....	62
Figura 4.9. Diagrama esquemático del receptor de RF del drone .....	63

Figura 4.10. Diagrama esquemático de los ESCs del drone .....	63
Figura 4.11. Diagrama esquemático del sensor LiDAR .....	64
Figura 4.12. Diagrama esquemático de la placa OdroidXU4 .....	65
Figura 4.13. Diagrama esquemático de: a)las baterías LiPo, b)conectores XT60 .....	65
Figura 4.14. Diagrama esquemático de los motores brushless .....	66
Figura 4.15. Diagrama esquemático del módulo GPS del sistema LiDAR .....	66
Figura 4.16. Diagrama esquemático de los reguladores de voltaje .....	67
Figura 4.17. Diagrama de cuerpo libre de brazo del drone con motor a máxima potencia.....	68
Figura 4.18. Diagrama de fuerza cortante del brazo del drone con motor a máxima potencia .....	68
Figura 4.19. Diagrama de momento flector del brazo del drone con motor a máxima potencia .....	68
Figura 4.20. Restricciones y fuerzas actuando en el brazo del drone para la simulación .....	70
Figura 4.21. Resultados de desplazamiento en la simulación .....	70
Figura 4.22. Resultados de simulación de abrazadera: a)Desplazamiento, b)Esfuerzo equivalente Von Mises, c)Factor de seguridad .....	71
Figura 4.23. Diagrama de cuerpo libre de drone sostenido por 2 brazos .....	72
Figura 4.24. Diagrama de fuerza cortante del drone sostenido por 2 brazos .....	72
Figura 4.25. Diagrama de momento flector del drone sostenido por 2 brazos.....	73
Figura 4.26. Resultados de simulación del tren de aterrizaje: a)Esfuerzo equivalente de Von Mises, b)Desplazamiento, c)Factor de seguridad.....	75
Figura 4.27. Sujetador del sistema LiDAR.....	76
Figura 4.28. Diagrama de cuerpo libre del sistema LiDAR.....	76
Figura 4.29. Resultados de simulación de sujetador de policarbonato: a)Esfuerzo equivalente de Von Mises, b)Desplazamiento, c)Factor de seguridad .....	77
Figura 4.30. Análisis modal del brazo: a)1er Modo, b)2do Modo, c)3er Modo, d)4to Modo, e)5to Modo.....	78
Figura 4.31. Diagramas de flujo: a)preconfiguración del Sistema LiDAR, b)preconfiguración del drone .....	81
Figura 4.32. Diagramas de flujo: a)Sistema LiDAR, b)Función registrar datos del sistema LiDAR .	82
Figura 4.33. Diagrama de flujo del funcionamiento del drone .....	83
Figura 4.34. Vista inicial de Mission Planner.....	84
Figura 4.35. Conexión de Mission Planner con la PC .....	85
Figura 4.36. Parámetros observados en la pantalla “Flight Data” de Mission Planner.....	85
Figura 4.37. Activación de gráficos en la pantalla “Flight Data” de Mission Planner.....	86
Figura 4.38. Opciones del menú “Tuning” en la pantalla “Flight Data” de Mission Planner.....	86
Figura 4.39. Gráficos activados en la pantalla “Flight Data” de Mission Planner.....	87
Figura 4.40. Estrategia de control de vuelo del drone.....	88

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2.1. Tabla comparativa entre el uso de LiDAR y fotogrametría con drones.....	11
Tabla 2.2. Tabla comparativa de drones con sistema LiDAR comerciales.....	13
Tabla 2.3. Tabla comparativa de sensores Velodyne LiDAR .....	29
Tabla 2.4. Tabla comparativa de versiones del sensor OS-1 de Ouster .....	30
Tabla 2.5. Tabla comparativa de dispositivos integrados con Lidar de YellowScan.....	31
Tabla 4.1. Presupuesto dado por el cliente.....	39
Tabla 4.2. Tabla comparativa de sensores LiDAR.....	41
Tabla 4.3. Tabla comparativa de módulos GPS para el sistema LiDAR .....	42
Tabla 4.4. Tabla comparativa de SBC.....	43
Tabla 4.5. Tabla comparativa de reguladores de voltaje.....	44
Tabla 4.6. Energía consumida por los componentes electrónicos del sistema LiDAR .....	45
Tabla 4.7. Especificaciones de batería LiPo 2800mAh 6S .....	46
Tabla 4.8. Tabla resumen de los componentes seleccionados para el sistema LiDAR .....	47
Tabla 4.9. Tabla comparativa de placas controladoras de vuelo.....	48
Tabla 4.10. Especificaciones de Tarjeta de Distribución de Potencia Kore.....	49
Tabla 4.11 Tabla comparativa de módulos GPS para el drone .....	50
Tabla 4.12. Tabla comparativa de receptores RF.....	51
Tabla 4.13. Tabla comparativa de módulos de telemetría RF.....	52
Tabla 4.14. Tabla resumen de pesos estimados de los componentes del drone .....	53
Tabla 4.15. Tabla comparativa de motores brushless T-Motor.....	54
Tabla 4.16. Energía específica de baterías MaxAmps .....	55
Tabla 4.17. Pesos y fórmulas de la corriente de consumo en función del empuje .....	56
Tabla 4.18. Tabla comparativa de corriente de consumo y tiempo de vuelo de los motores brushless.....	57
Tabla 4.19. Especificaciones de motor brushless MN501S KV360 .....	58
Tabla 4.20. Especificaciones de hélices MF1806 .....	58
Tabla 4.21. Tabla comparativa de ESC.....	58
Tabla 4.22. Energía consumida por los componentes electrónicos del drone.....	59
Tabla 4.23. Especificaciones de baterías LiPo 6S.....	60
Tabla 4.24. Frecuencias armónicas halladas mediante simulación .....	79
Tabla 4.25. Lista de planos.....	79
Tabla 5.1. Costos de componentes electrónicos del drone.....	89
Tabla 5.2. Costos de componentes electrónicos del sistema LiDAR.....	90
Tabla 5.3. Costos de componentes mecánicos del drone y del sistema LiDAR .....	90

Tabla 5.4. Costos de diseño y fabricación.....	92
Tabla 5.5. Costo total del sistema mecatrónico.....	92
Tabla 5.6. Tabla comparativa de la solución diseñada con otras soluciones comerciales .....	93



## **GLOSARIO**

AGL: Above Ground Level (sobre el nivel del suelo)

ESC: Electronic Speed Control (controlador de velocidad electrónico)

Fixed-wing: ala fija (alta velocidad, rango y resistencia)

FoV: Field Of View (campo de visión)

GNSS: Global Navigation Satellite Systems

GPS: Global Positioning System (sistema de posicionamiento global)

IMU: Inertial Measurement Unit (unidad de medición inercial)

LIDAR: Laser Imaging Detection And Ranging

PCL: Point Cloud Library

PDB: Power Distribution Board (placa distribuidora de potencia)

PPS: Pulse Per Second (pulso por segundo)

RF: Radio Frecuencia

ROS: Robot Operating System

SBC: Single Board Computer (ordenador de placa reducida)

SPI: Serial Peripheral Interface-bus

UAV: Unmanned Aerial Vehicle (vehículo aéreo no tripulado)

UTC: Universal Time Coordinated (tiempo universal coordinado)

UTM: Universal Transverse Mercator (sistema de coordenadas universal transversal de Mercator).

VTOL: Vertical Take-Off and Landing

Wingspan: medida de ala a ala

## INTRODUCCIÓN

Los últimos desastres naturales han mostrado qué tan vulnerable es el Perú, prueba de ello son los números a nivel nacional del impacto que tuvo el fenómeno del Niño Costero en el 2017 según INDECI: 138 personas fallecidas, 1 782 316 personas entre afectadas y damnificadas, 413 983 viviendas entre destruidas y afectadas, 234 51 kilómetros de carretera entre destruida y afectada, y 131 611 hectáreas de cultivo entre destruidas y afectadas [1], y todo ello pudo evitarse, o en su defecto reducir su impacto teniendo una adecuada gestión de riesgos y política de prevención. La presente tesis consiste en el diseño de un drone con un sensor LiDAR acoplado, el cual permitiría escanear zonas de interés y de difícil acceso para un topógrafo y obtener una nube de puntos, mediante la cual se puedan realizar simulaciones de desastres naturales, y así cuantificar posibles daños e identificar rutas y zonas seguras.

El capítulo 1 muestra los antecedentes al diseño, lo cual engloba la problemática que se busca resolver, los objetivos que se plantean alcanzar durante el desarrollo, además del alcance de la tesis y la lista de requerimientos.

El capítulo 2 presenta los antecedentes de la tesis, refiriéndose al uso que se hace de los drones en la topografía, y los métodos que se utilizan para dicha tarea, como son la fotogrametría y el escaneo de terreno mediante el sensor LiDAR, además de modelos comerciales y para investigación de drones con LiDAR. Con respecto a estado del arte, se refiere a la definición de drone, sus tipos, además de explicar lo que es un sensor LiDAR y cómo funciona con un drone.

En el capítulo 3 se desarrollarán la estructura de funciones, matriz morfológica y se formularán conceptos de solución, los cuales conllevarán a la elección de una solución, seleccionada en base a consideraciones técnicas y económicas.

En el capítulo 4 se presenta el desarrollo del sistema mecatrónico. Primero se mostrará el sistema completo resultado de integrar la parte mecánica, electrónica y de control, y se describirá el funcionamiento del sistema total. Luego, se presentará el diseño electrónico, que abarca selección de componentes y como se relacionan; el diseño mecánico, que abarcará análisis de partes críticas del dron, y finalmente el diseño de control, que abarcará los diagramas de flujo del funcionamiento del sistema, así como la estrategia de control para el vuelo del dron.

El capítulo 5 muestra los costos del sistema dron con LiDAR, los que se dividirán en costos de los componentes electrónicos, y costos de componentes mecánicos, sea por compra directa o por fabricación.

Finalmente, se presentarán las conclusiones del sistema mecatrónico desarrollado, además de recomendaciones y observaciones que surgieron durante el desarrollo que pueden tomarse en cuenta para trabajos futuros.





## **CAPÍTULO 1**

### **ANTECEDENTES AL DISEÑO**

En este capítulo se abordará la problemática que plantea resolver la presente tesis, así como los objetivos planteados a alcanzar durante su desarrollo. Además, se presenta el alcance y la lista de requerimientos que se deberá tener en cuenta durante el diseño.

#### **1.1. Problemática**

El Perú aún sufre las consecuencias del fenómeno del Niño Costero, siendo el último en el 2017, el cual provocó lluvias, desbordes de ríos, inundaciones y deslizamientos de tierra (huaycos). Este fenómeno tuvo como saldo negativo 18 personas desaparecidas, 459 heridos, 138 fallecidos, 285453 damnificados y 1454051 afectados, según INDECI [1], siendo las zonas más afectadas las ciudades del norte del país, como Tumbes, Piura, Lambayeque y Trujillo, como se aprecia en la Figura 1.1.



a)



b)



c)

Figura 1.1. Consecuencias del fenómeno del niño en la ciudad de Trujillo:

a) Inundación del estadio  
Mansiche.  
Fuente: [2]

b) Inundación de calles  
Fuente: [3]

c) Vivienda colapsada  
Fuente: [4]

Otro país de la región, Ecuador, también ha sufrido las consecuencias del fenómeno del Niño, el cual tuvo como saldo negativo 511841 personas afectadas y en el sector agrícola tuvo 69058 hectáreas afectadas durante el periodo 2010-2019 [5]. Si bien estos fenómenos naturales son impredecibles, con un sistema de prevención adecuado se puede reducir el impacto de estos, el cual requeriría tener un mapeo completo de las zonas vulnerables, para así poder realizar estudios hidrográficos más exactos, y por ejemplo, definir tareas de descolmatación o construcción de diques. Actualmente, en Malawi, una zona afectada constantemente por inundaciones [6], se usan drones que capturan imágenes mediante fotogrametría, y cuando se percibe señales de una posible inundación, permite alertar a los pobladores y ejecutar su gestión de riesgos.

En este sentido, la PUCP presentó un proyecto en el concurso de Proyectos de Investigación Aplicada en Saneamiento y Construcción SENCICO 2018-01, cuyo título es “Sistema de

visualización y simulación de inundaciones para mejora de la gestión de riesgos en zonas vulnerables a huaycos”. Este proyecto propone el desarrollo y la implementación de un sistema computacional de adquisición, procesamiento, visualización y simulación en 2 etapas. La primera etapa consiste en la adquisición y procesamiento de datos de alta resolución de terrenos de zonas vulnerables a inundaciones y huaycos, y la segunda etapa, en la visualización y simulación con los datos obtenidos. Este proyecto fue aceptado en dicho concurso, con número de registro 58958, el cual será financiado por SENCICO a través de FONDECYT, y será realizado en asociación por la PUCP y la empresa GRUPO QAIRA S.A.C, con amplia experiencia en el diseño de drones, razón por la cual se le designó la implementación del drone.

La presente tesis está enfocada en la primera etapa de este proyecto, en el diseño de un drone para la adquisición de datos de zonas vulnerables a desastres naturales a través de un sensor LiDAR. El uso de drones permite realizar trabajos en zonas de difícil acceso y donde hay riesgo para personal humano. Además, el sensor LiDAR entregará información muy precisa de la topografía del terreno, así como la configuración urbana. El uso del drone con LiDAR de manera periódica en las zonas vulnerables de interés permitirá poder monitorearlas en el tiempo, para que en caso se observe alguna anomalía, poder prevenir las consecuencias de un potencial desastre, formular alternativas de solución, y si el caso lo amerita, evacuar a las personas.

## **1.2. Objetivos**

En esta sección se describirán el objetivo principal y los objetivos específicos que se buscarán cumplir durante el desarrollo de la presente tesis.

Objetivo general:

- Diseñar un drone al cual se le pueda acoplar como carga un sensor LiDAR, con una autonomía de vuelo de por lo menos 20 minutos y que permita monitorear de forma periódica la topografía de terrenos.

Objetivos específicos:

- Revisar información respecto a drones en adquisición de datos topográficos, así como información sobre el uso de sensores LiDAR para mapeo de superficies.
- Definir los requerimientos que debe cumplir el sistema a diseñar para alcanzar el objetivo principal.
- Realizar cálculos y simulaciones para el diseño mecánico y electrónico del drone, teniendo en consideración los requerimientos del sistema, la resistencia mecánica de los materiales y el uso de software gratuito o de versión para estudiantes.

- Estimar los costos totales de los componentes a utilizar, teniendo como referencia los costos de componentes mecánicos y electrónicos, costos de servicios y costos de diseño.

### **1.3. Alcance**

El presente trabajo se centra en el diseño de un drone con un sensor LiDAR, con componentes comerciales, ello involucra diseño mecánico, electrónico y la configuración de la placa controladora de vuelo. Además, deberá simularse la resistencia mecánica de los materiales, sea por fuerzas externas aplicadas puntualmente o por presión, por ejemplo del aire, entre otras.

### **1.4. Lista de requerimientos**

De acuerdo con la tabla elaborada en ANEXO A.1 que contiene las exigencias y deseos del proyecto, en las siguientes líneas se abordarán los requerimientos que implica este proyecto.

La función principal del drone es volar con un sensor LiDAR acoplado para trabajos topográficos.

\*Requerimientos físicos-mecánicos

-Las dimensiones máximas requeridas son de 3m x 4m x 1m de largo, ancho y alto respectivamente. Dichas medidas son el 75% de las medidas del drone octocóptero más grande del mundo [7].

-El sensor LiDAR a elegir no deberá superar 1 kg, pues esta es la masa de un sensor LiDAR conocido, el de la marca Velodyne [8]. Asimismo, los componentes adicionales que se utilizarán para su funcionamiento en conjunto no deberán sobrepasar los 1.5 kg, que es la masa de una solución comercial de la empresa YellowScan llamada “Surveyor” [9].

-La masa del sistema a diseñar no deberá superar los 25 kg para cumplir con las limitaciones definidos en la norma NTC 001-2015 por la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC) [10]. Asimismo, su peso deberá permitir que sea transportado por 2 personas como máximo a pedido del cliente.

-La estructura del drone debe ser lo suficientemente rígido como para soportar el peso de los componentes y no deformarse durante el vuelo, y a su vez lo suficientemente ligero para el correcto vuelo.

-El drone estará diseñado para ser operado en ambientes urbanos y rurales, a una altura de 20m como máximo, con poca humedad, velocidad del viento de 8 kts (4 m/s) y temperaturas entre

10°C y 30 °C, condiciones ambientales de los potenciales lugares a visitar, como el distrito de El Porvenir en la provincia de Trujillo.

\*Requerimientos electrónicos, eléctricos y de control

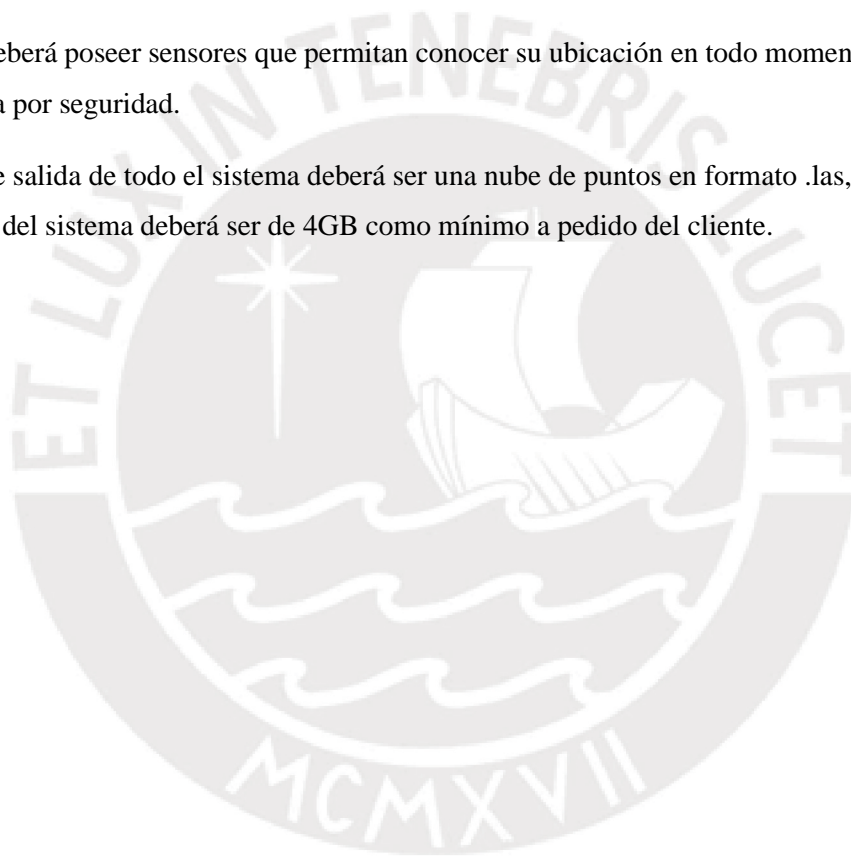
-El dron debe tener una autonomía de vuelo de por lo menos 20 minutos, que es el tiempo promedio de vuelo de los drones de gama alta [11].

-El dron debe contar con un modo de vuelo autónomo y otro manual.

-La señal de entrada del dron será la trayectoria, siendo esta definida previamente o por medio de un radiocontrol, por lo cual el sistema debe comunicarse con el usuario a través de radio frecuencia.

-El dron debe poseer sensores que permitan conocer su ubicación en todo momento y la carga de la batería por seguridad.

-La señal de salida de todo el sistema debe ser una nube de puntos en formato .las, para lo cual la memoria del sistema debe ser de 4GB como mínimo a pedido del cliente.





## **CAPÍTULO 2**

### **ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE**

En este capítulo se abordará los antecedentes de la tesis, refiriéndose al uso que se hace de los drones en la topografía, y los métodos que se utilizan para dicha tarea, como son la fotogrametría y el escaneo de terreno mediante el sensor LiDAR, además de modelos comerciales y para investigación de drones con LiDAR. Con respecto a estado del arte, se refiere a la definición de dron, sus tipos, además de explicar lo que es un sensor LiDAR y cómo funciona con un dron.

#### **2.1. Antecedentes**

Actualmente, la tecnología ha alcanzado niveles exponenciales de desarrollo, y sigue mejorando e integrándose constantemente con otras, como son la biotecnología, inteligencia artificial, vehículos autónomos, realidad virtual, vehículos aéreos no tripulados, etc [12], cuyas aplicaciones y uso no restringido conllevan a que las personas y empresas se adapten y capaciten para el uso de estas, ya que su implementación puede cambiar sustancialmente la manera como se gestionan las cosas. Precisamente, estos vehículos aéreos, o drones, están siendo muy utilizados en distintos campos a nivel mundial. Por ejemplo, para componer modelos tridimensionales en arqueología, para aplicar cantidades exactas de sustancias a los cultivos en la agricultura, para registrar y grabar con cámara para seguridad ciudadana, para monitoreo de gases en una mina, para investigación, para ingeniería, entre otros [13]. En este sentido, en la ingeniería los drones se usan para trabajos especializados, como inspección de infraestructura, control medioambiental, exploración

geológica y levantamiento topográfico [12], siendo este último la actividad especializada de interés de la presente tesis.

### 2.1.1. Drones en la topografía

La aplicación de los drones en topografía ha mejorado y facilitado el quehacer de los trabajadores y empresas del rubro de una manera significativa. Por ejemplo, poder realizar el levantamiento topográfico de 150 hectáreas con la tecnología existente (ver Figura 2.1) hace años podría tener una duración de 4 días (en total 30 ½ horas); no obstante con la tecnología existente en la actualidad, con un drone se puede llegar a culminar la actividad en solo 45 minutos [14]. Esto evidencia la eficiencia del uso de un drone respecto a la topografía convencional, que va a permitir a las empresas no solo reducir costos, sino también reducir los accidentes laborales por la disminución de trabajos en altura y en suelos inestables, y sus consecuentes riesgos. Por ello, a continuación se numeran las principales ventajas del uso de drones en la topografía [15]:

- Mayor seguridad: el topógrafo ya no necesita trasladarse con la estación a lugares peligrosos, puesto que el levantamiento topográfico podrá ser realizado de manera remota o autónoma, para que luego se realice su posterior análisis.
- Mayor alcance: con el uso de un drone se puede acceder a lugares de difícil acceso para un topógrafo, como acantilados o zonas afectadas por desastres.
- Más información: al usar cámaras de última generación o sensores como LIDAR, se aporta mucha más información gráfica que un levantamiento tradicional, consiguiendo una mayor resolución y realismo del terreno.
- Reducción de costos: debido a que el trabajo se realiza en poco tiempo comparado a los procedimientos clásicos, ello se traduce en menor costo de equipo y horas-hombre, y redistribución de mano de obra a otras actividades.



Figura 2.1. Equipo de topografía convencional

Fuente: [15]



En la topografía con drones, se deben usar dispositivos diseñados para la adquisición de datos, siendo los más usados las cámaras (fotogrametría) y los sensores LiDAR, los cuales se pueden apreciar en las siguientes figuras:



Figura 2.2. Drone con cámara

Fuente: [16]



Figura 2.3. Drone con LiDAR

Fuente: [17]

### 2.1.2. LiDAR vs Fotogrametría

La técnica LiDAR está basada en la emisión de haz de láser, cuyo tiempo que tardan al ser reflejados por una superficie de interés y llegar al emisor permite calcular la distancia de separación entre estos [18], es decir, con el tiempo se calcula la distancia entre el emisor y la superficie donde reflejó el láser. Con la tecnología LiDAR se obtiene una cantidad de datos elevada que permite generar nubes de puntos con las que se pueden determinar las superficies de la zona a examinar.

La fotogrametría es una técnica con la que, a partir de fotografías, se pueden obtener las características geométricas y espaciales de un área u objeto, ya que al juntar varias imágenes en las zonas comunes a estas se puede obtener información tridimensional. Entonces, cuando ya se

tomaron fotografía con el dron, se procesa la información para generar reconstrucciones en 3D [19].

A continuación, se presenta una tabla comparativa entre las ventajas y desventajas que conlleva el uso de un sensor LiDAR o una cámara en drones.

Tabla 2.1. Tabla comparativa entre el uso de LiDAR y fotogrametría con drones

Fuente: Propia

	LiDAR	Fotogrametría
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Llega a zonas con sombras</li> <li>• Alta precisión altimétrica</li> <li>• Permite alcanzar zonas inaccesibles, por ejemplo, penetrar la vegetación</li> <li>• Ideal para objetos y zonas de interés angostos, como líneas de alta tensión</li> <li>• No es afectado por la falta de iluminación o clima</li> <li>• Rápida adquisición de datos</li> <li>• Post procesamiento de datos es rápido, con el software adecuado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perfecta definición de bordes y buena resolución</li> <li>• Menor volumen de datos para la adquisición</li> <li>• La representación en 3D contiene los colores originales del objeto/superficie de interés</li> <li>• Bajo costo de componentes para sistema de fotogrametría (máximo \$20000)</li> </ul>
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Necesita equipo informático con gran capacidad de memoria para adquisición de datos</li> <li>• La nube de puntos generada se visualiza monocromática o con intensidades de colores según su altitud</li> <li>• Resolución no tan alta.</li> <li>• Alto costo de componentes (hasta \$300000)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No apto para zonas con sombras</li> <li>• Mediciones no representativas cuando no hay buena iluminación y malas condiciones climáticas</li> <li>• No apto para objetos angostos, que se ven como línea</li> <li>• Procesamiento de datos lento, y requiere computadora que pueda soportar trabajar con Gb de imágenes.</li> </ul>

### 2.1.3. Drones con LiDAR comerciales

Drones equipados con un sensor LiDAR están siendo utilizados en la actualidad en varios países, brindados excelentes resultados. No obstante, su aplicación no es tan frecuente, debido a que un factor muy determinante es el precio, ya que un dron para fotogrametría es mucho más económico que uno con LiDAR. A continuación se mostrará una lista de drones con LiDAR que están a la venta al público en general, y al final se mostrará una tabla comparativa entre todos estos modelos con sus especificaciones técnicas. Los restantes indagados se encuentran en ANEXOS A.2.

#### **Tron VTOL + YellowScan Ultra** [20]

La empresa YellowScan creó una solución para el mapeo de zonas poco accesibles, básicamente usando el dron del tipo ala fija, Tron VTOL de la marca Quantum Systems, juntándolo con el

sensor LiDAR Ultra-Puck de Velodyne [21]. El UAV Tron VTOL es ideal para volar con vientos fuertes, debido a su estructura de compuesto de fibra de carbono y su wingspan elevado, además de que su diseño robusto permite amortiguar la vibración, y con ello hacer que capturar data sea a un nivel de calidad alto, además de proteger al sensor. Por otra parte, este sensor LiDAR está integrado en un dispositivo llamado YellowScan Surveyor Ultra [20], el cual consiste en un arreglo de batería, una unidad de medición inercial (IMU), una unidad de control (CU), un GPS diferencial, y el sensor LiDAR de Velodyne Ultra Puck, todo de manera compacta. Esta solución es fácil de usar, puesto que con un solo botón se puede poner en marcha el piloto automático, de manera que este despegue y empiece a seguir la trayectoria programada anteriormente con las especificaciones de la zona a mapear. Además, es rápido, confiable, muestra una nube de puntos de muy buena calidad, y es resistente, siendo capaz de resistir vientos de 6 m/s y temperaturas de hasta 35°C.



a)



b)

c)

Figura 2.4. Tron VTOL con el LiDAR montado: a) Ensamble de TRON VTOL con el LiDAR, b) Ubicación de sensor LiDAR dentro de Tron VTOL, c) YellowScan Surveyor Ultra

Fuente: [20]

### **DJI M210 + M200 Snoopy Series** [22]

Esta solución implementada por LiDAR USA combina su M200 Snoopy Series con el drone M210 de la marca DJI. Este drone es uno del tipo multirrotor, específicamente un cuadricóptero,

el cual es uno de los más populares en Estados Unidos y fácil de usar; no obstante, no es muy robusto.



Figura 2.5. DJI M210 con sensor LiDAR acoplado

Fuente: [22]

A continuación, se mostrará una tabla comparativa entre los sistemas de drone con LiDAR comerciales mostrados y los restantes mostrados en ANEXOS A.2.

Tabla 2.2. Tabla comparativa de drones con sistema LiDAR comerciales

	Tron VTOL	Boreal	DJI M210	TERRAHAWK CW-20	TERRAHAWK CW-30	V100 PRO S	V200 L	SuperFox6
Peso máximo al despegue	14kg	25kg	6.14kg	25kg	34kg	4kg	8kg	10kg
Máximo tiempo de vuelo	60/120min	10h	27min	3h	2h	-	-	43min
Máximo rango / área	90km / 700ha	-	-	11km <sup>2</sup>	52km <sup>2</sup>	-	-	150ha
Rango de comando y control	3km	-	7km	20km / 15.5km <sup>2</sup>	30km	250m	250m	-
Carga útil	2kg	5kg	1.87kg	1.79kg	4.5kg	2kg	3kg	4kg
Velocidad de crucero	60 a 90 km/h	70 a 130 km/h	64.8km/h	90km/h	100km/h	-	-	50km/h
Resistencia al viento	6m/s	16.66m/s	12m/s	-	-	-	-	15.28m/s
Temperatura de operación	0°C a 35°C	-20°C a 50°C	-20°C a 45°C	-10°C a 40°C	-10°C a 40°C	-	-	-
Máxima altitud	-	4500m	3000m	100m AGL	350m AGL	50m AGL	120m AGL	-
Wingspan	3500mm	4200mm	-	3.2m	4.2m	-	-	-
Dimensiones de caja de	1775x325x428 mm	900x210x230 mm	298.45x111.125 x88.9mm	-	-	-	-	-
Motores propulsión	Eléctricos	Combustión	Eléctricos	Gas y eléctricos	Gas y eléctricos	Eléctricos	Eléctricos	Eléctricos
Peso de dispositivo con LiDAR	1.7kg	1.7kg	1.63kg	1.79kg	3.85kg	1.6kg	2kg	1.7kg
Data generada	600000 disparos por segundo	600000 disparos por segundo	300000 disparos por segundo	600000 disparos por segundo	750000 disparos por segundo	300000 disparos por segundo	420000 disparos por segundo	600000 disparos por segundo
Campo de visión horizontal	360°	360°	360°	110°	110°	360°	360°	-
Precisión	4cm	4cm	5cm	-	-	-	-	-
Exactitud	5cm	5cm	4.6cm	3cm	-	-	-	3cm

Fuente: Propia

#### 2.1.4. Drones con LiDAR en investigación

Drones equipados con un sensor LiDAR están siendo utilizados también con fines académicos, sobre todo en proyectos que tengan como etapa inicial la adquisición de una nube de puntos que se usará después para aplicaciones diversas, como estimación de biomasa de cultivos en agricultura o realidad virtual. A continuación se mostrarán estas dos aplicaciones de trabajos de investigación.

##### **Designing and Testing a UAV Mapping System for Agricultural Field Surveying** [23]

Un ejemplo de integración de un UAV con un LiDAR para el escaneo de áreas se propone en el artículo “Designing and Testing a UAV Mapping System for Agricultural Field Surveying”, el cual tiene como fin la estimación de biomasa de cultivos en agricultura. Se utilizaron los siguientes elementos:

##### Hardware

- Drone multirrotor DJI Matrice 100
- Cámara Point Grey Chameleon3-32
- Velodyne LiDAR VLP-16
- IMU Vectornav VN-200 Rugged y un Maxtena Antenna Unit
- GNSS Trimble BD920 GNSS y su Maxtena Antenna Unit
- Mini computadora Odroid XU4
- Módulo 64GB eMMC Module para almacenamiento
- Adaptador Mitsubishi USB serial
- TB48D battery pack
- ATmega32U4
- Placa externa para controlar entradas/salidas y energización

Adicionalmente, se diseñó un soporte para el montaje del sensor LiDAR [24], el cual fue impreso en 3D de material nylon:

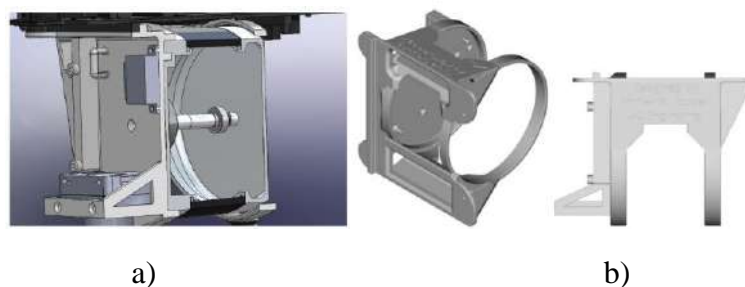


Figura 2.6. Soporte de LiDAR: a) Montaje de soporte para LiDAR, cámara e IMU, b) Vistas de soporte

Fuente: [24]





Figura 2.7. Vista isométrica del drone con LiDAR en tierra

Fuente: [24]

### Conexiones

La Odroid XU4 se une a la placa externa, como un conjunto. Luego, se le conecta vía Ethernet el sensor LiDAR, la cámara vía USB3, el Vectornav VN-200 con la antena MAXTENA M1227HCT-A2SMA vía RS-232, el módulo Trimble BD920 RTK-GNSS vía RS-232, y con el drone DJI vía RS-232.

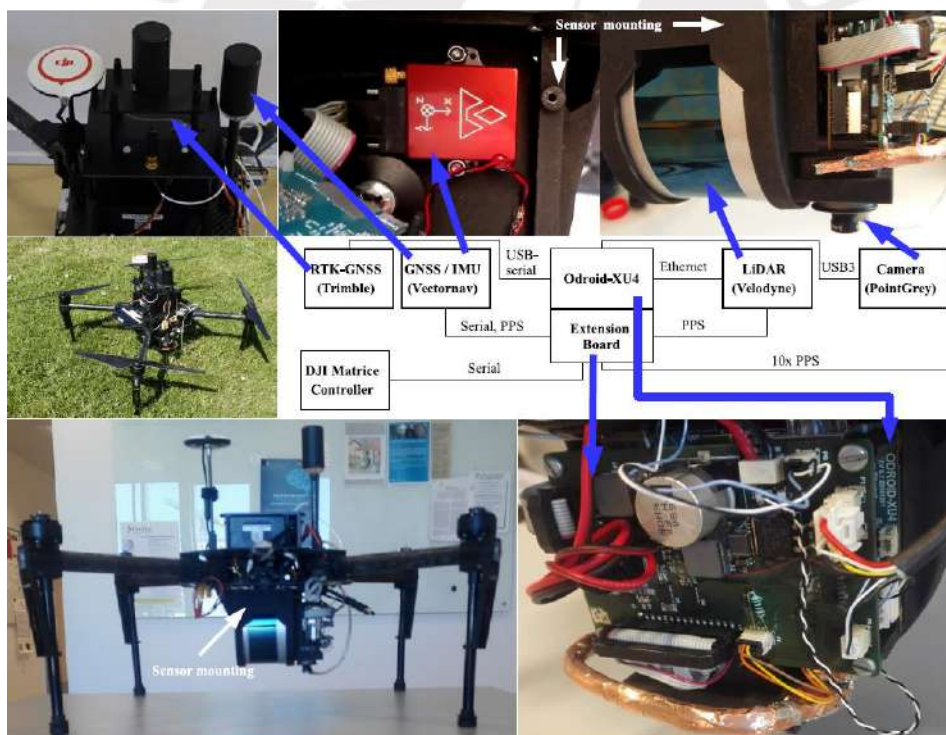


Figura 2.8. Imágenes del drone diseñado para investigación y diagrama general de conexiones

Fuente: [24]

La placa externa es la que maneja el cambio de niveles lógicos entre los sensores y el Odroid XU4, y para ello tiene montada el ATmega32U4, la cual es programada por el Odroid XU4 vía SPI. La señal PPS del VN-200 fue usada para la sincronización de muestreo. Esta señal PPS fue

ruteada al sensor LiDAR como una fuente externa de tiempo. La cámara fue puesta en funcionamiento usando 10 veces la señal PPS y bloqueado en fase al PPS usando el timer del ATmega32U4. Cuando un pulso de disparo de 10 veces PPS es enviado a la cámara, una captura de imagen es transmitida de vuelta y registrada por el VN-200 con el tiempo del GPS.

Durante el post-procesamiento, se relacionó data nmea-0183 del Trimble RTK con sellos de tiempo nmea-0183 del VN-200. En esta configuración, todos los sellos de tiempo están basados en el tiempo del GPS, para que se pueda directamente relacionar GPS, IMU y LiDAR.

Finalmente, se usó la versión Indigo ROS y Ubuntu 14.04 armhf para grabar la data del sensor. Los nodos de ROS para sensores y el drone fueron implementados para que funcionen usando el Odroid XU-4.

### **Gaze-Controlled Virtual Retrofitting of UAV-Scanned Point Cloud Data:** [25]

Este estudio propuso un método controlado por mirada para la visualización, navegación y adaptación de datos de nube de puntos grandes (PCD), producidos por vehículos aéreos no tripulados (UAV) montados con escáneres de alcance láser (LiDAR), de forma que el punto de mirada humana estimado se utilizó para interactuar con una pantalla montada en la cabeza (HMD) para visualizar, por un lado, el PCD, y por el otro, los modelos de diseño asistido por computadora (CAD). Se consideraron los modelos virtuales de tuberías de plantas de tratamiento de agua contra la PCD de las tuberías reales. En una aplicación de este tipo, el objetivo era utilizar los datos de la mirada para interactuar con el HMD, ya que se infirió que la integración del seguimiento ocular para la visualización e interacción con la HMD podría mejorar tanto la velocidad como la funcionalidad para la interacción persona-computadora. Se realizó un estudio de usabilidad para investigar la velocidad del método propuesto en contra de la adaptación basada en la interacción del ratón. Además, la inmersión, la calidad de la interfaz y la precisión se analizaron mediante la adopción del cuestionario adecuado, y el aprendizaje del usuario se probó mediante la realización de experimentos en iteraciones de los participantes. Finalmente, se verificó si existían factores psicológicos negativos, los cuales fueron la ciberseguridad, la incomodidad general, la fatiga, el dolor de cabeza, la fatiga ocular y la dificultad para concentrarse a través del experimento.



Figura 2.9. HMD utilizado para visualizar la nube de puntos (PCD)

Fuente: [25]



Se eligió el DJI Matrice 100 UAV con firmware V.1.3.1.10 y la batería TB47D, lo cual proporcionó un vuelo estabilizado de 13 minutos de duración con 1000 g de carga útil. El UAV soportó batería doble, lo que aumentó el tiempo de vuelo a 40 minutos y también incluyó un sistema avanzado de navegación de vuelo que incorpora GPS, controlador de vuelo y DJI lightbridge, lo que le permite realizar tareas complejas y operar en todas las condiciones ambientales. Además, se usó un sensor LiDAR de la marca Velodyne, el Velodyne Puck LITE, debido a su bajo peso y a que puede generar 300000 puntos por segundo para la nube de puntos. También se usó el Matrice 100, que ofrece una interfaz de hardware para compartir su fuente de alimentación con hardware de terceros, como el sensor LiDAR. A su vez se usó un regulador de voltaje DROK para compartir la energía de la batería del UAV con el sensor Velodyne. Por último, la fuente de alimentación del Manifold se conectó a través de un puerto de energía dedicado en el UAV y se conectó el Velodyne al Manifold a través de un cable LAN.



Figura 2.10. Drone DJI Matrice 100 usado para la investigación

Fuente: [25]

Finalmente, el sistema operativo del robot Indigo (ROS-Indigo) fue usado para registrar los datos del sensor, que se ejecutan en Ubuntu 14.04. El sensor Velodyne se activó inicialmente, y luego los datos del sensor se almacenaron como una bolsa ROS utilizando el nodo rosbag incorporado. La bolsa ROS se convirtió luego a formato PCD visualizable y se almacenó en la computadora a bordo, para luego procesar la data adquirida.



Figura 2.11. Planta virtual de tratamiento de agua usado para la investigación

Fuente: [25]

## 2.2. Estado del arte

En esta sección se presentarán a los drones, sus principales partes y tipos, además de presentar al sensor LiDAR, su principio de funcionamiento en un drone, y unos ejemplos de sensores LiDAR comerciales.

### 2.2.1. Drones

Los drones son vehículos que vuelan sin tripulación a bordo, sea de forma remota o de forma autónoma. Estos drones tienen una gran diversidad de aplicaciones en diferentes campos, como se explicó anteriormente, y presentan las siguientes partes [26]:

- Chasis: Estructura central que genera el soporte de las demás piezas que componen el drone.
- Motores: Máquina que transforma la energía eléctrica o térmica en mecánica (movimiento), lo cual permite girar las hélices, y con ello el vuelo por la fuerza de empuje que se genera.
- Hélices: Componente que permite elevar al drone mediante los motores.
- Placa controladora de vuelo: Dispositivo que recoge datos de los sensores, y en base a ello controla la velocidad de los motores, permitiendo así un control del vuelo.
- Sensores: Dispositivos que permiten adquirir información del entorno. Se muestran algunos:
  - GPS: Dispositivo que permite saber la ubicación del objeto al cual se le acopla. Permite conocer información sobre latitud, longitud y elevación.
  - Acelerómetro: Sensor utilizado para determinar la posición y orientación del drone durante el vuelo. Mide la aceleración estática (eje vertical) y la aceleración dinámica (plano XY).
  - Giroscopio: Sensor utilizado para medir los ángulos de ubicación del drone.

- Altimetro: Sensor utilizado para conocer la altura a la cual está volando el drone, y con ello mantener el vuelo a una altura fija.
- Telemetría OSD: Dispositivo que permite monitorear el estado del drone en tiempo real, como el tiempo de vuelo, voltaje de batería, etc.
- Transmisor de video: Dispositivo encargado de enviar las imágenes captadas por la cámara al receptor de video, usualmente mediante antena.
- Cámara: Equipo utilizado para captar imágenes o video del ambiente.
- ESC (electronic speed control): Dispositivo electrónico encargado de variar y controlar la velocidad de los motores eléctricos.
- Gimbal: Elemento móvil que sirve como soporte giratorio, que estabiliza y permite acoplar una cámara al drone.
- Batería: Elemento que suministra energía para el funcionamiento de los distintos componentes electrónicos del drone.
- Emisora y receptora de RC: La emisora de RC es el mando que permite transmitir las órdenes a distancia que el piloto en tierra quiere que realice el drone. Por otra parte, el receptor de RC es el encargado de conectarse con la emisora y recibir las órdenes enviadas por esta.

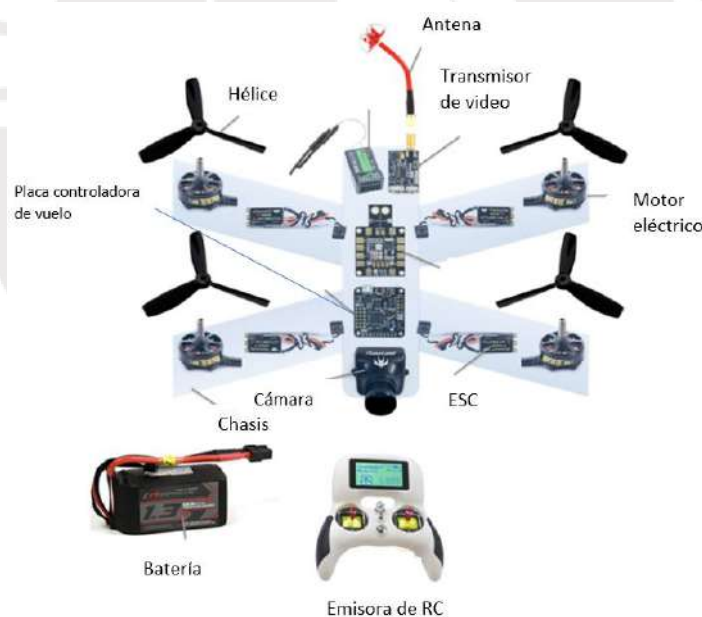


Figura 2.12. Partes comunes en un drone

Fuente: [27]

### Tipos de drones

Según el tipo de ala [28], los drones se clasifican en drones de ala fija, drones multirrotores y drones híbridos.

Drones de ala fija: Son aquellos drones cuyas alas se encuentran fijas, es decir, no poseen movimiento propio. Estos tipos de drones generan la sustentación por la geometría de sus alas, ya que su perfil aerodinámico está especialmente diseñado para crear la suficiente diferencia de presión entre la parte inferior y la parte exterior del ala. El movimiento de estos drones se genera por los alerones, elevadores y timones (ver Figura 2.14). Estos a su vez se subdividen en:

- Drones de ala alta: el ala se ubica en la parte superior del fuselaje.
- Drones de ala media: el ala se ubica en la parte media del fuselaje.
- Drones de ala baja: el ala se ubica en la parte baja del fuselaje.
- Drones de ala volante: el ala conforma la mayor parte del fuselaje.

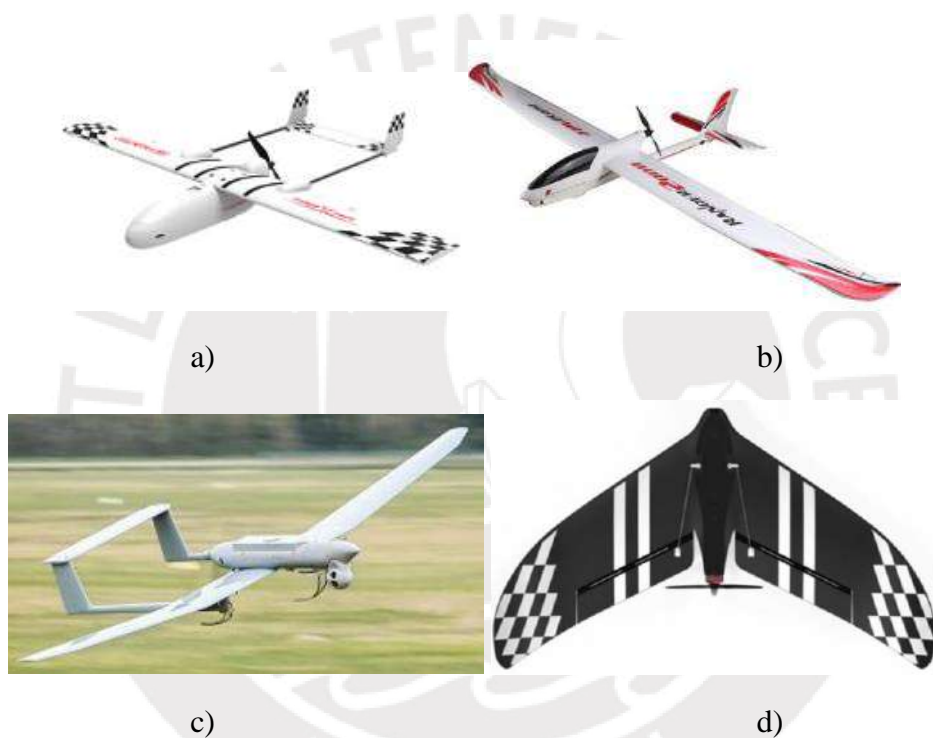


Figura 2.13. Tipos de drones de ala fija:

a) Drone de ala fija tipo ala alta, Skyhunter 1800mm

Fuente: [29]

b) Drone de ala fija tipo ala media, Valantex Ranger 2000 V757-8

Fuente: [30]

c) Drone de ala fija tipo ala baja

Fuente: [28]

d) Drone de ala fija tipo ala volante, FTC HUNTER 680mm

Fuente: [31]

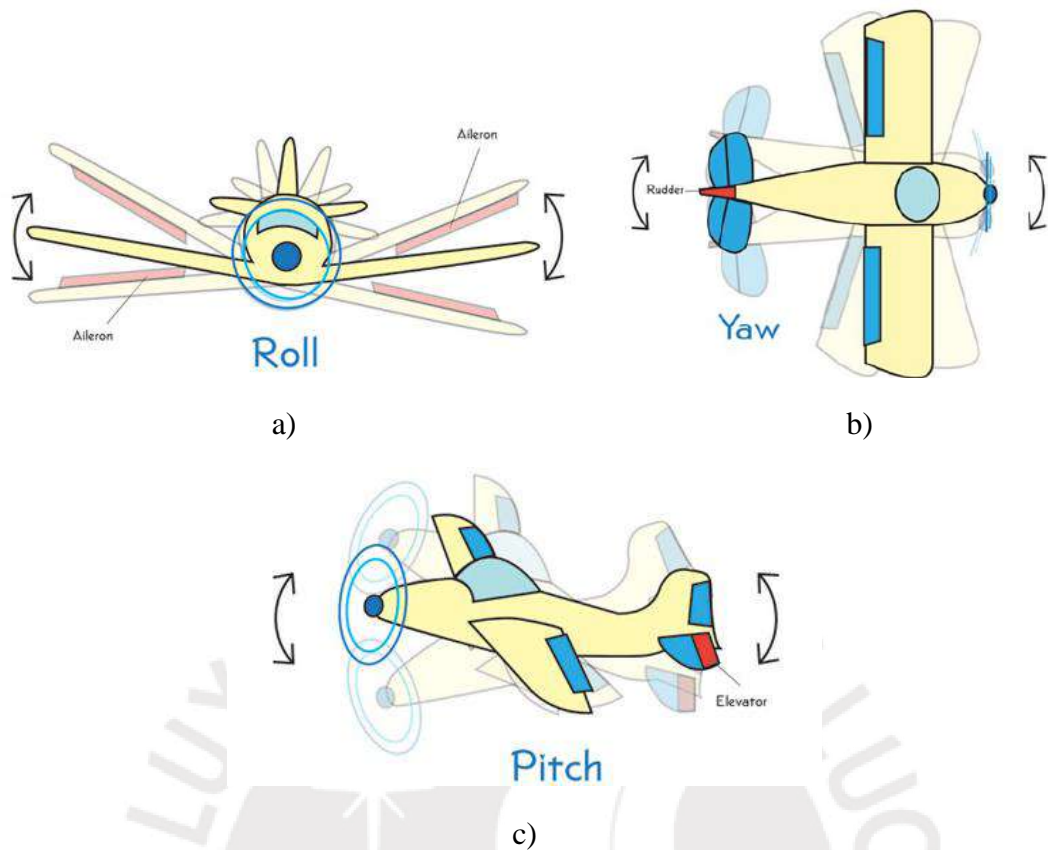


Figura 2.14. Movimiento en un dron de ala fija: a) Movimiento Roll, b) Movimiento Yaw, c) Movimiento Pitch

Fuente: [32]

Drones multirrotores: Son aquellos drones que poseen 3 o más rotores, cuyas alas no se encuentran fijas, ya que se encuentran girando alrededor de un eje. Estos drones generan la sustentación a través de sus rotores, cuyas hélices tienen un paso fijo. Cabe mencionar que las hélices se instalan con sentidos de giro opuestos alternadamente, para que la suma de fuerzas sea nula y solo quede la de sustentación. Los movimientos y rotaciones se generan al variar el sentido y velocidad de los rotores (ver Figura 2.16). Estos drones se clasifican de acuerdo al número de rotores y forma de distribución, como se muestra en la siguiente imagen:



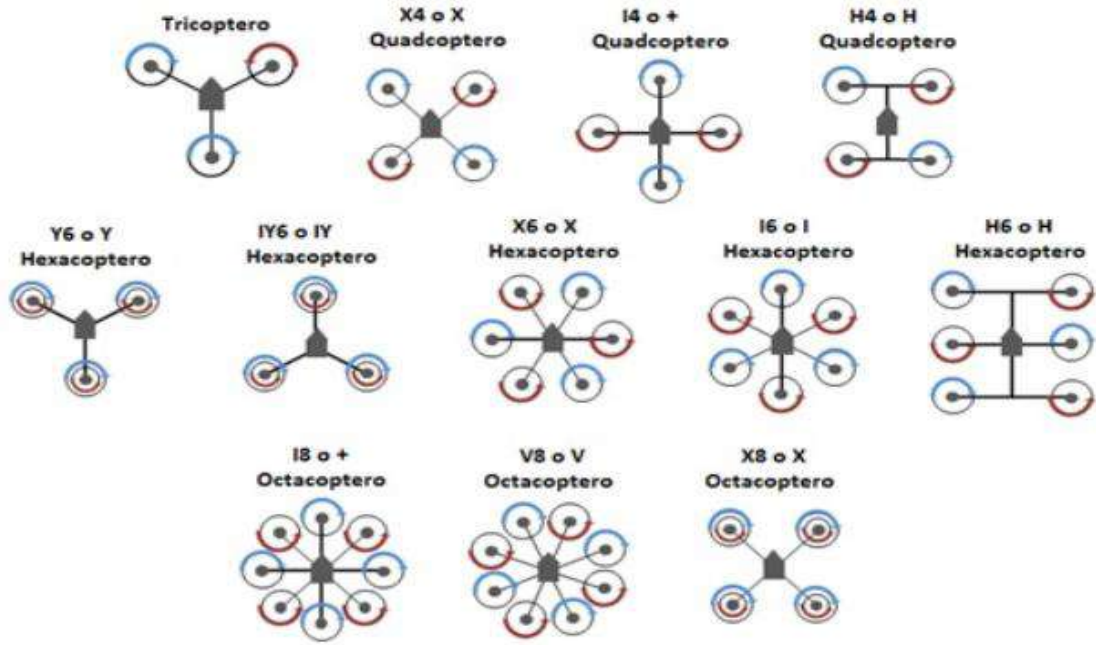


Figura 2.15. Tipos de drones multirrotores

Fuente: [28]

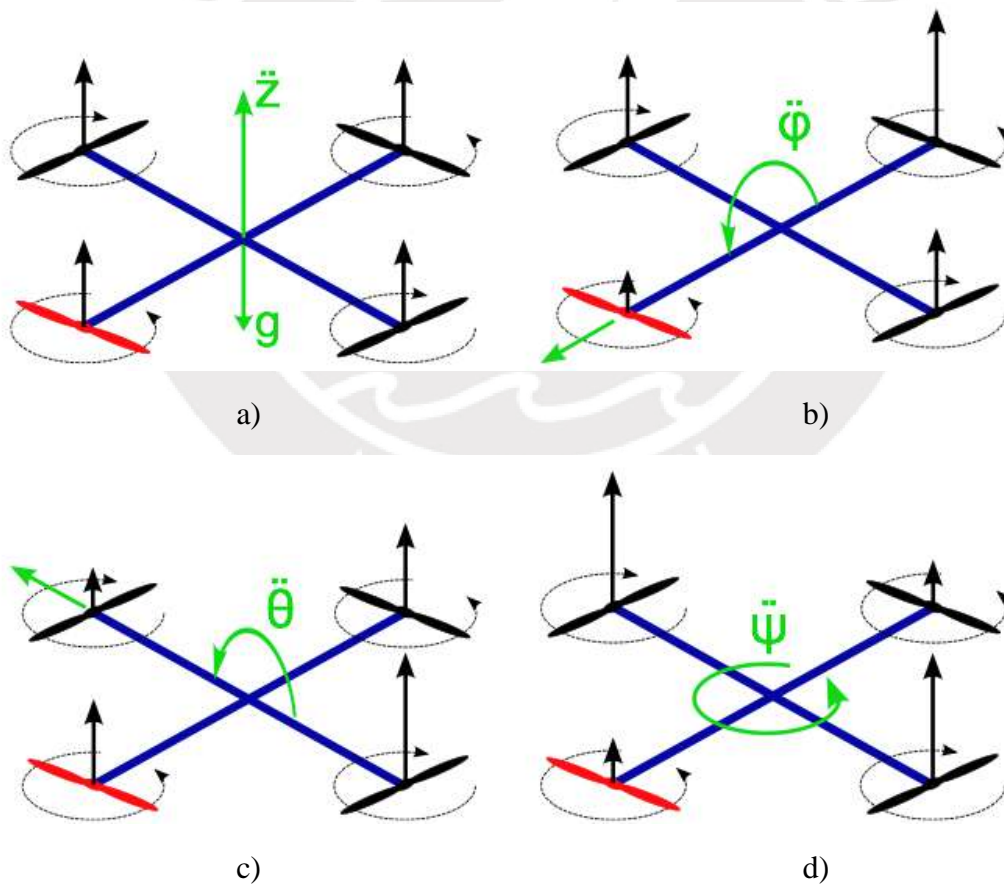


Figura 2.16. Movimiento en un dron multirrotor: a) Movimiento vertical, b) Movimiento Pitch, c) Movimiento Roll, d) Movimiento Yaw

Fuente: [33]

**Drones híbridos:** Son aquellos drones que combinan las propiedades de vuelo de los drones de ala fija y los multirrotores, es decir, se elevan de manera vertical como los multirrotores, y permiten volar a altas velocidades como uno de ala fija. No obstante, no hay mucha oferta de este tipo de drones, ya que su precio es muy elevado.



Figura 2.17. Drone híbrido

Fuente: [34]

### 2.2.2. Sensores LiDAR

La tecnología LiDAR [35] es un sistema telemático activo de captura de datos, que se caracteriza por la emisión de pulsos de luz polarizada, entre el rango de ultravioleta y el infrarrojo mediante un emisor láser. Este sensor emite pulsos de luz láser en esta banda del espectro electromagnético para posteriormente capturar la señal reflejada por la superficie de interés, midiendo el tiempo que demora en recorrer estas señales la distancia que separa al emisor de luz de la superficie de interés.

Esta tecnología, a pesar de que es cara, está que toma renombre en distintos campos, como lo son la arqueología, topografía, vehículos autónomos [36] y últimamente en el escaneo de largas áreas a través de drones. Para esta última aplicación del sensor, es necesario contar también con los siguientes elementos en el drone [37]:

- **Sistemas de navegación y posicionamiento:** para que la data sea útil y confiable, se debe determinar la posición y orientación absoluta. Para ello se usa un **GNSS** (Global Navigation Satellite Systems) que proporciona una información geográfica precisa de la posición del sensor (altura, latitud y longitud) y un **IMU** (Inertial Measurement Unit) que permita definir la orientación del sensor (pitch, roll y yaw) en la posición en la que esté. Por ejemplo, IMU Applanix APX15, y GPS PPK-IN-Fusion.



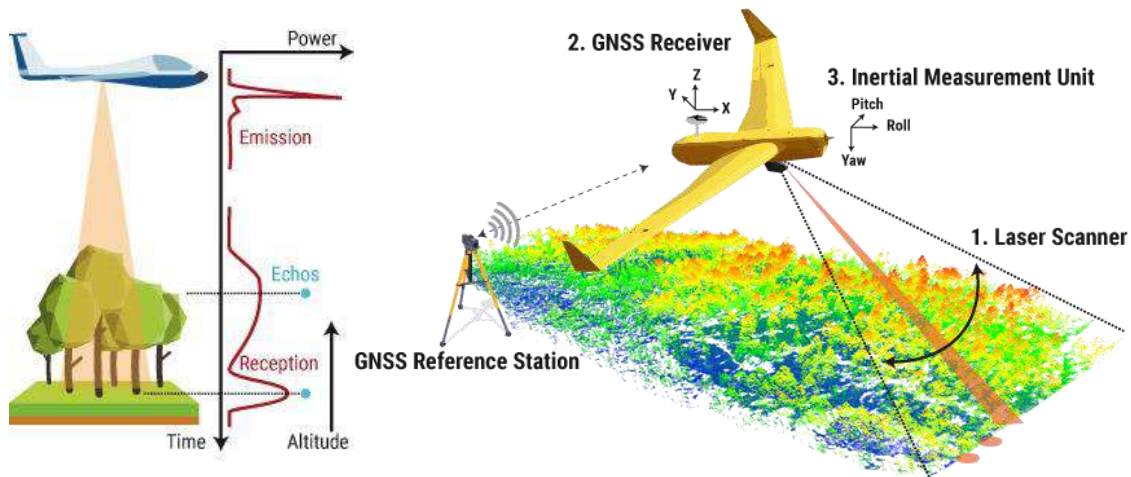


Figura 2.18. Principio de funcionamiento de sensor LiDAR y componentes necesarios para su uso en un UAV

Fuente: YellowScan [37]

- Tecnología computacional: se necesita una computadora para la adquisición de la data durante el vuelo y para el post-procesamiento de la misma (filtros, mejoramiento de la nube de puntos, etc). Por ejemplo, el Zini-1660 con sistema operativo Ubuntu y procesador i5.



Como se mencionó antes, se necesita de alguna computadora a bordo del drone para poder adquirir data (la nube de puntos), y que permita sincronizar los datos adquiridos por el IMU y GPS para la correcta transformación de los datos obtenidos en los respectivos datos. La mayoría de sensores LiDAR tienen como salida paquetes de datos (pcap), y se los debe transformar en un archivo con extensión .las, que es un formato binario estandarizado por la ASPRS (American Society for Photogrammetry and Remote Sensing) para el intercambio de datos obtenidos por sensores LiDAR, para que pueda visualizarse la data adquirida en softwares de visualización, como ArcGIS, LASViewer, etc.

En este sentido, a continuación se presentan una lista de sensores LiDAR comerciales, así como de dispositivos integrados compactos diseñados para uso de LiDAR en navegación, que ya emiten como salida un archivo con la extensión .las para la fácil visualización de la data adquirida. Los restantes indagados se encuentran en ANEXOS A.3 y A.4.

### Velodyne LiDAR [8]

Velodyne LiDAR es una compañía que proporciona soluciones para alcanzar autonomía de vehículos y asistencia durante el manejo, sea de vehículos aéreos o terrestres, y para ello desarrolla y fabrica sensores detectores de luz y de alcance. Por ello, a continuación se presenta una tabla comparativa entre las versiones Puck, usados en drones.


Tabla 2.3. Tabla comparativa de sensores Velodyne LiDAR

		Puck	Puck Lite	Puck Hi-Res	Ultra Puck
					
<i>Sensor</i>	FoV Horizontal	360°	360°	360°	360°
	FoV Vertical	30° (-15 a 15°)	30° (-15 a 15°)	20° (-10 a 10°)	40° (-25 a 15°)
	Frame/Rotation rate	5-20Hz (R)	5-20Hz (R)	5-20Hz (R)	5-20Hz (F)
	Resolución angular (horizontal)	0.1-0.4°	0.1-0.4°	0.1-0.4°	0.1-0.4°
	Resolución angular (vertical)	2°	2°	1.33°	0.33°
	Canales	16	16	16	32
<i>Laser</i>	Rango	100m	100m	100m	200m
	Longitud de onda	903nm	903nm	903nm	903nm
<i>Propiedades mecánicas y eléctricas</i>	Consumo	8W	8W	8W	10W
	Voltaje	9-18V	9-18V	9-18V	10.5-18V
	Peso	830g	590g	830g	925g
	Dimensiones	φ104mmx72mm altura	φ104mmx72mm altura	φ104mmx72mm altura	φ100mmx97mm altura
	Temperatura de operación	-10 a 60°C	-10 a 60°C	-10 a 60°C	-20 a 60°C
	Protección	IP67	IP67	IP67	IP67
<i>Salida</i>	Conexión	100Mps Ethernet	100Mps Ethernet	100Mps Ethernet	100Mps Ethernet
	Data generada	Retorno Simple: 300000pps Retorno Doble: 600000pps	Retorno Simple: 300000pps Retorno Doble: 600000pps	Retorno Simple: 300000pps Retorno Doble: 600000pps	Retorno Simple: 600000pps Retorno Doble: 1200000pps

### Ouster Lidar [38]

Ouster Lidar es una empresa manufacturera de dispositivos electrónicos relativamente nueva que inició como una StartUp, que diseña y desarrolla tecnología de sensado basado en LIDAR para vehículos autónomos. Sus productos se caracterizan por su bajo precio y misma calidad a comparación de otras marcas, además de que funciona con software open source. En este sentido, se presenta su producto OS-1, el cual es un Lidar combinado con cámara, y tiene 3 versiones: 16, 64 y 128 canales, cuyas especificaciones se muestran a continuación:

Tabla 2.4. Tabla comparativa de versiones del sensor OS-1 de Ouster

OS-1				
				
Sensor	FoV Horizontal	360°		
	FoV Vertical	33.2° (-16.6 a 16.6)	45° (-22.5 a 22.5°)	
	Frame/Rotation rate	10-20Hz		
	Resolución angular (horizontal)	±0.01°		
	Resolución angular (vertical)	±0.01°		
	Canales	16	64	128
	Rango	120m		
Laser	Longitud de onda	850nm		
Propiedades mecánicas y eléctricas	Consumo	14-16W (máx 20W)		
	Voltaje	22-26V (típico 24V)		
	Peso	380g		
	Dimensiones	φ80mmx74mm altura		
	Temperatura de operación	-20 a 50°C		
	Protección	IP67		
Salida	Conexión	Ethernet		
	Data generada	Solo Simple: 327680pps	Solo Simple: 1310720pps	Solo Simple: 2621440pps
		\$3500	\$12000	\$18000

### 2.2.3. Dispositivos integrados compactos con LiDAR

Algunas empresas ofrecen dispositivos en los cuales integran un sensor LiDAR, un IMU, un GNSS y una unidad de control para la adquisición de data (los componentes necesarios para adquirir data de un sensor LiDAR en un drone), hasta batería, todo de manera compacta, además de proporcionar software especializado para el postprocesamiento y visualización de la data. No obstante, estos dispositivos se caracterizan por ser muy caros.

#### YellowScan [9]

YellowScan es una empresa que desarrolla y produce sistemas con sensores Lidar, especializada en brindar soluciones para las áreas de topografía, ciencias forestales, arqueología, inspecciones de estructuras, minería, etc. En este caso, se presentan los modelos Surveyor y Surveyor Ultra, que consisten en un sensor LiDAR de la marca Velodyne, con una batería, un IMU, un GPS diferencial y una unidad de control para la adquisición de data. Se caracterizan por aplicar un filtro Kalman al momento de la adquisición de la data para que los valores sean lo más preciso

posible. Además, por la adquisición de estos modelos se obtiene el software propio de YellowScan necesario para el postprocesamiento y visualización de la data obtenida.

Tabla 2.5. Tabla comparativa de dispositivos integrados con Lidar de YellowScan

	YellowScan Surveyor	YellowScan Surveyor Ultra
		
Sensor	Clase1, 905nm	Clase1, 905nm
	40mm	50mm
	-/100m	-/200m
	300000 ptos	600000 ptos
	-15° a 15° / 360°	-25° a 15° / 360°
Navegación	2	2
	Sistema de navegación inercial y batería	Sistema de navegación inercial y batería
	GPS, GLONASS, BEIDOU	GPS, GLONASS, BEIDOU
	-	-
	RTK, PPK	RTK, PPK
Características mecánicas y eléctricas	-	-
	16.2x10.4x14cm	17.8x10.4x14cm
	-	-
	15W	19W
	1.6kg (batería incluida)	1.7kg (batería incluida)
	-20°C a 50°C	-10°C a 40°C
60m	120m	

## CAPÍTULO 3

### DISEÑO CONCEPTUAL

En esta sección se desarrollarán la estructura de funciones, matriz morfológica y se formularán conceptos de solución, los cuales conllevarán a la elección de una solución, seleccionada en base a consideraciones técnicas y económicas.

#### 3.1. Estructura de funciones

El primer paso para comenzar con el diseño conceptual es identificar cuáles son las entradas y salidas del sistema, tanto en lo que se refiere a señales, energía y materia; y una vez hecho eso, se debe identificar las funciones que son necesarias para satisfacer los requerimientos listados en la lista de requerimientos.

##### 3.1.1. Blackbox

Un Black Box es una representación del sistema a realizar como si fuera una “caja negra”, en la cual se puede identificar de una manera más clara los elementos de entrada y de salida del sistema a diseñar. Esto permitirá que posteriormente se pueda desarrollar de forma más dinámica una lista de funciones que debe realizar el sistema con las entradas para poder obtener las salidas propuestas. En la Figura 3.1. se puede observar el Blackbox del sistema.





Figura 3.1 Blackbox del sistema

Entradas:

Energía:

- Energía eléctrica 220VAC: Alimentación del sistema

Señales:

- Encendido/apagado: Señal que enciende o apaga el sistema.
- Trayectoria: Señal que indica la trayectoria que debe realizar el sistema (posiciones y altura).
- Inicio: Señal que indica que el sistema empiece a cumplir la función para la cual fue diseñada.

Salidas:

Energía:

- Energía mecánica: Ruido, vibraciones producidas por el funcionamiento del sistema.
- Energía térmica: Calor disipado producido por el funcionamiento del sistema.

Señales:

- Nube de puntos: Señal que enciende o apaga el sistema.
- Nivel de batería: Señal que indica el nivel de batería durante su funcionamiento.
- Ubicación: Señal que indica la ubicación del sistema durante su funcionamiento (posición y altura).

### 3.1.2. Lista de funciones

El sistema a diseñar del drone con LiDAR requiere de distintas funciones en varios dominios o subsistemas que debe cumplir para poder asegurar el cumplimiento del objetivo principal, el cual es obtener información topográfica de terrenos mediante el uso de un sensor LiDAR. Por ello, se realizó una lista de funciones de cada dominio y subsistema, detallando de qué se encarga cada una de ellas, la cual se puede observar en ANEXOS B.1.

A continuación, se presenta la estructura de funciones en la Figura 3.2, en la cual se aprecian los 2 subsistemas, cada uno con los dominios descritos en ANEXOS B.1.



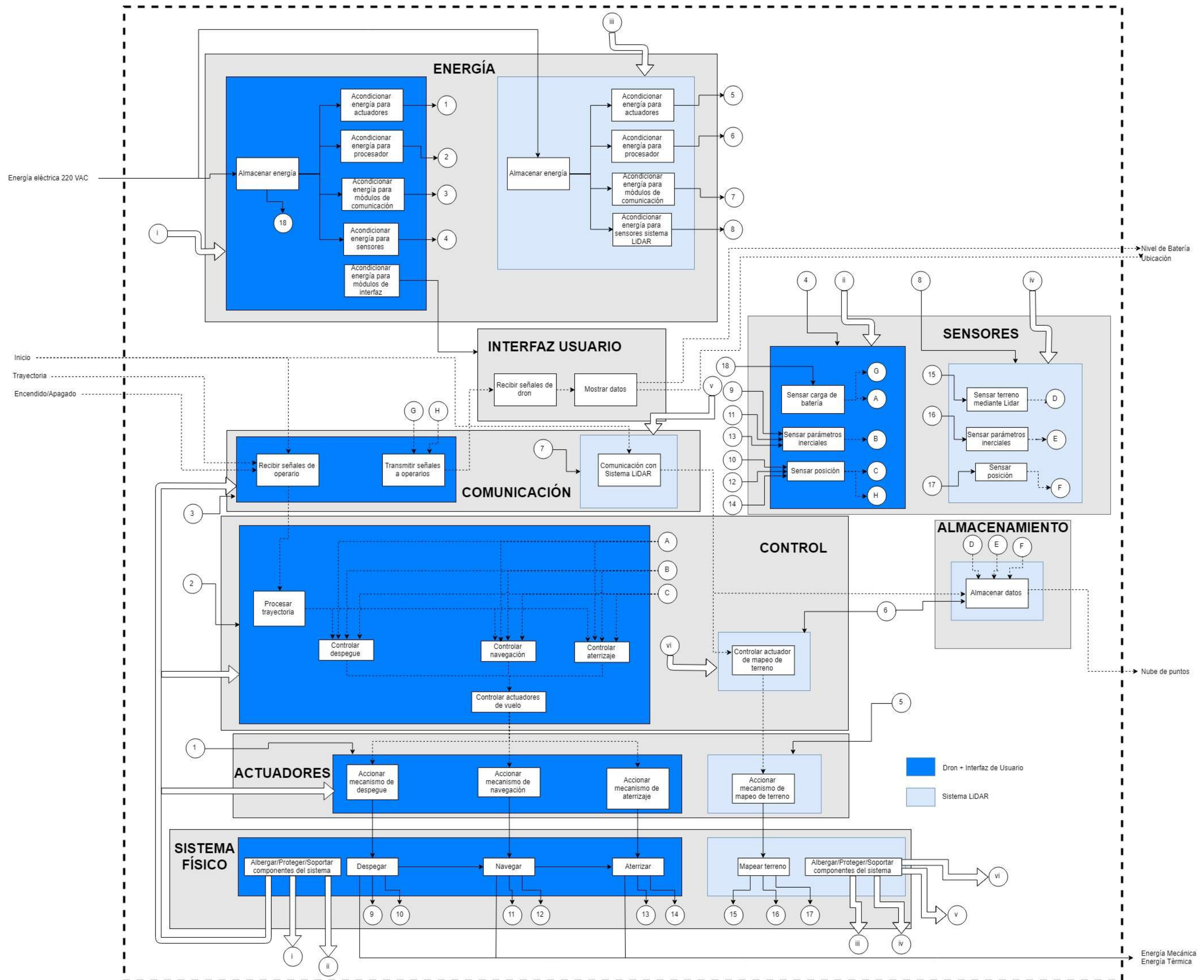


Figura 3.2. Estructura de funciones

### **3.2. Matriz morfológica**

Luego de obtener la estructura de funciones, se identifican diferentes principios de solución para las funciones detalladas en la sección anterior, los cuales se encontrarán en ANEXOS B.2, para poder desarrollar distintos conceptos de solución.

### **3.3. Concepto de solución óptimo**

Fueron tres los conceptos de solución generados por las distintas combinaciones de los elementos de la matriz morfológica, los cuales se pueden observar en ANEXOS B.3. Cada concepto de solución fue evaluado considerando diversos criterios con el fin de seleccionar el óptimo. Dicha evaluación se puede observar en ANEXOS B.4.

En la Figura 3.3 se muestra un bosquejo del concepto de solución seleccionado. Esta consiste en un drone multirroto con 6 motores brushless (hexacóptero) para el vuelo, los cuales se unen a tubos de fibra de carbono para formar los brazos. Se eligió este material debido a sus altas propiedades mecánicas (similares al acero) y a su poco peso. La estructura del drone consiste en 2 platos de fibra de carbono, uno arriba del otro, unidos por separadores. En el plato superior se coloca la placa controladora de vuelo, la cual estará unida a un GPS, a un módulo de telemetría RF, y a un receptor, este último para poder controlar el drone en modo manual a través de un RF Controller. La placa controladora de vuelo podrá saber la posición del drone mediante el GPS, y estimará la orientación mediante el uso del IMU interno que posee, y con ello poder volar de manera autónoma. El módulo de telemetría por RF conectado a la placa controladora de vuelo permitirá recibir y transmitir información sobre la posición y nivel de batería a una laptop ubicada en tierra. Cabe mencionar que encima de este plato superior se encontrará un cover, para proteger a estos componentes. En el plato inferior se ubicarán los brazos con los motores brushless, unidos a la placa mediante unos acoples. También, en el plato inferior se ubicará la batería, el módulo de poder, la PDB, y los ESC. El módulo de poder estará conectado directamente a la batería, para sensor el nivel de la batería y para tener 2 salidas: de 5V para la placa controladora de vuelo y del mismo voltaje de la batería para la PDB. La PDB estará conectada a las 6 ESC para alimentación, y las ESC estarán conectadas a los motores brushless y a la placa controladora de vuelo, para poder controlar la velocidad de giro de los motores de acuerdo a las instrucciones determinadas por la placa controladora de vuelo, según el algoritmo de control PID. Por ello, será necesario realizar pruebas con el fin de obtener las ganancias óptimas para el control PID. El plato inferior también permitirá conectar los brazos del tren de aterrizaje y el sistema LiDAR.

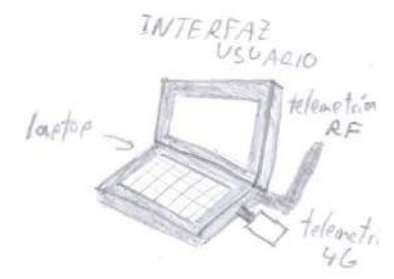
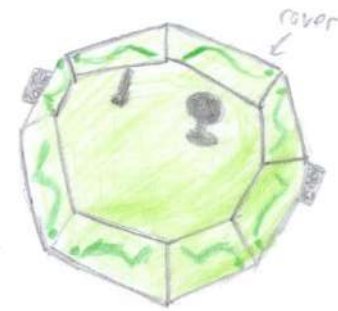
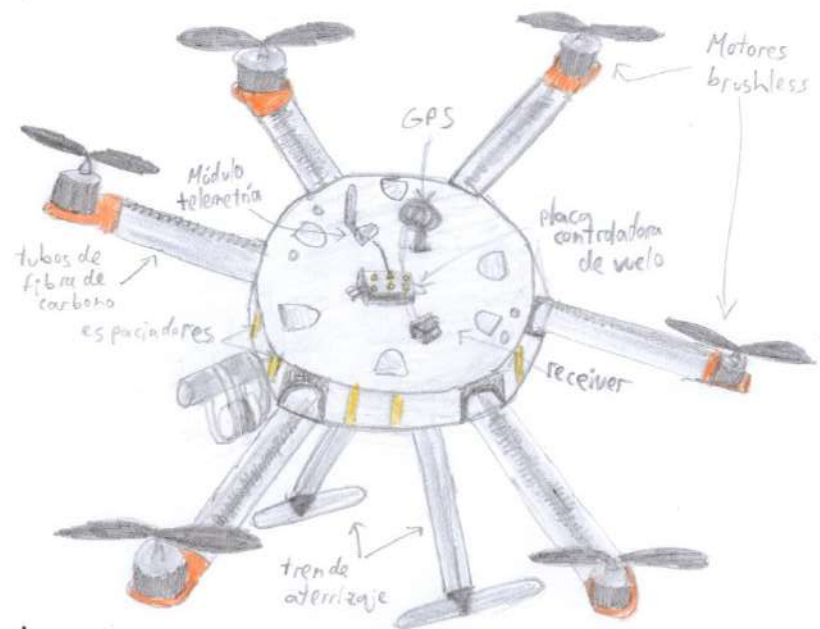
El sistema LiDAR estará soportado mediante un tubo de fibra de carbono unido al plato inferior mediante unos acoples para el diámetro de este tubo. El sistema LiDAR estará conformado por un sensor LiDAR, su caja de interfaz con la cual se energizará y enviará data, un SBC para

almacenar la data adquirida y que estará conectada a la caja de interfaz, un módulo de telemetría 4G conectada a la SBC para poder comunicarse con la laptop en tierra, un módulo GPS conectado a la SBC para obtener la data de posición de los puntos obtenidos por el sensor LiDAR, un regulador de voltaje para acondicionar la energía para la SBC, y una batería LiPo. Estos elementos estarán ubicados en una caja de acrílico, la cual se sostendrá del tubo de fibra de carbono anteriormente mencionado mediante unos acoples. Finalmente, se contará con una laptop y un módulo 4G para poder habilitar el funcionamiento del sistema LiDAR.

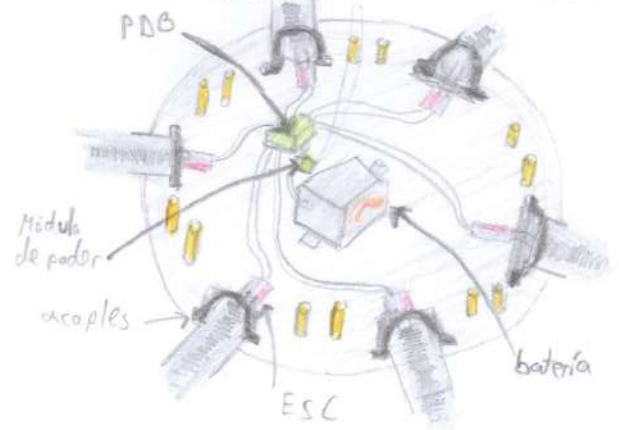




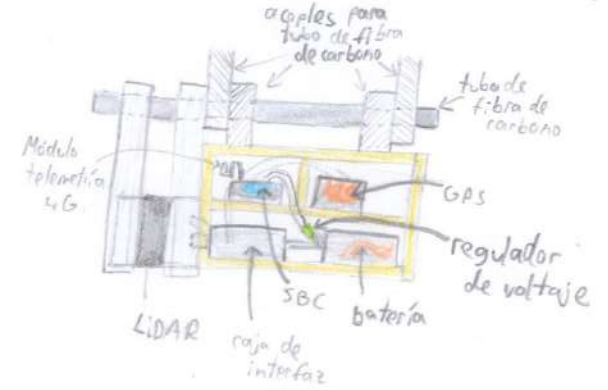
VISTA PLATO SUPERIOR



VISTA PLATO INFERIOR



VISTA PERFIL SISTEMA LIDAR



VISTA ISOMÉTRICA SISTEMA LIDAR

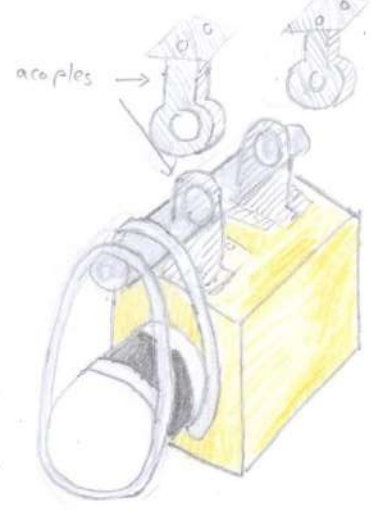


Figura 3.3. Concepto de solución óptimo

Fuente: Propia

## **CAPÍTULO 4**

### **DISEÑO DEL SISTEMA MECATRÓNICO**

En este capítulo se presenta el desarrollo del sistema mecatrónico. Primero se mostrará el sistema completo resultado de integrar la parte mecánica, electrónica y de control, y se describirá el funcionamiento del sistema total. Luego, se presentará el diseño electrónico, que abarca selección de componentes y como se relacionan; el diseño mecánico, que abarcará análisis de partes críticas del drone, y finalmente el diseño de control, que abarcará los diagramas de flujo del funcionamiento del sistema, así como la estrategia de control para el vuelo del drone.

#### **4.1. Integración del sistema mecatrónico**

En la Figura 4.1 se muestra la integración del sistema mecatrónico, en el cual se puede observar al drone con sus partes más características, como son los brazos con motores y hélices, las patas del tren de aterrizaje, el cover del drone y un módulo GPS sobre el mismo, y que sostiene por debajo al sistema LiDAR, que tiene forma de una caja, dentro del cual se encuentra el sensor LiDAR, una Odroid XU-4, un módulo GPS, etc. En ANEXOS D.1 se explican las distintas partes de este sistema de una forma mucha más gráfica, disgregándolas también en componentes que serían comprados y en componentes que serían diseñados/fabricados. Asimismo, en la siguiente tabla se detalla el presupuesto en soles dado por el cliente que se tendrá como requisito para la selección de los componentes (se usará como tipo de cambio \$1 = S/. 4.10).



Tabla 4.1. Presupuesto dado por el cliente

	S/.	\$
<b>Sistema LiDAR</b>	<b>30000</b>	<b>7317.07</b>
Escáner LiDAR	20000	4878.05
GPS	3000	731.71
Controlador	1000	243.90
Batería	1000	243.90
Extras	5000	1219.51
<b>Materiales mecánicos</b>	<b>4500</b>	<b>1097.56</b>
Frame	2500	609.76
Extras	2000	487.80
<b>Diseño y fabricación</b>	<b>4800</b>	<b>1170.73</b>

	S/.	\$
<b>Materiales electrónicos</b>	<b>18500</b>	<b>4512.20</b>
Controlador de vuelo	1500	365.85
Módulo de poder	1000	243.90
GPS	500	121.95
Módulo de RF	1000	243.90
Telemetría	500	121.95
Motores	6000	1463.41
ESC	2500	609.76
Batería	5000	1219.51
Extras	500	121.95



Figura 4.1. Integración del sistema mecatrónico

Fuente: Propia

## 4.2. Funcionamiento del sistema mecatrónico

El sistema mecatrónico diseñado funcionará para poder mapear zonas vulnerables a desastres naturales mediante el uso de un sensor LiDAR, y para ello primero se debe llevar al dron a la zona de interés. Una vez que se llegue al destino, se deberá encender el radiocontrol, energizar al

drone, establecer comunicación con la laptop (estación en tierra para poder monitorear el estado del drone), y decidir si el vuelo será en modo autónomo o manual. Si es automático, se debe ingresar mediante la interfaz la trayectoria a seguir, luego presionar el switch de seguridad (ubicado en el GPS), energizar el sistema LiDAR y poner en funcionamiento la función Sistema LiDAR. Inmediatamente después, mediante el RadioControl se gira la palanca que da inicio al modo autónomo y durante el vuelo se monitoreará el estado del drone, y una vez que este haya terminado se desconecta el sistema LiDAR, se desenergiza al drone y se cierra la interfaz. Por otra parte, si se desea realizar el vuelo de forma manual, se presiona el switch de seguridad, se selecciona el modo de vuelo manual (Loiter, Stabilize o Altitude Hold), se energiza el Sistema LiDAR y se pone en funcionamiento la función Sistema LiDAR para proceder a volar al drone. Luego, además de que se estará monitoreando en todo momento el vuelo, si el voltaje de la batería es menor a 20.5V (un mecanismo de Failsafe), el drone aterrizará de forma automática; caso contrario, aterrizará cuando ya no se desee seguir volando. Finalmente, se desconecta el sistema LiDAR, se desenergiza al drone y se cierra la interfaz laptop-drone.

### 4.3. Diseño electrónico

Un requisito necesario para el diseño de un drone es saber cuánta carga va a poder soportar, de manera que su vuelo sea óptimo. En este sentido, para poder diseñar el drone es necesario primero definir los componentes que tendrá el sistema LiDAR, que es la carga a soportar, por lo cual se empezará con este sistema.

#### 4.3.1. Selección de componentes electrónicos sistema LiDAR

En esta sección se seleccionarán, teniendo en consideración el presupuesto detallado en la tabla 4.1, el sensor LiDAR, el módulo de GPS externo, la batería LiPo, el regulador de voltaje y el SBC, los cuales estarán conectados de la siguiente manera:






Figura 4.2. Diagrama de bloques de sistema LiDAR

## Sensor LiDAR

Como se mencionó en la sección 2.2.2, un sensor LiDAR emite pulsos de luz láser para posteriormente capturar la señal reflejada por la superficie de interés, midiendo el tiempo que demora en recorrer estas señales la distancia que separa al emisor de luz de la superficie de interés. A continuación, se muestra una tabla comparativa de sensores LiDAR que cumplen con el principio de solución dado en la matriz morfológica, además de una columna con los requisitos que se deben cumplir:

Tabla 4.2. Tabla comparativa de sensores LiDAR

Modelo	Requisitos	OS-1 <sup>128</sup>	OS-1 <sup>64</sup>	OS-1 <sup>16</sup>
		 Fuente: [39]	 Fuente: [39]	 Fuente: [39]
Fabricante	-	Ouster LiDAR	Ouster LiDAR	Ouster LiDAR
Voltaje de alimentación	-	24 VDC	24 VDC	24 VDC
Corriente de consumo	-	0.73 A	0.73 A	0.73 A
Potencia de consumo	-	16 W	16 W	16 W
Peso	<b>&lt; 0.5 kg</b>	380 g	380 g	380 g
Data generada	<b>Retorno simple</b>	Retorno simple 2621440 pps	Retorno simple 1310720 pps	Retorno simple 327680 pps
Comunicación	<b>Ethernet Gigabit</b>	Ethernet Gigabit	Ethernet Gigabit	Ethernet Gigabit
Campo de visión horizontal/vertical	<b>&gt; 180° / &gt; 30°</b>	360° / 45°	360° / 33.2°	360° / 33.2°
Resolución angular horizontal	<b>&lt; 1°</b>	±0.01°	±0.01°	±0.01°
Resolución angular vertical	<b>&lt; 1°</b>	±0.01°	±0.01°	±0.01°
Tasa de rotación	<b>&gt; 5 Hz</b>	10-20 Hz	10-20 Hz	10-20 Hz
Rango	<b>&gt; 50 m</b>	120 m	120 m	120 m
Precio	<b>&lt; \$4878.05</b>	\$18000.00	\$12000.00	\$3500.00




Se opta por elegir por el sensor LiDAR OS-1<sup>16</sup>, debido a que posee un peso menor a 0.5kg (380g), además de que posee data obtenida por retorno simple, lo cual significa que cuando el haz de luz sea reflejado, se detectará al punto más próximo. Si bien las otras opciones también tienen un

funcionamiento y características similares, como peso, resolución o consumo, y que permiten obtener mayor data por segundo, el factor económico fue el determinante en esta ocasión, dado que los otros dispositivos cuestan más de 2 veces el precio del sensor elegido. Cabe mencionar que para la adquisición de data con este sensor se cuenta con drivers para programación en ROS, característica que deberían poder soportar los demás componentes a seleccionar.

### Sensor GPS

El GPS es un sistema de posicionamiento global, que permite saber la posición de un objeto. Para la selección del GPS se tomará en cuenta parámetros como el peso, el consumo, cómo se comunica y envía datos. A continuación, se muestra una tabla comparativa de módulos GPS externo:

Tabla 4.3. Tabla comparativa de módulos GPS para el sistema LiDAR




Modelo	Requisitos	Piksi RTK GPS	xNAV250	MTi-7-DK
		 Fuente: [40]	 Fuente: [41]	 Fuente: [42]
Fabricante	-	Swift Navigation	OxTS (Oxford Technical Solution)	Xsens
Voltaje de alimentación	<b>&lt;=24 VDC</b>	5-15 VDC	10-31 VDC	2.16-3.6 VDC
Corriente de consumo	<b>&lt; 1 A</b>	0.24 A	0.75 A	0.15 A
Potencia de consumo	<b>&lt; 24 W</b>	2.9 W	9 W	500 mW
Peso	<b>&lt; 0.5 kg</b>	26 g	425 g	60 g
Posicionamiento	-	GPS (L1, L2), GLONASS (L1, L2), BeiDou (B1, B2), GALILEO (E1)	GPS (L1, L2), GLONASS (L1, L2)	GPS (L1), GLONASS (L1), BeiDou (B1), GALILEO (E1)
Interfaz de comunicación	<b>USB2.0, USB3.0 Ethernet</b>	UART, CAN, USB2.0, Ethernet	RS-232, Ethernet	UART, USB3.0
Data rate	<b>10Hz</b>	10 Hz	100 Hz	10 Hz
Drivers en ROS	<b>Sí</b>	Sí	Sí	Sí
Precio	<b>&lt; \$731.71</b>	\$595.00	\$14480.00	\$496.25

Se elige el módulo MTi-7-DK de Xsens debido a que no es muy pesado, consume poca corriente, cumple con los demás requisitos y porque es la opción de menor costo, además de que cuenta con drivers para programación en ROS e incluye antena para la localización.

## SBC

El siguiente paso es seleccionar un componente que permitirá almacenar la data proveniente del sensor LiDAR y el módulo GPS, el cual es el SBC, un ordenador de placa reducida, es decir, una minicomputadora que estará a bordo del dron y almacenará data. Por ello, en base a estos componentes se tienen nuevos requisitos, siendo los principales el bajo peso, que tenga puerto Ethernet y que sea compatible con ROS, los cuales junto con posibles opciones se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 4.4. Tabla comparativa de SBC

Modelo	Requisitos	BeagleBone Black	Zini 1660	ODROID XU4
		 Fuente: [43]	 Fuente: [44]	 Fuente: [45]
Fabricante	-	-	ZaReason	Hardkernel
Voltaje de alimentación	$\leq 24$ VDC	5 VDC	19 VDC	5 VDC
Corriente de consumo	$< 1$ A	2 A	2.1 A	4 A
Potencia de consumo	$< 24$ W	10 W	40 W	20 W
Peso	$< 0.5$ kg	40 g	454 g	38 g
Sistema Operativo	<b>Linux Ubuntu &gt;14.0</b>	Linux: Debian, Ubuntu	Linux: Ubuntu 18.04 LTS, Mint 19 Cinnamon, Debian 9.5 Cinnamon, Kubuntu 18.04	Linux: Ubuntu 15.04 Ubuntu 14.04
Networking	<b>Gigabit Ethernet</b>	10/100 RJ-45	Gigabit Ethernet	Gigabit Ethernet
Memoria RAM	$> 1$ GB	512 MB	4 GB	2 GB
Compatible con ROS	<b>Sí</b>	Sí	Sí	Sí
Puertos	<b>USB, Ethernet</b>	USB, Ethernet, MicroSD, MicroHDMI, GPIO	USB3.0, HDMI, Ethernet, SDXC Card Reader	USB2.0, USB3.0, HDMI, Ethernet, MicroSD
Precio	<b><math>&lt; \\$243.90</math></b>	\$62.38	\$549.00	\$51.95

Se elige la ODROID XU4 como la opción más conveniente debido a su poco peso y porque cuenta con Gigabit Ethernet, el cual permitirá la comunicación con el sensor LiDAR. Además, es compatible con programación por ROS y se le puede conectar el módulo GPS seleccionado a través de uno de sus puertos USB. Por otra parte, para poder comunicarse remotamente con la



Odroid XU4 se debe tener acceso a internet, motivo por el cual también se elige el Módulo WiFi 4.






Figura 4.3. Módulo WiFi 4

Fuente: [46]

### Regulador de Voltaje

Dado que se tiene que acondicionar la energía para la SBC a 5 V y del módulo GPS MTi-7-DK a 3.3V, se tendrá que usar un regulador de voltaje, el cual permite obtener a la salida un voltaje diferente al de la entrada, para lo cual se tienen las siguientes opciones:

Tabla 4.5. Tabla comparativa de reguladores de voltaje

Modelo	Requisitos	XY 3606	VI-JW0-MZ	UBEC DUO 12V/5V 4A
		 <p>input :DC9-36V output : DC5V/5A</p> <p>Fuente: [47]</p>	 <p>Fuente: [48]</p>	 <p>Fuente: [49]</p>
Fabricante	-	-	Vicor	Matek Systems
Voltaje de alimentación	<b>24 VDC</b>	9-36 VDC	24 VDC	7-26 VDC
Salidas	<b>5V 4A</b>	5V 5A	5V 5A	5V 4A 5-12V 0-4A
Eficiencia	-	-	< 90%	< 95%
Peso	<b>&lt; 60 g</b>	22 g	117.7 g	32 g
Tamaño	<b>&lt;70x40x10 mm</b>	63x27x10 mm	57.9x53.4x12.7 mm	58x36x8 mm
Protección	-	-	Salida aislada	Alarma bajo voltaje
Precio	<b>&lt;\$50.00</b>	\$4.72	\$599.96	\$16.99

Se selecciona el regulador de voltaje UBEC DUO 12V/5V 4A, porque a pesar de que no es la más económica o la de menor peso, posee una eficiencia máxima de 95%.

Ahora, para determinar la eficiencia exacta del regulador se procederá a listar el consumo de los componentes a los que estará conectado, y luego se ingresará dicho valor en la curva de Eficiencia vs Corriente de salida.

Datos:

- Odroid XU4: 5V 4A 20W
- MTi-7-DK: 3.3V 0.15A 0.5W

Potencia total: **20.5 W** → a **5V** → corriente de consumo = **4.1A**

Entonces, al ingresar este valor en la curva de Eficiencia vs Corriente de salida se obtiene una eficiencia de 87.5%. Si bien el valor de corriente usado está fuera de la gráfica, esto no compromete la seguridad de los dispositivos, pues este regulador puede suministrar como máximo 6A.

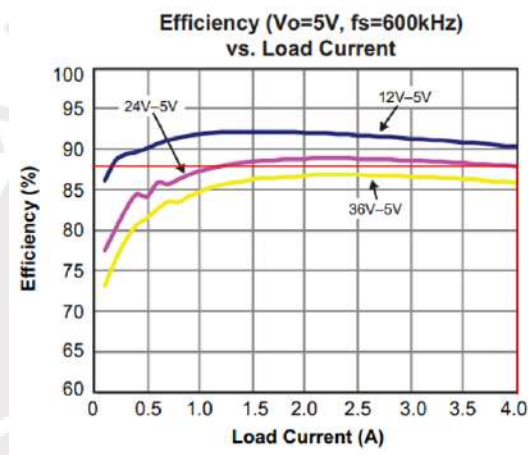


Figura 4.4. Curva Eficiencia vs Corriente de salida del regulador de voltaje UBEC DUO

Fuente: [50]

**Batería LiPo**

Entonces, llegado a este punto, se procede a realizar el cálculo de la batería, para lo cual primero se calcula la potencia consumida por todos los componentes electrónicos.

Tabla 4.6. Energía consumida por los componentes electrónicos del sistema LiDAR

Componente	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia bruta (W)	Eficiencia por regulador de voltaje (%)	Potencia neta (W)
LiDAR OS-1	24	0.73	17.52	100	<b>17.52</b>
MTi-7-DK	3.3	0.15	0.5	87.5	<b>0.57</b>
Odroid XU4	5	4	20	87.5	<b>22.86</b>

El total consumido es de 40.94 W, y a esta potencia se le aplicará un factor de seguridad de 3, dando como resultado:

$$P = 40.94 \times FS = 40.94 \times 3 = 122.82 W$$

Luego de obtener la potencia requerida, se calcula cuánta potencia será consumida en un total de 20 minutos:

$$P = 122.82 W \times 20 \text{ min} \times \frac{1 h}{60 \text{ min}} = 40.94 Wh$$

Ahora, como el voltaje que la batería deberá ser 24 V para poder alimentar al sensor LiDAR, se tiene que:


$$I = \frac{40.94 Wh}{24 V} = 1.71 Ah$$

Sin embargo, se recomienda que las baterías LiPo no bajen del 20% de su capacidad, motivo por el cual se aplicará un factor mayor, del 30%.

$$I = \frac{1.71 A}{(1 - 0.3)} = \frac{1.71 A}{0.7} = 2.44 Ah$$

Finalmente, con los datos de 2.44 Ah y 24V se escoge la batería LiPo 6S 2800mAh, de la marca MaxAmps, pues su costo es menor al presupuestado (era \$243.90) cuyas especificaciones se muestran a continuación:

Tabla 4.7. Especificaciones de batería LiPo 2800mAh 6S

Características	LiPo 2800mAh 6S 22.2v
	 <p>Fuente: [51]</p>
<b>Capacidad</b>	2800 mAh
<b>Voltaje</b>	24 VDC
<b>Calificación C</b>	100 C
<b>Peso</b>	368 g
<b>Precio</b>	\$129.90

Finalmente, se tiene una tabla resumen de los componentes anteriores:

Tabla 4.8. Tabla resumen de los componentes seleccionados para el sistema LiDAR

Componente	Dimensiones (mm)	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Peso (g)
OS-1 LiDAR	φ80x74	371.96	380
Caja de interfaz OS-1 LiDAR	75x50x25	93.75	100
MTi-7-DK	54x58x20	62.64	60
Odroid XU4	90x59x28	148.68	38
LiPo 2800mAh 6S 22.2v	108x37x43	171.83	368
UBEC DUO 12V/5V 4A	58x36x8	16.70	32
<b>TOTAL</b>	-	<b>865.57</b>	<b>978</b>

### 4.3.2. Selección de componentes electrónicos del Drone

En esta sección se seleccionarán, teniendo en consideración el presupuesto detallado en la tabla 4.1, la placa controladora de vuelo, el módulo GPS, el módulo de telemetría RF, el receptor, el módulo de poder, la PDB, los motores, las ESC y la batería LiPo a utilizar, los cuales estarán conectados de la siguiente manera:

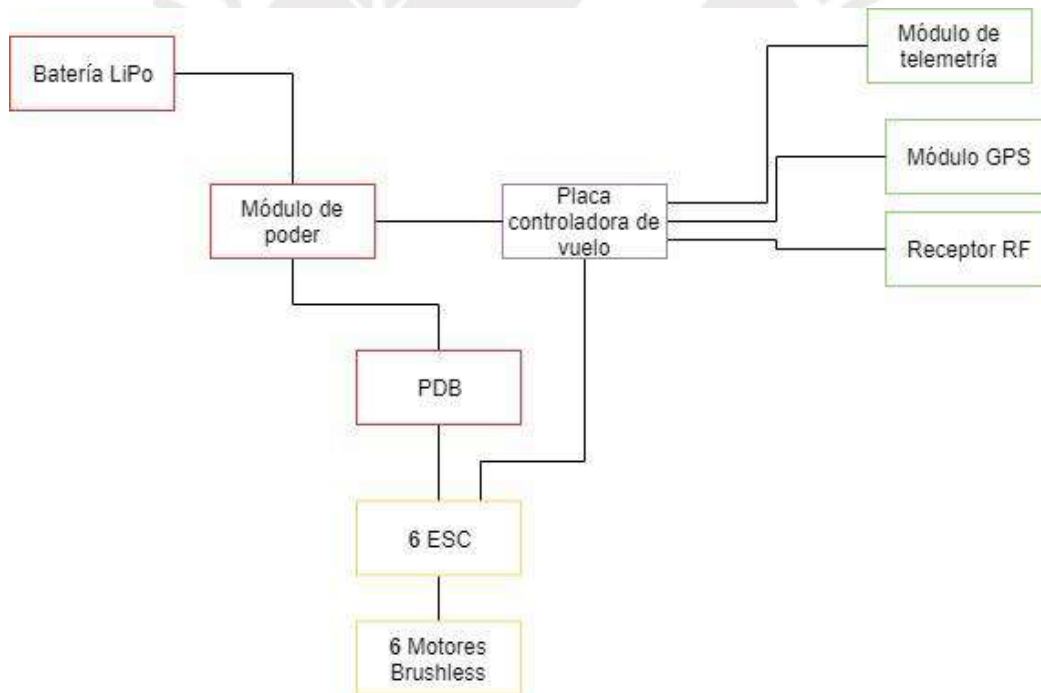


Figura 4.5. Diagrama de bloques de componentes electrónicos del drone

#### Placa controladora de vuelo

La placa controladora de vuelo es el elemento encargado del despegue, navegación y aterrizaje del drone mediante el accionamiento de los motores de acuerdo a mediciones que haga del entorno, como posición, altura y parámetros inerciales. En la siguiente tabla se presentarán las

características de las placas controladoras de vuelo más usadas, para poder seleccionar la óptima para el proyecto:

Tabla 4.9. Tabla comparativa de placas controladoras de vuelo

Modelo	Requisitos	NAZA-M V2	Pixhawk 1	Pixhawk 2.1 Cube
		 Fuente: [52]	 Fuente: [53]	 Fuente: [54]
Fabricante	-	DJI	ProfiCNC & Hex Industries	ProfiCNC & Hex Industries
Voltaje de alimentación	<b>5 VDC</b>	5 VDC	5 VDC	5 VDC
Corriente de alimentación	<b>&lt; 5 A</b>	0.3 A	2 A	2 A
Puertos	<b>I2C, PWM, GPIO, TELEMETRÍA, GPS RECEIVER, SERIAL 4/5, GPIO, SBUS, PPM</b>	Tx & Rx, PWM, S-bus, GPS RECEIVER, CAN	CAN, ADC, I2C, PWM, GPIO, USB, TELEMETRÍA, GPS RECEIVER, SPI, SERIAL 4/5, GPIO	CAN, ADC, I2C, PWM, GPIO, TELEMETRÍA, GPS RECEIVER, SPI, SERIAL 4/5, GPIO, SBUS, PPM
Peso	<b>&lt; 100 g</b>	MC (Main computer): 27 g PMU (Power Management Unit): 28 g	38 g	29 g
IMU	<b>Sí</b>	Sí	Sí	Sí
Tamaño	-	MC: 45.5x32.5x18.5 mm PMU: 39.5x27.5x10 mm	50x15.5x81.5 mm	38.5x38.5x23 mm
Código abierto	<b>Sí, continuado</b>	No, discontinuado	Sí, discontinuado	Sí, continuado
Precio	<b>&lt;\$365.85</b>	\$159.00	\$72.00	\$250.00

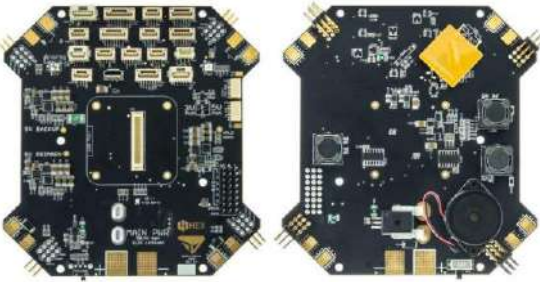
Luego de analizar las alternativas planteadas en la tabla anterior, si bien todas las opciones tienen características similares, se selecciona el Pixhawk 2, llamado también Cube, debido a que cumple con los requisitos anteriores, y sobre todo porque sigue siendo producido, motivo por el cual existe mayor soporte de la comunidad, y con ello, ser el modelo de mayor flexibilidad.



## PDB + Módulo de poder

Dado que el Pixhawk 2.1 Cube es el controlador de vuelo más utilizado actualmente para drones industriales, tiene constante soporte por parte de la comunidad, y producto de ello nació la Tarjeta de Distribución de Potencia Kore, la cual solo es compatible con Pixhawk 2.1 Cube. Esta es como una tarjeta de expansión para el Pixhawk, que le permite controlar hasta 8 motores, que tiene incluido reguladores de voltaje con salidas de 5V y 12V, que permite hasta 50.4V de entrada y lo regula para energizar al Pixhawk, y además permite sensor el nivel de batería. Por ello se usará esta tarjeta en lugar del módulo de poder, que era para alimentar al Pixhawk y sensor el nivel de batería, y también en lugar de una PDB común que permitía alimentar eficientemente a los motores, dado que como se puede apreciar en la siguiente tabla, tiene mayores funcionalidades:

Tabla 4.10. Especificaciones de Tarjeta de Distribución de Potencia Kore




Modelo	Kore v1.3.1  Fuente: [55]
Fabricante	SPEKTREWORKS
Voltaje de alimentación	5-50.4 VDC
Salidas	ESC: 3 o 5V PWM / hasta 140 A con picos de 280 A J1: Voltaje de batería / máximo 3 A J14: 5.3 V / máximo 1.5 A J19: 12.2 V / máximo 2 A
Peso	79 g
Dimensiones	116.74x108.71 mm
Motores	8 como máximo
Puertos	2 Telemetría / 2 GPS / 2 I2C / 2 CAN / 1 SPI / 1 ADC / 1 SBUS / 1 PPM / 1 BATT2 Sense / 6 AUX
Seguridad	-Salidas con fusibles de protección -Luces indicadoras de energizado y error -Buzzer indicador de conectado o no
Precio	\$200.00

## Módulo GPS

El módulo GPS es el encargado de obtener la ubicación (latitud, longitud y altura), información que usará el Pixhawk 2 para el vuelo. Como criterios principales se tiene al peso, número de

canales (cantidad de satélites disponibles a analizar) y precio. En la siguiente tabla se presentarán las características de los módulos GPS, para poder seleccionar la óptima para el proyecto:

Tabla 4.11 Tabla comparativa de módulos GPS para el dron

Modelo	Requisitos	Piksi RTK GPS	Here + RTK GPS	Here 2 GNSS GPS
		 <p>Fuente: [40]</p>	 <p>Fuente: [56]</p>	 <p>Fuente: [57]</p>
Fabricante	-	Swift Navigation	ProfiCNC & Hex Industries	ProfiCNC & Hex Industries
Voltaje de alimentación	<b>5 VDC</b>	5-15 VDC	5 VDC	5 VDC
Peso	<b>&lt; 100 g</b>	26 g	49 g	49 g
Posicionamiento	<b>GPS (L1), GLONASS (L1), BeiDou (B1)</b>	GPS (L1, L2), GLONASS (L1, L2), BeiDou (B1, B2), GALILEO (E1)	GPS (L1), GLONASS (L1), BeiDou (B1), GALILEO (E1)	GPS (L1), GLONASS (L1), BeiDou (B1), GALILEO (E1)
Frecuencia de actualización	<b>&gt; 5 Hz</b>	10 Hz	10 Hz	10 Hz
Número de canales	<b>&gt; 15</b>	22	72	72
Soporte	<b>Sí, por la comunidad</b>	No	Sí, por la comunidad	Sí, por la comunidad
Precio	<b>&lt;\$121.95</b>	\$595.00	\$600.00	\$125.00





Luego de analizar las alternativas planteadas en la tabla anterior, si bien todas las opciones tienen características similares, se selecciona el módulo Here 2 GNSS GPS debido a que cumple con los requisitos anteriores, y porque dado es compatible con los modelos de Pixhawk, la conexión e integración es más fácil, debido a que es soportado por la comunidad, y hay más información en la web. Además, posee un alto número de canales, que es la cantidad de satélites disponibles a analizar, y una frecuencia de actualización de 10Hz.

### Receptor de RF

Un receptor de RF es un receptor en el dron que se usa con un radiocontrol para poder moverlo de forma manual, enviando estas señales a la placa controladora de vuelo. Se optó por incluir un receptor de RF para poder realizar vuelos manuales, considerando que se realizarán pruebas para determinar las ganancias necesarias para el algoritmo de control PID, y por ello es más seguro

realizarlo de modo manual que de modo autónomo. En la siguiente tabla se presentan las características de receptores de RF, con su respectivo radiocontrol.

Tabla 4.12. Tabla comparativa de receptores RF

Modelo	Requisitos	R6208SB	X4R	X8R
		 Fuente: [58]	 Fuente: [59]	 Fuente: [60]
Fabricante	-	Futaba	FrSKY	FrSKY
Voltaje de alimentación	<b>5 V</b>	3.5-8.4 V	4-10 V	4-10 V
Corriente consumo	<b>&lt;150 mA</b>	-	100mA@5V	100mA@5V
Peso	<b>&lt;15 g</b>	13.8 g	5.8 g	12.1 g
Dimensiones	-	24.9x47.3x14.3 mm	40x22.5x6 mm	46.25x26.6x14.2 mm
Canales	<b>&gt;5 canales</b>	8 canales	16 canales	16 canales
Protocolos	<b>SBUS</b>	SBUS, PWM	SBUS, PWM	SBUS, PWM
Rango	<b>&gt;1 km</b>	-	>1.5 km	>1.5 km
Modelo Transmisor		T8FG Super	Taranis X9D Plus	Taranis X9D Plus
		 Fuente: [61]	 Fuente: [62]	 Fuente: [62]
Fabricante	-	Futaba	FrSKY	FrSKY
<b>Precio total</b>	<b>&lt;\$243.90</b>	\$630.41	\$213.76	\$224.99




Luego de analizar las alternativas, se opta por escoger el módulo receptor X8R, debido a que cumple con los requisitos de peso, protocolos, alimentación, y porque cuesta menos que el módulo de la marca Futaba, y porque la página de Ardupilot [63] recomienda el X8R sobre el X4R, ya que alega que es más común su uso y es más versátil.

### Telemetría RF

El módulo de telemetría por RF es el componente que permite el intercambio de información entre el dron y la estación en tierra, que en este caso será una laptop. Este componente se usará

para obtener la información de la ubicación del drone y del nivel de carga de las baterías LiPo. Entonces, para este componente se requiere que tenga un rango aceptable, mayor a 1Km, y que funcione en una frecuencia de 433MHz o 915MHz para que no exista interferencia con otros dispositivos.

Tabla 4.13. Tabla comparativa de módulos de telemetría RF

Modelo	Requisitos	RFD 900x	SiK Telemetry Radio V2	Radio Telemetry Kit
		 <p>Fuente: [64]</p>	 <p>Fuente: [65]</p>	 <p>Fuente: [66]</p>
Fabricante	-	RFDesign Pty Ltd	mRobotics	3DR
Voltaje de alimentación	<b>5 V</b>	3.5-5.5 V	3.7-6 V	3.7-6 V
Corriente consumo	<b>&lt; 1 A</b>	800 mA (máx)	100 mA	100 mA
Peso	<b>&lt; 20 g</b>	14.5 g	10 g	18 g (con antena)
Rango	<b>&gt;=500 m</b>	15-40 km	500 m	-
RF Data Rate	<b>&gt;=250 kbps</b>	Hasta 750 kbps	Hasta 250 kbps	Hasta 250 kps
Frecuencia	<b>433MHz o 915MHz</b>	902-928MHz	433 o 915MHz	433MHz
Precio	<b>&lt;\$121.95</b>	\$94.83	\$52.90	\$44.69

Si bien en la página de Autopilot [67] [68] hay suficiente información sobre estos componentes, y además recomienda estos tipos de módulos de telemetría, se selecciona el RDF 900x debido a que tiene un mayor rango de funcionamiento, y tiene una mayor tasa de envío de datos por RF que los módulos de telemetría de SiK Telemetry.

Llegado a este punto, ya se tiene la mayoría de los componentes electrónicos; no obstante, para poder proceder a la selección de los motores, sus ESC y la batería LiPo, es necesario empezar con la parte mecánica, puesto que con el peso casi total se podrá estimar que motor usar, qué ESC soportará dicha corriente, y así sucesivamente. Los cálculos y gráficos respectivos se encuentran en ANEXOS C.

### Motores Brushless

Un Motor Brushless es un motor sin escobillas que resalta por no contar con escobillas de carbono, y por ello, reduce la fricción durante su funcionamiento y posee alta eficiencia, a diferencia de los motores DC convencionales, que poseen escobillas en el rotor para realizar el cambio de polaridad. Estos motores son de alta potencia y bajo peso debido a que utilizan imanes de

neodimio, una tierra rara que genera campos magnéticos muy fuertes [69]. La alimentación se da por tres entradas ya que funcionan como motores trifásicos. Una desventaja de estos motores es la necesidad de un controlador especial adicional que controle la fase y frecuencia, llamados ESC (Electronic Speed Control).

El hecho de seleccionar un motor brushless es un cálculo iterativo, el cual se basa en el peso de los componentes que debe incluir el dron (estructura, cámara, sensores, controlador de vuelo) y aquellos cuyo peso no se tiene inicialmente (modelo de batería y número de baterías, motores, hélices). A continuación, se presenta el motor brushless escogido, así como sus respectivas hélices, lo cual se muestra a continuación:

Distintos fabricantes ponen a disposición de los clientes tablas de ensayos de sus motores de acuerdo con distintos KV (constante de revolución de un motor eléctrico) y tamaño de hélices, y para esta tesis se consideró usar la serie MN del fabricante T-Motor, el cual es reconocido por la comunidad de usuarios de drones como uno de los mejores fabricantes de motores sin escobillas.

En este sentido, como son varios modelos de motores, se debe filtrarlos de acuerdo con restricciones del sistema.

Restricciones:

- Como el frame (estructura) del dron tiene una distancia de 960mm de motor a motor, esto nos limita a usar hélices de diámetro máximo 18.8” y de paso máximo 11.9”.
- Los motores deberán alimentarse con baterías LiPo 6S, lo cual se traduce en un rango de 20.5V–25.2V, debido a que mayor voltaje implicaría usar baterías poco comerciales, y porque conectar baterías LiPo en serie no sería lo adecuado en caso suceda algún inconveniente, puesto que al estar en serie las celdas no podrían descargarse adecuadamente.
- Empuje mínimo requerido, de acuerdo con los siguientes datos:

Tabla 4.14. Tabla resumen de pesos estimados de los componentes del dron

<b>Componentes para el vuelo</b>	<b>Peso (g)</b>
Componentes electrónicos para el vuelo	183.6
Componentes mecánicos para el vuelo	1963
Sistema LiDAR	1500
Subtotal	3646.6
Cables, extras (10%)	364.66
<b>Total</b>	<b>4011.26</b>

Como se mencionó anteriormente, esto no incluye los motores, hélices, ESCs ni baterías que se deben seleccionar. Asumiendo que los componentes de potencia resultan en una masa adicional de 4000 g (cada batería tendría una masa cercana a 1200 g), se tiene una masa total de 8011.26



g. A partir de este valor se seleccionan los motores, para lo cual se debe calcular el empuje (thrust) requerido por motor, utilizando la siguiente fórmula:

$$Empuje_{motor} = \frac{Masa\ total \times FS}{\# \text{ de motores}}$$

Donde FS=3 es el Factor de Seguridad que determina la razón Empuje/Peso. Reemplazando valores en la ecuación 1 se tiene el siguiente resultado:

$$Empuje_{motor} = \frac{8011.26 \times 3}{6}$$

$$Empuje_{motor} = 4005.63g \leq \text{última restricción}$$

A partir de estas restricciones, se procede a buscar el motor que permita tener un empuje mayor al hallado anteriormente en la página de T-Motor, que funcione con baterías de 6S como máximo, y que funcionen con hélices de 18.6" de diámetro máximo y 11.9" de paso máximo.

Entonces, con dichas restricciones se verificó qué motores cumplían las restricciones, siendo ellos los siguientes:

Tabla 4.15. Tabla comparativa de motores brushless T-Motor

MN501S KV360	18" 6.1"	Precio: \$99.9	MN505S KV380	17.5" 5.8"	Precio: \$109.9	MN505S KV380	18" 6.1"	Precio: \$109.9
Thrust (g)	Corriente (A)	Eficiencia (g/W)	Thrust (g)	Corriente (A)	Eficiencia (g/W)	Thrust (g)	Corriente (A)	Eficiencia (g/W)
917	3.93	9.75	903	4.6	8.2	1071	5.3	8.43
989	4.35	9.51	987	5.1	8.02	1160	5.9	8.22
1080	4.82	9.36	1076	5.7	7.84	1287	6.6	8.16
1160	5.32	9.12	1153	6.3	7.64	1414	7.4	7.98
1310	6.14	8.92	1245	6.9	7.55	1545	8.2	7.89
1450	7.09	8.54	1386	7.7	7.47	1676	9	7.78
1540	7.76	8.29	1504	8.6	7.31	1843	10.1	7.63
1657	8.48	8.16	1628	9.4	7.24	1985	11.2	7.36
1708	9.31	7.66	1745	10.2	7.11	2084	12.2	7.1
1881	10.36	7.58	1877	11.2	6.99	2216	13.3	6.93
2003	11.26	7.43	1975	12	6.87	2347	14.5	6.75
2138	12.1	7.38	2122	13.1	6.78	2486	15.6	6.63
2269	13.13	7.22	2224	14.1	6.6	2645	16.9	6.52
2400	14.24	7.03	2344	15.2	6.44	2806	18.3	6.4
2519	15.29	6.87	2481	16.4	6.33	2936	19.6	6.24
2671	16.46	6.77	2590	17.4	6.22	3091	21	6.13
2974	19.34	6.41	2916	20.2	6.02	3456	24.5	5.89
3276	22.39	6.1	3176	23.4	5.67	3818	28.6	5.58
3959	29.83	5.53	3860	31	5.21	4606	37.7	5.11
4644	38.43	5.03	4550	39.8	4.79	5444	48.8	4.68

Tomando como criterio la eficiencia de los motores, los 2 mejores modelos que cumplen con lo requerido son los motores MN501S KV360 y MN505S KV380, ambos con hélices de 18” de diámetro y 6.1” de paso. Antes de analizar el rendimiento de los motores se debe calcular la energía específica de la batería para poder estimar pesos en base al voltaje y capacidad de esta. Se optó por seleccionar para este caso la marca MaxAmps, la cual es muy usada debido a su buen rendimiento para el funcionamiento de drones. Dicho cálculo se muestra a continuación, usando la siguiente fórmula:

$$Energía_{específica} = \frac{Capacidad \times Voltaje}{Peso} \times 1000$$

Donde:

- Energía específica [Wh/kg]
- Capacidad [Ah]
- Voltaje [V]
- Peso [g]

Tabla 4.16. Energía específica de baterías MaxAmps

Capacidad (Ah)	Voltaje (V)	Peso (g)	Energía específica (Wh/kg)
4	14.8	388	152.5773196
4.85	14.8	451	159.1574279
6.5	14.8	639	150.5477308
8	14.8	764	154.973822
9	14.8	804	165.6716418
11	14.8	850	191.5294118
12	14.8	1046	169.789675
16	14.8	1332	177.7777778
17	14.8	1294	194.4358578
22	14.8	1690	192.6627219
4	22.2	573	154.973822
4.85	22.2	675	159.5111111
6.5	22.2	951	151.7350158
8	22.2	1136	156.3380282
9	22.2	1188	168.1818182
11	22.2	1270	192.2834646
12	22.2	1554	171.4285714
16	22.2	1992	178.313253
17	22.2	1928	195.746888
22	22.2	2530	193.0434783
		<b>promedio</b>	<b>171.5339418</b>

Una vez obtenido la energía específica de la batería, se debe calcular los pesos de los componentes de potencia que implican usar un motor u el otro. Asimismo, con las tablas anteriores se modela la corriente de consumo del motor en función del empuje, obteniendo los siguientes datos:

Tabla 4.17. Pesos y fórmulas de la corriente de consumo en función del empuje

	Peso (g)	Hélice (g)	ESC (g   modelo)	Total (x6)	Fórmula
<b>MN501S KV360</b>	175	74	54.5 Alpha 40A LV	1821	$I(T) = T^2 \times 10^{-6} + 0.0036T - 0.1588$
<b>MN505S KV380</b>	225	74	62.8 Alpha 60A LV	2170.8	$I(T) = 9 \times T^2 \times 10^{-7} + 0.004T - 0.0847$

Donde:

T: empuje del motor [g]

I(T): corriente de consumo del motor en función del empuje [A]

C: capacidad de la batería [Ah]

V: voltaje de la batería [V]

Ahora, se procederá a calcular la corriente y tiempo de vuelo que se usaría con cada motor para baterías LiPo con diferentes capacidades, para elegir la que tenga el mejor performance, considerando las siguientes fórmulas. Cabe mencionar que como se recomiendan que las baterías LiPo no bajen del 20% de su capacidad se aplicará un factor mayor, del 30%.

$$Peso_{bat} = \frac{C \times V \times 1000}{\rho}$$

$$t_{vuelo} = \frac{C \times 60 \times (1 - 0.3)}{I\left(\frac{Peso_{total}}{m}\right) \times m}$$

$$Peso_{total} = Peso_{bat} + Peso_{potencia} + Peso_{drone \text{ sin potencia}}$$

Donde:

T: empuje del motor [g]

I(T): corriente de consumo del motor en función del empuje [A]

C: capacidad de la batería [Ah]

V: voltaje de la batería [V]

m: número de motores

$t_{\text{vuelo}}$ : tiempo de vuelo [min]

Peso dron sin potencia: peso del dron sin los componentes de potencia [g] => 4012 g

Peso potencia: peso de los componentes de potencia [g] => MN501S KV360: 1821 g  
MN505S KV380: 2170.8 g

Peso bat: peso de la batería [g]

Peso total: peso de la batería [g]

Tabla 4.18. Tabla comparativa de corriente de consumo y tiempo de vuelo de los motores brushless

Capacidad (Ah)	Voltaje (V)	Peso batería (g)	MN501S KV360				MN505S KV380			
			Peso total (g)	Empuje (g)	Corriente consumo por motor (A)	Tiempo de vuelo (min)	Peso total (g)	Empuje (g)	Corriente consumo por motor (A)	Tiempo de vuelo (min)
2	22.2	258.847	6091.847	1015.308	4.527	3.092	6441.647	1073.608	5.247	2.668
3	22.2	388.270	6221.270	1036.878	4.649	4.517	6571.070	1095.178	5.375	3.907
4	22.2	517.694	6350.694	1058.449	4.772	5.868	6700.494	1116.749	5.505	5.087
5	22.2	647.117	6480.117	1080.020	4.896	7.149	6829.917	1138.320	5.635	6.211
6	22.2	776.541	6609.541	1101.590	5.020	8.366	6959.341	1159.890	5.766	7.284
7	22.2	905.964	6738.964	1123.161	5.146	9.522	7088.764	1181.461	5.897	8.309
8	22.2	1035.387	6868.387	1144.731	5.273	10.621	7218.187	1203.031	6.030	9.287
9	22.2	1164.811	6997.811	1166.302	5.400	11.666	7347.611	1224.602	6.163	10.222
10	22.2	1294.234	7127.234	1187.872	5.529	12.661	7477.034	1246.172	6.298	11.115
11	22.2	1423.658	7256.658	1209.443	5.658	13.609	7606.458	1267.743	6.433	11.970
12	22.2	1553.081	7386.081	1231.014	5.788	14.512	7735.881	1289.314	6.569	12.788
13	22.2	1682.505	7515.505	1252.584	5.919	15.373	7865.305	1310.884	6.705	13.571
14	22.2	1811.928	7644.928	1274.155	6.052	16.194	7994.728	1332.455	6.843	14.321
15	22.2	1941.351	7774.351	1295.725	6.185	16.977	8124.151	1354.025	6.981	15.040
16	22.2	2070.775	7903.775	1317.296	6.319	17.725	8253.575	1375.596	7.121	15.729
17	22.2	2200.198	8033.198	1338.866	6.454	18.439	8382.998	1397.166	7.261	16.389
18	22.2	2329.622	8162.622	1360.437	6.590	19.121	8512.422	1418.737	7.402	17.023
19	22.2	2459.045	8292.045	1382.008	6.726	19.773	8641.845	1440.308	7.544	17.631
20	22.2	2588.468	8421.468	1403.578	6.864	20.396	8771.268	1461.878	7.686	18.214
21	22.2	2717.892	8550.892	1425.149	7.003	20.992	8900.692	1483.449	7.830	18.775
22	22.2	2847.315	8680.315	1446.719	7.142	21.561	9030.115	1505.019	7.974	19.313
23	22.2	2976.739	8809.739	1468.290	7.283	22.107	9159.539	1526.590	8.119	19.830
24	22.2	3106.162	8939.162	1489.860	7.424	22.628	9288.962	1548.160	8.265	20.327
25	22.2	3235.586	9068.586	1511.431	7.567	23.127	9418.386	1569.731	8.412	20.804
26	22.2	3365.009	9198.009	1533.002	7.710	23.605	9547.809	1591.302	8.560	21.263
27	22.2	3494.432	9327.432	1554.572	7.854	24.063	9677.232	1612.872	8.708	21.704
28	22.2	3623.856	9456.856	1576.143	8.000	24.501	9806.656	1634.443	8.857	22.129
29	22.2	3753.279	9586.279	1597.713	8.146	24.921	9936.079	1656.013	9.007	22.537
30	22.2	3882.703	9715.703	1619.284	8.293	25.323	10065.503	1677.584	9.158	22.930

Se puede observar que el motor MN501S KV360 es más eficiente que el motor MN505S KV380, debido a que permite un mayor tiempo de vuelo a un consumo menor de corriente, y es el motor seleccionado. Asimismo, se tiene que la capacidad de batería mínima para este motor es 20 Ah, lo cual servirá para la selección de la batería, y que el precio por los 6 motores es menor al presupuestado ( $\$599.40 < \$1463.10$ ).

Tabla 4.19. Especificaciones de motor brushless MN501S KV360


MN501S KV360	Fabricante	Voltaje	Corriente pico	Peso	Dimensiones	Hélice recomendada	ESC recomendada	Precio
 <p>Fuente: [70]</p>	T-Motor	24 V	40 A	175 g	φ55.6x33.9 mm	17-18"	40 A	\$99.90




Tabla 4.20. Especificaciones de hélices MF1806

MF1806	Fabricante	Diámetro	Paso	Peso	Precio
 <p>Fuente: [71]</p>	T-Motor	18.4 pulgadas	6.6 pulgadas	74 g	\$44.90

## ESC

Un ESC es un variador de velocidad electrónico que se usa en conjunto con motores brushless, para poder variar la velocidad de los motores en base a una señal pwm proveniente del controlador de vuelo. Entonces, de acuerdo con las especificaciones del fabricante brindadas en la tabla 4.18, se tiene que escoger un ESC que soporte 40A para el motor brushless seleccionado. A continuación, se presentan las opciones:

Tabla 4.21. Tabla comparativa de ESC

Modelo	Requisitos	Air 40A	T 60A	Alpha 40A LV
		 <p>Fuente: [72]</p>	 <p>Fuente: [73]</p>	 <p>Fuente: [74]</p>
Fabricante	-	T-Motor	T-Motor	T-Motor
Batería LiPo permitida	<b>6S</b>	2-6S	2-6S	6S
Corriente soportada	<b>40 A</b>	40-60 A	60-80 A	40-60 A
Peso	<b>&lt;60 g</b>	26 g	60 g	54.5 g
Protección	<b>Sí</b>	Protección de inicio / sobrecorriente / pérdida de señal	Protección de inicio / sobrecorriente	Protección de inicio / sobrecorriente / pérdida de señal / cortocircuito / bajo voltaje / contacto al agua
Precio	<b>&lt;\$609.76</b>	\$39.99 x 6 = \$239.94	\$59.99 x 6 = \$359.94	\$69.99 x 6 = \$419.94

Luego de analizar las alternativas, se escoge el ESC Alpha 40A LV de T-Motor a pesar de su precio debido a que posee múltiples protecciones, no es muy pesada y cumple con los requerimientos necesarios para controlar el motor brushless seleccionado.

### Batería LiPo

Una vez que ya se tienen los elementos de potencia seleccionados, se tiene que calcular cuánto es la capacidad que deberá tener la batería, teniendo en cuenta alimentarán al circuito de potencia y a toda la electrónica del drone (controlador de vuelo, gps, etc).

En ese sentido, se tienen los siguientes consumos:

Tabla 4.22. Energía consumida por los componentes electrónicos del drone

Elemento	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
Pixhawk 2.1 Cube	5	3 (máx)	15
GPS Here 2	5	0.2	1
RFD900x	5	0.1	0.5
X8R	5	0.1	0.5

Revisando la documentación del Pixhawk 2.1 Cube y la información proporcionada por los foros, se tiene que su consumo depende de la cantidad de periféricos conectados, y todos concluyen que como máximo consumiría 3A [75], pero que lo normal es que consuma en promedio 1A. Entonces, para el cálculo del tiempo de vuelo final se tomará el consumo de la electrónica con 3A, el peor caso.

El total consumido es de 17 W, y a esta potencia se le aplicará un factor de seguridad de 3, dando como resultado:

$$P = 17 \times FS = 17 \times 3 = 51 W$$

Luego de obtener la potencia requerida, se calcula cuánta potencia será consumida en un total de 20 minutos:

$$P = 51 W \times 20 \text{ min} \times \frac{1 h}{60 \text{ min}} = 17 Wh$$

Ahora, como el voltaje que la batería deberá ser 24 V para poder alimentar a los motores, se tiene que:

$$I = \frac{17 Wh}{24 V} = 0.71 Ah$$

Sin embargo, se recomienda que las baterías LiPo no bajen del 20% de su capacidad, motivo por el cual se aplicará un factor mayor, del 30%.





$$I = \frac{0.71 A}{(1 - 0.3)} = \frac{0.71 A}{0.7} = 1.01 Ah$$

Ahora, con las capacidades obtenidas considerando los factores de seguridad, se tiene que la capacidad total es:

$$C_{total} = C_{sist. potencia} + C_{sist. electrónico} = 20 + 1.01 = 21.01 Ah$$

A continuación, se presentan las opciones:

Tabla 4.23. Especificaciones de baterías LiPo 6S

Modelo	Requisitos	LiPo 11000 6S 22.2V Battery Pack	LiPo 10900 6S 22.2V Battery Pack
		 Fuente: [76]	 Fuente: [77]
Fabricante	-	MaxAmps	MaxAmps
Voltaje nominal	<b>22.2 V (6 Celdas)</b>	22.2 V (6 Celdas)	22.2 V (6 Celdas)
Carga	<b>21010 mAh</b>	11000 mAh	10900 mAh
C-Rating	-	40 C	120 C
Peso	-	1270 g	1371 g
Dimensiones	-	158x59x61 mm	137x45x104 mm
Precio	<b>&lt;\$1219.51</b>	\$419.99	\$449.99

Finalmente, se selecciona 2 baterías LiPo 6S 11 Ah, debido a que no hay una batería de la capacidad requerida, además de ser la de menor peso y precio. Si bien el C-rating de la 2da opción es mayor (120 C), este parámetro solo indica cuál es la corriente máxima que podría suministrar la batería de forma continua, siendo estas 440 A y 1308 A respectivamente. Asimismo, con estas baterías, al ser de mayor capacidad (22 Ah), se obtiene una autonomía de 20.9 minutos.

### 4.3.3. Diagramas esquemáticos

A continuación, se mostrarán los diagramas esquemáticos de los componentes electrónicos del drone y del sistema LiDAR, los cuales mostrarán cómo están conectados los distintos elementos para el correcto funcionamiento. El diagrama completo y unificado se puede ver en ANEXOS F, y los datasheets correspondientes se encuentran en ANEXOS E.

### Controlador de vuelo Pixhawk2 + tarjeta de distribución de potencia Kore

En la Figura 4.6 se muestra las conexiones del Pixhawk 2 + Kore, considerados como un solo elemento, puesto que la tarjeta de distribución de potencia Kore es como una expansión del Pixhawk2. Entonces, se puede apreciar que se le conecta las baterías que energizará al dron (VDD1 y GND1), el módulo de telemetría RFD900x (TLM1), el módulo GPS HERE2 (GPS1) y los 6 ESCs de los motores brushless (MAIN1...6 para la señal y ESC1...6\_VCC y ESC1...6\_GND para la alimentación de los motores).

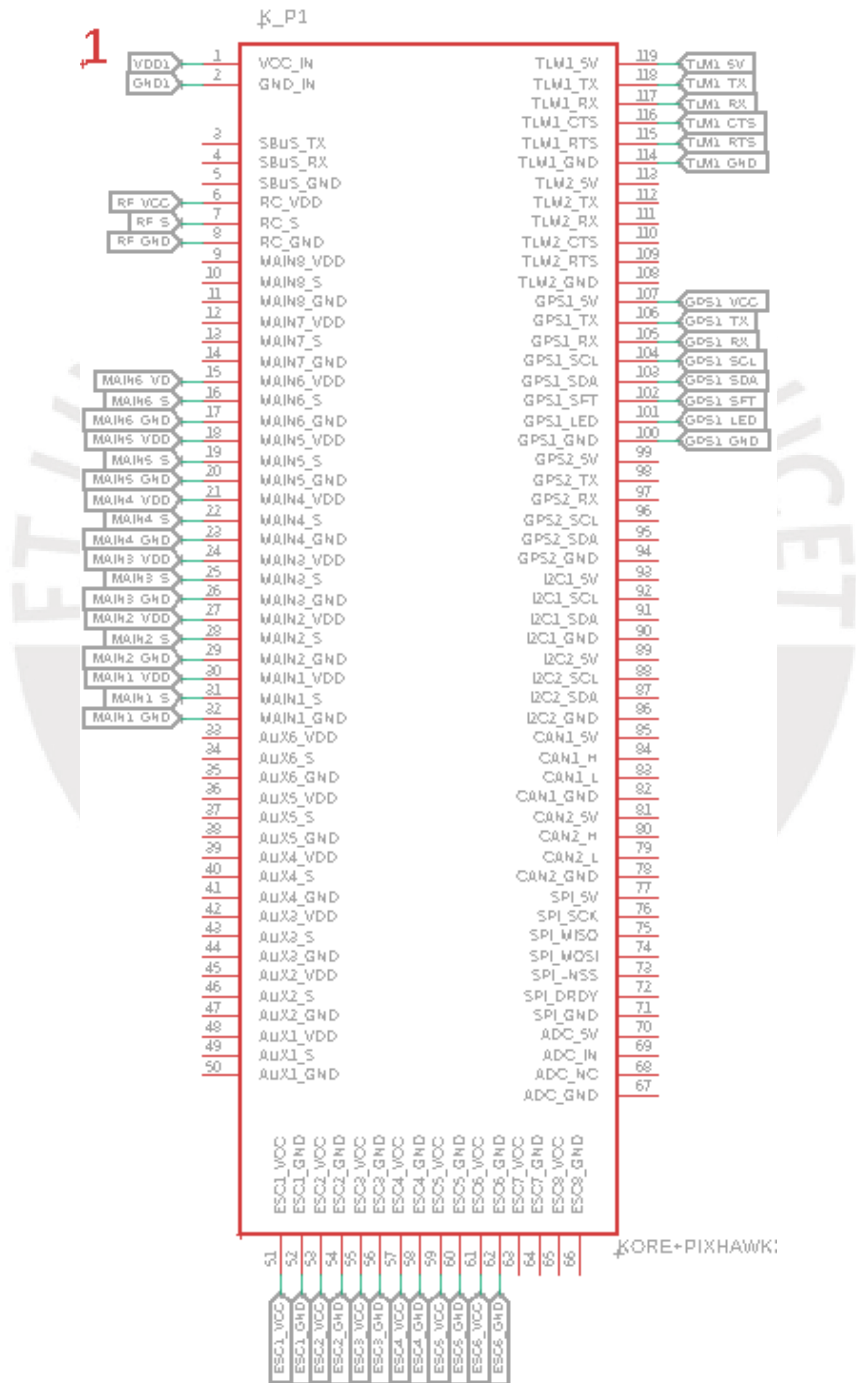


Figura 4.6. Diagrama esquemático del controlador de vuelo

## Here 2 GNSS GPS

En la Figura 4.7 se muestra las conexiones del GPS HERE 2 con el controlador de vuelo, los cuales son los pines para alimentación (VCC y GND), transmisión y recepción de datos (TX y RX), serial data (SDA), serial clock (SCL), un pin que habilita el switch de seguridad del GPS (SFT) y un pin de led (LED).

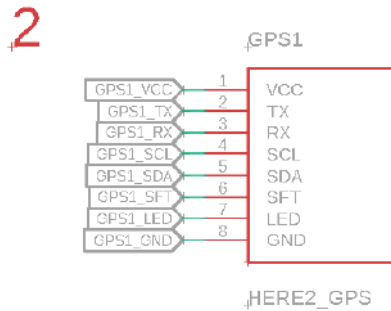


Figura 4.7. Diagrama esquemático del GPS del drone

## Módulo de telemetría RFD900x

En la Figura 4.8 se muestra las conexiones del módulo de telemetría RFD900x, los cuales son los pines de alimentación (VCC y GND), transmisión y recepción de datos (TX y RX) y los pines *request to send* y *clear to send* (RTS y CTS), los que permiten alertar al trasmisor y receptor sobre el estado del otro dado que se produce una comunicación bidireccional, y de esta manera evitar que se pierda información.

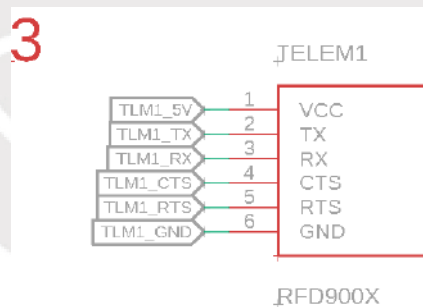


Figura 4.8. Diagrama esquemático del módulo de telemetría del drone

## Receptor RF X8R

En la Figura 4.9 se muestra las conexiones del receptor por RF X8R. Si bien se pudo haber usado la salida de cada canal (puede ser hasta 8) para conectarlo a la placa controladora de vuelo, ello habría dejado como saldo pocos puertos para conectar disponibles, y es por ese motivo que se usará los pines de SBUS, el cual es un protocolo serial para aplicaciones de radiocontroles, siendo conectados al puerto RC de la placa controladora de vuelo, como puede ver en la Figura 4.6.

4

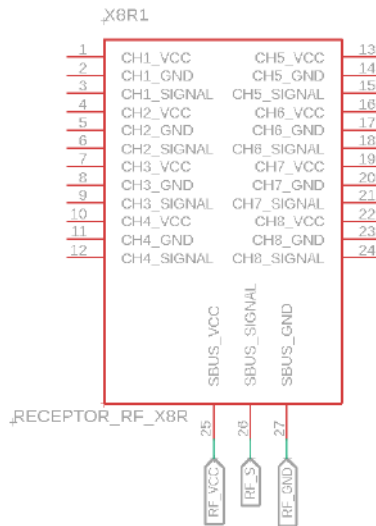


Figura 4.9. Diagrama esquemático del receptor de RF del drone

### ESCs

En la Figura 4.10 se muestran los 6 ESCs Alpha 40A LV, los cuales reciben la señal de la placa controladora de vuelo (MAIN1...6), la alimentación de cada motor (ESC1...6\_VCC y ESC1...6\_GND) y su salida conectada a los motores brushless (BRUSH1...6).

5

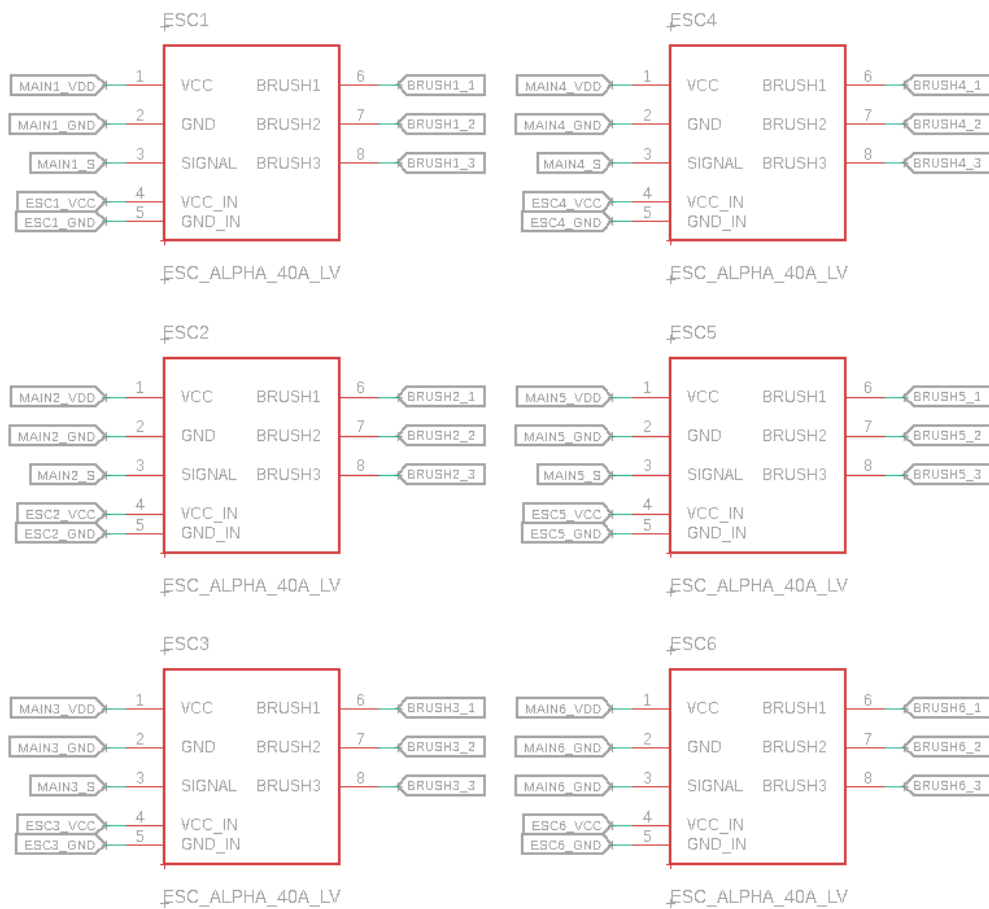


Figura 4.10. Diagrama esquemático de los ESCs del drone

### Sensor Ouster LiDAR + caja de interfaz

En la Figura 4.11 se muestra al sensor LiDAR (OS1) con sus pines de alimentación y comunicación conectados directamente a la caja de interfaz del sensor, ya que de esta manera viene cuando se le adquiere y el fabricante sugiere no modificar. También, se muestra que en la caja de interfaz se conecta la alimentación del sensor LiDAR (VCC\_LI y GND\_LI) y la conexión ethernet (ETH) con la ODROID XU4, el cual almacenará la nube de puntos obtenidos por el sensor.

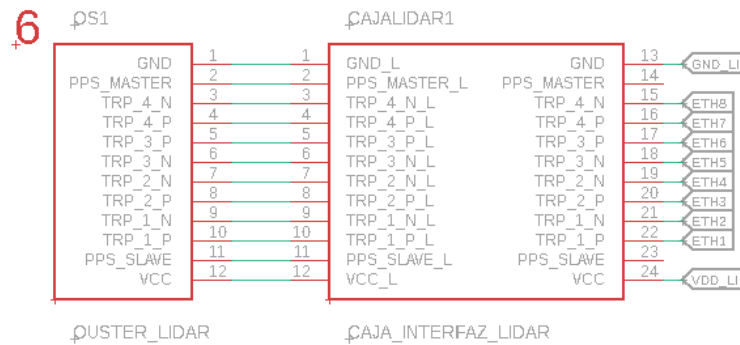


Figura 4.11. Diagrama esquemático del sensor LiDAR

### ODROID XU4

En la Figura 4.12 se muestra las conexiones de la ODROID XU4, la cual es la encargada de almacenar la nube de puntos provenientes del sensor LiDAR, además de la información de posición obtenida del módulo GPS MTi-7-DK. Se conecta la alimentación proveniente del regulador de voltaje UBEC DUO (VCC\_O y GND\_O) para energizarlo, con la caja de interfaz del sensor LiDAR mediante Ethernet (ETH) y con el módulo GPS MTi-7-DK mediante USB2.0.

### Baterías LiPo

En la Figura 4.13 a) se muestran las baterías LiPo 6S 11A del drone (BATDRONE) y la batería LiPo 6S 2.8A del LiDAR (BAT\_LIDAR), las cuales energizarán a sus respectivos componentes mediante conectores XT60.

### Conectores XT60 y Switch de encendido

En la Figura 4.13 b) se muestran los conectores XT60, los cuales para el caso del drone conectan las 2 baterías en paralelo para energizar de forma directa a todo el sistema, y en el caso del sistema LiDAR, además de conectar el conector XT60 se debe mover el toggle switch de encendido, cuyo modelo TA1-1A-DC-1 es capaz de resistir 10 A a 24 V, suficiente para el proyecto.



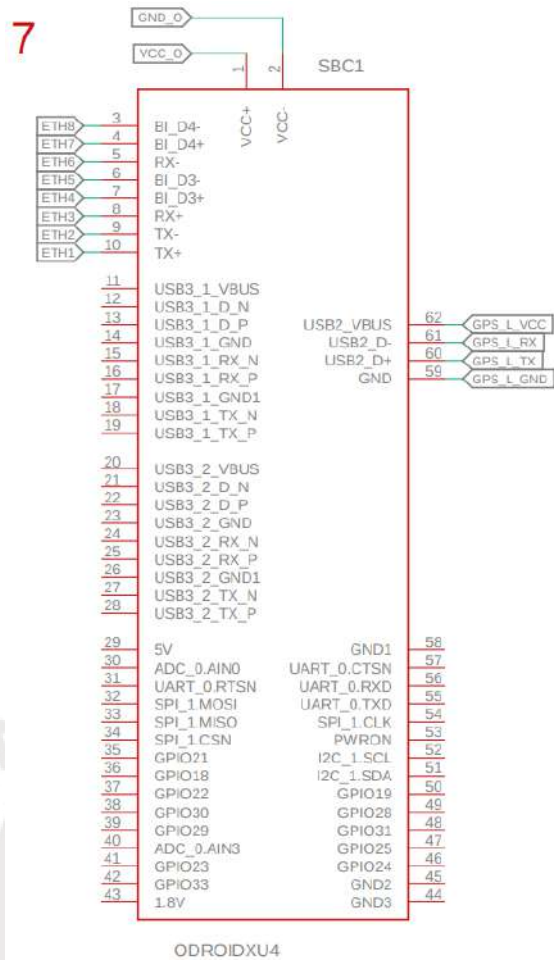


Figura 4.12. Diagrama esquemático de la placa OdroidXU4

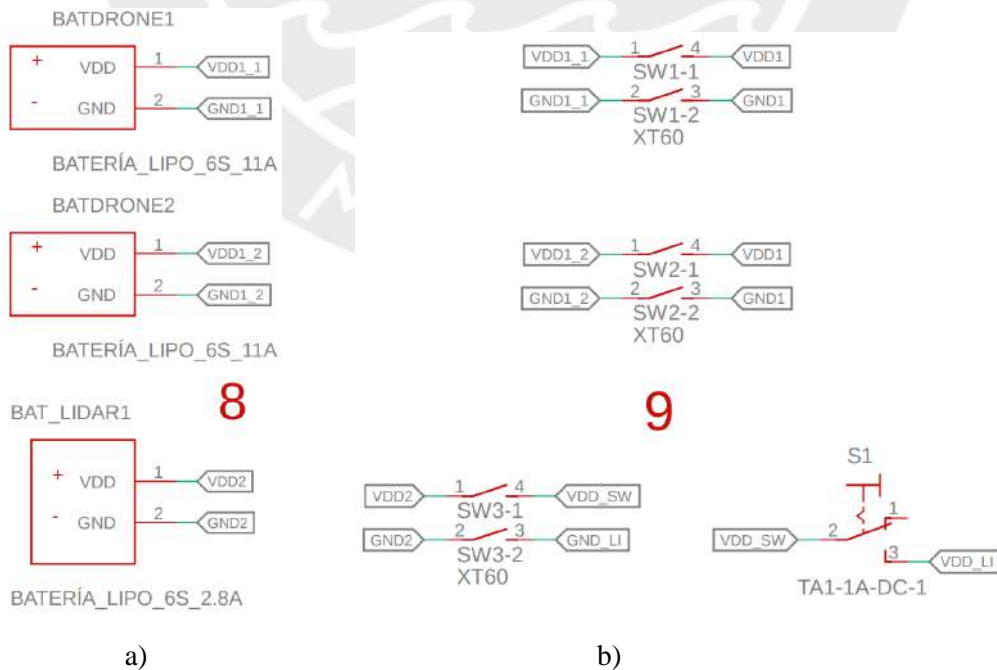


Figura 4.13. Diagrama esquemático de: a) las baterías LiPo, b) conectores XT60

### Motores Brushless MN501S-KV360

En la Figura 4.14 se muestran los 6 motores brushless MN501S-KV360, los cuales están conectados a los ESCs para su funcionamiento.

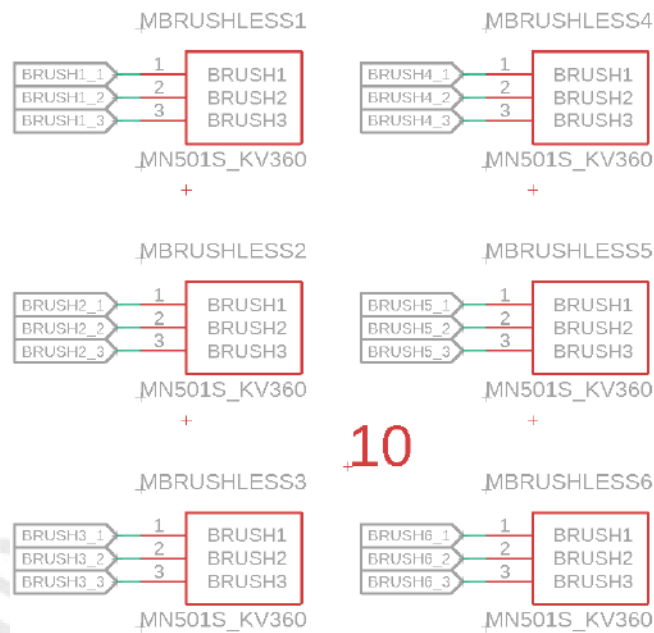


Figura 4.14. Diagrama esquemático de los motores brushless

### Módulo GPS MTi-7-DK

En la Figura 4.15 se muestra el módulo GPS para el sistema LiDAR, el módulo MTi-7-DK, el cual estará conectado a la ODROID XU4 mediante conexión USB para que se energice y almacene los datos de posición.

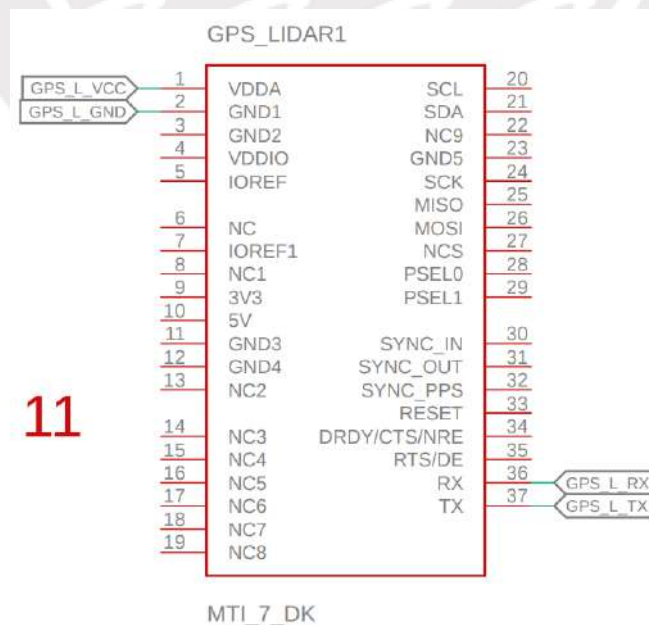


Figura 4.15. Diagrama esquemático del módulo GPS del sistema LiDAR

## Reguladores de Voltaje

En la Figura 4.16 se muestran el regulador de voltaje UBEC DUO. Este tiene como entrada la energía proveniente de la batería LiPo del LiDAR luego de pasar por el toggle switch, y como salida tiene 5V/4A para energizar a la ODROID XU4 (VCC\_O y GND\_O).

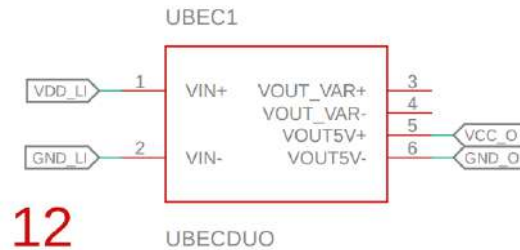


Figura 4.16. Diagrama esquemático de los reguladores de voltaje

## **4.4. Diseño mecánico**

En esta sección se analizarán las partes más críticas del drone durante su traslado, funcionamiento y situaciones críticas, si fallan por fluencia, por vibraciones, y cómo será el comportamiento aerodinámico del drone.

### **4.4.1. Análisis de resistencia de brazos del drone**

En este apartado se analizarán los brazos del drone, primero cuando los motores funcionan a máxima potencia, es decir cuando genera el empuje máximo, y segundo cuando se traslada al drone soportado por 2 brazos. Para este último caso se analizará también las abrazaderas que permiten unir los brazos con el frame del drone.

#### Por empuje máximo de motor:

Como dato del motor MN501S KV360, el empuje máximo que puede alcanzar es de 4644 g (45.5112 N), y sabiendo que el peso de este tubo de carbono es de 198 g/m, se halla que el peso del tubo es de 83 g (0.8134 N), y el peso de los motores, hélices y acople de motor-tubo es de 303.5 g (2.9743 N). A continuación, se muestra el DCL del brazo, y los diagramas de fuerza cortante y momento flector:

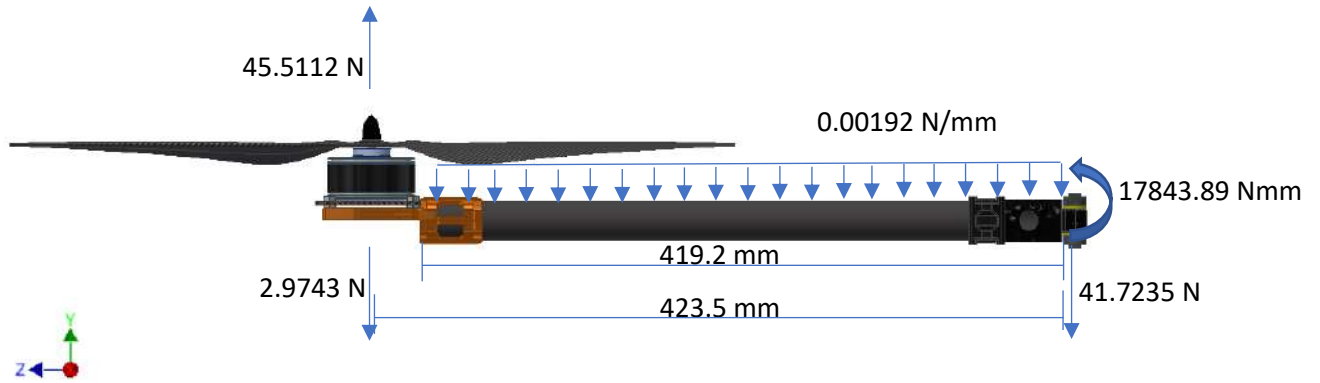


Figura 4.17. Diagrama de cuerpo libre de brazo del drone con motor a máxima potencia

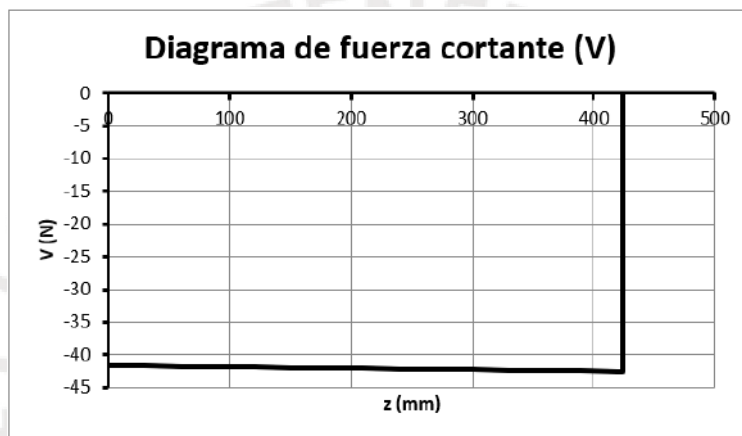


Figura 4.18. Diagrama de fuerza cortante del brazo del drone con motor a máxima potencia

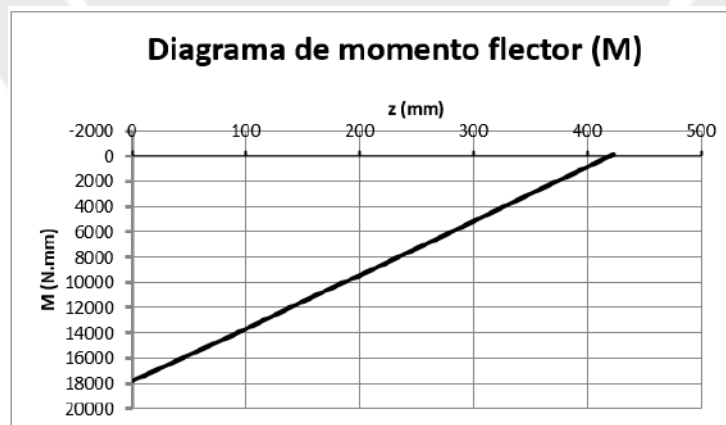


Figura 4.19. Diagrama de momento flector del brazo del drone con motor a máxima potencia

De la Figura 4.19 se observa que el mayor valor de momento flector se da en la parte final del brazo, con una magnitud de 17843.89 Nmm.

Entonces, de acuerdo con la empresa Performance COMPOSITES [78] el esfuerzo de fluencia de la fibra de carbono 3K (el del brazo) es de 600 MPa, y el esfuerzo cortante es de 90 MPa.

Como la sección es un tubo de 25mm de diámetro y 1mm de espesor, se tiene que su inercia es:

$$\begin{aligned} \text{Inercia se sección: } I &= \frac{1}{4}\pi(12.5^4 - 11.5^4) \\ I &= 5438.097 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

Con ello, se halla el esfuerzo del momento flector al cual está sometido:

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{M \times r}{I} \\ \sigma &= \frac{17843.89 \times 12.5}{5438.097} \\ \sigma &= 41 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Luego, se halla el esfuerzo cortante, usando la fuerza cortante de mayor magnitud del diagrama de fuerza cortante, el cual es 42.5 N.

$$\begin{aligned} \text{Área de sección: } A &= \frac{1}{4}\pi(25^2 - 23^2) \\ A &= 75.398 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{V}{A} \\ \tau &= \frac{42.5}{75.398} = 0.56 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Luego, se calcula el esfuerzo equivalente según el criterio de la máxima energía de distorsión (teoría de Von Misses):

$$\begin{aligned} \sigma_{eq} &= \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \\ \sigma_{eq} &= 41 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Luego se calcula el factor de seguridad:

$$\begin{aligned} FS &= \frac{\sigma_{fluencia}}{\sigma} \\ FS &= \frac{600}{41} \Rightarrow FS \approx 14.6 \end{aligned}$$



Con ello, se verifica que el brazo de fibra de carbono es capaz de resistir la capacidad máxima del motor, debido a que el factor de seguridad de casi 14 es alto.

Por otra parte, mediante simulación por elementos finitos con el software Autodesk Inventor se verificó que, en efecto, los brazos resisten por fluencia, pero además se analizó la deformación de los brazos. Para esto, se colocaron las mismas cargas, pero además se asumió que las abrazaderas estarían fijas, lo cual se muestra en las siguientes figuras. Se obtuvo que la mayor deformación tiene lugar por la base del motor brushless, lo cual era lógico dado que es el motor el que genera el empuje, y tuvo una magnitud de 0.68mm aproximadamente. Este valor no supone una preocupación mayor, debido a que en relación con la longitud del brazo, que es 423.5 mm, esta elevación no es relevante, siendo el ángulo de elevación del brazo de casi  $0.1^\circ$ .

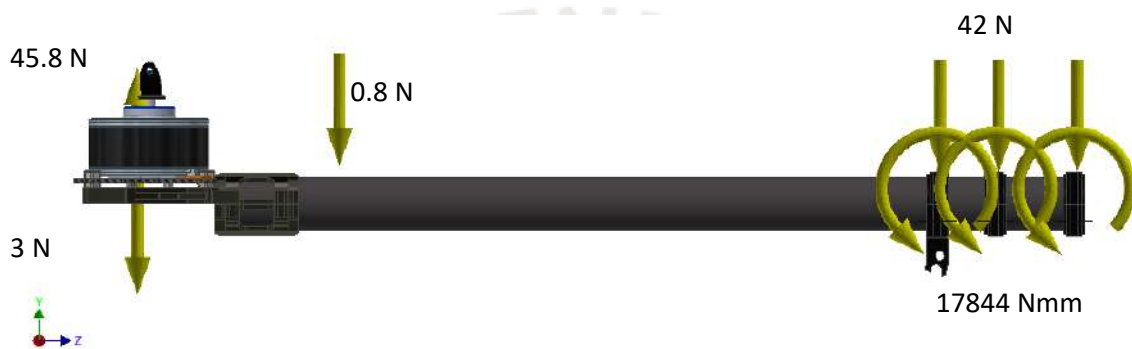


Figura 4.20. Restricciones y fuerzas actuando en el brazo del dron para la simulación

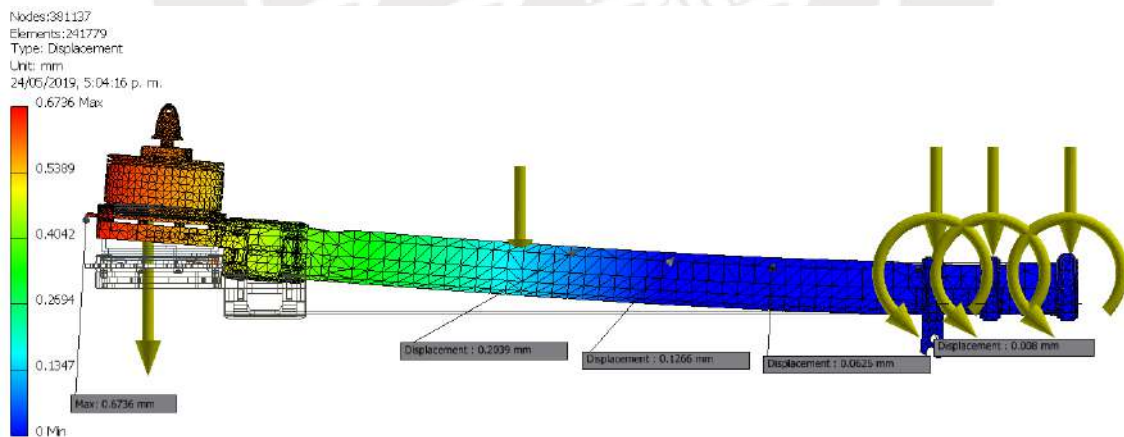


Figura 4.21. Resultados de desplazamiento en la simulación

Luego, del diagrama de fuerzas cortantes y momento flector se puede concluir que la mayor magnitud se presenta en el extremo por donde se sostiene el brazo del dron, siendo los encargados unas abrazaderas. Por ello se verificó su resistencia mediante el método de elementos finitos simulando en el software Autodesk Inventor, colocando una fuerza de 14 N y un momento de 5436 Nmm, dado que las reacciones obtenidas de los diagramas se reparten en 3 abrazaderas, obteniendo los siguientes resultados:

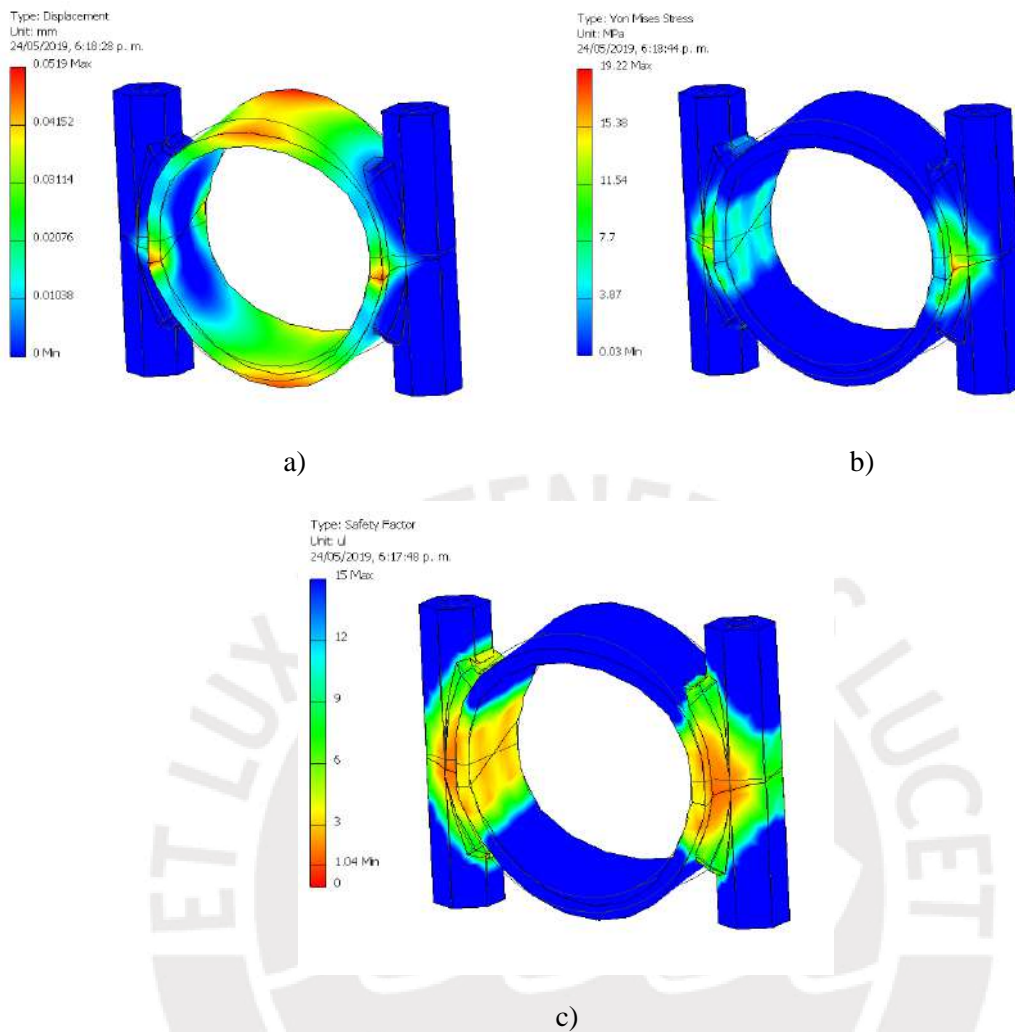


Figura 4.22. Resultados de simulación de abrazadera: a)Desplazamiento, b)Esfuerzo equivalente Von Mises, c)Factor de seguridad

En la zona más crítica, que sería en los costados se tienen los mayores esfuerzos, llegando el máximo a 19 MPa, y por otra parte el mayor desplazamiento ocurre por donde sostiene al tubo de fibra de carbono del brazo, llegando a desplazarse 0.0519 mm. Además, el factor de seguridad resulta cercano a 2, siendo más crítico en la mitad de las abrazaderas, por lo que se tratará de usar los motores a máxima potencia por tiempo prolongado.

Por sostenimiento sobre 2 brazos:

Esta prueba consiste en probar la resistencia del drone durante un traslado, puesto que, para poder trasladar el drone, si no se cuenta con una plataforma sobre la cual colocar el drone, se tendría que agarrarlo de 2 brazos, y luego movilizarse. En este sentido, se presenta el siguiente DCL a analizar.



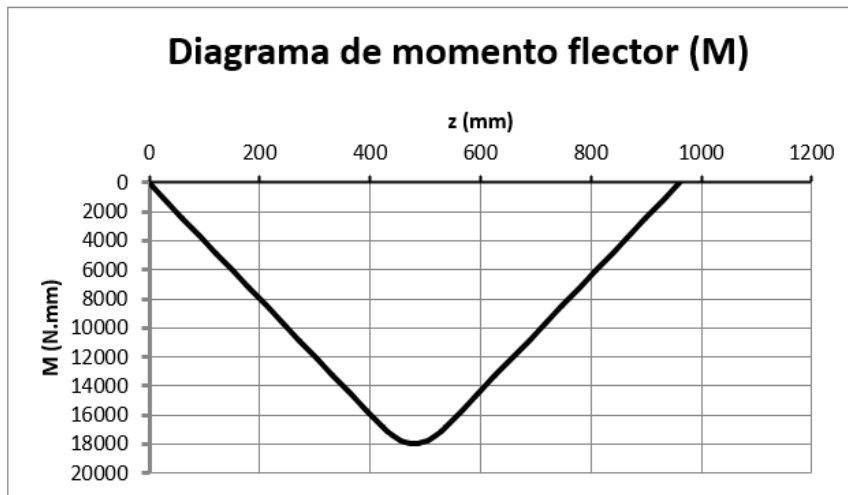


Figura 4.25. Diagrama de momento flector del dron sostenido por 2 brazos

De estas gráficas, se obtienen los siguientes valores:

$$V = 40.1867 \text{ N}$$

$$M = 17957.1338 \text{ Nmm}$$

Luego, análogamente al caso anterior, se calcula el esfuerzo producido por el momento flector, y el esfuerzo producido por la fuerza cortante:

Como la sección es un tubo de 25mm de diámetro y 1mm de espesor, se tiene que su inercia es:

$$\begin{aligned} \text{Inercia se sección: } I &= \frac{1}{4}\pi(12.5^4 - 11.5^4) \\ I &= 5438.097 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Área de sección: } A &= \frac{1}{4}\pi(25^2 - 23^2) \\ A &= 75.398 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\sigma = \frac{M \times r}{I}$$

$$\sigma = \frac{17957.1338 \times 12.5}{5438.097}$$

$$\sigma = 41.28 \text{ MPa}$$

$$\tau = \frac{V}{A}$$

$$\tau = \frac{40.1867}{75.398} = 0.533 \text{ MPa}$$

Luego, se calcula el esfuerzo equivalente según el criterio de la máxima energía de distorsión (teoría de Von Misses):

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$$

$$\sigma_{eq} = 41.29 \text{ MPa}$$

Luego se calcula el factor de seguridad:

$$FS = \frac{\sigma_{fluencia}}{\sigma}$$

$$FS = \frac{600}{41.29} \Rightarrow FS \approx 14.5$$

Con ello, se verifica que el brazo de fibra de carbono es capaz de resistir al ser transportado por 2 brazos, debido a que el factor de seguridad de casi 14.5 es alto

#### 4.4.2. Análisis de resistencia de tren de aterrizaje

En este apartado se analizará la resistencia del tren de aterrizaje producida por la fuerza de impacto generada en el aterrizaje.

##### Impacto por caída libre durante aterrizaje:

Para poder determinar la fuerza de impacto que tendrá que soportar el tren de aterrizaje se usará el concepto de trabajo y de la energía potencial gravitatoria.

Supóngase que el drone se encuentra a una altura de 30cm, y que la distancia de desaceleración es 2cm. Entonces, se tienen los siguientes datos y ecuaciones:

$$H=0.3 \text{ m}$$

$$d=0.02 \text{ m}$$

$$g=9.81 \text{ m/s}^2$$

$$m=8.6 \text{ kg}$$

$$F_{\text{impacto}} \times d = m \times g \times H$$

$$F_{\text{impacto}} = \frac{m \times g \times H}{d}$$

$$F_{\text{impacto}} = \frac{8.6 \times 9.81 \times 0.3}{0.02}$$

$$F_{\text{impacto}} = 1265.49 \text{ N}$$



Esta  $F_{\text{impacto}}$  se reparte por el tren de aterrizaje, por lo cual se analizará una pata del tren de aterrizaje mediante simulación por elementos finitos en el software Autodesk Inventor. Para la simulación, se consideró que el acople por donde se unirá el tren al frame del drone estará fijo, y el tren estará con una inclinación de  $15^\circ$  respecto al plano XZ, como se muestra en la Figura 4.26. Luego se obtiene que, si bien no fallará por fluencia, el tubo vertical podría desplazarse casi 1mm como máximo, lo cual no supone un gran problema debido a que este cambio no es tan significativo en relación con la longitud del tubo mismo, el cual es de 280 mm.

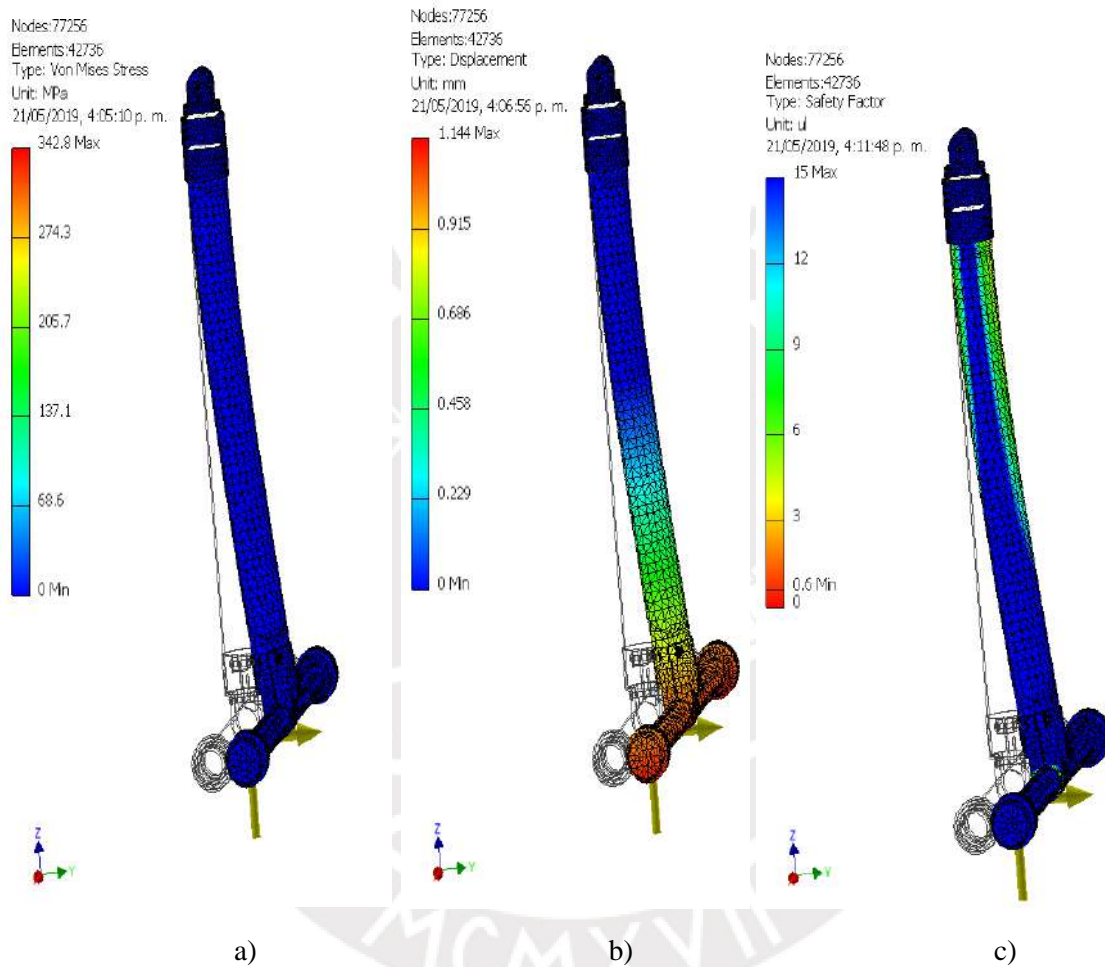


Figura 4.26. Resultados de simulación del tren de aterrizaje: a)Esfuerzo equivalente de Von Mises, b)Desplazamiento, c)Factor de seguridad

#### 4.4.3. Análisis de resistencia de sujetador de Sistema LiDAR

El sistema LiDAR estará sostenido por el drone mediante unos sujetadores impresos en 3D, y es por ello que, al ser este elemento el más crítico e importante, dado que los sensores que albergará son de costo elevado, se verificará su resistencia y su deformación. Este sujetador, además del diagrama de cuerpo libre del sistema LiDAR se muestran a continuación:



Figura 4.27. Sujetador del sistema LiDAR

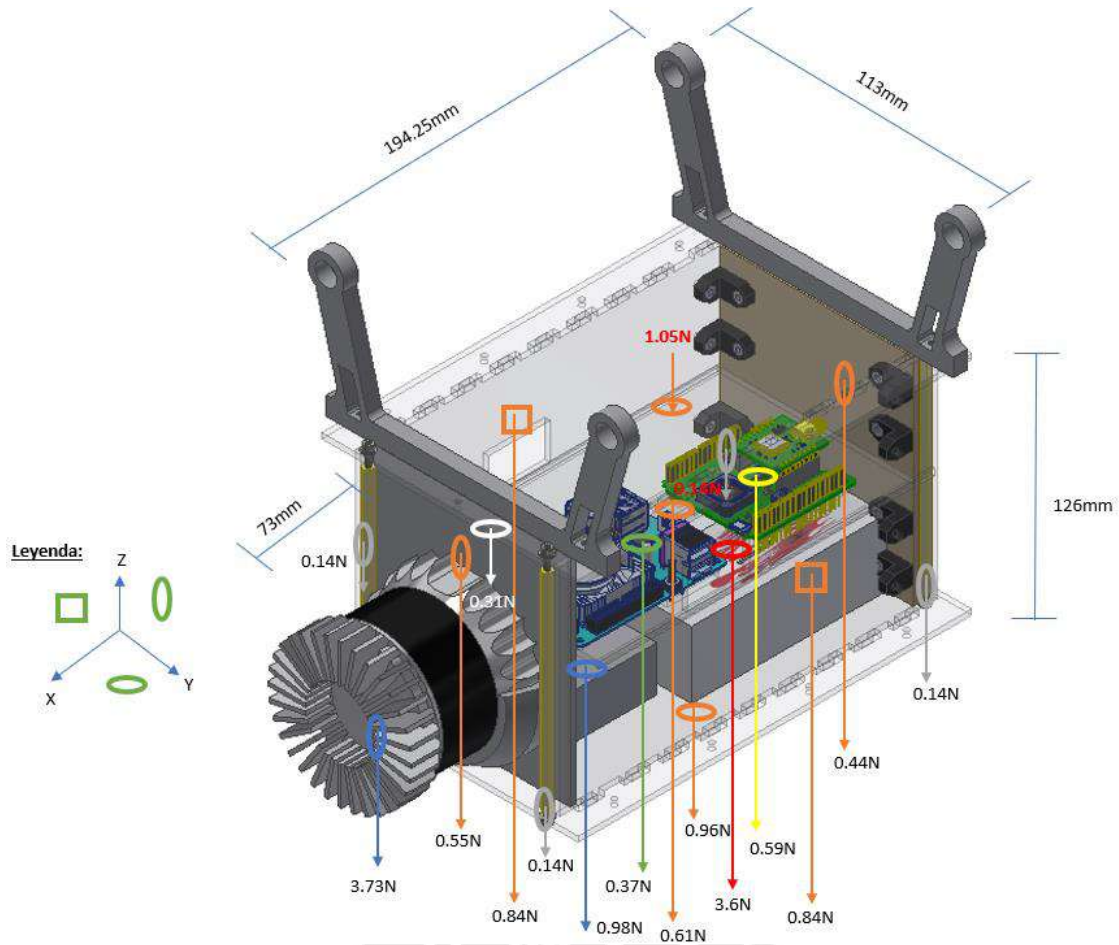


Figura 4.28. Diagrama de cuerpo libre del sistema LiDAR

Luego de simular mediante el método de elementos finitos con el software Autodesk Inventor el sujetador hecho de distintos materiales que se usan en impresión 3D, se eligió el policarbonato debido a que mostró los mejores resultados de desplazamiento y factor de seguridad. Las pruebas que se hicieron se muestran en ANEXOS D.2, y a continuación se presenta la simulación que se realizó del sujetador de policarbonato, con sus respectivas restricciones y cargas.

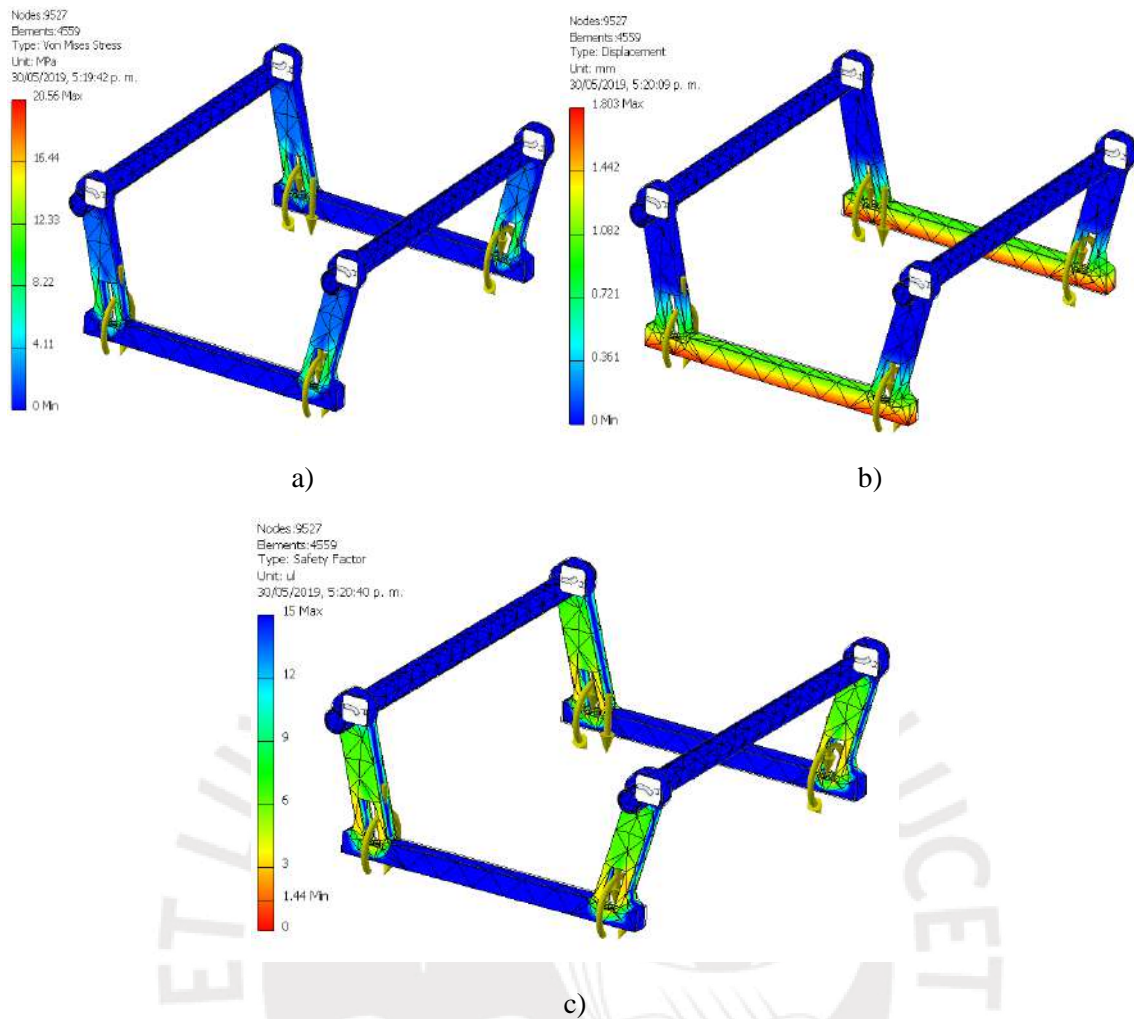


Figura 4.29. Resultados de simulación de sujetador de policarbonato: a) Esfuerzo equivalente de Von Mises, b) Desplazamiento, c) Factor de seguridad

Con estos resultados se puede observar que el sujetador impreso con filamento de policarbonato tiene un factor de seguridad promedio de 6, siendo la zona más crítica por donde se atornilla la tapa del cover del sistema LiDAR. Si bien el factor de seguridad en esta zona resulta 1.44, no se debería considerar bajo porque la simulación se realizó con un aumento del 33% de peso de carga (20N) y asumiendo para los momentos la magnitud, aumentada también en un 33% (1840 Nmm), que tendrían en caso se sostuviera el sistema LiDAR de un solo sujetador.

#### 4.4.4. Análisis de vibraciones y frecuencias modales de brazos

Se realizará un ensayo de vibraciones en los brazos del drone para poder determinar sus frecuencias armónicas modales y verificar si estas se encuentran fuera del rango de trabajo de los motores, puesto que si estas frecuencias se encuentran dentro de este rango podrían causar fatiga y posible rotura de los materiales importantes de la estructura, como son los brazos

La simulación se hará mediante el uso del software Autodesk Inventor, considerando 5 modos para la vibración, y como parámetros se tendrá que el empuje requerido por cada motor para un

vuelo estacionario (mantenerse flotando) es de 14N, que el rango de frecuencia de vibración de los motores brushless es de 306-670Hz y que el brazo estará fijo por el extremo de las abrazaderas.

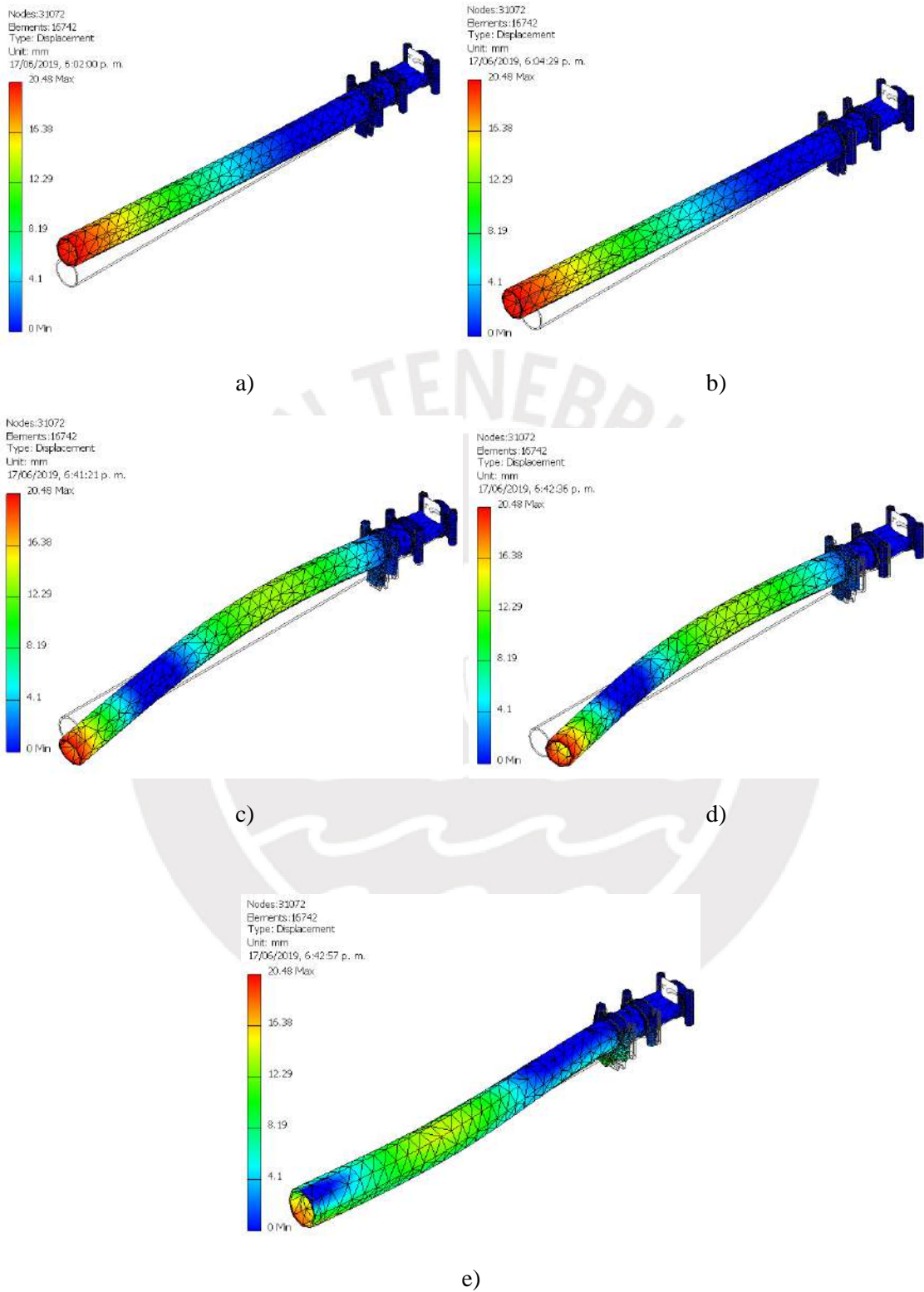


Figura 4.30. Análisis modal del brazo: a)1er Modo, b)2do Modo, c)3er Modo, d)4to Modo, e)5to Modo

Tabla 4.24. Frecuencias armónicas halladas mediante simulación

Nº Modo	Frecuencia (Hz)
1	278.05
2	302.44
3	1570.12
4	1685.25
5	3619.51

Como se puede apreciar en la tabla anterior, las 2 primeras frecuencias modales están debajo del rango de trabajo, y las 3 siguientes están por encima, por lo que el brazo no tendrá problemas de resonancia.

#### 4.4.5. Lista de planos mecánicos

A continuación, se muestra la lista de planos mecánicos de despiece y de ensamble de sistema mecatrónico, en el cual se coloca la descripción del componente y el código del plano, los cuales se ubicarán en ANEXOS F.

Tabla 4.25. Lista de planos

DESCRIPCIÓN	CÓDIGO
<b>PLANOS DE ENSAMBLE</b>	
TL96028/TL96029	S01-A3
BRAZO FIJO	S02-A3
ACOPLE CONECTOR XT60	S03-A4
ACOPLE CONECTOR XT60 MIR	S04-A4
ENSAMBLE ESCS	S05-A3
ENSAMBLE PLACA KORE	S06-A3
ENSAMBLE PORTA BATERÍAS	S07-A3
ENSAMBLE COVER	S08-A3
ENSAMBLE PATA TREN ATERRIAJE TL96013	S09-A3
BRAZO PLEGABLE	S10-A2
COVER SISTEMA LIDAR	S11-A2
SISTEMA LIDAR	S12-A2
HEXATESIS	EG1-A1
<b>PLANOS DE DESPIECE</b>	
PLACA CF PARA CONECTOR XT60	D01-A4
SOPORTE SUPERIOR XT60	D02-A4
SOPORTE INFERIOR XT60	D03-A4
SOPORTE INFERIOR XT60 MIR	D04-A4
PLACA ESCS	D05-A3
ACOPLE PLACA KORE	D06-A4
ACOPLE PLACA KORE MIR	D07-A4
TOPE DE BATERÍAS	D08-A4
PUERTA DE BATERÍAS	D09-A4



UNIÓN TOPE BATERÍAS	D10-A4
UNIÓN TOPE BATERÍAS MIR	D11-A4
UNIÓN PUERTA BATERÍAS	D12-A4
TUBO 12MM	D13-A4
TUBO 25MM	D14-A4
SOPORTE INFERIOR DE GPS	D15-A4
COVER	D16-A3
UNIONES IMPRESAS	D17-A4
TAPA DERECHA	D18-A3
TAPA IZQUIERDA	D19-A3
TAPA SUPERIOR	D20-A3
TAPA INFERIOR	D21-A3
TAPA MEDIA	D22-A3
TAPA TRASERA	D23-A4
TAPA FRONTAL	D24-A3
SUJETADOR SISTEMA LIDAR	D25-A4
TAPA COVER	D26-A4

#### 4.5. Diseño de control

En esta sección se presentarán los diagramas de flujo del funcionamiento del sistema drone con LiDAR, además de la estrategia de control del drone para su vuelo.

##### 4.5.1. Diagramas de flujo

A continuación se presentarán los diagramas de flujo del funcionamiento del sistema drone con LiDAR, con una explicación de los mismos:

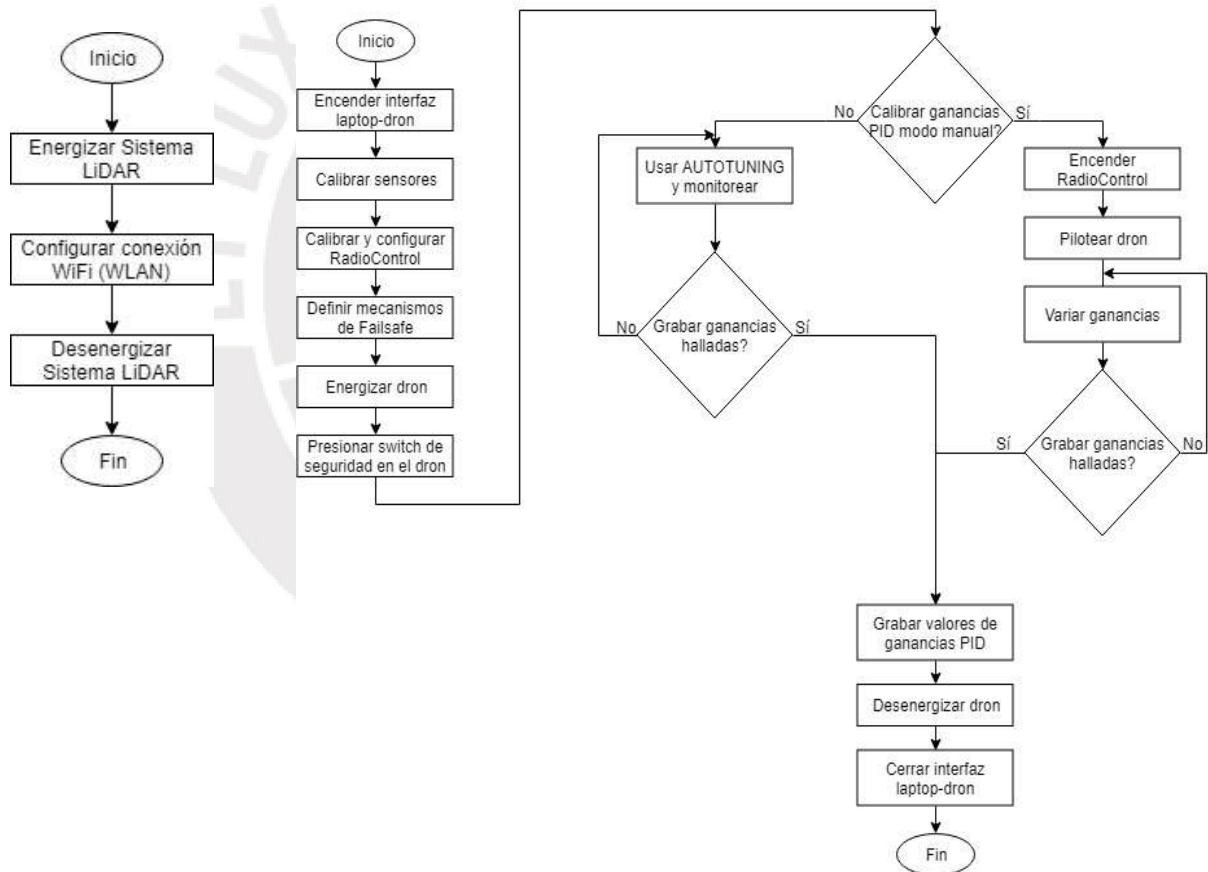
##### Preconfiguración del Sistema LiDAR:

Este consiste en configurar el acceso a WiFi de la Odroid XU4, para que se pueda conectar a la red y de esta manera poder operarlo de manera remota.

##### Preconfiguración y calibración del drone:

Antes de empezar a volar un drone, se debe preconfigurar unos valores, de manera que el vuelo sea seguro. Para ello primero se enciende y entra a la interfaz laptop-drone, se conecta la placa controladora de vuelo y en el entorno de la interfaz (en este caso Mission Planner) se empieza a calibrar sensores, como el IMU, el medidor de voltaje, el barómetro, para luego calibrar las palancas del RadioControl. Después se deben definir mecanismo de Failsafe, como que el drone no despegará hasta que se presione un switch de seguridad o que cuando se detecte batería baja el drone aterrice automáticamente. Una vez que se haya llegado hasta aquí se empezará a volar el

dron para poder obtener las ganancias para el control PID del vuelo, el cual se explicará en la siguiente sección. Entonces para ello se energiza el dron, se presiona el switch de seguridad y se debe decidir si se quiere calibrar al dron de modo manual o no. Si no se desea usar el modo manual, se selecciona la opción de Autotuning, la cual hace que el dron comience a volar por unos 10 minutos aproximadamente hasta obtener unos valores de ganancias, para lo cual mientras tanto se debe monitorearlo en caso suceda un evento inesperado, y una vez termine el Autotuning se puede grabar dichos valores o seguir probando otra vez. Por otra parte, en caso se desee obtener las ganancias de modo manual, se debe encender el RadioControl, pilotear el dron y empezar a variar las ganancias, hasta que el piloto sienta cómodo y estable el vuelo del dron. Finalmente, se desenergiza el dron y se cierra la interfaz.



a)

b)

Figura 4.31. Diagramas de flujo: a)preconfiguración del Sistema LiDAR, b)preconfiguración del dron

Funcionamiento sistema LiDAR:

Se debe primero establecer la comunicación con la computadora a bordo, en este caso, la Odroid XU4, y luego se ejecutará la función de registrar datos de los puntos provenientes del sensor LiDAR, hasta que se decida ya no registrar más, sea porque ya se abarcó la zona de interés o la duración de la batería del dron, etc. Para el registro de datos de los puntos, la Odroid XU4 recibe información tanto del LiDAR (distancia, orientación respecto a los ejes coordenados) como del módulo GPS (latitud, longitud, altura), y almacenará dicho par si el tiempo en el cual fueron recibidos (timestamp) es el mismo o muy cercano.

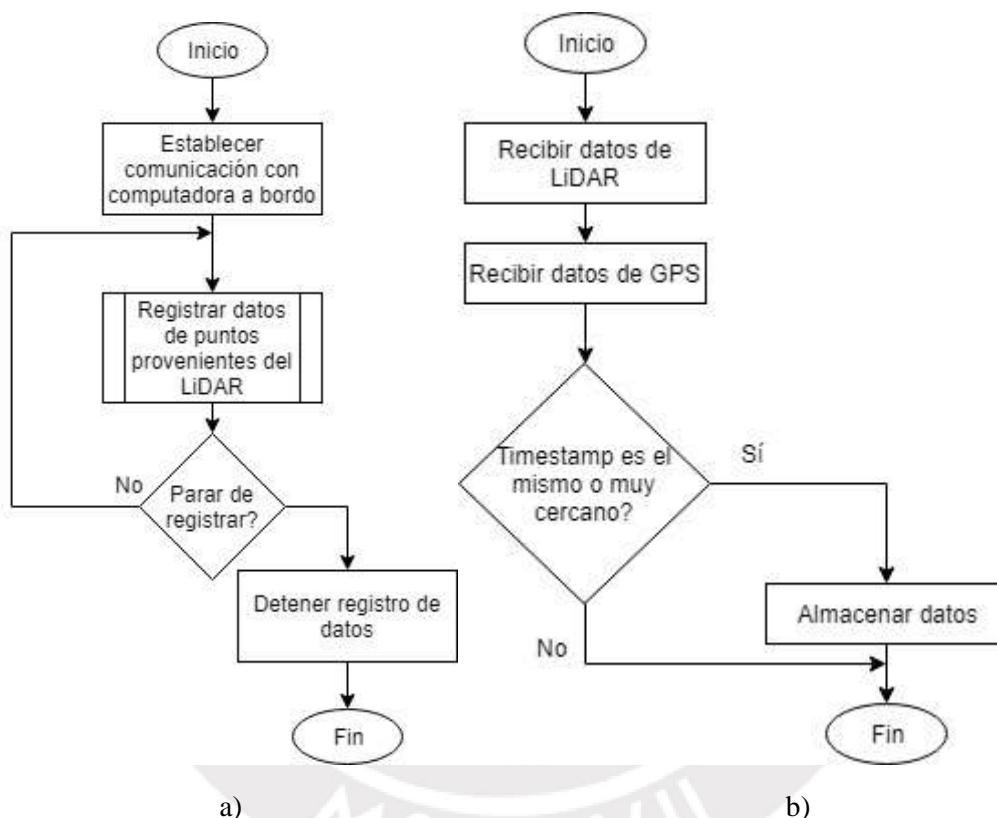


Figura 4.32. Diagramas de flujo: a) Sistema LiDAR, b) Función registrar datos del sistema LiDAR

Funcionamiento del dron:

Una vez que se tenga el dron y sistema LiDAR preconfigurados, para iniciar el funcionamiento del sistema completo se enciende el RadioControl, luego se abre la interfaz laptop-dron, se energiza al dron y se conecta al dron con la interfaz mediante el módulo de telemetría. Entonces, llegado a este punto se debe decidir si el vuelo será en modo autónomo o manual. Si es automático, se debe ingresar mediante la interfaz la trayectoria a seguir, luego presionar el switch de seguridad, energizar el sistema LiDAR y poner en funcionamiento la función Sistema LiDAR. Inmediatamente después, mediante el RadioControl se gira la palanca que da inicio al modo autónomo y durante el vuelo se monitoreará el estado del dron, y una vez que este haya terminado

se desconecta el sistema LiDAR, se desenergiza al drone y se cierra la interfaz. Por otra parte, si se desea realizar el vuelo de forma manual, se presiona el switch de seguridad, se selecciona el modo de vuelo manual (Loiter, Stabilize o Altitude Hold), se energiza el Sistema LiDAR y se pone en funcionamiento la función Sistema LiDAR. Luego, además de que se estará monitoreando en todo momento el vuelo, si el voltaje de la batería es menor a 20.5V (un mecanismo de Failsafe), el drone aterrizará de forma automática; caso contrario, aterrizará cuando ya no se desee seguir volando. Finalmente, se desconecta el sistema LiDAR, se desenergiza al drone y se cierra la interfaz laptop-drone.

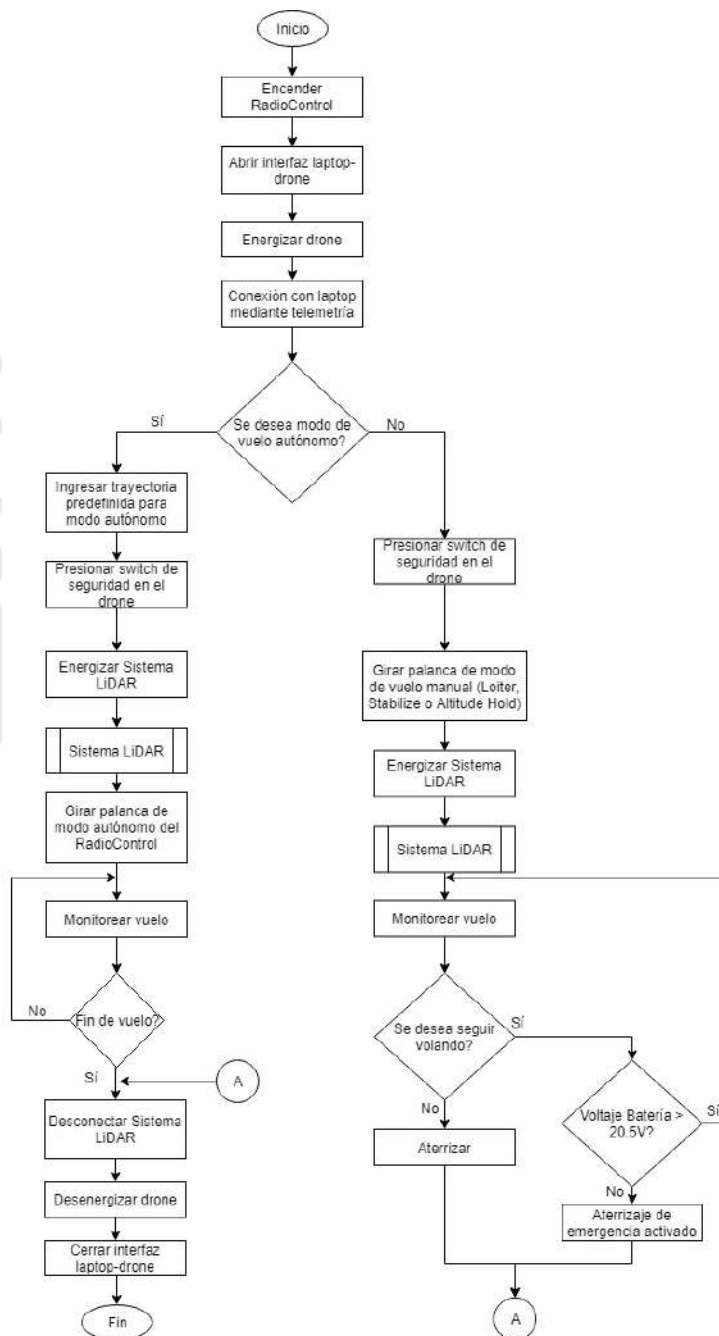


Figura 4.33. Diagrama de flujo del funcionamiento del drone

## 4.5.2. Interfaz de usuario

Como se comentó en secciones anteriores, se consideró para este proyecto el uso del software Mission Planner, el cual funciona como una estación de tierra que, a través de telemetría por radio frecuencia, permitirá monitorear el estado del drone durante su operación [79]. Se seleccionó por ser software libre y por ser compatible con Windows y con la placa controladora de vuelo seleccionada, que es de la serie Pixhawk. En esta sección se describirá como el usuario interactúa con la PC, así como los parámetros que monitoreará. Los pasos para configurar el modo de vuelo autónomo se encuentra en ANEXOS E.

Entonces, lo primero que se tiene que hacer es iniciar el programa en la PC.

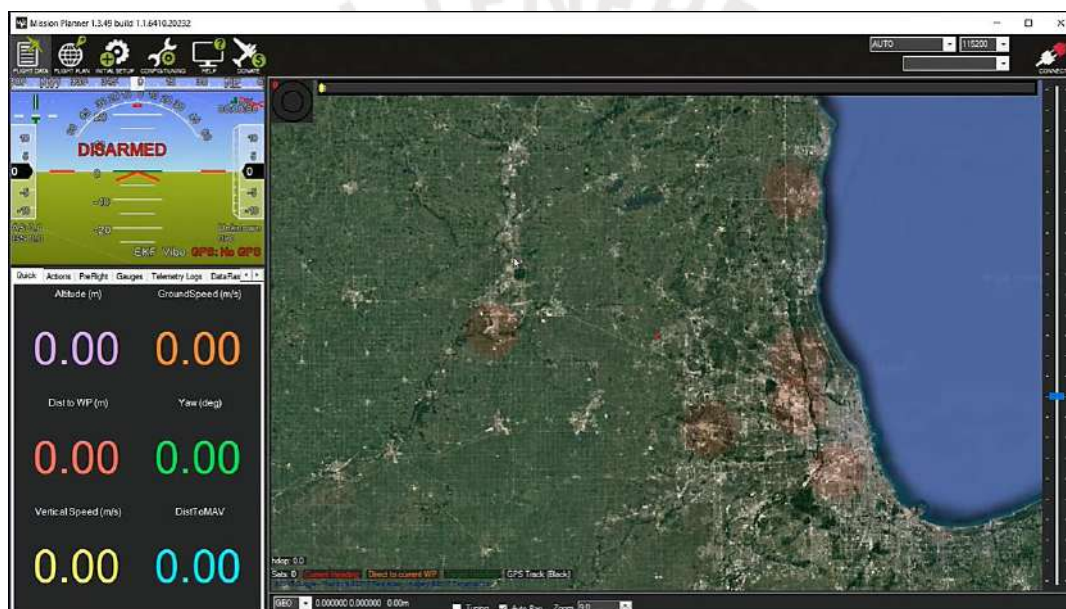


Figura 4.34. Vista inicial de Mission Planner

Fuente: [79]

Una vez que se tiene el programa abierto, se procede a energizar al drone y a conectar el módulo de telemetría por RF a la PC, eligiendo para ello el puerto correspondiente a un data rate de 57600 bps [80], y luego de presionar “CONNECT” ya estaría enlazado el drone con la PC.





Figura 4.35. Conexión de Mission Planner con la PC

Fuente: [80]

En la pantalla inicial se pueden observar los parámetros descritos en la siguiente imagen:



Figura 4.36. Parámetros observados en la pantalla “Flight Data” de Mission Planner

Fuente: [81]

Además de estos parámetros, también es conveniente monitorear el estado de los motores, para lo cual se procede a activar la visualización de gráficos haciendo click en el checkbox “Tuning” ubicado en la parte inferior.



Figura 4.37. Activación de gráficos en la pantalla “Flight Data” de Mission Planner

Fuente: [82]

Luego, se da doble click sobre el gráfico y aparecen todas las señales que se pueden graficar. En este caso se seleccionarán los canales de salida de los motores, representados como ch out del número 1 al 6, quedando listo para iniciar el vuelo.



Figura 4.38. Opciones del menú “Tuning” en la pantalla “Flight Data” de Mission Planner

Fuente: [82]



Figura 4.39. Gráficos activados en la pantalla “Flight Data” de Mission Planner

Fuente: [82]

### 4.5.3. Estrategia de control del drone

La placa controladora de vuelo Pixhawk 2.1 Cube utiliza un algoritmo PID para el vuelo del drone. Este está dividido en 2 partes: la primera corresponde a un control proporcional del ángulo de las palancas del RadioControl, y la segunda corresponde un control PID del cuerpo del drone en sí.

La primera permite relacionar qué tan rápido y a que posición final se deja la palanca con la estimación de la ubicación del drone. Para ello se suma el error, multiplicado por una ganancia P, del valor deseado respecto del medido de la palanca del radiocontrol con el obtenido mediante una conversión que se llama “Target to Body Frame Conversion”. Esta suma es la entrada para los lazos de la segunda parte del control.

La segunda parte compara la estimación de la ubicación del drone obtenida anteriormente con la información de su unidad de medición inercial (IMU) para los movimientos de Roll, Pitch y Yaw, y luego multiplica este error con las ganancias PID, valor que va directo a los ESC para poder accionar los motores, y luego se actualiza la ubicación del sistema de coordenadas del drone mediante un bloque que se llama DCM (Direction Cosine Matrix), que transforma un sistema de coordenadas en otro, para poder tener un registro de la ubicación global del drone, puesto que todo lo anterior es visto desde el drone.

### ArduCopter V4.X STABILIZE Roll, Pitch & Yaw PID's

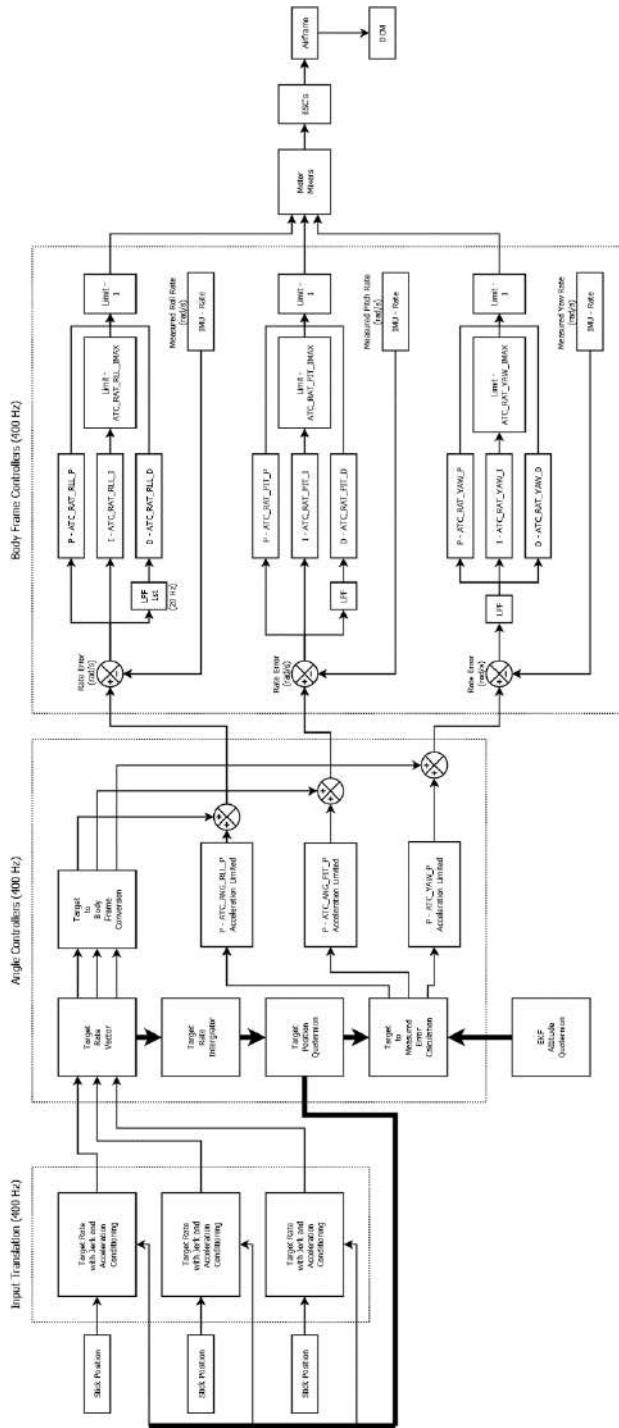


Figura 4.40. Estrategia de control de vuelo del drone

Fuente: [83]



## CAPÍTULO 5

### COSTOS DEL SISTEMA

En esta sección se presentarán los costos del sistema drone con LiDAR, los que se dividirán en costos de los componentes electrónicos, y costos de componentes mecánicos, sea por compra directa o por fabricación. Asimismo, se presentará una tabla comparativa entre el proyecto y otras soluciones

#### 5.1. Costos componentes electrónicos

En la siguiente tabla se muestran los costos de los componentes electrónicos que conforman el drone y el sistema LiDAR, considerando el valor del dólar como S/. 4.10 y sin considerar los precios extras que conllevaría la importación y traslado de estos, lo cual se aproximará usando el 30% del total.

Tabla 5.1. Costos de componentes electrónicos del drone

Componente	Distribuidor	Precio Unitario	Cantidad	Subtotal
Pixhawk 2.1 Cube	GetFPV	\$250.00	1	\$250.00
Tarjeta de distribución de potencia Kore v1.1.3	Spektreworks	\$200.00	1	\$200.00
Here 2 GNSS GPS	Harris Aerial	\$125.00	1	\$125.00
Receptor de RF X8R	GetFPV	\$33.99	1	\$33.99
Radiocontrol Taranis X9D Plus	GetFPV	\$191.00	1	\$191.00
Módulo de telemetría RFD900x	RFDesign	\$94.83	1	\$94.83
Motor Brushless MN501S KV360	T-Motor	\$99.90	6	\$599.40



ESC Alpha 40A LV	T-Motor	\$69.99	6	\$419.94
Baterías LiPo 6S 11000mAh 40C	MaxAmps	\$419.99	2	\$839.98
<b>Subtotal</b>				<b>\$2754.14</b>
Impuestos aduaneros, IGV y contingencias (30%)				\$826.24
<b>Total</b>				<b>\$3580.38 o S/. 14679.57</b>

Tabla 5.2. Costos de componentes electrónicos del sistema LiDAR

Componente	Distribuidor	Precio Unitario	Cantidad	Subtotal
OS-1 Ouster LiDAR	Ouster LiDAR	\$3500.00	1	\$3500.00
Módulo GPS MTi-7-DK	Mouser Electronics	\$496.25	1	\$496.25
Odroid XU4	ameriDroid	\$51.95	1	\$51.95
Accesorios Odroid XU4 (memoria, alimentación, módulo Wifi)	ameriDroid	\$65.25	1	\$65.25
Regulador de voltaje UBEC DUO 12V/5V 4A	HobbyKing	\$16.99	1	\$16.99
Batería LiPo 6S 2800mAh 100C	MaxAmps	\$129.90	1	\$129.90
<b>Subtotal</b>				<b>\$4210.34</b>
Impuestos aduaneros, IGV y contingencias (30%)				\$1278.10
<b>Total</b>				<b>\$5538.44 o S/. 22707.91</b>

## 5.2. Costos componentes mecánicos y de fabricación

En la siguiente tabla se muestran los costos de los componentes mecánicos y los diseñados y fabricados que conforman el dron y el sistema LiDAR, considerando el valor del dólar como S/. 4.10 y sin considerar los precios extras que conllevaría la importación y traslado de estos.

Tabla 5.3. Costos de componentes mecánicos del dron y del sistema LiDAR

Componente/Material	Distribuidor	Precio Unitario	Cantidad	Subtotal
Frame Hexacóptero Tarot T960 (incluye plato superior-inferior, brazos y tren de aterrizaje)	Helipal	\$399.00	1	\$399.00
Junta para tren de aterrizaje TL96035 (el paquete incluye 2)	RC- Innovations	\$20.64	1	\$20.64
Placa para batería TL8X017	Helipal	\$28.90	1	\$28.90
Soporte antivibración TL8X007	Helipal	\$12.90	4	\$51.60

Carril de montaje TL96014 (incluye tubos de fibra de carbono y soportes antivibración)	Helipal	\$24.90	1	\$24.90
Base plegable para antena de GPS	Helipal	\$12.90	1	\$12.90
Plancha de fibra de carbono ARRIS 3k 400x500x2mm	ArrisHobby	\$72.00	2	\$144.00
Hélice MF1806	T-Motor	\$44.90	6	\$269.40
Plancha de acrílico 1880x2490x3mm	-	\$109.00	1	\$109
Espaciadores de bronce hexagonal roscado M3x20mm	Electrónica Hifi S.A.C.	S/. 1.10	4	S/. 4.40
Espaciadores de bronce hexagonal roscado M3x25mm	Electrónica Hifi S.A.C.	S/. 1.20	4	S/. 4.80
Espaciadores de bronce hexagonal roscado M3x25+6mm	Electrónica Hifi S.A.C.	S/. 1.80	12	S/. 21.60
Espaciadores de bronce hexagonal roscado M3x30mm	Digikey Electronics	\$2.42	4	\$9.68
Espaciadores de bronce hexagonal roscado M3x30+6mm	Digikey Electronics	\$1.76	8	\$14.08
Perno socket cabeza cilíndrica M2x5	Serfarin S.R.L.	S/. 0.30	20	S/. 6.00
Perno socket cabeza cilíndrica M3x8	Serfarin S.R.L.	S/. 0.30	4	S/. 1.20
Perno socket cabeza cilíndrica M3x10	Serfarin S.R.L.	S/. 0.30	16	S/. 4.80
Perno socket cabeza cilíndrica M3x12	Serfarin S.R.L.	S/. 0.30	20	S/. 6.00
Perno socket cabeza cilíndrica M3x16	Serfarin S.R.L.	S/. 0.30	4	S/. 1.20
Perno socket cabeza cilíndrica M3x20	Serfarin S.R.L.	S/. 0.30	12	S/. 3.60
Perno socket cabeza cilíndrica M4x30	Serfarin S.R.L.	S/. 0.40	2	S/. 0.80
Tuerca M3	Serfarin S.R.L.	S/. 0.30	36	S/. 10.80
Tuerca M4	Serfarin S.R.L.	S/. 0.40	2	S/. 0.80
Arandela M3	Serfarin S.R.L.	S/. 0.20	20	S/. 4.00
<b>Subtotal</b>				<b>S/. 4473.73</b>
Impuestos aduaneros, IGV y contingencias (30%)				S/. 1342.12
<b>Total</b>				<b>S/. 5815.85</b>

Tabla 5.4. Costos de diseño y fabricación

Componente/proceso	Distribuidor	Precio Unitario	Cantidad o Minutos	Subtotal
Corte láser de planchas de acrílico (ver planos D18-A3, D19-A3, D20-A3, D21-A3, D22-A3, D23-A4)	-	S/. 1.00 x min	30	S/. 30.00
Fresado de plancha de fibra de carbono (ver planos D01-A4, D05-A3, D08-A4, D09-A4, D26-A4)	-	S/. 5.00 x min	25	S/. 125.00
Impresión 3D en PLA (ver planos D02-A4, D03-A4, D04-A4, D06-A4, D07-A4, D10-A4, D11-A4, D12-A4, D15-A4, D16-A3, D17-A4, D24-A3)	LAGOM 3D SOLUTIONS	D02-A4 : S/. 1.68	2	S/. 3.36
		D03-A4 : S/. 2.91	1	S/. 2.91
		D04-A4 : S/. 2.91	1	S/. 2.91
		D06-A4 : S/. 1.57	2	S/. 3.14
		D07-A4 : S/. 1.57	2	S/. 3.14
		D10-A4 : S/. 2.41	1	S/. 2.41
		D11-A4 : S/. 2.41	1	S/. 2.41
		D12-A4 : S/. 4.36	2	S/. 8.72
		D15-A4 : S/. 1.88	1	S/. 1.88
		D16-A3 : S/. 129.96	1	S/. 129.96
D17-A4 : S/. 1.52	8	S/. 12.16		
D24-A3 : S/. 21.50	1	S/. 21.50		
Impresión 3D en Policarbonato (ver plano D25-A4)	-	S/. 100.00	2	S/. 200.00
Diseño		S/. 8.00	450 h	S/. 3600.00
<b>Total</b>				<b>S/. 4149.50</b>

### 5.3. Costo total

En la siguiente tabla se muestra un resumen de los costos de los componentes electrónicos y mecánicos que conforman el dron y el sistema LiDAR, en base a las tablas anteriores.

Tabla 5.5. Costo total del sistema mecatrónico

Tipo de costo	Subtotal
Costos de componentes electrónicos del dron	S/. 14679.57
Costos de componentes electrónicos del sistema LiDAR	S/. 22707.61
Costos de componentes mecánicos	S/. 5815.85
Costos de diseño y fabricación	S/. 4149.50
<b>Total</b>	<b>S/. 47352.52</b>

#### 5.4. Comparación con otras alternativas

En la siguiente tabla se presenta una tabla comparativa entre la solución desarrollada en la presente tesis y dos soluciones comerciales. Se consideró para dicha comparación el valor del dólar como S/. 4.10 y sin considerar los precios extras que conllevaría la importación y traslado de estos.

Tabla 5.6. Tabla comparativa de la solución diseñada con otras soluciones comerciales

		<b>Solución desarrollada</b>	<b>DJI Matrice 210 V2 + YellowScan Surveyor</b>	<b>DJI Matrice 300 + Zenmuse L1</b>
Precio Drone	S/.	24644.91	40368.60	54120.00
	\$	6010.95	9846.00	13200.00
Precio LiDAR	S/.	22707.61	180400.00	49839.60
	\$	5538.44	44000.00	12156.00
subtotal	S/.	47352.52	220768.60	103959.60
	\$	11549.40	53846.00	25356.00
Impuestos aduaneros, IGV y contingencias (30%)	S/.	YA CONSIDERADOS	66230.58	31187.88
	\$	YA CONSIDERADOS	16153.8	7606.8
<b>Total</b>	S/.	<b>47352.52</b>	<b>286999.18</b>	<b>135147.48</b>
	\$	<b>11549.40</b>	<b>69999.80</b>	<b>32962.80</b>

## CONCLUSIONES

En esta sección se presentan las conclusiones a las cuales se llegaron luego de culminar el período de desarrollo de la presente tesis, las cuales son las siguientes:

1. Se logró diseñar un dron usando componentes comerciales que puede soportar como carga útil un sensor LiDAR y demás componentes necesarios para que funcione (aprox. 1.5 kg), pudiendo ser usado para aplicaciones topográficas, lo cual fue el objetivo general de la presente tesis.
2. Se empezó por investigar la aplicación de drones en trabajos topográficos y el uso de sensores LiDAR para adquisición de datos topográficos, así como soluciones comerciales y soluciones usadas para investigación, como parte del estado del arte de la presente tesis.
3. Se definieron con el cliente los requerimientos que el dron debe cumplir, los cuales se llegaron a satisfacer, referidos a condiciones ambientales, fabricación, geometría, entre otros, siguiendo con la metodología de diseño VDI2225, para luego proceder con el diseño, teniendo en consideración el presupuesto asignado.
4. Las simulaciones permitieron comprobar, en primer lugar, la validez de los cálculos mecánicos realizados de resistencia a la fluencia de la estructura del dron (brazos y tren de aterrizaje) y de los sujetadores de la carga útil (sistema LiDAR); en segundo lugar, que las frecuencias modales de la estructura del dron están fuera del rango de trabajo de los motores (306-670 Hz); y tercero, que el dron está en la capacidad de volar en condiciones donde el viento alcance velocidades de 10 m/s, mayor a la velocidad máxima de la lista de requerimientos (4 m/s) (ver ANEXOS D.2.2). Asimismo, se hicieron los cálculos electrónicos para determinar el tiempo de vuelo del dron, el cual es de 20.9 minutos.
5. El costo final fue de S/. 47352.52, el cual fue menor al presupuestado por el proyecto (S/. 57800.00). De esta manera, se logró diseñar un dron de adecuada eficiencia y bajo costo (Ver tabla 5.6).



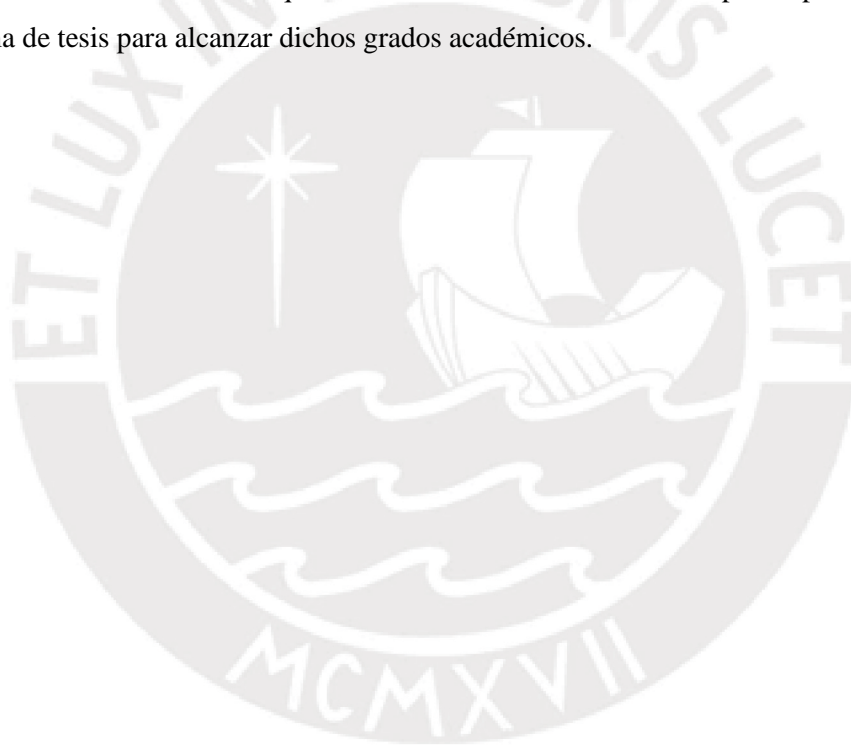
## OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

En esta sección se presentan observaciones y algunas recomendaciones que surgieron durante el desarrollo de la tesis, que pueden considerarse para trabajos futuros relacionados con esta tecnología.

1. Este trabajo ha sido desarrollado con la idea que se convierta en una guía de diseño y construcción de un drone. Debido al avance exponencialmente de la tecnología muchos de estos equipos se vuelven obsoletos, por lo que se sugiere una repotenciación de estos según la aparición de nuevas tecnologías y materiales, como nuevos materiales de mayor resistencia y menor peso, hardware más avanzados y con más capacidad de memoria, baterías de mayor capacidad y poco peso que posibiliten mayor autonomía de vuelo, sensores de mayor precisión, entre otros.
2. El tiempo de vuelo de un drone está ligado a su peso y a la capacidad de la batería, cuyos valores en la presente tesis son 8.8kg y 21 min; sin embargo, no necesariamente usar una batería de mayor capacidad implica tener mayor tiempo de vuelo, puesto que se tiene que analizar el nuevo peso que se tendría con dicha batería y el tiempo de vuelo con dicho peso, siendo este proceso iterativo.
3. La ventaja de hacer un diseño a medida se basa en satisfacer los requerimientos específicos de una necesidad que lo satisfagan; por el contrario, un diseño comercial se basa en la satisfacción de la necesidad de un cliente promedio; esto quiere decir, que la necesidad que uno tenga la debe adaptar a la solución que se ofrece en un diseño comercial.
4. En la tesis se optó por hacer un sistema modular para el LiDAR, es decir que sea como un accesorio más para este tipo de drone, sin embargo, si se considerara que un drone como el diseñado (drone industrial) solo funcionaría con esta carga, podría diseñarse un circuito electrónico extra para que energice al sistema LiDAR, y con ello reducir el peso, además de poder colocar a los componentes del sistema LiDAR directamente en el drone, como por ejemplo dentro del cover.
5. Dado que el sensor LiDAR obtendrá datos de la zona de interés mediante una gran nube de puntos durante su funcionamiento, se debe tener en consideración las vibraciones que genera el drone y que puede generar el viento, puesto que pueden influir en la adquisición de datos y hacer de la nube de puntos una no tan certera.
6. En caso se desee realizar el vuelo de forma manual, se recomienda monitorear el ambiente usando aplicaciones, como la aplicación “UAV Forecast”, puesto que además de medir condiciones climáticas perceptibles como velocidad del viento, precipitaciones o neblina,

esta aplicación muestra índices que permiten monitorear tormentas solares, y finalmente recomienda si es viable volar o no.

7. El diseño del dron con LiDAR fue el tema de desarrollo de la presente tesis, más no el post-procesamiento. Durante el desarrollo del estado del arte se encontró sistemas compactos con sensores LiDAR, los cuales mostraban en tiempo real y con alta resolución las áreas por las cuales circulaba el dron, pero cuyo costo era demasiado excesivo, llegando a costar más de \$30000.00 solo el equipo (ya que se tenía que pagar por una suscripción mensual para poder usar su software), mucho más que el precio de un dron industrial. Entonces, analizando dicho valor económico no es difícil deducir que la realización de un software similar (que permita adquirir y acondicionar la data) por parte de un estudiante de pregrado es utópico, puesto que la formación recibida no es suficiente para dicha tarea, siendo su complejidad como para un doctor o magíster, motivo por el cual se recomienda que la realización de dicho software pueda plantearse como tema de tesis para alcanzar dichos grados académicos.



## BIBLIOGRAFÍA

- [1] INDECI, «COMPENDIO ESTADÍSTICO DEL INDECI 2017 - GESTIÓN REACTIVA,» 2017. [En línea]. Available: [http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con5\\_uibd.nsf/F165A9A30470A4C405258295005A212C/\\$FILE/201802271714541.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con5_uibd.nsf/F165A9A30470A4C405258295005A212C/$FILE/201802271714541.pdf). [Último acceso: 22 Marzo 2019].
- [2] AMÉRICA TV, «Trujillo: así lucen exteriores del estadio Mansiche por inundaciones,» 16 Marzo 2017. [En línea]. Available: <https://www.americatv.com.pe/deportes/futbol-peruano/trujillo-asi-lucen-exteriores-estadio-mansiche-inundaciones-n269327>. [Último acceso: 17 Marzo 2021].
- [3] J. Aurazo, «Lluvias en Trujillo: así fue el primer huaico durante El Niño costero del 2017 | FOTOS,» El Comercio, 15 Marzo 2019. [En línea]. Available: <https://elcomercio.pe/peru/la-libertad/lluvias-trujillo-primero-huaico-nino-costero-2017-fotos-noticia-617138-noticia/>. [Último acceso: 17 Marzo 2021].
- [4] RPP, «Trujillo: Ochenta familias damnificadas por el Niño Costero continúan en módulos temporales de vivienda,» 9 Diciembre 2020. [En línea]. Available: <https://rpp.pe/peru/la-libertad/fenomeno-el-nino-trujillo-ochenta-familias-damnificadas-por-el-nino-costero-continuan-en-modulos-temporales-de-vivienda-noticia-1308931>. [Último acceso: 17 Marzo 2021].
- [5] SERVICIO NACIONAL DE GESTIÓN DE RIESGOS Y EMERGENCIAS - ECUADOR, «PLAN ESPECÍFICO DE GESTIÓN DE RIESGOS 2019-2030,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.defensa.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/07/plan-nacional-riesgos-web.pdf>. [Último acceso: 1 Agosto 2021].
- [6] Euronews, «Malawi y cómo los drones pueden limitar el impacto de las inundaciones,» 24 Setiembre 2017. [En línea]. Available: <https://es.euronews.com/2018/04/26/malawi-y-como-los-drones-pueden-limitar-el-impacto-de-las-inundaciones>. [Último acceso: 28 Marzo 2019].
- [7] J. Diaz, «Fast Company,» The World's Biggest Octocopter Drone Is Basically A Flying Truck, 18 Enero 2018. [En línea]. Available: <https://www.fastcompany.com/90157147/the-worlds-biggest-octocopter-drone-is-basically-a-flying-truck>. [Último acceso: 1 Agosto 2021].
- [8] Velodyne Lidar, «Velodyne Lidar,» [En línea]. Available: <https://velodynelidar.com/>. [Último acceso: 19 Marzo 2019].
- [9] YellowScan, «YellowScan: Product Comparison,» [En línea]. Available: <https://www.yellowscan-lidar.com/lidar-solutions/>. [Último acceso: 18 Marzo 2019].
- [10] Dirección General de Aeronáutica Civil, «Ministerio de Transportes y Comunicaciones,» 3 Noviembre 2015. [En línea]. Available: [https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/390602/NTC\\_\\_RPAS\\_\\_texto\\_.pdf](https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/390602/NTC__RPAS__texto_.pdf). [Último acceso: 1 Agosto 2021].
- [11] J. Flynt, «3DInsider,» 28 Agosto 2017. [En línea]. Available: <https://3dinsider.com/how-long-can-drones-fly/>. [Último acceso: 9 Marzo 2019].
- [12] A. Almeida, «El uso de drones en la ingeniería,» RPP, 16 Enero 2019. [En línea]. Available: <https://rpp.pe/columnistas/alexandre Almeida/el-uso-de-drones-en-la-ingenieria-noticia-1175069>. [Último acceso: 13 Marzo 2019].

- [13] RPP, «Lima: Drones aportan a la investigación científica,» 16 Julio 2013. [En línea]. Available: <https://rpp.pe/tecnologia/mas-tecnologia/lima-drones-aportan-a-la-investigacion-cientifica-noticia-613868>. [Último acceso: 13 Marzo 2019].
- [14] GEO SYSTEMS, «Levantamiento Topográfico Aereo TRIMBLE UX5,» 2017. [En línea]. Available: [https://www.usmp.edu.pe/vision2017/pdf/materiales/Trimble\\_UX5\\_presentacion\\_2016.pdf](https://www.usmp.edu.pe/vision2017/pdf/materiales/Trimble_UX5_presentacion_2016.pdf). [Último acceso: 18 Marzo 2021].
- [15] L. Castañeda y W. Martínez, «ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS CONVENCIONALES DE DETALLE VERSUS TECNOLOGÍA LiDAR TERRESTRE ESTACIONARIA, APLICADA A DEFORMACIONES EN ESTRUCTURAS DE GRAN TAMAÑO,» Bogotá, 2018.
- [16] J. Barroso, «La Guardia Civil crea una unidad para vigilar drones en Madrid,» *El País*, 30 Agosto 2018.
- [17] Businesswire, «Velodyne Lidar y YellowScan lideran el mercado de inspección de drones para la expansión de la capacidad de autopistas,» 23 Enero 2019. [En línea]. Available: <https://www.businesswire.com/news/home/20190123005248/es/>. [Último acceso: 18 Marzo 2021].
- [18] A. Buczkowski, «Drone LiDAR or Photogrammetry? Everything you need to know,» Geo awesomeness, 6 Enero 2018. [En línea]. Available: <https://geoawesomeness.com/drone-lidar-or-photogrammetry-everything-your-need-to-know/>. [Último acceso: 11 Marzo 2019].
- [19] EMBENTION, «DIFERENCIAS ENTRE LA FOTOGRAMETRÍA Y EL LIDAR CON DRONES,» 13 Octubre 2017. [En línea]. Available: <https://www.embention.com/es/news/fotogrametria-y-lidar-con-drones/>. [Último acceso: 11 Marzo 2019].
- [20] YellowScan, «YellowScan: Reliable LiDAR for UAVs,» [En línea]. Available: <https://www.yellowscan-lidar.com/products/yellowscan-surveyor-ultra>. [Último acceso: 20 Febrero 2019].
- [21] YellowScan, «YellowScan: Reliable LiDAR for UAVs,» [En línea]. Available: <https://www.yellowscan-lidar.com/products/uav-lidar-integration/fixed-wing-drones>. [Último acceso: 20 Febrero 2019].
- [22] LiDARUSA, «LiDARUSA: We make 3D mapping easy,» [En línea]. Available: <https://www.lidarusa.com/matrice-200-series.html>. [Último acceso: 21 Febrero 2019].
- [23] M. P. Christiansen, M. S. Laursen, R. N. Jørgensen, S. Skovsen y R. Gislum, «Designing and Testing a UAV Mapping System for Agricultural Field Surveying,» 2017.
- [24] «Computer Vision and Biosystems signal processing group: Department of Engineering – Aarhus University,» [En línea]. Available: [https://vision.eng.au.dk/future-cropping/uav\\_lidar/](https://vision.eng.au.dk/future-cropping/uav_lidar/). [Último acceso: 1 Marzo 2019].
- [25] P. Kumar, C. B., A. Balasubramanyam, A. Kumar y Y. Chai, «Gaze-Controlled Virtual Retrofitting of UAV-Scanned Point Cloud Data,» 23 Noviembre 2017. [En línea]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/329301425\\_Gaze-Controlled\\_Virtual\\_Retrofitting\\_of\\_UAV-Scanned\\_Point\\_Cloud\\_Data](https://www.researchgate.net/publication/329301425_Gaze-Controlled_Virtual_Retrofitting_of_UAV-Scanned_Point_Cloud_Data). [Último acceso: 13 Marzo 2019].
- [26] Esenziale, «Todas las partes de los drones explicadas al detalle,» [En línea]. Available: <https://esenziale.com/tecnologia/partes-drone/>. [Último acceso: 4 Marzo 2019].

- [27] FRAMEWORK FILMS, «Parts List - Build a Cinema FPV Drone to Carry GoPro,» [En línea]. Available: <https://frameworkfilms.net/facts/fpv-drone-build>. [Último acceso: 22 Marzo 2021].
- [28] E. Santana, «Tipos de drones - Conoce todos los tipos de drones que existen | Clasificación de drones | Categorías de drones,» Xdrones, 2017. [En línea]. Available: <https://www.xdrones.es/tipos-de-drones-clasificacion-de-drones-categorias-de-drones/>. [Último acceso: 11 Marzo 2019].
- [29] GETFPV, «SonicModell Skyhunter 1800mm Wingspan FPV RC Airplane - Kit Version,» [En línea]. Available: <https://www.getfpv.com/sonicmodell-skyhunter-1800mm-wingspan-fpv-rc-airplane-kit-version.html>. [Último acceso: 19 Marzo 2019].
- [30] ALIEXPRESS, «Volantex Ranger-Avión de control remoto PNP, 2000 V757-8, 2000mm, envergadura, EPO, FPV,» [En línea]. Available: <https://es.aliexpress.com/i/32812810481.html>. [Último acceso: 11 Marzo 2019].
- [31] ALIEXPRESS, «FTC HUNTER 680mm Wingspan EPP Delta Wing FPV Racer RC Airplane Kit/PNP versión vuelo ala nueva llegada buenos modelos Juguetes,» [En línea]. Available: <https://es.aliexpress.com/i/32846740098.html>. [Último acceso: 11 Marzo 2019].
- [32] L. Limones, «Cuadricóptero controlado por PID,» Santiago de Querétaro, 2015.
- [33] K. Modelist, «Quadcopter: The Basics,» RCFAIR, 9 Noviembre 2015. [En línea]. Available: [http://www.rcfair.com/en/blogs/view\\_entry/12620/](http://www.rcfair.com/en/blogs/view_entry/12620/). [Último acceso: 11 Marzo 2019].
- [34] Ardupilot, «QuadPlane Support,» [En línea]. Available: <https://ardupilot.org/plane/docs/quadplane-support.html>. [Último acceso: 11 Marzo 2019].
- [35] J. García Gutierrez, «Remote Mining: Aplicando minería de datos a la teledetección sobre LIDAR,» [En línea]. Available: <http://www.lsi.us.es/docs/doctorado/memorias/Memoria-Invest-JGarcia.pdf>.
- [36] GESTIÓN, «¿Qué es la tecnología Lidar, por la que luchan Google y Uber?,» 26 Febrero 2017. [En línea]. Available: <https://gestion.pe/tecnologia/tecnologia-lidar-luchan-google-uber-129497>. [Último acceso: 26 Febrero 2019].
- [37] YellowScan, «YellowScan: Reliable LiDAR for UAVs,» [En línea]. Available: <https://www.yellowscan-lidar.com/applications-and-users/how-lidar-works>. [Último acceso: 25 Febrero 2019].
- [38] Ouster Lidar, «Ouster Lidar,» [En línea]. Available: <https://ouster.com/>. [Último acceso: 20 Marzo 2019].
- [39] Ouster Lidar, «OS-1,» [En línea]. Available: <https://ouster.com/products/os1-lidar-sensor/>. [Último acceso: 27 Mayo 2019].
- [40] Swift Navigation, «PIKSI MULTI GNSS MODULE,» [En línea]. Available: <https://www.swiftnav.com/piksi-multi>. [Último acceso: 28 Mayo 2019].
- [41] OxTS, «xNAV,» [En línea]. Available: <https://www.oxts.com/products/xnav-miniature-inertial-navigation-system/>. [Último acceso: 28 Mayo 2019].
- [42] Xsens, «New Xsens MTi-7 Module With External GNSS Receiver Input,» [En línea]. Available: <https://www.xsens.com/news/new-xsens-mti-7-module-with-external-gnss-receiver-input>. [Último acceso: 29 Mayo 2019].



- [43] Arrow, «BeagleBone Black,» [En línea]. Available: <https://www.arrow.com/es-mx/products/bb-black/beagleboardorg>. [Último acceso: 28 Mayo 2019].
- [44] ZaReason, «Zini 1660,» [En línea]. Available: <https://zareason.com/Zini-1660.html>. [Último acceso: 28 Mayo 2019].
- [45] ameriDroid, «ODROID-XU4,» [En línea]. Available: <https://ameridroid.com/products/odroid-xu4>. [Último acceso: 28 Mayo 2019].
- [46] HARDKERNEL, «WiFi Module 4,» [En línea]. Available: <https://www.hardkernel.com/shop/wifi-module-4/>. [Último acceso: 28 Mayo 2019].
- [47] MovilTronics, «Modulo de Carga Convertidor 9-36V a 5V 3A XY-3606,» [En línea]. Available: <https://moviltronics.com/tienda/modulo-de-carga-9-36v-a-5v3a-xy-3606/>. [Último acceso: 28 Mayo 2019].
- [48] Mouser Electronics, «Vicor VI-JW0-MZ,» [En línea]. Available: <https://www.mouser.pe/ProductDetail/Vicor/VI-JW0-MZ?qs=QViXGNcIEAuvCAvXlihU%252BA==>. [Último acceso: 28 Mayo 2019].
- [49] HobbyKing, «UBEC DUO 4A / 5 ~ 12V y 4A / 5V,» [En línea]. Available: [https://hobbyking.com/es\\_es/ubec-duo-4a-5-12v-4a-5v.html?\\_\\_store=es\\_es](https://hobbyking.com/es_es/ubec-duo-4a-5-12v-4a-5v.html?__store=es_es). [Último acceso: 28 Mayo 2019].
- [50] ALPHA & OMEGA SEMICONDUCTOR, «AOZ1284,» [En línea]. Available: [http://www.aosmd.com/res/data\\_sheets/AOZ1284PI.pdf](http://www.aosmd.com/res/data_sheets/AOZ1284PI.pdf). [Último acceso: 7 Agosto 2021].
- [51] maxAmps, «LiPo 2800 6S 22.2v Battery Pack,» [En línea]. Available: <https://www.maxamps.com/lipo-2800-6s-22-2v-battery-pack>. [Último acceso: 28 Mayo 2019].
- [52] DJI, «NAZA-M V2,» [En línea]. Available: <https://www.dji.com/naza-m-v2>. [Último acceso: 13 Mayo 2019].
- [53] Ardupilot, «Pixhawk Overview,» [En línea]. Available: <https://ardupilot.org/copter/docs/common-pixhawk-overview.html>. [Último acceso: 13 Mayo 2019].
- [54] Ardupilot, «The Cube Overview,» [En línea]. Available: <https://ardupilot.org/copter/docs/common-thecube-overview.html>. [Último acceso: 13 Mayo 2019].
- [55] SPEKTREWORKS, «Kore v1.3.1 and Newer,» [En línea]. Available: [http://docs.spektreworks.com/carrier\\_board\\_v1\\_3\\_1/](http://docs.spektreworks.com/carrier_board_v1_3_1/). [Último acceso: 15 Mayo 2019].
- [56] Ardupilot, «Here+ RTK GPS,» [En línea]. Available: <https://ardupilot.org/copter/docs/common-here-plus-gps.html>. [Último acceso: 16 Mayo 2019].
- [57] Proficnc, «Here 2,» [En línea]. Available: <http://www.proficnc.com/all-products/152-gps-module.html>. [Último acceso: 15 Mayo 2019].
- [58] Futaba, «R6208SB (FASST/S.Bus),» [En línea]. Available: <https://futabausa.com/product/r6208sb/>. [Último acceso: 18 Mayo 2019].

- [59] FrSKY, «X4R,» [En línea]. Available: <https://www.frsky-rc.com/product/x4r/>. [Último acceso: 18 Mayo 2019].
- [60] FrSKY, «X8R,» [En línea]. Available: <https://www.frsky-rc.com/product/x8r/>. [Último acceso: 18 Mayo 2019].
- [61] HobbyKing, «Futaba T8FG transmisor de Super 14ch w / R6208SB receptor de 2,4 GHz (Modo 1),» [En línea]. Available: [https://hobbyking.com/es\\_es/futaba-t8fg-super-14ch-transmitter-w-r6208sb-2-4ghz-receiver-mode-1.html](https://hobbyking.com/es_es/futaba-t8fg-super-14ch-transmitter-w-r6208sb-2-4ghz-receiver-mode-1.html). [Último acceso: 18 Mayo 2019].
- [62] FrSKY, «Taranis X9D Plus,» [En línea]. Available: <https://www.frsky-rc.com/product/taranis-x9d-plus-2/>. [Último acceso: 18 Mayo 2019].
- [63] Ardupilot, «FrSky Telemetry,» [En línea]. Available: <http://ardupilot.org/copter/docs/common-frsky-telemetry.html?highlight=x8r>. [Último acceso: 18 Mayo 2019].
- [64] IR-LOCK, «RFD900x Telemetry Modem,» [En línea]. Available: [https://irlock.com/products/rfd900x-telemetry-module?\\_pos=10&\\_sid=5bf07ae8d&\\_ss=r](https://irlock.com/products/rfd900x-telemetry-module?_pos=10&_sid=5bf07ae8d&_ss=r). [Último acceso: 19 Mayo 2019].
- [65] mRobotics, «mRo SiK Telemetry Radio V2 Air/Ground Bundle,» [En línea]. Available: <https://store.mrobotics.io/product-p/mro-sikv2airgnd-mr.htm>. [Último acceso: 18 Mayo 2019].
- [66] AltiGator Unmanned Solutions, «RADIO TELEMETRY KIT (A) FOR PIXHAWK - 433MHZ,» [En línea]. Available: <https://drones.altigator.com/radio-telemetry-kit-a-for-pixhawk-433mhz-p-42334.html>. [Último acceso: 18 Mayo 2019].
- [67] Ardupilot, «RFD900 Radio Modem,» [En línea]. Available: <http://ardupilot.org/copter/docs/common-rfd900.html>. [Último acceso: 18 Mayo 2019].
- [68] Ardupilot, «SiK Telemetry Radio,» [En línea]. Available: <http://ardupilot.org/copter/docs/common-sik-telemetry-radio.html>. [Último acceso: 18 Mayo 2019].
- [69] Renesas, «What are Brushless DC Motors,» [En línea]. Available: <https://www.renesas.com/us/en/support/engineer-school/brushless-dc-motor-01-overview>. [Último acceso: 20 Mayo 2019].
- [70] T-Motor, «MN501-S KV360,» [En línea]. Available: <https://store-en.tmotor.com/goods.php?id=697>. [Último acceso: 31 Mayo 2019].
- [71] T-Motor, «MF1806,» [En línea]. Available: <https://store-en.tmotor.com/goods.php?id=740>. [Último acceso: 31 Mayo 2019].
- [72] T-Motor, «AIR 40A 6S,» [En línea]. Available: <https://store-en.tmotor.com/goods.php?id=368>. [Último acceso: 31 Mayo 2019].
- [73] T-Motor, «T 60A,» [En línea]. Available: <https://store-en.tmotor.com/goods.php?id=375>. [Último acceso: 31 Mayo 2019].
- [74] T-Motor, «ALPHA 40A 6S,» [En línea]. Available: <https://store-en.tmotor.com/goods.php?id=580>. [Último acceso: 31 Mayo 2019].

- [75] Ardupilot, «Pixhawk 2.1 power consumption discussion,» 17 Diciembre 2017. [En línea]. Available: <https://discuss.ardupilot.org/t/pixhawk-2-1-power-consumption/24250>. [Último acceso: 15 Mayo 2019].
- [76] maxAmps, «LiPo 11,000 6S 22.2v Battery Pack,» [En línea]. Available: <https://www.maxamps.com/lipo-11000-6s-22-2v-battery-pack>. [Último acceso: 31 Mayo 2019].
- [77] maxAmps, «LiPo 10900 6S 22.2V Battery Pack,» [En línea]. Available: <https://www.maxamps.com/lipo-10900-6s-22-2v-battery-pack>. [Último acceso: 31 Mayo 2019].
- [78] Performance COMPOSITES, «Mechanical Properties of Carbon Fibre Composite Materials, Fibre / Epoxy resin (120°C Cure),» [En línea]. Available: [http://www.performance-composites.com/carbonfibre/mechanicalproperties\\_2.asp](http://www.performance-composites.com/carbonfibre/mechanicalproperties_2.asp). [Último acceso: 19 Mayo 2019].
- [79] Ardupilot, «Mission Planner Home,» [En línea]. Available: <https://ardupilot.org/planner/>. [Último acceso: 14 Agosto 2021].
- [80] Ardupilot, «Connect Mission Planner to AutoPilot,» [En línea]. Available: <https://ardupilot.org/planner/docs/common-connect-mission-planner-autopilot.html>. [Último acceso: 14 Agosto 2021].
- [81] Ardupilot, «Mission Planner Ground Control Station,» [En línea]. Available: <https://ardupilot.org/planner/docs/mission-planner-ground-control-station.html>. [Último acceso: 14 Agosto 2021].
- [82] Ardupilot, «Mission Planner Flight Data Screen,» [En línea]. Available: <https://ardupilot.org/planner/docs/mission-planner-flight-data.html>. [Último acceso: 14 Agosto 2021].
- [83] Ardupilot, «Technique to expand Roll and Pitch Rate PID gains without instabilities,» [En línea]. Available: <https://discuss.ardupilot.org/t/technique-to-expand-roll-and-pitch-rate-pid-gains-without-instabilities/12982/42>. [Último acceso: 1 Junio 2019].

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



**DISEÑO DE UN DRONE PARA MAPEO DE ZONAS VULNERABLES  
A DESASTRES NATURALES MEDIANTE USO DE SENSOR DE  
LIDAR  
ANEXOS**

**Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Mecatrónico**

**AUTOR**

Julio Paul Ryan Avalos Villa

**ASESOR:**

Mónica Lucia Abarca Abarca

Lima, Febrero, 2022

## ÍNDICE

	Pág.
LISTA DE FIGURAS.....	i
LISTA DE TABLAS .....	iii
A. ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE.....	1
A.1. Lista de requerimientos.....	1
A.2. Drones con LiDAR comerciales .....	2
A.3. Sensores LiDAR .....	5
A.4. Dispositivos integrados compactos con LiDAR.....	5
B. DISEÑO CONCEPTUAL.....	10
B.1. Lista de Funciones .....	10
B.2. Matriz Morfológica.....	13
B.3. Conceptos de solución .....	21
B.3.1. Primer concepto de solución $S_1$ .....	21
B.3.2. Segundo concepto de solución $S_2$ .....	24
B.3.3. Tercer concepto de solución $S_3$ .....	26
B.4. Evaluación de los conceptos de solución.....	28
C. DISEÑO ELÉCTRÓNICO .....	31
C.1. Cálculo de motores Brushless.....	31
D. DISEÑO MECÁNICO.....	47
D.1. Modelado 3D .....	47
D.1.1. Componentes comprados.....	47
D.1.2. Componentes diseñados .....	51
D.2. Cálculos mecánicos y simulaciones.....	55
D.2.1. Prueba de resistencia de sujetador de sistema LiDAR .....	55
D.2.2. Análisis aerodinámico del drone .....	60
E. DISEÑO DE CONTROL .....	63
E.1. Interfaz de usuario .....	63
F. BIBLIOGRAFÍA.....	68
G. COTIZACIONES.....	69
H. DATASHEETS .....	87
I. PLANOS MECÁNICOS Y ELÉCTRICOS.....	181

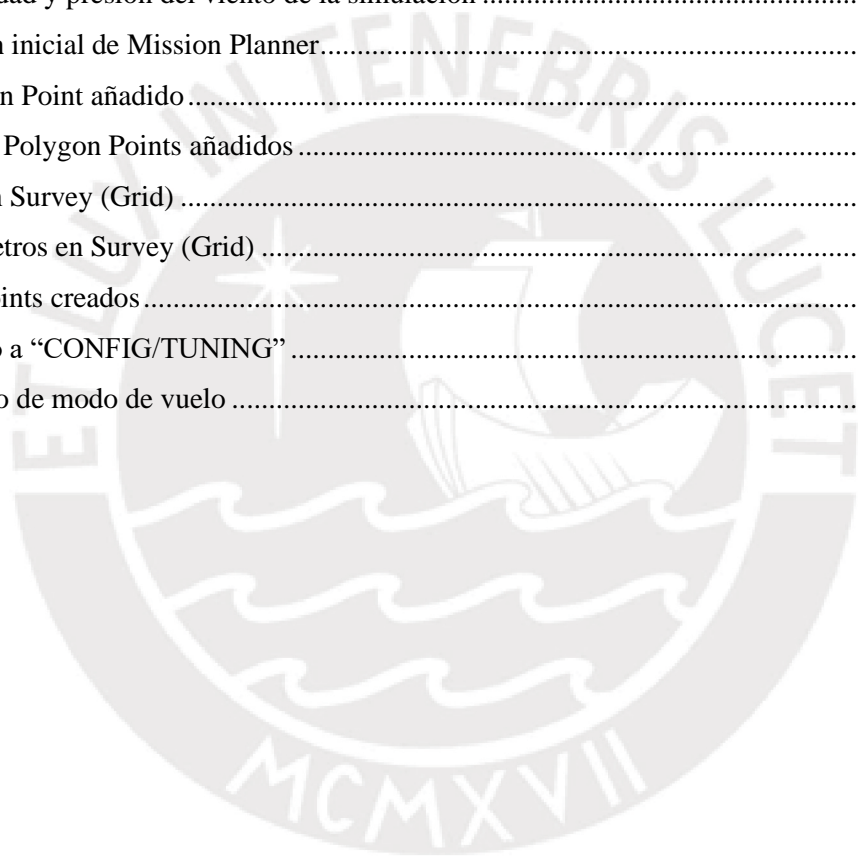


## LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Boreal antes de despegar.....	3
Figura 2. Vista externa e interna de TERRAHAWK CW-20 .....	3
Figura 3. Vista externa e interna de TERRAHAWK CW-30 .....	4
Figura 4. V100 PRO S y V200 L .....	4
Figura 5. SuperFox6: a) Vista isométrica de SuperFox6, b) LiDAR POD Lynx16 de Heliceo.....	4
Figura 6. Primer concepto de solución.....	23
Figura 7. Segundo concepto de solución.....	25
Figura 8. Tercer concepto de solución .....	27
Figura 9. Evaluación técnico-económica de los conceptos de solución.....	30
Figura 10. Gráfico de Corriente(A) vs Empuje(g) de motor MN501S KV360 con hélices de 18" dediámetro y 6.1" de paso .....	34
Figura 11. Gráfico de Corriente(A) vs Empuje(g) de motor MN505S KV380 con hélices de 17.5" dediámetro y 5.8" de paso .....	35
Figura 12. Gráfico de Corriente(A) vs Empuje(g) de motor MN505S KV380 con hélices de 18" dediámetro y 6.1" de paso .....	36
Figura 13. Gráfico de Tiempo de vuelo vs Capacidad de batería de motor MN501S KV360 con hélicesde 18" de diámetro y 6.1" de paso .....	40
Figura 14. Gráfico de Consumo de corriente por motor vs Capacidad de batería de motor MN501SKV360 con hélices de 18" de diámetro y 6.1" de paso.....	40
Figura 15. Gráfico de Tiempo de vuelo vs Capacidad de batería de motor MN505S KV380 con hélicesde 18" de diámetro y 6.1" de paso .....	43
Figura 16. Gráfico de Consumo de corriente por motor vs Capacidad de batería de motor MN505SKV380 con hélices de 18" de diámetro y 6.1" de paso.....	43
Figura 17. Modelo 3D del dron .....	47
Figura 18. Estructura del dron (Frame) .....	48
Figura 19. Montaje de brazos fijos del dron: a)Vista inferior, b)Vista superior.....	49
Figura 20. Montaje de brazos plegables: a)Abrazaderas, b)Pernos mariposa de Tarot .....	49
Figura 21. Montaje de motor brushless a brazo de dron .....	50
Figura 22. Tren de aterrizaje del dron .....	50
Figura 23. Montaje del tren de aterrizaje.....	51
Figura 24. Vista superior del porta-baterías soportado por el plato inferior del dron.....	51
Figura 25. Vista inferior del porta-baterías soportado por el plato inferior del dron.....	52
Figura 26. Montaje de placa de ESC a plato inferior del dron: a)Vista superior, b)Vista inferior .....	52
Figura 27. Vista isométrica del Sistema LiDAR .....	53
Figura 28. Vista superior para colocación de tapa frontal .....	54

Figura 29. Tapa superior con sujetadores impresos en 3D.....	54
Figura 30. Colocación de tapa media y vista de uniones impresas.....	54
Figura 31. Vistas del cover del drone.....	55
Figura 32. Sistema LiDAR: a)Sujetadores impresos en 3D, b)vista de perfil de sistema LiDAR .....	55
Figura 33. Diagrama de cuerpo libre del Sistema LiDAR .....	56
Figura 34. Traslación de cargas del sistema LiDAR a los sujetadores.....	57
Figura 35. Resultados de simulación de sujetadores impresos en PLA: a)Esfuerzo equivalente de VonMises, b)Desplazamiento, c)Factor de seguridad .....	58
Figura 36. Diagrama de cuerpo libre del drone durante traslado horizontal .....	60
Figura 37. Simulación del comportamiento aerodinámico del drone.....	61
Figura 38. Velocidad y presión del viento de la simulación .....	61
Figura 39. Imagen inicial de Mission Planner.....	63
Figura 40. Polygon Point añadido.....	64
Figura 41. Cuatro Polygon Points añadidos .....	64
Figura 42. Opción Survey (Grid) .....	65
Figura 43. Parámetros en Survey (Grid) .....	65
Figura 44. Waypoints creados .....	66
Figura 45. Acceso a “CONFIG/TUNING” .....	66
Figura 46. Cambio de modo de vuelo .....	67



## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tabla comparativa de sensores Livox LiDAR.....	5
Tabla 2. Tabla comparativa de dispositivos integrados con Lidar de Phoenix LiDAR Systems.....	6
Tabla 3. Tabla comparativa de dispositivos integrados con Lidar de Hélicéo.....	7
Tabla 4. Tabla comparativa de dispositivos integrados con Lidar de LiDARUSA .....	8
Tabla 5. Especificaciones del dispositivo Hovermap de Emesent .....	9
Tabla 6. Evaluación técnica .....	29
Tabla 7. Evaluación económica .....	29
Tabla 8. Pesos de componentes electrónicos para el vuelo.....	31
Tabla 9. Pesos de componentes mecánicos para el vuelo .....	32
Tabla 10. Tabla resumida de pesos preliminares .....	32
Tabla 11. Empuje, corriente y eficiencia de motor MN501S KV360 con hélices de 18" de diámetro y 6.1" de paso .....	33
Tabla 12. Empuje, corriente y eficiencia de motor MN505S KV380 con hélices de 17.5" de diámetro y 5.8" de paso .....	34
Tabla 13. Empuje, corriente y eficiencia de motor MN505S KV380 con hélices de 18" de diámetro y 6.1" de paso .....	35
Tabla 14. Especificaciones de capacidad, voltaje, peso y energía específica de baterías LiPo de la marca MaxAmps .....	37
Tabla 15. Resultados de iteraciones con motor MN501S KV360 con hélices de 18" de diámetro y 6.1" de paso.....	38
Tabla 16. Resultados de iteraciones con motor MN505S KV380 con hélices de 18" de diámetro y 6.1" de paso.....	41
Tabla 17. Consumos de componentes electrónicos del drone.....	44
Tabla 18. Pesos de componentes electrónicos de potencia .....	45
Tabla 19. Pesos finales.....	45
Tabla 20. Pesos de componentes del cover del sistema LiDAR.....	56
Tabla 21. Tabla comparativa de sujetadores impresos en Policarbonato y Ultem9085 .....	59

## A. ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE

### A.1. Lista de requerimientos

LISTA DE REQUERIMIENTOS	
<b>PROYECTO:</b>	DISEÑO DE UN DRONE PARA MAPEO DE ZONAS VULNERABLES A DESASTRES NATURALES MEDIANTE USO DE SENSOR LIDAR.
<b>CLIENTE:</b>	Ivan Sipiran Mónica Abarca
<b>Deseo o Exigencia</b>	<b>Descripción</b>
E	<b>FUNCIÓN PRINCIPAL:</b> Vuelo con un sensor Lidar acoplado para trabajos topográficos.
E	<b>GEOMETRÍA:</b> Las dimensiones máximas de la máquina serán de -Ancho: 4m -Largo: 3m -Altura: 1m
E	<b>FUERZAS:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Peso de Lidar no mayor a 1 kg.</li><li>• Componentes necesarios para su funcionamiento no mayor a 1.5 kg.</li></ul>
E	<b>ENERGÍA:</b> Proporcionar una autonomía de vuelo de por lo menos 20 minutos.
E	<b>SEGURIDAD</b> Se diseñará el dron de manera que no se vea comprometida la integridad física de ningún usuario.
D	<b>SEÑALES:</b> <u>De entrada</u> <ul style="list-style-type: none"><li>• Trayectoria</li><li>• Inicio</li></ul>
E	<b>SEÑALES:</b> <u>De salida</u> <ul style="list-style-type: none"><li>• Nube de puntos en formato .las.</li></ul>

D	<p><b>FABRICACIÓN:</b></p> <p>-El drone debe ser diseñado en base a materiales que puedan ser adquiridos en el medio local o en su defecto, importado con rápida entrega.</p> <p>-La estructura del drone debe ser lo suficientemente rígido como para soportar el peso de los componentes y no deformarse durante el vuelo, y a su vez lo suficientemente ligero para el correcto vuelo.</p>
D	<p><b>MONTAJE:</b></p> <p>El drone debe poder ser armado de manera rápida y segura en una superficie de 9 m<sup>2</sup> a condiciones ambientales.</p>
E	<p><b>TRANSPORTE:</b></p> <p>El drone debe ser transportable por 2 personas, o 1 con una plataforma (carrito), siendo su nivel de dificultad bajo.</p>
E	<p><b>CONDICIONES AMBIENTALES Y USO:</b></p> <p>El drone estará diseñado para ser operado en ambientes urbanos y rurales, a una altura de 20m como máximo, con poca humedad, velocidad del viento de 8 kts (4 m/s) y temperaturas entre 10°C y 30 °C.</p>
D	<p><b>MEMORIA:</b></p> <p>El drone deberá poder almacenar 4GB de datos de la nube de puntos como mínimo.</p>
D	<p><b>TRANSPORTE:</b></p> <p>El drone debe ser transportable por 2 personas, o 1 con una plataforma (carrito), siendo su nivel de dificultad bajo.</p>
E	<p><b>MANTENIMIENTO:</b></p> <p>-Calibraciones y ajustes de componentes de manera mensual.</p> <p>-Cambio de componentes que se desgasten por condiciones climatológicas fuertes imprevistas (hélices, carcasa, etc) dependerá del uso de esta.</p>
E	<p><b>CONTROL:</b></p> <p>-Control sobre los ángulos de navegación Roll, Pitch y Yaw.</p>
E	<p><b>COSTOS:</b></p> <p>La fabricación e implementación del drone no debe exceder el presupuesto de S/. 73000.00.</p>

## A.2. Drones con LiDAR comerciales

### Boreal + YellowScan Ultra

Esta solución consiste en el uso de un UAV, denominado Boreal de la marca Groupe Mistral, con el dispositivo YellowScan Ultra de YellowScan, el cual fue descrito en el punto anterior. El Boreal es un UAV de ala fija que resalta por su gran capacidad de carga útil, precisión y larga resistencia, pues su rendimiento solo se ve alterado por condiciones climatológicas extremas, permitiéndole realizar mediciones de temperatura, humedad, turbulencia, realizar escaneos con



un sensor LiDAR o tomar fotografías de gran calidad.



Figura 1. Boreal antes de despegar

Fuente: [1]

### **TERRAHAWK CW-20**

El TERRAHAWK CW-20 es un VANT al cual se le ha acoplado un sensor LiDAR, el Phoenix SCOUT ULTRA, siendo capaz de escanear áreas de dimensiones elevadas. Con el TERRAHAWK CW-20 se puede realizar vuelos estables y a una elevada altura, además de un despegue y aterrizaje vertical, puesto que combina las características de un dron de ala fija con un VTOL. Este modelo es fácil de ensamblar, puede mapear 11km<sup>2</sup> por vuelo y volar de manera autónoma, además de tener una duración de 3 horas por vuelo.



Figura 2. Vista externa e interna de TERRAHAWK CW-20

Fuente: [2]

### **TERRAHAWK CW-30**

El TERRAHAWK CW-30 es un VANT al cual se le ha acoplado un sensor LiDAR, el Phoenix RANGER. Este modelo es ideal para escanear largas áreas, elevada altura, densa vegetación, y a una velocidad alta. Se diferencia de su versión anterior en el rango de adquisición, además de que se le añadió una estructura para la protección del sensor al momento del aterrizaje, puesto que como el sensor se ubica en el vientre del dron, que se impacte el sensor era muy probable.



Figura 3. Vista externa e interna de TERRAHAWK CW-30

Fuente: [3]

### **LiDARit series V**

La empresa colombiana LiDARit ha desarrollado unos sistemas LiDAR para el mapeo de zonas geográficas, caracterizándose esta serie por ser unos multirrotores llamados hexacópteros, puestos que utilizan 6 motores para su propulsión y posterior navegación. Estos son los modelos V100 PROS y el V200 L, con un rango de hasta 250m, una altura de vuelo entre 50 y 120m y unos precios que oscilan entre los \$45000 a \$160000.



Figura 4. V100 PRO S y V200 L

Fuente: [4]

### **SuperFox6**

El SuperFox6 es un dron diseñado por la empresa Hélicéo con fines topográficos, al cual se le ha montado un sensor LiDAR, el LiDAR POD Lynx16, también de Hélicéo. Posee 6 hélices de carbono, una estructura de carbono muy resistente, un paracaídas pirotécnico, y es fácil de transportar y desmontar.



Figura 5. SuperFox6: a) Vista isométrica de SuperFox6, b) LiDAR POD Lynx16 de Heliceo



Fuente: [5]

### A.3. Sensores LiDAR

#### LIVOX

LIVOX es una empresa que fabrica sensores Lidar, así como dispositivos que complementan su funcionalidad, como una caja de interfaz para procesamiento de data, además de software especializado. En este caso, se presentan sus productos Livox Mid 40 y Livox Mid 100, que fueron desarrollados para una amplia gama de aplicaciones, tales como conducción autónoma de vehículos, mapeo de alta precisión de áreas geográficas, inspección de estructuras, etc.

Tabla 1. Tabla comparativa de sensores Livox LiDAR







		Mid 40	Mid 100
			
Sensor	FoV Horizontal	38.4°	98.4°
	FoV Vertical	38.4°	38.4°
	Frame/Rotation rate	-	-
	Resolución angular (horizontal)	0.1°	0.1°
	Resolución angular (vertical)	0.1°	0.1°
	Canales	-	-
	Rango	90m	90m
Laser	Longitud de onda	905nm	905nm
Propiedades mecánicas y eléctricas	Consumo	10W (máx 40W)	30W (máx 67W)
	Voltaje	10-16V	10-16V
	Peso	760g	2200g
	Dimensiones	88x69x76mm	142x70x230mm
	Temperatura de operación	-20 a 65°C	-20 a 65°C
	Protección	IP67	IP67
Salida	Conexión	Ethernet	Ethernet
	Data generada	Solo Simple: 100000pps	Solo Simple: 300000pps
		\$599	\$1499

### A.4. Dispositivos integrados compactos con LiDAR

#### Phoenix LiDAR Systems

Esta compañía brinda soluciones en las áreas de topografía, inspección de instalaciones eléctricas y de sitios de construcción, mapear zonas de desastres y urbanas, gracias a su tecnología de mapeo con láser que permite obtener data precisa a través de drones, vehículos, buques y mochilas, la cual se puede ver en tiempo real y a colores a través de software desarrollados por ellos.

Tabla 2. Tabla comparativa de dispositivos integrados con Lidar de Phoenix LiDAR Systems

		ALPHA AL3-32	miniRANGER	miniRANGER LITE	RANGER SERIES	RANGER-LR LITE	SCOUT ULTRA
							
Sensor	Láser	Clase1, 905nm	Clase1, 905nm	Clase1, 905nm	Clase1, 1550nm	Clase1, 1550nm	Clase1, 905nm
	Exactitud absoluta	55mm RMSE@50m Range	20-30mm RMSE@75m Range	20-30mm RMSE@75m Range	25-35mm RMSE@250m Range	25-35mm RMSE@150m Range	55mm RMSE@50m Range
	Rango mínimo/máximo	1m/120m	3m/-	3m/-	5m/-	5m/-	1/220m
	Tasa de Escaneo	700000 ptos	100000 ptos	100000 ptos	750000 ptos	750000 ptos	600000 ptos
	FoV vertical/horizontal	-30° a +10° / 360°	-/360°	-/360°	-/360°	-/360°	-25° a 15° / 360°
	Echoes múltiples	2	5	5	7	7	2
Navegación	Incluye	Scout NavBox integrado	Scout NavBox integrado	AIR NavBox integrado	NavBox integrado	AIR NavBox integrado	NavBox integrado
	Navegación por satélite	GPS, GLONASS, BEIDOU, GALILEO	GPS, GLONASS, BEIDOU, GALILEO	GPS, GLONASS, BEIDOU, GALILEO	GPS, GLONASS, BEIDOU, GALILEO	GPS, GLONASS, BEIDOU, GALILEO	GPS, GLONASS
	Support alignment	Static, Kinematic, Dual-Antenna	Kinematic, Dual-Antenna	Kinematic, Dual-Antenna	Static, Kinematic, Dual-Antenna	Kinematic, Dual-Antenna	Kinematic, Dual-Antenna
	Modos de operación	Real-time, Post-processing opcional	Real-time, Post-processing opcional	Real-time, Post-processing opcional	Real-time, Post-processing opcional	Real-time, Post-processing opcional	Real-time, Post-processing opcional
	Exactitud en posición	1cm + 1ppm RMS horizontal	1cm + 1ppm RMS horizontal	1cm + 1ppm RMS horizontal	1cm + 1ppm RMS horizontal	1cm + 1ppm RMS horizontal	1cm + 1ppm RMS horizontal
	Error RMS en posición y orientación	0.019/0.074°	0.009/0.019°	0.009/0.019°	0.007/0.009°	0.007/0.009°	0.019/0.074°
Características mecánicas y eléctricas	Dimensiones	29x14x22cm	26.9x9.9x8.5cm	24.3x14x10cm	33.6x18.9x12.5cm	32.9x16.3x17.9cm	18.5x11.6x11.6cm
	Voltaje operación	12-28V	12-28V	12-28V	12-28V	12-28V	12-28V
	Potencia consumo	60W	65W	55W	90W	90W	50W
	Peso	3.2kg	3.5kg	2.2kg	5.44kg	3.85kg	2.2kg
	Temperatura de operación	-10°C a 40°C	-10°C a 40°C	-10°C a 40°C	-10°C a 40°C	-10°C a 40°C	-10°C a 40°C
	AGL	65m	75m	75m	530m	250m	100m


### Hélicéo:

Hélicéo es una empresa especializada en geomática que ofrece soluciones para cartografía, topografía, a través de generación de mapas en 3D y georreferenciadas, y para ello diseñan sensores, drones y demás herramientas innovadoras. A continuación, se presentan sus soluciones



Lynx16 y Puma32, los cuales permiten una georreferenciación directa y procesamiento de datos con la tarjeta Trimble Applanix y el paquete de software POSpac y Trimble RealWorks.

Tabla 3. Tabla comparativa de dispositivos integrados con Lidar de Hélicéo




		Lynx16	Puma32
			
Sensor	FoV Horizontal	360°	360°
	FoV Vertical	30° (-15 a 15°)	40° (-25 a 15°)
	Frame/Rotation rate	5-20Hz	5-20Hz
	Resolución angular (horizontal)	0.1-0.4°	0.1-0.4°
	Resolución angular (vertical)	2°	0.33°
	Canales	16	32
	Rango	100m	200m
Laser	Longitud de onda	903nm	903nm
Propiedades mecánicas y eléctricas	Consumo	-	-
	Voltaje	-	-
	Peso	1700g	1795g
	Dimensiones	-	-
	Temperatura de operación	56	
	Protección	IP67	IP67
Salida	Conexión	-	
	Data generada	Retorno Simple: 300000pps Retorno Doble: 600000pps	Retorno Simple: 600000pps Retorno Doble: 1200000pps

### LiDARUSA:

LiDARUSA es una empresa que se dedica a fabricar soluciones integradas para el mapeo en 3D de drones y vehículos. En este sentido, a continuación se presentan las soluciones Snoopy A-Series, que consiste en un sensor LiDAR con una caja de interfaz, que contiene su batería, IMU y GPS para la correcta adquisición de data, y también proporciona el software necesario para el postprocesamiento y visualización de la data adquirida.




Tabla 4. Tabla comparativa de dispositivos integrados con Lidar de LiDARUSA

		LiDARUSA Snoopy A-Series 60	LiDARUSA Snoopy A-Series 120	LiDARUSA Snoopy A-Series HD
				
Sensor	Láser	Clase1, 905nm	Clase1, 905nm	Clase1, 905nm
	Exactitud absoluta	46mm @50m	38mm @50m	31mm @50m
	Rango mínimo/máximo	-/100m	1m/150m	-/100m
	Tasa de Escaneo	300000 ptos	420000 ptos	700000 ptos
	FoV vertical/horizontal	-15° a 15° / 360°	-17° a 3° / 360°	-25° a 15° / 360°
	Echoes múltiples	2	2	2
Navegación	Incluye	Sistema de navegación inercial y batería	Sistema de navegación inercial y batería	Sistema de navegación inercial y batería
	Navegación por satélite	GPS, GLONASS, BEIDOU	GPS, GLONASS, BEIDOU	GPS, GLONASS, BEIDOU
	Support alignment	-	-	-
	Modos de operación	RTK, PPK	RTK, PPK	RTK, PPK
	Exactitud en posición	-	-	-
	Error RMS en posición y orientación	-	-	-
Características mecánicas y eléctricas	Dimensiones	8.89x29.845x11.11cm	8.89x29.845x11.11cm	8.89x29.845x11.11cm
	Voltaje operación	10-30V	10-30V	10-30V
	Potencia consumo	25W	25W	25W
	Peso	1.53kg	1.73kg	2.51kg
	Temperatura de operación	-20°C a 50°C	-20°C a 60°C	-
	AGL	60m	120m	80m

**Emesent:**

La empresa Emesent ha implementado una solución para el uso de LiDAR en un drone, el cual consiste en un equipo inventado por ellos llamado Hovermap, el cual permite un correcto vuelo del drone, además de mapear zonas poco accesibles con o sin acceso a rastreo por GPS, con lo cual se logra que personas ya no sean enviadas a sitios peligrosos. Este Hovermap se caracteriza por su mecanismo de giro de LiDAR, el cual permite obtener una mayor cantidad de nube de puntos, y que esta sea más densa. Además, ya el archivo que genera como salida ya se encuentra en formato .las, con lo cual ya no es necesario transformarlo para poder visualizarlo en algún software visualizador de nube de puntos.

Tabla 5. Especificaciones del dispositivo Hovermap de Emesent

		<b>Hovermap</b>
		
<b>Sensor</b>	<b>Láser</b>	Clase1, 905nm
	<b>Exactitud absoluta</b>	30mm
	<b>Rango mínimo/máximo</b>	-/100m
	<b>Tasa de Escaneo</b>	300000 ptos
	<b>FoV vertical/horizontal</b>	360° / 360°
	<b>Echoes múltiples</b>	-
<b>Navegación</b>	<b>Incluye</b>	Sistema de navegación inercial y batería
	<b>Navegación por satélite</b>	GPS
	<b>Support alignment</b>	-
	<b>Modos de operación</b>	RTK, PPK
	<b>Exactitud en posición</b>	-
	<b>Error RMS en posición y orientación</b>	-
<b>Características mecánicas y eléctricas</b>	<b>Dimensiones</b>	
	<b>Voltaje operación</b>	12-50V
	<b>Potencia consumo</b>	90W
	<b>Peso</b>	1.8kg
	<b>Temperatura de operación</b>	-
	<b>AGL</b>	100m

## **B. DISEÑO CONCEPTUAL**

### **B.1. Lista de Funciones**

#### **DRONE:**

##### Dominio Sistema físico:

- Despegar: Dejar de estar en contacto con el suelo y comenzar a volar
- Navegar: Volar en el aire, por alguna trayectoria.
- Aterrizar: Dejar de estar volando para poder descender y estar en contacto con el suelo.
- Albergar/Proteger/Soportar componentes del sistema: Albergar los componentes electrónicos del dron, de manera que los pueda soportar y proteger del medio ambiente.

##### Dominio Actuadores:

- Accionar mecanismo de despegue: Activar actuadores para accionar el mecanismo de despegue.
- Accionar mecanismo de navegación: Activar actuadores para accionar el mecanismo de navegación.
- Accionar mecanismo de aterrizaje: Activar actuadores para accionar el mecanismo de aterrizaje.

##### Dominio Sensores:

- Sensor parámetros inerciales: Obtener información estimada sobre posición y orientación respecto a un sistema de coordenadas
- Sensor posición: Obtener la ubicación respecto a un marco referencial (latitud, longitud y altura).
- Sensor carga de batería: Medir la carga de batería

##### Dominio Comunicación:

- Transmitir señales a operario: Transmitir señales al operario sobre el estado de las baterías y la ubicación del dron.
- Recibir señales de operario: Recibir señales del operario, para luego generar instrucciones para el vuelo.

##### Dominio Interfaz Usuario:

- Recibir señales de dron: Recibir señales provenientes del dron sobre su estado.
- Mostrar datos: Mostrar datos del estado de la batería y ubicación del dron en tiempo real.

##### Dominio Energía:

- Almacenar energía: Sistema de carga y almacenamiento de energía.
- Acondicionar energía para actuadores: Convertir la energía almacenada en energía que pueda ser utilizada por los actuadores
- Acondicionar energía para sensores: Convertir la energía almacenada en energía que pueda ser utilizada por los sensores

- Acondicionar energía para procesador: Convertir la energía almacenada en energía que pueda ser utilizada por los controladores
- Acondicionar energía para módulos de comunicación: Convertir la energía almacenada en energía que pueda ser utilizada por los módulos de comunicación
- Acondicionar energía para módulos de interfaz: Convertir la energía recibida en energía que pueda ser utilizada por los módulos de interfaz.

#### Dominio Control:

- Procesar trayectoria: Procesar instrucciones y/o ruta planeada recibida por el operador para generar y transmitir la información respectiva al controlador de vuelo.
- Controlar aterrizaje: Procesar la información de los sensores e instrucciones recibidas para el aterrizaje del dron y que pueda seguir y mantener la posición que corresponde de acuerdo con la trayectoria planteada.
- Controlar despegue: Procesar la información de los sensores e instrucciones recibidas para el despegue del dron y pueda seguir y mantener la posición que corresponde de acuerdo con la trayectoria planteada.
- Controlar navegación: Procesar la información de los sensores e instrucciones recibidas para la navegación del dron y pueda seguir y mantener la posición que corresponde de acuerdo con la trayectoria planteada.
- Controlar actuadores de vuelo: Regular la velocidad de los actuadores de vuelo para realizar los movimientos que se requiera.

#### **SISTEMA LIDAR:**

##### Dominio Sistema Físico

- Mapear terreno: Obtener información topográfica de terreno
- Albergar/Proteger/Soportar componentes del sistema: Albergar los componentes electrónicos del sistema LiDAR, protegerlos del medio ambiente y sostenerlos para que puedan ser acoplados al dron.

##### Dominio Actuadores:

- Accionar mecanismo de mapeo de terreno: Activar actuadores para accionar el mecanismo de mapeo de terreno.

##### Dominio Sensores:

- Sensor terreno mediante Lidar: Usar el sensor LiDAR para obtener información topográfica.
- Sensor parámetros inerciales: Obtener información sobre posición y orientación respecto a un sistema de coordenadas
- Sensor posición: Obtener la ubicación respecto a un marco referencial (latitud, longitud).

#### Dominio Energía:

- Almacenar energía: Almacenar energía proveniente de la red doméstica.
- Acondicionar energía para actuadores: Convertir la energía almacenada en energía que pueda ser utilizada por los actuadores.
- Acondicionar energía para sensores sistema LiDAR: Convertir la energía almacenada en energía que pueda ser utilizada por los componentes que componen los sensores del sistema LiDAR.
- Acondicionar energía para procesador: Convertir la energía almacenada en energía que pueda ser utilizada por los controladores.
- Acondicionar energía para módulos de comunicación: Convertir la energía almacenada en energía que pueda ser utilizada por los módulos de comunicación.

#### Dominio Comunicación:

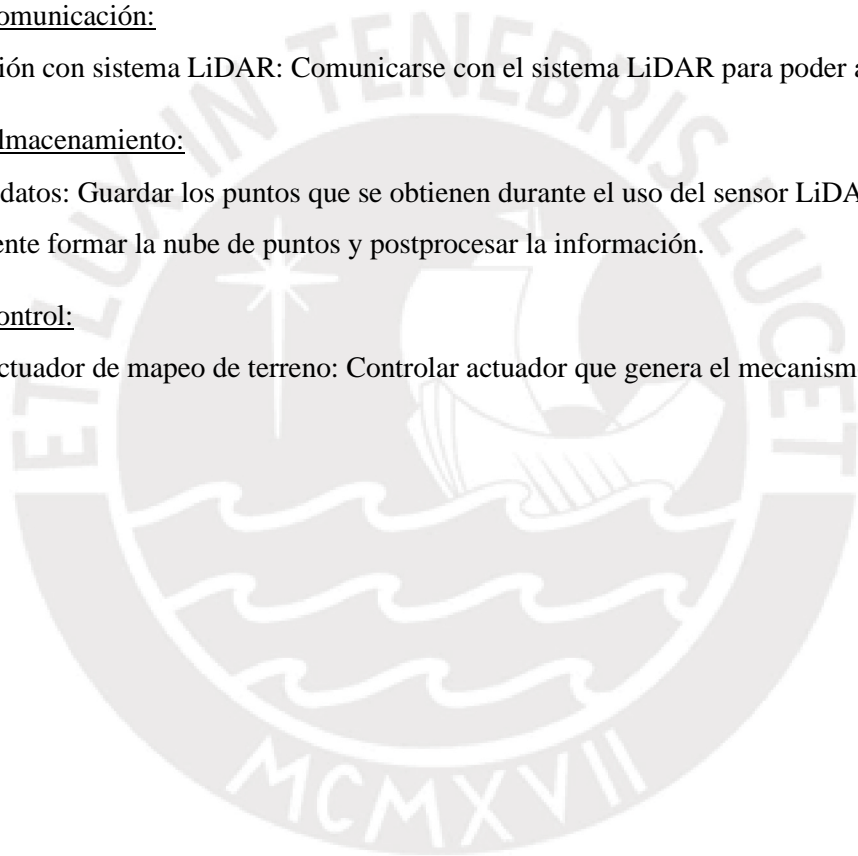
- Comunicación con sistema LiDAR: Comunicarse con el sistema LiDAR para poder activarlo.

#### Dominio Almacenamiento:

- Almacenar datos: Guardar los puntos que se obtienen durante el uso del sensor LiDAR, para posteriormente formar la nube de puntos y postprocesar la información.

#### Dominio Control:

- Controlar actuador de mapeo de terreno: Controlar actuador que genera el mecanismo de mapeo de terreno.





## B.2. Matriz Morfológica

Luego de obtener la estructura de funciones, se identifican diferentes principios de solución para las funciones detalladas en la sección anterior, para poder desarrollar distintos conceptos de solución:

Leyenda:

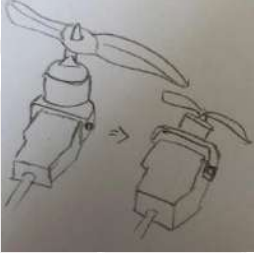
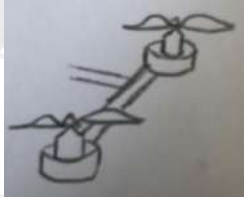



Solución 1: 

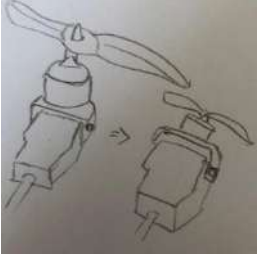
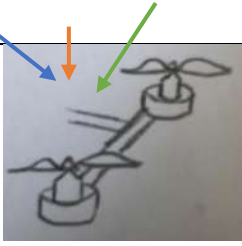

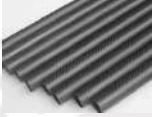

Solución 2: 

Solución 3: 






### **DRONE**



Dominio Sistema físico

Función Parcial	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
<i>Despegar</i>	 <p>Propulsión vertical por motores brushless acoplados a servomotores</p>	 <p>Propulsión vertical por motores brushless</p>	
<i>Navegar</i>	 <p>Multirrotores con motores brushless para navegación</p>	 <p>Ala volante con motores brushless para navegación</p>	 <p>Ala alta con motores brushless fijos para navegación</p>







<p>Aterrizar</p>	 <p>Propulsión vertical por motores brushless acoplados a servomotores</p>	 <p>Propulsión vertical por motores brushless</p>	 <p>Uso de paracaídas</p>
<p>Albergar/Proteger/Soportar componentes del sistema</p>	 <p>Estructura de fibra de carbono + cover de plástico</p>	 <p>Estructura de foam + MDF</p>	

Dominio Actuadores







Función Parcial	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
<p>Accionar despegue</p>	 <p>Motores brushless + servomotores</p>	 <p>Motores brushless</p>	
<p>Accionar navegación</p>	 <p>Motores brushless + servomotores</p>	 <p>Motores brushless</p>	 <p>Solo Servomotores</p>

<p><i>Accionar aterrizaje</i></p>	 <p>Motores brushless + servomotores</p>	 <p>Motores brushless</p>	
-----------------------------------	---	---	--

Dominio Sensores

Función Parcial	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
<p><i>Sensar parámetros inerciales</i></p>	 <p>Sistema de medición inercial de controlador de vuelo</p>	 <p>Unidad de medición inercial (imu) externo</p>	 <p>Acelerómetro y giroscopio</p>
<p><i>Sensar posición</i></p>	 <p>Módulo GPS externo</p>		
<p><i>Sensar carga de batería</i></p>	 <p>Sensor de voltaje en módulo de poder</p>	 <p>Sensor de voltaje externo</p>	













Domino Comunicación

<b>Función Parcial</b>	<b>Alternativa 1</b>	<b>Alternativa 2</b>	<b>Alternativa 3</b>
<i>Transmitir señales a operario</i>	 <p>Telemetría RF</p>	 <p>Telemetría Wifi</p>	 <p>Telemetría 4G</p>
<i>Recibir señales de operario</i>	 <p>Telemetría RF</p>	 <p>Telemetría Wifi</p>	 <p>Telemetría 4G</p>

Dominio Interfaz Usuario




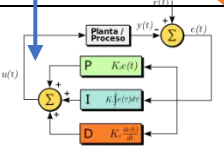
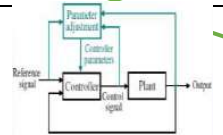
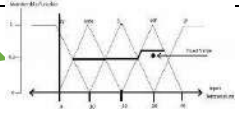



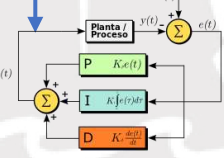
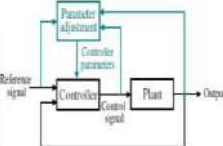
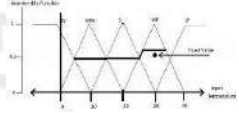



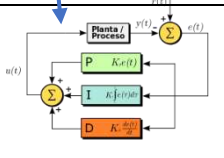
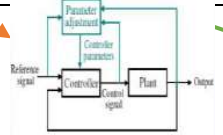
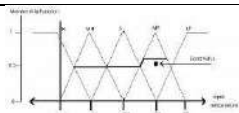

<b>Función Parcial</b>	<b>Alternativa 1</b>	<b>Alternativa 2</b>	<b>Alternativa 3</b>
<i>Recibir señales de dron</i>	 <p>Telemetría RF</p>	 <p>Telemetría 4G</p>	 <p>Telemetría Wifi</p>
<i>Mostrar datos</i>	 <p>Computadora portátil</p>	 <p>Tablet</p>	

Dominio Energía

Función Parcial	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
<p><i>Almacenar energía</i></p>	 <p>Batería LiPo + cargador</p>	 <p>Batería NiMH + cargador</p>	 <p>Batería Ion Litio + cargador</p>
<p><i>Acondicionar energía para actuadores</i></p>	 <p>Tarjeta de distribución de potencia</p>	 <p>Reguladores de voltaje</p>	
<p><i>Acondicionar energía para sensores</i></p>	 <p>Proveniente de controlador de vuelo</p>	 <p>Regulador de voltaje</p>	
<p><i>Acondicionar energía para procesador</i></p>	 <p>Módulo de poder</p>	 <p>Regulador de voltaje</p>	
<p><i>Acondicionar energía para módulos de comunicación</i></p>	 <p>Proveniente de controlador de vuelo</p>	 <p>Regulador de voltaje</p>	
<p><i>Acondicionar energía para módulos de interfaz</i></p>	 <p>Fuente conmutada</p>		







Dominio Control

Función Parcial		Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Procesar trayectoria	Hardware	 Placa controladora de vuelo	 SBC	 Microcontrolador
	Software	 Control PID	 Control Adaptativo	 Control por lógica difusa
Controlar aterrizaje	Hardware	 Placa controladora de vuelo	 SBC	 Microcontrolador
	Software	 Control PID	 Control Adaptativo	 Control por lógica difusa
Controlar navegación	Hardware	 Placa controladora de vuelo	 SBC	 Microcontrolador
	Software	 Control PID	 Control Adaptativo	 Control por lógica difusa
Controlar actuadores de vuelo		 ESC		

## **SISTEMA LIDAR**

### Dominio Sistema Físico

<p><i>Mapear terreno</i></p>	 <p>Sistema LiDAR sostenido dentro del dron</p>	 <p>Sistema LiDAR sostenido fuera del dron</p>	
<p><i>Albergar/Proteger/Soportar componentes del sistema</i></p>	 <p>Estructura de acrílico</p>	 <p>Estructura de MDF</p>	












### Dominio Actuadores

<p><i>Accionar mecanismo de mapeo de terreno</i></p>	 <p>Sin mecanismo</p>	 <p>Gimbal</p>	
--	---	---	--

### Dominio Sensores

<p><i>Sensar parámetros inerciales</i></p>	 <p>Sistema de medición inercial de LiDAR</p>	 <p>Sistema de medición inercial de controlador de vuelo</p>	 <p>Unidad de medición inercial (imu) externo</p>
<p><i>Sensar posición</i></p>	 <p>Módulo GPS externo</p>		
<p><i>Sensar terreno mediante LiDAR</i></p>	 <p>Retorno simple, Peso &lt; 0.5kg</p>	 <p>Retorno doble, Peso &gt; 0.5kg</p>	


Dominio Energía

<p><i>Almacenar energía</i></p>	 <p>Batería LiPo + cargador</p>	 <p>Batería NiMH + cargador</p>	 <p>Batería Ion Litio + cargador</p>
<p><i>Acondicionar energía para actuadores</i></p>	<p>No requiere</p>	 <p>Tarjeta de distribución de potencia</p>	 <p>Regulador de voltaje</p>
<p><i>Acondicionar energía para procesador</i></p>	 <p>Regulador de voltaje</p>	 <p>Módulo de poder</p>	
<p><i>Acondicionar energía para sensores sistema LiDAR</i></p>	 <p>Directamente desde batería a caja de interfaz de LiDAR</p>	 <p>Módulo de poder y caja de interfaz del LiDAR</p>	
<p><i>Acondicionar energía para módulos de comunicación</i></p>	 <p>Proveniente de controlador</p>	 <p>Regulador de voltaje</p>	

### Dominio Control y Almacenamiento

<i>Comunicación con sistema LiDAR</i>	 Telemetría 4G	 Telemetría Wifi	
---------------------------------------	--	---	--

### Dominio Control y Almacenamiento

<i>Controlar actuador de mapeo de terreno y almacenar datos</i>	 SBC + memoria		
---	--	--	--

### **B.3. Conceptos de solución**

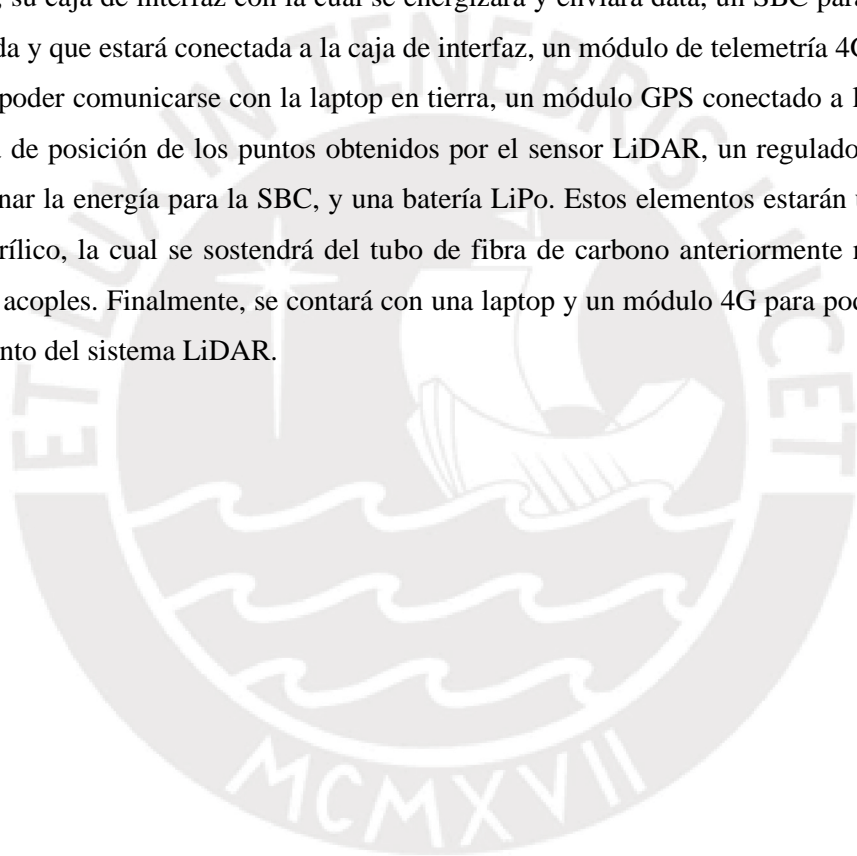
A continuación, se presentan los conceptos de solución desarrollados a partir de la matriz morfológica:

#### **B.3.1. Primer concepto de solución S<sub>1</sub>**

En la Figura 6 se muestra un bosquejo del primer concepto de solución. Esta consiste en un drone multirroto con 6 motores brushless (hexacóptero) para el vuelo, los cuales se unen a tubos de fibra de carbono para formar los brazos. Se eligió este material debido a sus altas propiedades mecánicas (similares al acero) y a su poco peso. La estructura del drone consiste en 2 platos de fibra de carbono, uno arriba del otro, unidos por separadores. En el plato superior se coloca la placa controladora de vuelo, la cual estará unida a un GPS, a un módulo de telemetría RF, y a un receptor, este último para poder controlar el drone en modo manual a través de un RF Controller. La placa controladora de vuelo podrá saber la posición del drone mediante el GPS, y estimará la orientación mediante el uso del IMU interno que posee, y con ello poder volar de manera autónoma. El módulo de telemetría por RF conectado a la placa controladora de vuelo permitirá recibir y transmitir información sobre la posición y nivel de batería a una laptop ubicada en tierra. Cabe mencionar que encima de este plato superior se encontrará un cover, para proteger a estos componentes. En el plato inferior se ubicarán los brazos con los motores brushless, unidos a la placa mediante unos acoples. También, en el plato inferior se ubicará la batería, el módulo de

poder, la PDB, y los ESC. El módulo de poder estará conectado directamente a la batería, para sensar el nivel de la batería y para tener 2 salidas: de 5V para la placa controladora de vuelo y del mismo voltaje de la batería para la PDB. La PDB estará conectada a las 6 ESC para alimentación, y las ESC estarán conectadas a los motores brushless y a la placa controladora de vuelo, para poder controlar la velocidad de giro de los motores de acuerdo a las instrucciones determinadas por la placa controladora de vuelo, según el algoritmo de control PID. Por ello, será necesario realizar pruebas con el fin de obtener las ganancias óptimas para el control PID. El plato inferior también permitirá conectar los brazos del tren de aterrizaje y el sistema LiDAR.

El sistema LiDAR estará soportado mediante un tubo de fibra de carbono unido al plato inferior mediante unos acoples para el diámetro de este tubo. El sistema LiDAR estará conformado por un sensor LiDAR, su caja de interfaz con la cual se energizará y enviará data, un SBC para almacenar la data adquirida y que estará conectada a la caja de interfaz, un módulo de telemetría 4G conectada a la SBC para poder comunicarse con la laptop en tierra, un módulo GPS conectado a la SBC para obtener la data de posición de los puntos obtenidos por el sensor LiDAR, un regulador de voltaje para acondicionar la energía para la SBC, y una batería LiPo. Estos elementos estarán ubicados en una caja de acrílico, la cual se sostendrá del tubo de fibra de carbono anteriormente mencionado mediante unos acoples. Finalmente, se contará con una laptop y un módulo 4G para poder habilitar el funcionamiento del sistema LiDAR.





VISTA PLATO SUPERIOR

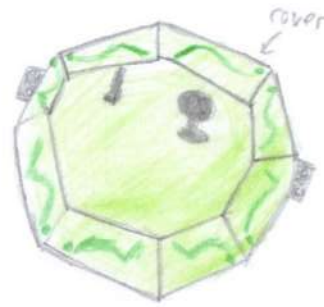
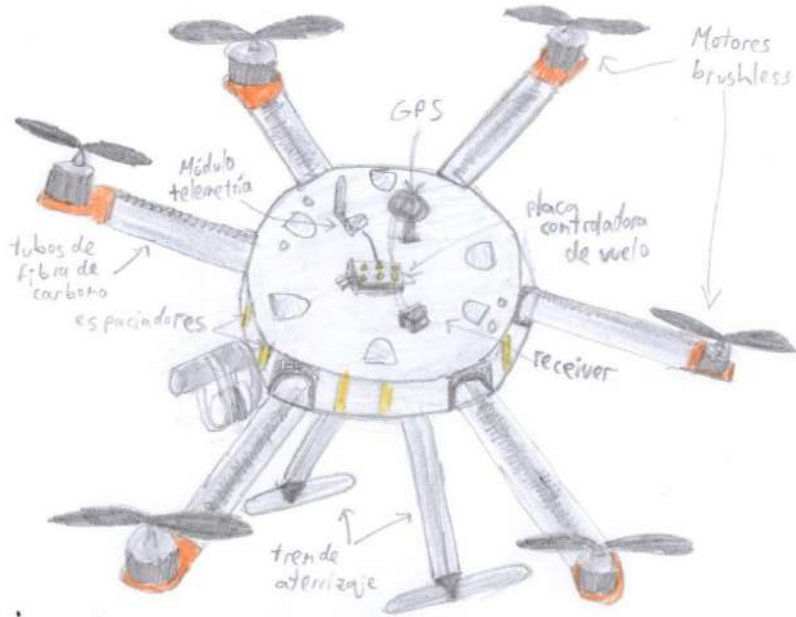
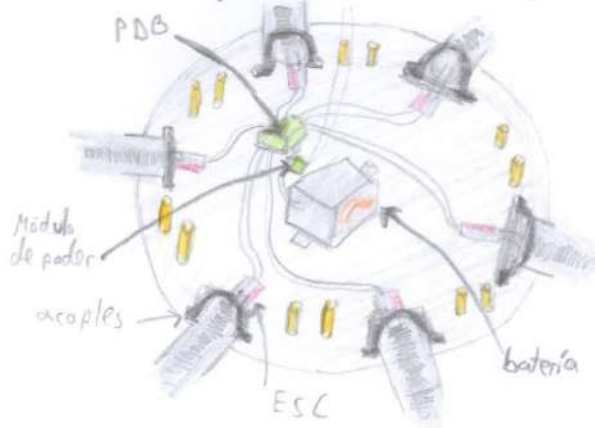


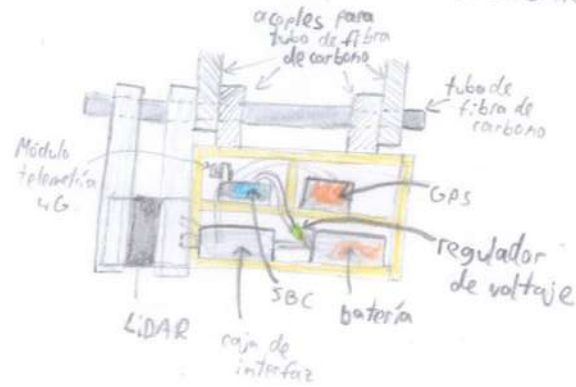
Figura 6. Primer concepto de solución

Fuente: Propia

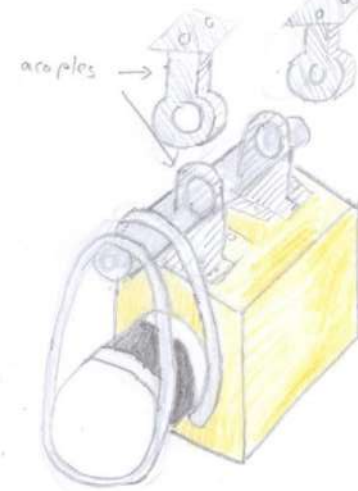
VISTA PLATO INFERIOR



VISTA PERFIL SISTEMA LIDAR



VISTA ISOMÉTRICA SISTEMA LIDAR

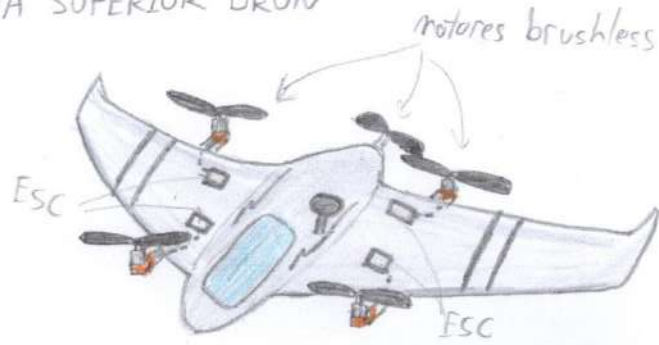


### **B.3.2. Segundo concepto de solución S<sub>2</sub>**

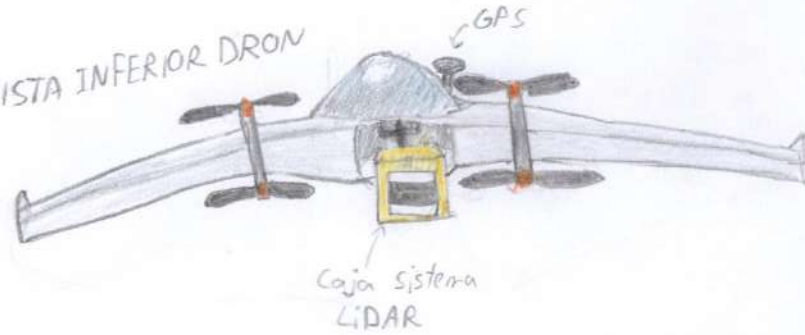
En la Figura 7 se presenta un bosquejo del segundo concepto de solución. Este concepto se basa en un dron de ala volante, cuyo material base elegido es el foam debido a su poco peso, al cual se le añaden tubos de fibra de carbono formando una estructura en forma de H, para poder acoplarle motores brushless, encargados de la navegación, despegue y aterrizaje. Los componentes electrónicos se encuentran en la cabina dentro del dron, al cual se accede por la parte superior. En este compartimento se encuentra la placa controladora de vuelo, el GPS, el regulador de voltaje, el módulo de poder, y la batería LiPo. La batería LiPo estará conectada al módulo de poder para sensar el nivel de la batería y para tener 2 salidas: de 5V para la placa controladora de vuelo y del mismo voltaje de la batería para el regulador de voltaje. La placa controladora de vuelo estará conectada al GPS para poder obtener la posición del dron, y estimará su orientación a través del IMU interno que posee, y con ello volar de manera autónoma. Además, la placa controladora de vuelo estará conectada a un módulo de telemetría 4G para poder enviar información sobre la posición del dron y el nivel de batería a la Tablet en tierra, la cual también contará con un módulo de telemetría 4G. El regulador de voltaje estará conectado a los ESC, que estarán ubicados en las alas, y a su vez estos estarán conectados a la placa controladora de vuelo, para controlar la velocidad de giro de los motores brushless de acuerdo con las instrucciones determinadas para el correcto vuelo. Este control se realizará mediante un algoritmo de control adaptativo, el cual permitirá ajustar en tiempo real el valor de los parámetros de control, permitiendo un buen seguimiento de las variables controladas, sin necesidad de hacer varias pruebas como se haría con un control PID.

El sistema LiDAR estará soportado por la parte inferior del dron mediante un gimbal, el cual estará sujetando a la caja del sistema LiDAR, de MDF. El sistema LiDAR estará conformado por un sensor LiDAR, su caja de interfaz con la cual se energizará y enviará data, un SBC para almacenar la data adquirida y que estará conectada a la caja de interfaz, un módulo de telemetría 4G conectada a la SBC para poder comunicarse con la Tablet en tierra, un IMU y GPS diferentes a los del dron y conectados a la SBC para poder obtener la ubicación de la posición de los puntos obtenidos por el sensor LiDAR, un módulo de poder para acondicionar la energía para la SBC y la caja de interfaz, un PDB para acondicionar la energía para el gimbal y una batería LiPo. La batería LiPo estará conectada al módulo de poder, este estará conectado a la caja de interfaz, a la PDB y a la SBC.

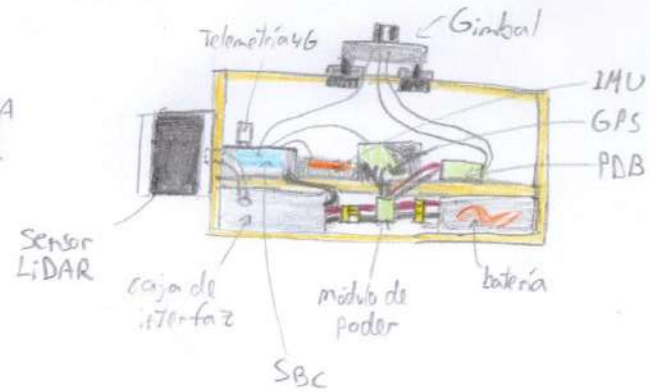
VISTA SUPERIOR DRON



VISTA INFERIOR DRON



CAJA SISTEMA LiDAR



VISTA INTERNA DRON

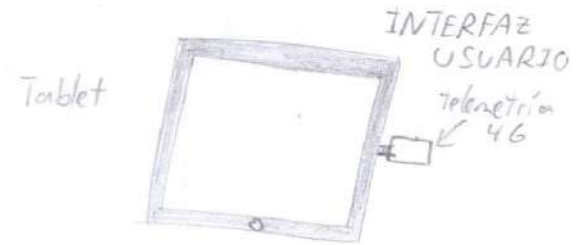
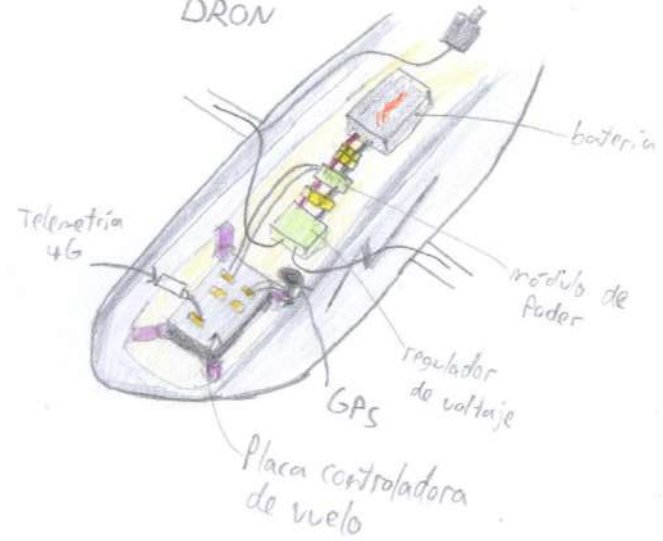


Figura 7. Segundo concepto de solución

Fuente: Propia

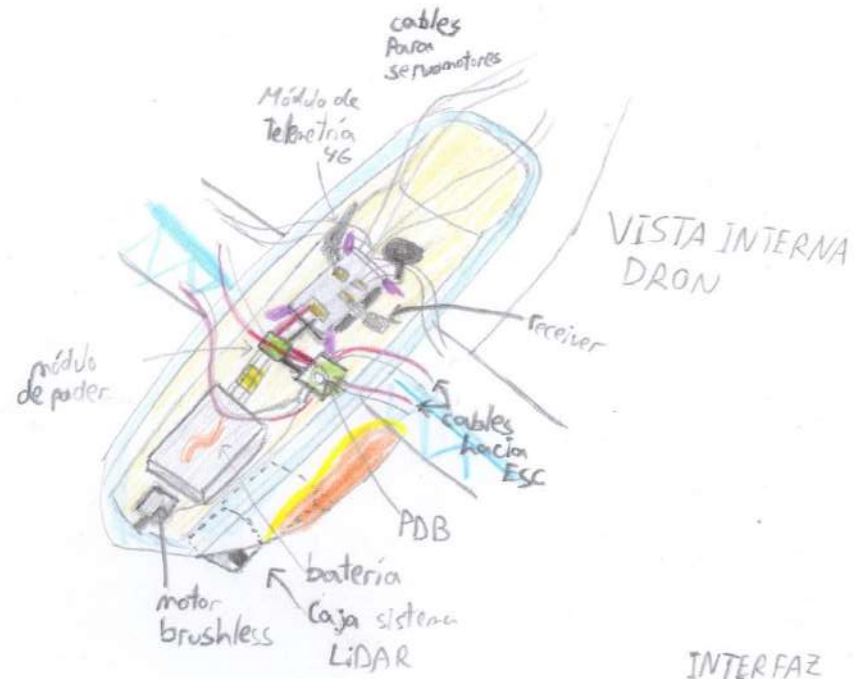
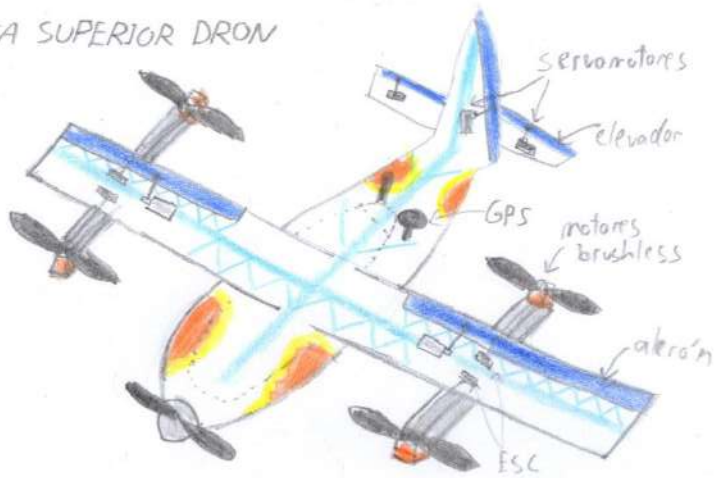
### B.3.3. Tercer concepto de solución S3

En la Figura 8 se muestra un bosquejo del tercer concepto de solución. Este concepto se basa en un dron de ala fija, hecho de foam por su poco peso, al cual se le añaden tubos de fibra de carbono, formando una estructura en forma de H, para poder acoplarle motores brushless, encargados de la navegación, despegue y aterrizaje. Los componentes electrónicos se encuentran en la cabina dentro del dron, al cual se accede por la parte inferior a través de una puerta. En este compartimento se encuentra la placa controladora de vuelo, el GPS, el módulo de telemetría 4G, el PDB, el módulo de poder, un receptor y la batería LiPo. La placa controladora de vuelo estará conectada al GPS para poder obtener la posición del dron, y estimará su orientación a través del IMU interno que posee. Además, la placa controladora de vuelo estará conectada a un módulo de telemetría 4G para poder enviar información sobre la posición del dron y el nivel de batería a la Tablet en tierra, la cual también contará con un módulo de telemetría 4G. El receptor estará conectado a la placa controladora de vuelo, en caso se desee controlar el dron en modo manual a través de un RF Controller. La batería LiPo estará conectada al módulo de poder para sensar el nivel de la batería y para tener 2 salidas: de 5V para la placa controladora de vuelo y del mismo voltaje de la batería para la PDB, el cual estará conectado a los ESC y a los servomotores. Los ESC estarán ubicados en las alas, y a su vez estos estarán conectados a la placa controladora de vuelo, para controlar la velocidad de giro de los motores brushless de acuerdo con las instrucciones determinadas para el correcto vuelo. Además, para una mejor navegación se contará con servomotores ubicados en los alerones y en los elevadores (parte trasera del dron), los cuales también estarán conectados a la placa controladora de vuelo. Esta realizará el control mediante un algoritmo de control de lógica difusa, el cual hará cálculos en base a reglas heurísticas, que tendrán la forma de SI().ENTONCES(), en los cuales para cada estado en el que se encuentre el dron, como por ejemplo VIENTO FUERTE, MUCHA ALTURA, etc, deberá tomar una decisión y ajustar valores para regular la velocidad de los motores.

El sistema LiDAR estará soportado mediante unas ranuras internas del dron, por la parte inferior del dron. El sistema LiDAR estará conformado por un sensor LiDAR, su caja de interfaz con la cual se energizará y enviará data, un SBC para almacenar la data adquirida y que estará conectada a la caja de interfaz, un módulo de telemetría 4G conectada a la SBC para poder comunicarse con la laptop en tierra, un módulo GPS conectado a la SBC para obtener la data de posición de los puntos obtenidos por el sensor LiDAR, un regulador de voltaje para acondicionar la energía para la SBC, y una batería LiPo. Estos elementos estarán ubicados en una caja de MDF, la cual se sostendrá por las ranuras anteriormente mencionadas, y estarán aseguradas por cintas velcro. Finalmente, se contará con una laptop y un módulo 4G para poder habilitar el funcionamiento del sistema LiDAR.



VISTA SUPERIOR DRON



VISTA INTERNA DRON

VISTA INFERIOR DRON

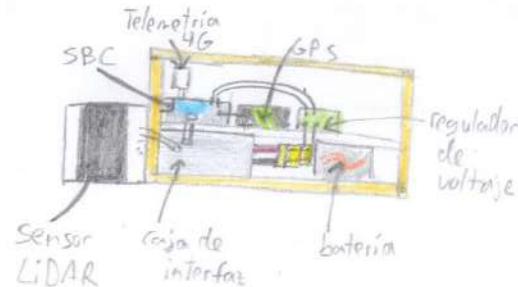
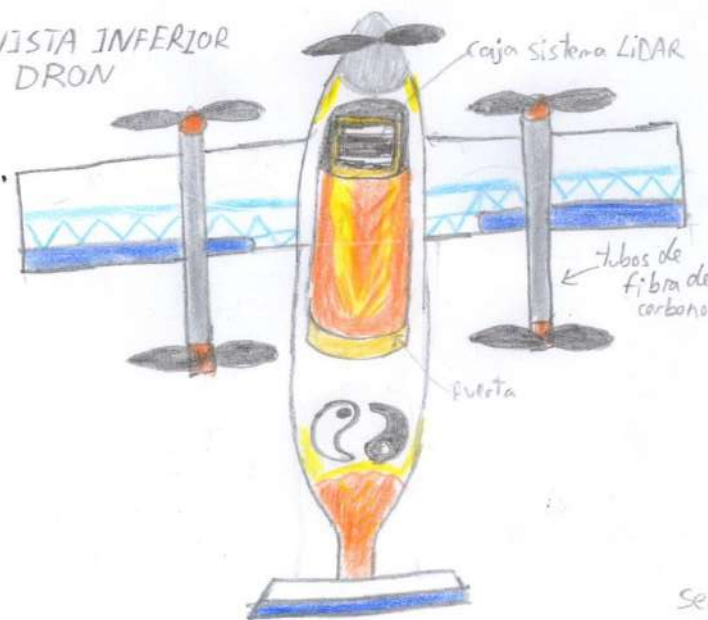


Figura 8. Tercer concepto de solución Fuente: Propia



#### **B.4. Evaluación de los conceptos de solución**

En esta sección se realizará una evaluación de los conceptos de solución mostrados anteriormente de acuerdo con criterios técnicos y económicos. A continuación, se mostrará la lista de criterios seleccionados:

Criterios Técnicos:

- Lista de requerimientos: Si cumple con mayor parte de la lista de requerimientos del sistema.
- Velocidad de vuelo: Si puede llegar a tener una alta velocidad durante el vuelo.
- Tiempo de vuelo: Si es capaz de volar durante un extenso periodo de tiempo.
- Cobertura de terreno: Si durante el vuelo es capaz de abarcar una extensa área de terreno.
- Peso: Si el peso del dron es bajo.
- Peso de carga: Si el peso de la carga que puede llevar el dron es mayor a 0.8kg.
- Espacio para accesorios: Si el dron puede albergar una gran cantidad de accesorios y componentes.
- Volumen: Si las dimensiones del dron son bajas.
- Espacio de despegue/aterrizaje: Si el dron necesita poco espacio para despegar/aterrizar.
- Resistencia al viento: Si el dron es capaz de resistir el viento y mantenerse estable
- Calidad de data obtenida: Si la nube de puntos obtenidas posee poco margen de error.
- Complejidad de diseño: Si el diseño del dron no es muy complejo.

Criterios Económicos:

- Costo de tecnología: si el precio de los componentes electrónicos para la realización del dron es bajo.
- Costo de materiales: si el precio de los materiales para la realización del dron es bajo.
- Facilidad de Adquisición de los materiales: Si los materiales son fáciles de conseguir.
- Facilidad de Montaje: Si el montaje del dron no es complicado, y por ende, su costo no es elevado.
- Facilidad de Mantenimiento: Si el mantenimiento del dron no es complicado.
- Número de piezas: Si el número de piezas a adquirir es bajo.

Luego, con estos criterios se procede a evaluar los conceptos de solución, como se puede observar en la Tabla 6 y la Tabla 7.

Tabla 6. Evaluación técnica

VALOR TÉCNICO ( $x_i$ )										
Peso del criterio (g): 1-Bajo, 2-Medio, 3-Alto, 4-Muy alto										
Puntaje asignado (p): 0-No satisface, 1-Aceptable a las justas, 2-Suficiente, 3-Bien, 4-Muy Bien (ideal)										
(Escala de valores según VDI 2225)										
Lista de criterios /Conceptos de solución			Solución 1		Solución 2		Solución 3		Solución ideal	
			$S_1$		$S_2$		$S_3$		$S_{ideal}$	
N°	Criterio	g	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp
1	Lista de requerimientos	4	3	12	3	12	3	12	4	16
2	Velocidad de vuelo	2	2	4	3	6	3	6	4	8
3	Tiempo de vuelo	2	2	4	3	6	3	6	4	8
4	Cobertura de terreno	3	2	6	3	9	3	9	4	12
5	Peso	3	3	9	2	6	2	6	4	12
6	Peso de carga	4	3	12	1	4	1	4	4	16
7	Espacio para accesorios	2	3	6	1	2	1	2	4	8
8	Volumen	3	3	9	2	6	1	3	4	12
9	Espacio de despegue/aterrizaje	3	3	9	2	6	1	3	4	12
10	Resistencia al viento	3	3	9	1	3	2	6	4	12
11	Calidad de data obtenida	4	3	12	1	4	2	8	4	16
12	Complejidad de diseño	3	3	9	2	6	3	9	4	12
13	Estabilidad	3	3	9	1	3	3	9	4	12
Puntaje máximo			36	110	25	73	28	83	52	156
Valor técnico ( $x_i$ )			0.69	0.7	0.48	0.47	0.53	0.53	1	1

Tabla 7. Evaluación económica

VALOR ECONÓMICO ( $y_i$ )										
Peso del criterio (g): 1-Bajo, 2-Medio, 3-Alto, 4-Muy alto										
Puntaje asignado (p): 0-No satisface, 1-Aceptable a las justas, 2-Suficiente, 3-Bien, 4-Muy Bien (ideal)										
(Escala de valores según VDI 2225)										
Lista de criterios /Conceptos de solución			Solución 1		Solución 2		Solución 3		Solución ideal	
			$S_1$		$S_2$		$S_3$		$S_{ideal}$	
N°	Criterio	g	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp
1	Costo de tecnología	3	2	6	2	6	2	6	4	12
2	Costo de materiales	3	2	6	3	9	2	6	4	12
3	Facilidad de adquisición de materiales	2	3	6	2	4	2	4	4	8
4	Facilidad de montaje	3	2	6	2	6	2	6	4	12
5	Facilidad de mantenimiento	2	3	6	2	4	2	4	4	8
6	Número de piezas	3	2	6	3	9	2	6	4	12
Puntaje máximo			14	36	14	38	12	32	24	64
Valor técnico ( $y_i$ )			0.58	0.56	0.58	0.59	0.5	0.5	1	1

En base a estas evaluaciones se construye una gráfica expuesta en la Figura, la cual compara los resultados obtenidos en las tablas anteriores. El eje horizontal corresponde al valor técnico  $x_i$ , y el eje vertical, al valor económico  $y_i$ . Adicionalmente, se muestra una línea ploma, la cual representa la zona de balance entre lo técnico y lo económico. Entonces, se escoge la solución que tenga mayores valores de  $x_i$  y  $y_i$ , y que se encuentre próxima a la línea anteriormente descrita.

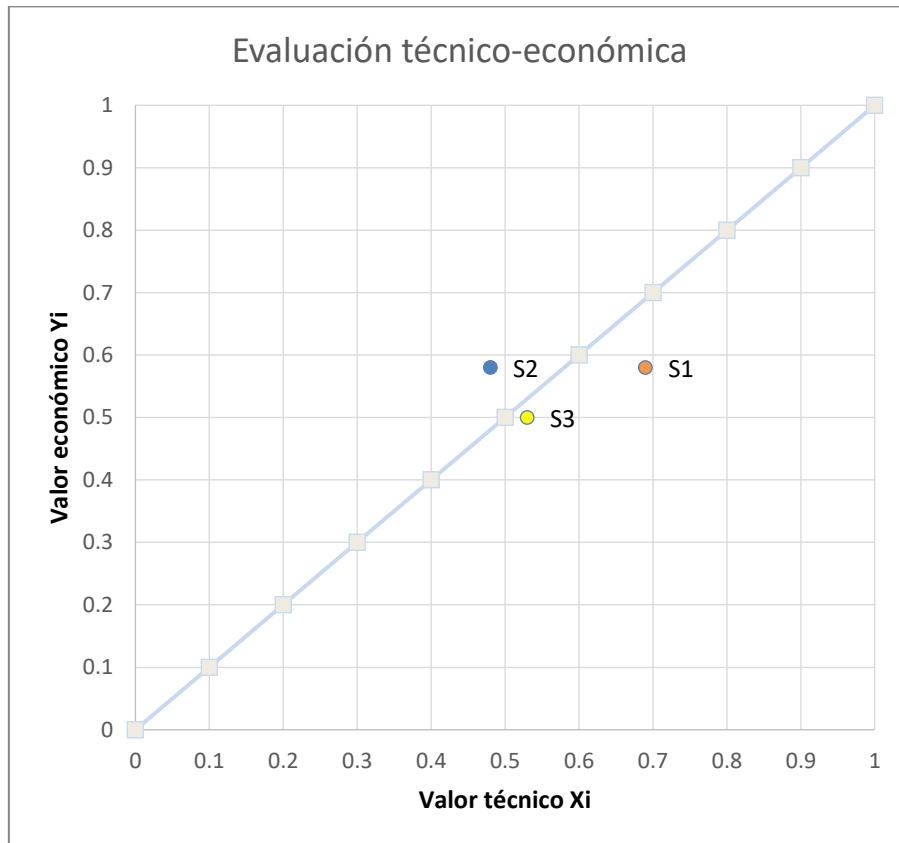


Figura 9. Evaluación técnico-económica de los conceptos de solución

Fuente: Propia

En el aspecto técnico, se puede distinguir una ventaja de S1 respecto a las otras soluciones, las cuales tienen un valor técnico similar. En el aspecto económico, tanto S1 como S2 tienen valores similares, y ambos tienen ventaja respecto a S3. Por lo tanto, el orden de las soluciones por su evaluación es: S1, S2 y S3, siendo S1 la solución seleccionada.

El concepto de solución óptimo se basa en S1, con la diferencia que para la comunicación laptop-SBC no necesariamente se deba usar un módulo de telemetría 4G, pudiendo ser 3G o por WiFi.

## C. DISEÑO ELÉCTRICO

### C.1. Cálculo de motores Brushless

El hecho de seleccionar un motor brushless es un cálculo iterativo, el cual se basa en el peso de los componentes que debe incluir el dron (frame, cámara, sensores, controlador de vuelo) y aquellos cuyo peso no se tiene inicialmente (modelo de batería y número de baterías, motores, hélices), lo cual se muestra a continuación:

Distintos fabricantes ponen a disposición de los clientes tablas de ensayos de sus motores de acuerdo con distintos KV (constante de revolución de un motor eléctrico) y tamaño de hélices, y para esta tesis se consideró usar la serie MN del fabricante T-Motor, el cual es reconocido por la comunidad de usuarios de drones como uno de los mejores fabricantes de motores sin escobillas.

En este sentido, como son varios modelos de motores, se debe filtrarlos de acuerdo con restricciones del sistema.

#### Restricciones:

-Como el frame del dron tiene una distancia de 960mm de motor a motor, esto nos limita a usar hélices de diámetro máximo 18.8” y de paso máximo 11.9”.

-Los motores deberán alimentarse con baterías LiPo 6S, lo cual se traduce en un rango de 20.5V – 25.2V, debido a que mayor voltaje implicaría usar baterías poco comerciales, y porque conectar baterías LiPo en serie no sería lo adecuado en caso suceda algún inconveniente, puesto que al estar en serie las celdas no podrían descargarse adecuadamente.

-Empuje mínimo requerido, de acuerdo con los siguientes datos:

Tabla 8. Pesos de componentes electrónicos para el vuelo

<b>Componentes electrónicos para el vuelo</b>	<b>Peso (g)</b>
Pixhawk 2.1 Cube	29
Here 2 GNSS GPS	49
Receptor FrSKY X8R	12.1
Módulo de telemetría RFD900x	14.5
Tarjeta de distribución de potencia Kore	79
<b>Total</b>	<b>183.6</b>

Tabla 9. Pesos de componentes mecánicos para el vuelo

<b>Componentes mecánicos para el vuelo</b>	<b>Peso (g)</b>
Frame (incluye brazos)	1050
1m Tubo fibra de carbono 16mm diámetro	66
1m Tubo fibra de carbono 25mm diámetro	118
2 TL 96035 T-Joint (Tren de aterrizaje)	51
Acoples de PLA	184
Placa ESC	79
Placa conectora de baterías	12
4 Tarot X8 Damping Kit(TL8X007)	72
TL8X017 Placa porta baterías	63
2 TL96014 Tubos de fibra de carbono 12mm	86
Cover (aproximado, aún por definir)	182
<b>Total</b>	<b>1963</b>

Tabla 10. Tabla resumida de pesos preliminares

<b>Componentes para el vuelo</b>	<b>Peso (g)</b>
Componentes electrónicos para el vuelo	183.6
Componentes mecánicos para el vuelo	1963
Sistema LiDAR	1500
Subtotal	3646.6
Cables, extras (10%)	364.66
<b>Total</b>	<b>4011.26</b>

Como se mencionó anteriormente, esto no incluye los motores, hélices, ESCs ni baterías que se deben seleccionar. Asumiendo que los componentes de potencia resultan en una masa adicional de 4000 g (cada batería tendría una masa cercana a 1200 g), se tiene una masa total de 8011.26 g. A partir de este valor se seleccionan los motores. Para seleccionar los motores, se debe calcular el empuje (thrust) requerido por motor. Para esto, se utiliza la siguiente fórmula:

$$Empuje_{motor} = \frac{Masa\ total \times FS}{\# \text{ motores}}$$

Donde FS=3 es el Factor de Seguridad que determina la razón Empuje/Peso, también igual a 3. Reemplazando valores en la ecuación 1 se tiene el siguiente resultado:



$$Empuje_{motor} = \frac{8011.26 \times 3}{6}$$

$$Empuje_{motor} = 4005.63g \leq \text{última restricción}$$

A partir de estas restricciones, se procede a buscar el motor que permita tener un empuje mayor al hallado anteriormente en la página de T-Motor, que funcione con baterías de 6S como máximo, y que funcionen con hélices de 18.6" de diámetro máximo y 11.9" de paso máximo.

Se tienen los siguientes modelos:

Tabla 11. Empuje, corriente y eficiencia de motor MN501S KV360 con hélices de 18" de diámetro y 6.1" de paso

Fuente: T-Motor

MN501S KV360	18" 6.1"	Precio: \$99.9
Thrust(g)	Corriente(A)	Eficiencia(g/W)
917	3.93	9.75
989	4.35	9.51
1080	4.82	9.36
1160	5.32	9.12
1310	6.14	8.92
1450	7.09	8.54
1540	7.76	8.29
1657	8.48	8.16
1708	9.31	7.66
1881	10.36	7.58
2003	11.26	7.43
2138	12.1	7.38
2269	13.13	7.22
2400	14.24	7.03
2519	15.29	6.87
2671	16.46	6.77
2974	19.34	6.41
3276	22.39	6.1
3959	29.83	5.53
4644	38.43	5.03

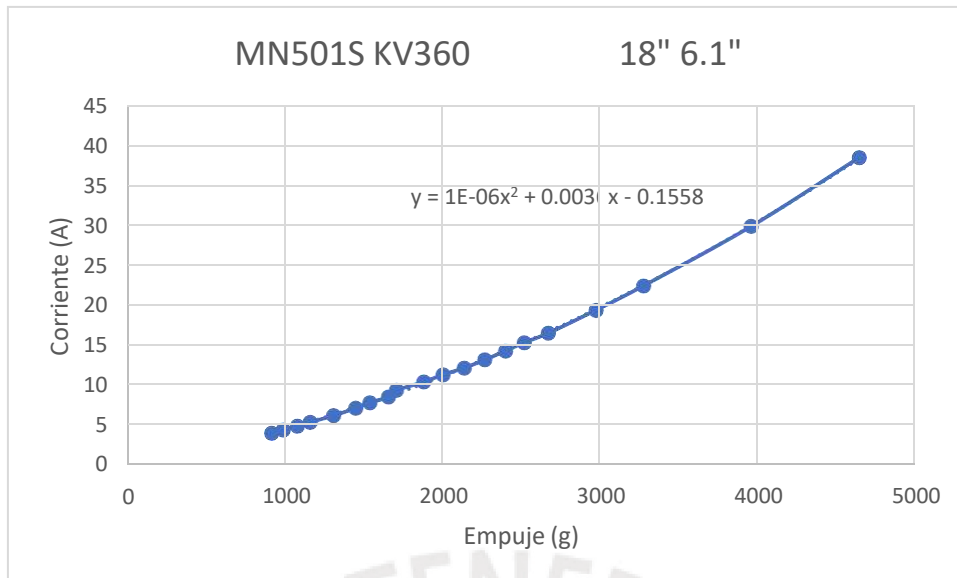


Figura 10. Gráfico de Corriente(A) vs Empuje(g) de motor MN501S KV360 con hélices de 18" de diámetro y 6.1" de paso

Tabla 12. Empuje, corriente y eficiencia de motor MN505S KV380 con hélices de 17.5" de diámetro y 5.8" de paso

Fuente: T-Motor

MN505S KV380	17.5" 5.8"	Precio: \$109.9
Thrust(g)	Corriente(A)	Eficiencia(g/W)
903	4.6	8.2
987	5.1	8.02
1076	5.7	7.84
1153	6.3	7.64
1245	6.9	7.55
1386	7.7	7.47
1504	8.6	7.31
1628	9.4	7.24
1745	10.2	7.11
1877	11.2	6.99
1975	12	6.87
2122	13.1	6.78
2224	14.1	6.6
2344	15.2	6.44
2481	16.4	6.33
2590	17.4	6.22
2916	20.2	6.02
3176	23.4	5.67
3860	31	5.21
4550	39.8	4.79

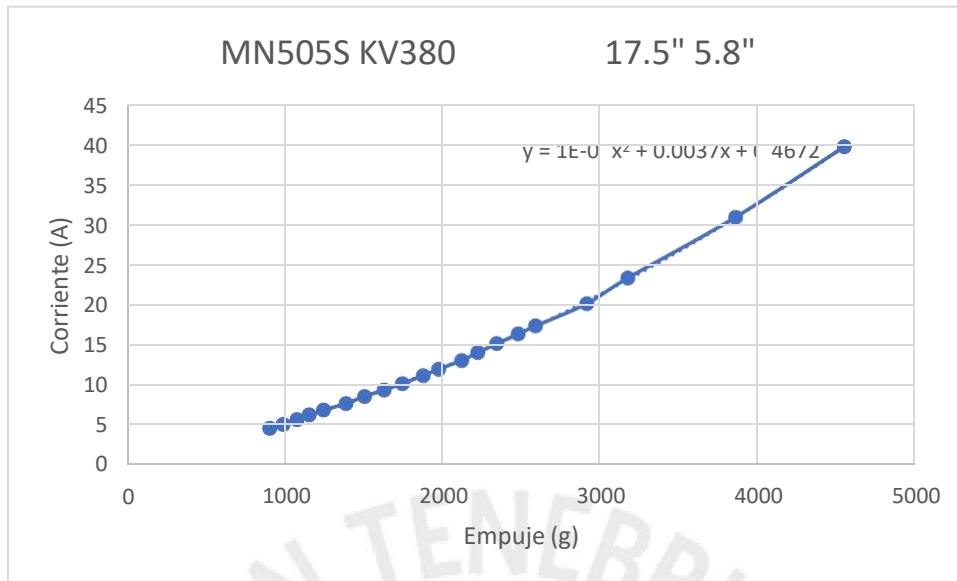


Figura 11. Gráfico de Corriente(A) vs Empuje(g) de motor MN505S KV380 con hélices de 17.5" de diámetro y 5.8" de paso

Tabla 13. Empuje, corriente y eficiencia de motor MN505S KV380 con hélices de 18" de diámetro y 6.1" de paso

Fuente: T-Motor

MN505S KV380	18" 6.1"	<b>Precio: \$109.9</b>
Thrust(g)	Corriente(A)	Eficiencia(g/W)
1071	5.3	8.43
1160	5.9	8.22
1287	6.6	8.16
1414	7.4	7.98
1545	8.2	7.89
1676	9	7.78
1843	10.1	7.63
1985	11.2	7.36
2084	12.2	7.1
2216	13.3	6.93
2347	14.5	6.75
2486	15.6	6.63
2645	16.9	6.52
2806	18.3	6.4
2936	19.6	6.24
3091	21	6.13
3456	24.5	5.89
3818	28.6	5.58
4606	37.7	5.11
5444	48.8	4.68

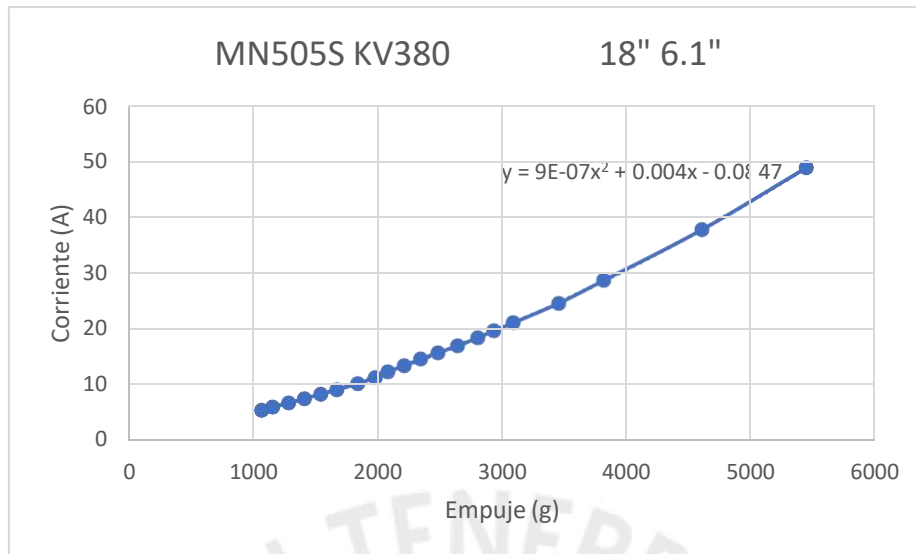


Figura 12. Gráfico de Corriente(A) vs Empuje(g) de motor MN505S KV380 con hélices de 18" de diámetro y 6.1" de paso

Tomando como criterio la eficiencia de los motores, los 2 mejores modelos que cumplen con lo requerido son los motores MN501S KV360 y MN505S KV380, ambos con hélices de 18" de diámetro y 6.1" de paso. A continuación, se procederá a verificar algunos patrones, pero antes se debe calcular un parámetro de las baterías, el cual es la energía específica, para poder estimar pesos en base al voltaje y capacidad de estas. Para este caso se optó por seleccionar la marca MaxAmps, la cual es muy usada debido a su buen rendimiento para el funcionamiento de drones. Dicho cálculo se muestra a continuación, usando la siguiente fórmula:

$$Energía\ específica = \frac{Capacidad \times Voltaje}{Peso} \times 1000$$

Donde:

- Energía específica [Wh/kg]
- Capacidad [Ah]
- Voltaje [V]
- Peso [g]

Tabla 14. Especificaciones de capacidad, voltaje, peso y energía específica de baterías LiPo de la marcaMaxAmps

Capacidad (Ah)	Voltaje (V)	Peso (g)	Energía específica (Wh/kg)
4	14.8	388	152.5773196
4.85	14.8	451	159.1574279
6.5	14.8	639	150.5477308
8	14.8	764	154.973822
9	14.8	804	165.6716418
11	14.8	850	191.5294118
12	14.8	1046	169.789675
16	14.8	1332	177.7777778
17	14.8	1294	194.4358578
22	14.8	1690	192.6627219
4	22.2	573	154.973822
4.85	22.2	675	159.5111111
6.5	22.2	951	151.7350158
8	22.2	1136	156.3380282
9	22.2	1188	168.1818182
11	22.2	1270	192.2834646
12	22.2	1554	171.4285714
16	22.2	1992	178.313253
17	22.2	1928	195.746888
22	22.2	2530	193.0434783

<b>promedio</b>	171.5339418
-----------------	-------------

Entonces, se procederá a calcular la corriente y tiempo de vuelo que se usaría con cada motor para baterías LiPo con diferentes capacidades, para elegir la que tenga el mejor performance:

MN501S KV360

Se tienen las siguientes funciones y ecuaciones:

$$I(T) = T^2 \times 10^{-6} + 0.0036T - 0.1588$$

$$Peso_{bat} = \frac{C \times V \times 1000}{\rho}$$

$$t_{vuelo} = \frac{C \times 60}{I(\frac{Peso_{total}}{m}) \times m}$$

Donde:

T: empuje del motor [g]

I(T): corriente de consumo del motor en función del empuje [A]

C: capacidad de la batería [Ah]

V: voltaje de la batería [V]

ρ: energía específica de la batería [Wh/kg]



m: número de motores

$t_{\text{vuelo}}$ : tiempo de vuelo [min]

Además, se tiene que el peso del motor es de 175g y 74g de las hélices, y del ESC que se recomienda, Alpha 40A LV es 54.5. Con ello, se tiene el siguiente dato:

$$Peso_{\text{potencia}} = 6 \times (175 + 74 + 54.5)$$

$$Peso_{\text{potencia}} = 1821g$$

Con este último dato, formulamos la última ecuación, la cual corresponde al peso total del dron:

$$Peso_{\text{total}} = Peso_{\text{dron sin potencia}} + Peso_{\text{potencia}} + Peso_{\text{bat}}$$

$$Peso_{\text{total}} = 5833 + Peso_{\text{bat}}$$

Donde:

$Peso_{\text{bat}}$ : peso de baterías [g]

$Peso_{\text{total}}$ : peso total del dron [g]

Con estas ecuaciones, se procede a iterar las baterías a usar, teniendo en consideración el tiempo de vuelo, y la corriente del motor, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 15. Resultados de iteraciones con motor MN501S KV360 con hélices de 18" de diámetro y 6.1" de paso

Capacidad (Ah)	Voltaje (V)	Peso batería (g)	MN501S KV360			
			Peso total (g)	Empuje (g)	Corriente consumo por motor (A)	Tiempo de vuelo (min)
2	22.2	258.847	6091.847	1015.308	4.527	3.092
3	22.2	388.270	6221.270	1036.878	4.649	4.517
4	22.2	517.694	6350.694	1058.449	4.772	5.868
5	22.2	647.117	6480.117	1080.020	4.896	7.149
6	22.2	776.541	6609.541	1101.590	5.020	8.366
7	22.2	905.964	6738.964	1123.161	5.146	9.522
8	22.2	1035.387	6868.387	1144.731	5.273	10.621
9	22.2	1164.811	6997.811	1166.302	5.400	11.666
10	22.2	1294.234	7127.234	1187.872	5.529	12.661
11	22.2	1423.658	7256.658	1209.443	5.658	13.609
12	22.2	1553.081	7386.081	1231.014	5.788	14.512
13	22.2	1682.505	7515.505	1252.584	5.919	15.373
14	22.2	1811.928	7644.928	1274.155	6.052	16.194
15	22.2	1941.351	7774.351	1295.725	6.185	16.977
16	22.2	2070.775	7903.775	1317.296	6.319	17.725
17	22.2	2200.198	8033.198	1338.866	6.454	18.439
18	22.2	2329.622	8162.622	1360.437	6.590	19.121
19	22.2	2459.045	8292.045	1382.008	6.726	19.773

20	22.2	2588.468	8421.468	1403.578	6.864	20.396
21	22.2	2717.892	8550.892	1425.149	7.003	20.992
22	22.2	2847.315	8680.315	1446.719	7.142	21.561
23	22.2	2976.739	8809.739	1468.290	7.283	22.107
24	22.2	3106.162	8939.162	1489.860	7.424	22.628
25	22.2	3235.586	9068.586	1511.431	7.567	23.127
26	22.2	3365.009	9198.009	1533.002	7.710	23.605
27	22.2	3494.432	9327.432	1554.572	7.854	24.063
28	22.2	3623.856	9456.856	1576.143	8.000	24.501
29	22.2	3753.279	9586.279	1597.713	8.146	24.921
30	22.2	3882.703	9715.703	1619.284	8.293	25.323



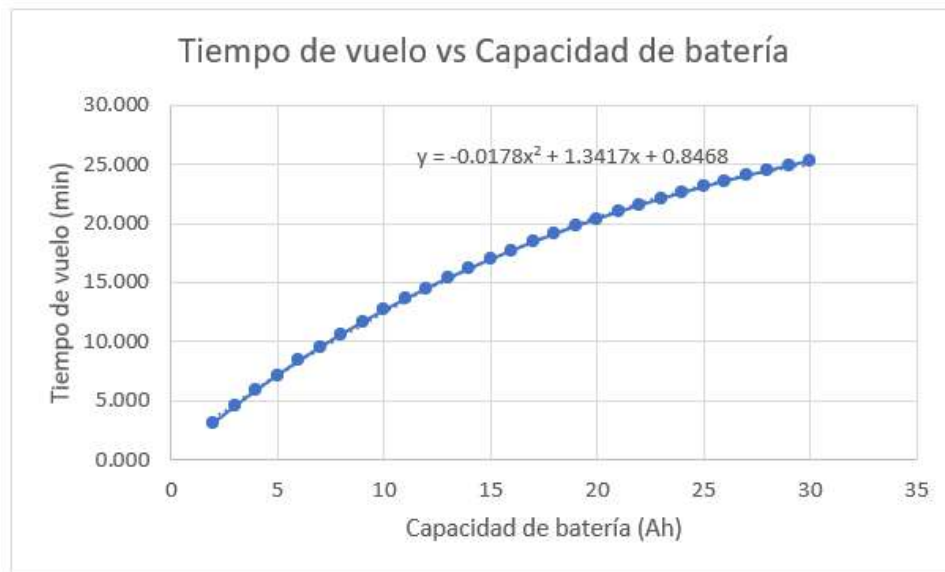


Figura 13. Gráfico de Tiempo de vuelo vs Capacidad de batería de motor MN501S KV360 con hélices de 18" de diámetro y 6.1" de paso

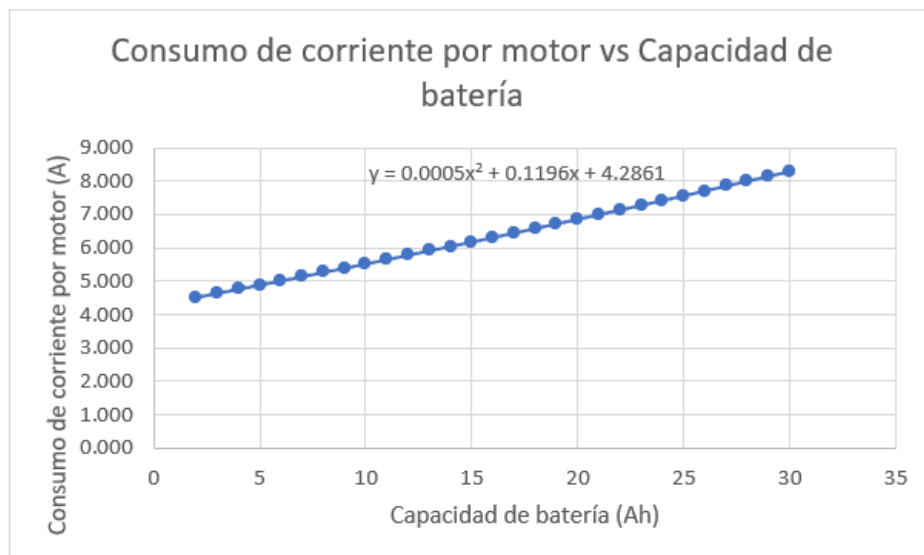


Figura 14. Gráfico de Consumo de corriente por motor vs Capacidad de batería de motor MN501SKV360 con hélices de 18" de diámetro y 6.1" de paso

### MN505S KV380

Se tienen las siguientes funciones y ecuaciones:

$$I(T) = 9 \times T^2 \times 10^{-7} + 0.004T - 0.0847$$

$$Peso_{bat} = \frac{C \times V \times 1000}{\rho}$$

$$t_{vuelo} = \frac{C \times 60}{I(\frac{Peso_{total}}{m}) \times m}$$

Donde:

T: empuje del motor [g]

I(T): corriente de consumo del motor en función del empuje [A]

C: capacidad de la batería [Ah]

V: voltaje de la batería [V]

$\rho$ : energía específica de la batería [Wh/kg]

m: número de motores

$t_{vuelo}$ : tiempo de vuelo [min]

Además, se tiene que el peso del motor es de 225g y 74g de las hélices, y del ESC que se recomienda, Alpha 60A LV es 62.8g. Con ello, se tiene el siguiente dato:

$$Peso_{potencia} = 6 \times (225 + 74 + 62.8)$$

$$Peso_{potencia} = 2170.8g$$

Con este último dato, formulamos la última ecuación, la cual corresponde al peso total del dron:

$$Peso_{total} = Peso_{dron\ sin\ potencia} + Peso_{potencia} + Peso_{bat}$$

$$Peso_{total} = 6182.8 + Peso_{bat}$$

Donde:

$Peso_{bat}$ : peso de baterías [g]

$Peso_{total}$ : peso total del dron [g]

Con estas ecuaciones, se procede a iterar las baterías a usar, teniendo en consideración el tiempo de vuelo, y la corriente del motor, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 16. Resultados de iteraciones con motor MN505S KV380 con hélices de 18" de diámetro y 6.1" de paso

			MN505S KV380			
Capacidad (Ah)	Voltaje (V)	Peso batería (g)	Peso total (g)	Empuje (g)	Corriente consumo por motor (A)	Tiempo de vuelo (min)

2	22.2	258.847	6441.647	1073.608	5.247	2.668
3	22.2	388.270	6571.070	1095.178	5.375	3.907
4	22.2	517.694	6700.494	1116.749	5.505	5.087
5	22.2	647.117	6829.917	1138.320	5.635	6.211
6	22.2	776.541	6959.341	1159.890	5.766	7.284
7	22.2	905.964	7088.764	1181.461	5.897	8.309
8	22.2	1035.387	7218.187	1203.031	6.030	9.287
9	22.2	1164.811	7347.611	1224.602	6.163	10.222
10	22.2	1294.234	7477.034	1246.172	6.298	11.115
11	22.2	1423.658	7606.458	1267.743	6.433	11.970
12	22.2	1553.081	7735.881	1289.314	6.569	12.788
13	22.2	1682.505	7865.305	1310.884	6.705	13.571
14	22.2	1811.928	7994.728	1332.455	6.843	14.321
15	22.2	1941.351	8124.151	1354.025	6.981	15.040
16	22.2	2070.775	8253.575	1375.596	7.121	15.729
17	22.2	2200.198	8382.998	1397.166	7.261	16.389
18	22.2	2329.622	8512.422	1418.737	7.402	17.023
19	22.2	2459.045	8641.845	1440.308	7.544	17.631
20	22.2	2588.468	8771.268	1461.878	7.686	18.214
21	22.2	2717.892	8900.692	1483.449	7.830	18.775
22	22.2	2847.315	9030.115	1505.019	7.974	19.313
23	22.2	2976.739	9159.539	1526.590	8.119	19.830
24	22.2	3106.162	9288.962	1548.160	8.265	20.327
25	22.2	3235.586	9418.386	1569.731	8.412	20.804
26	22.2	3365.009	9547.809	1591.302	8.560	21.263
27	22.2	3494.432	9677.232	1612.872	8.708	21.704
28	22.2	3623.856	9806.656	1634.443	8.857	22.129
29	22.2	3753.279	9936.079	1656.013	9.007	22.537
30	22.2	3882.703	10065.503	1677.584	9.158	22.930



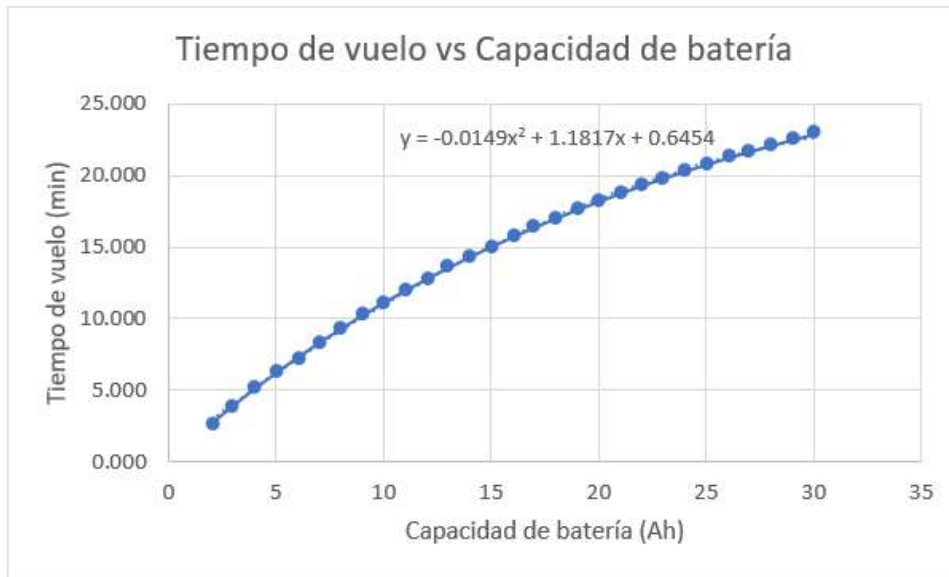


Figura 15. Gráfico de Tiempo de vuelo vs Capacidad de batería de motor MN505S KV380 con hélices de 18" de diámetro y 6.1" de paso

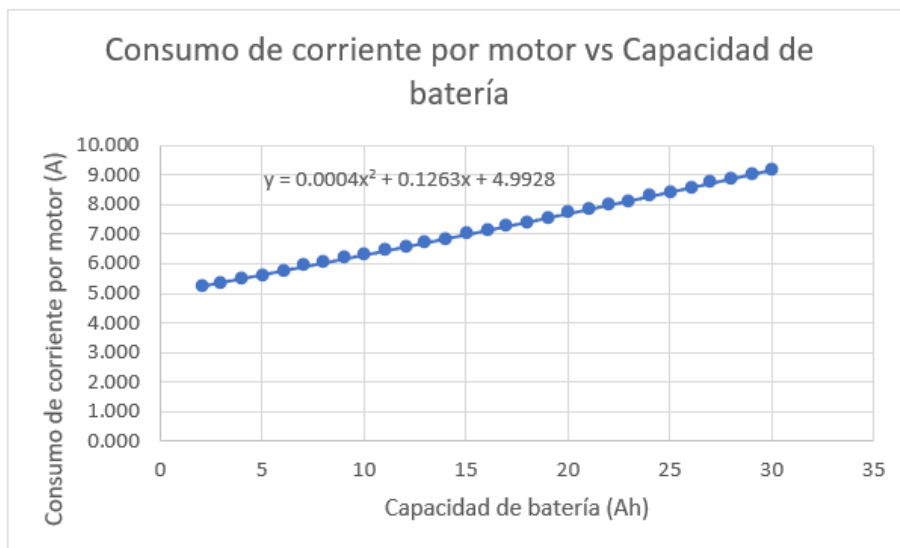


Figura 16. Gráfico de Consumo de corriente por motor vs Capacidad de batería de motor MN505SKV380 con hélices de 18" de diámetro y 6.1" de paso

Al comparar las tablas anteriores se puede observar que el motor MN501S KV360 es más eficiente que el motor MN505S KV380, debido a que permite un mayor tiempo de vuelo a un consumo menor de corriente, y es el motor seleccionado. Asimismo, se tiene que la capacidad de batería mínima para este motor es 20 Ah, lo cual servirá para la selección de la batería.

Cabe mencionar que, si bien los cálculos se hicieron tomando como base las hélices de 18" de diámetro y 6.1" de paso, dado que el fabricante proporcionaba las especificaciones con esta hélice, el fabricante recomendaba usar en especial con este tipo de motor hélices plegables de 18.4" de diámetro y 6.6" de paso, las cuales brindarían aún un mejor performance, y por ello se optó usar estas en lugar de las de 18.1" de diámetro y 6.1" de paso.

## C.2. Cálculo y selección de baterías

Una vez que ya se tienen los elementos de potencia seleccionados, se tiene que calcular cuánto es la capacidad que deberá tener la batería, teniendo en cuenta alimentarán al circuito de potencia y a toda la electrónica del drone (controlador de vuelo, gps, etc).

En ese sentido, se tienen los siguientes consumos:

Tabla 17. Consumos de componentes electrónicos del drone

Elemento	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
Pixhawk 2.1 Cube	5	3 (máx)	15
GPS Here 2	5	0.2	1
RFD900x	5	0.1	0.5
X8R	5	0.1	0.5

Revisando la documentación del Pixhawk 2.1 Cube y la información proporcionada por los foros, se tiene que su consumo depende de la cantidad de periféricos conectados, y todos concluyen que como máximo consumiría 3A, pero que lo normal es que consuma en promedio 1A. Entonces, para el cálculo del tiempo de vuelo final se tomará el consumo de la electrónica con 3A, el peor caso.

El total consumido es de 17 W, y a esta potencia se le aplicará un factor de seguridad de 3, dando como resultado:

$$P = 17 \times FS = 17 \times 3 = 51 W$$

Luego de obtener la potencia requerida, se calcula cuánta potencia será consumida en un total de 20 minutos:

$$P = 51 W \times 20 \text{ min} \times \frac{1 h}{60 \text{ min}} = 17 Wh$$

Ahora, como el voltaje que la batería deberá ser 24 V para poder alimentar a los motores, se tiene que:

$$I = \frac{17 Wh}{24 V} = 0.71 Ah$$

Sin embargo, se recomienda que las baterías LiPo no bajen del 20% de su capacidad, motivo por el cual se aplicará un factor mayor, del 30%.

$$I = \frac{0.71 A}{(1 - 0.3)} = \frac{0.71 A}{0.7} = 1.01 Ah$$

Ahora, con las capacidades obtenidas considerando los factores de seguridad, se tiene que la capacidad total es:

$$C_{total} = C_{sist. potencia} + C_{sist. electrónico} = 20 + 1.01 = 21.01 Ah$$

Finalmente, con los datos de 21.01 Ah y 24V se escogen 2 baterías LiPo 6S 11 Ah, debido a que no hay una batería de la capacidad requerida.

Se concluye que el tiempo de vuelo será aproximadamente de 20 minutos. Este tiempo puede variar de acuerdo a las circunstancias de vuelo, que podrían exigir más a los motores, pero sin comprometer su vida útil y funcionamiento.

Tabla 18. Pesos de componentes electrónicos de potencia

Componentes electrónicos de potencia	Peso (g)
6 T-Motor MN501S KV360	1050
6 ESC ALPHA 4A LV	327
6 Hélices T-Motor 18"x6.1"	444
2 Baterías LiPo 6S 11000mAh	2540
<b>Total</b>	<b>4361</b>

Tabla 19. Pesos finales

Componentes para el vuelo	Peso (g)
Componentes electrónicos para el vuelo	183.6
Componentes mecánicos para el vuelo	1963
Componentes electrónicos de potencia	4361
Sistema LiDAR	1500
Subtotal	8007.6
Cables, extras (10%)	800.76
<b>Total</b>	<b>8808.36</b>

Luego, para verificar la selección de motores, se vuelve a hacer el cálculo de empuje por motor, pero esta vez con el peso real. Entonces, se tiene que:

$$Empuje_{motor} = \frac{Masa_{total} \times FS}{\# motores}$$

$$Empuje_{motor} = \frac{8808.36 \times 3}{6}$$

$$Empuje_{motor} = 4404.18 g$$

Revisando nuevamente la tabla de especificaciones del motor, se puede verificar que se logra este empuje con una potencia cercana al 97 %. No obstante, cabe mencionar que estos cálculos se hicieron con una razón de Empuje/Peso igual a 3, por lo que en realidad este valor solo aplica si el drone tuviera 3 veces su masa real, para asegurar que no fallará.



## D. DISEÑO MECÁNICO

### D.1. Modelado 3D

Se tiene el siguiente modelado 3D con los componentes elegidos y a continuación se explicarán sus partes, además de disgregarlas en comprados y en diseñados/fabricados.



Figura 17. Modelo 3D del dron

#### D.1.1. Componentes comprados

##### Estructura del dron

Como se puede observar en el concepto de solución óptimo ya presentado, la estructura del dron constará 1 frame de Hexacóptero de fibra de carbono, sobre el cual se montarán los brazos, el tren de aterrizaje, y permitirá albergar los distintos componentes electrónicos necesarios para el vuelo del dron, además de poder permitir añadir accesorios al dron a través de acoples, sujetos a través de agujeros del mismo frame.

Como parte de los objetivos de la tesis se mencionó el hecho de tratar de usar componentes comerciales, a los cuales se los podría modificar, para que el armado sea rápido. Por ello, para este caso, se optó por seleccionar un frame comercial de un dron Hexacóptero con aplicaciones industriales, el Tarot T960, el cual se muestra a continuación:





Figura 18. Estructura del dron (Frame)

Este frame se caracteriza por ser muy resistente y liviano, además de que es flexible para futuras modificaciones, como realizar agujeros, colocar espaciadores, etc.

### **Brazos del dron**

Dado que el diseño del dron seleccionado es un Hexacóptero, para poder facilitar el transporte de este se optó por escoger 2 brazos que sean fijos, y los 4 restantes plegables, de manera que para poder transportarlo se retraen los brazos plegables hacia los brazos fijos y con ello tener menor área para el transporte. Estos brazos son tubos de fibra de carbono de 25mm de diámetro y 1mm de espesor.

### Brazo fijo

La unión de los brazos fijos al frame se realiza a través de abrazaderas propias de la marca Tarot de 25mm de diámetro interior, para poder albergar a los brazos. Estas abrazaderas se unen tanto al plato inferior como al plato superior del frame con pernos M3x35, incluidos con las abrazaderas. El proceso consiste en coincidir los agujeros del frame en con los de la abrazadera, a través del cual se introduce el perno por el plato inferior. Cabe mencionar que los agujeros de la parte superior del frame son roscados, por lo que no se usan tuercas.

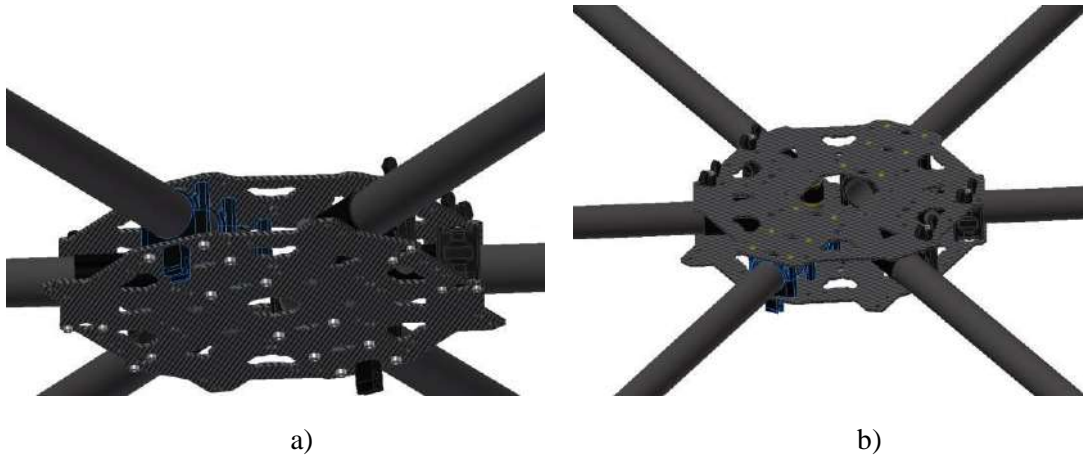


Figura 19. Montaje de brazos fijos del drone: a)Vista inferior, b)Vista superior

### Brazo plegable

En el caso de los brazos plegables, para asegurar los brazos plegables se usa un seguro, llamado TL9605 Metal lock holder, el cual esta son bordes azules en la siguiente imagen. Como se puede observar, este seguro se atornilla tanto del plato superior como del plato inferior del frame para mantenerlo fijo. Para asegurar o desasegurar los brazos se gira el perno mariposa propio de la marca Tarot.



Figura 20. Montaje de brazos plegables: a)Abrazaderas, b)Pernos mariposa de Tarot

### **Motores**

Los motores MN501-S KV360 se unen a los brazos mediante soportes de motor, en este caso el de color negro es el TL96028 y el de color naranja es el TL96029, y estos se caracterizan por poseer un plato de fibra de carbono con agujeros para poder montar motores con agujeros en su base que cuyos centros formen una circunferencia de 16, 19, 25 y hasta 27mm mediante tornillos M3.



Figura 21. Montaje de motor brushless a brazo de drone

### **Tren de aterrizaje**

El tren de aterrizaje del drone está compuesto por 2 tubos de fibra de carbono, el vertical de 25mm de diámetro y el horizontal de 16mm de diámetro, los cuales estarán unidos por el soporte tipo T TL96035.



Figura 22. Tren de aterrizaje del drone

A los extremos del tubo horizontal se le colocan unos jebes que absorben impacto. Este tren de aterrizaje se une al drone mediante una abrazadera especial, que se muestra con borde azul en la siguiente imagen, en la cual se le atornilla el extremo del tubo vertical. De esta manera, el tren de aterrizaje se quedará fijo.



Figura 23. Montaje del tren de aterrizaje

### Porta-baterías

Para poder colocar las baterías en el drone se usa la placa para batería TL8X017, a la cual se le monta 4 soportes antivibración TL8X007 y también se colocan 4 en el plato inferior del drone, para poder mantenerlos fijos a través de un tubo de fibra de carbono de diámetro 12mm, como se puede mostrar en la siguiente figura.



Figura 24. Vista superior del porta-baterías soportado por el plato inferior del drone

### D.1.2. Componentes diseñados

#### Acoples de PLA y topes de fibra de carbono para Porta-baterías

Estos acoples diseñados para ser impresos en PLA cumplen la función de mantener fijas las baterías, las cuales se montan en la placa TL8X017 por la parte inferior, y sobre estas se atornillan 2 placas pequeñas de fibra de carbono, las cuales servirán como tope.



Figura 25. Vista inferior del porta-baterías soportado por el plato inferior del drone

### Placa de ESC

Las ESC se ubicarán en una placa de fibra de carbono unida al plato inferior mediante espaciadores de bronce. Las ESC se atornillarán a esta placa mecanizada, y también en esta placa se colocará el conector XT60 por donde se energizará el drone.



Figura 26. Montaje de placa de ESC a plato inferior del drone: a)Vista superior, b)Vista inferior

### Sistema LiDAR

Los elementos que componen el sistema LiDAR son el sensor LiDAR, el Ouster OS-1, la caja de interfaz del LiDAR, la batería LiPo, el módulo GPS y la Odroid XU4.



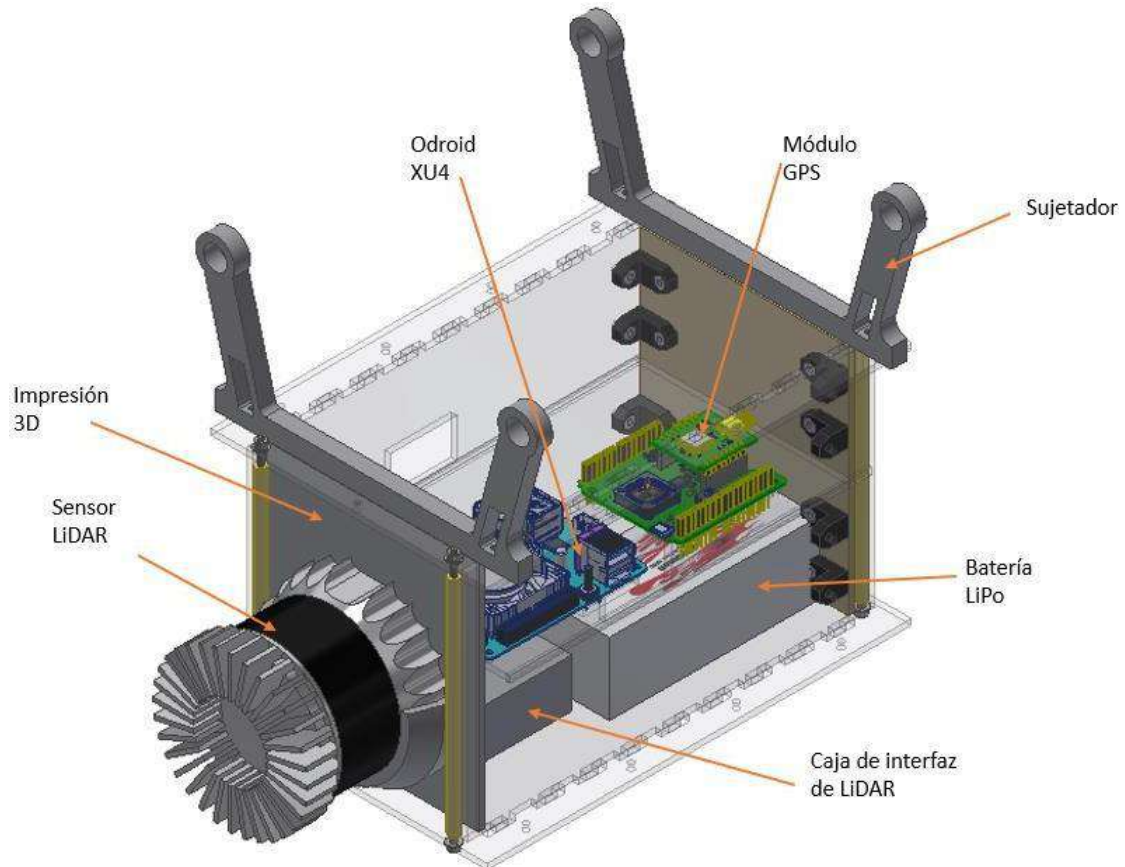


Figura 27. Vista isométrica del Sistema LiDAR

Estos componentes estarán protegidos por una caja hecha de acrílico de 3mm de espesor, cuyos lados estarán unidos por geometría, a excepción de la tapa trasera, la cual utiliza unas uniones impresas en 3D con material PLA. El sensor LiDAR estará conectado por la tapa frontal a la caja mediante una pieza impresa en 3D que se ajusta a la geometría del LiDAR, y además cuenta con agujeros para poder asegurar el LiDAR por su base.

Para el armado de la caja primero se empieza por la tapa inferior, sobre la cual se colocan las tapas laterales, y la tapa frontal se desliza a través de las tapas laterales por una ranura, de manera que cuando toque la tapa inferior se encuentre fijo, como se muestra en la siguiente figura.

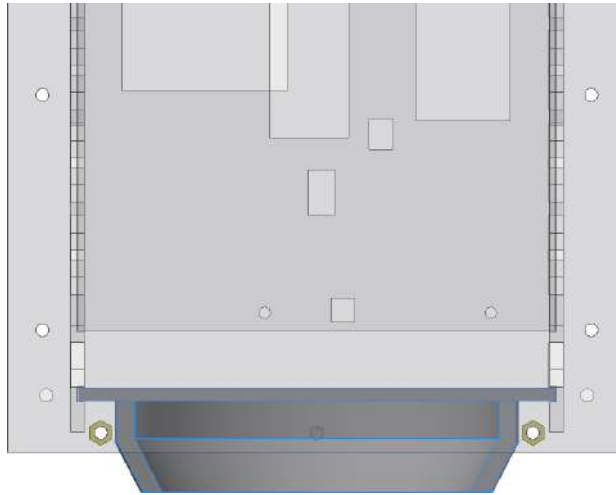


Figura 28. Vista superior para colocación de tapa frontal

Acabado esto, se coloca los sujetadores impresos en policarbonato en la tapa superior, y se asegura mediante pernos.

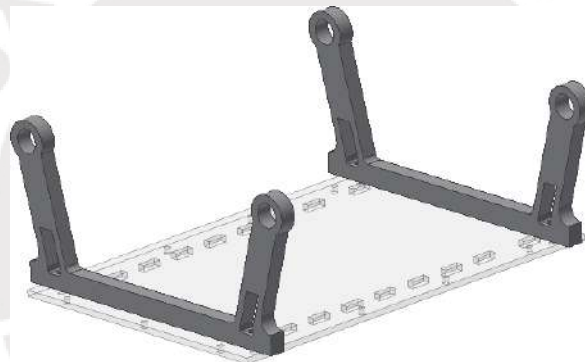


Figura 29. Tapa superior con sujetadores impresos en 3D

Luego, se procede a introducir la tapa media deslizándola por las tapas laterales también a través de ranuras (borde azul) y a colocar la tapa superior, asegurándola con la tapa inferior con espaciadores, como se muestra a continuación:

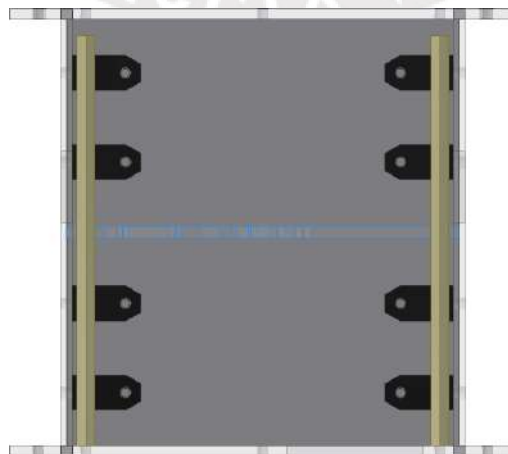


Figura 30. Colocación de tapa media y vista de uniones impresas

Finalmente, se colocan los sensores dentro, y se cierra la caja con la tapa trasera, asegurándola con pernos a través de uniones impresas en 3D (color negro).

### Cover

El cover es el elemento que se encarga de proteger a los componentes electrónicos dentro del drone, y en este caso será impreso en 3D con material PLA. Este cover alberga en sus costados al receptor de RF y al módulo de telemetría, ambos unidos mediante cinta de doble contacto, y encima de este estará ubicado el GPS del drone.

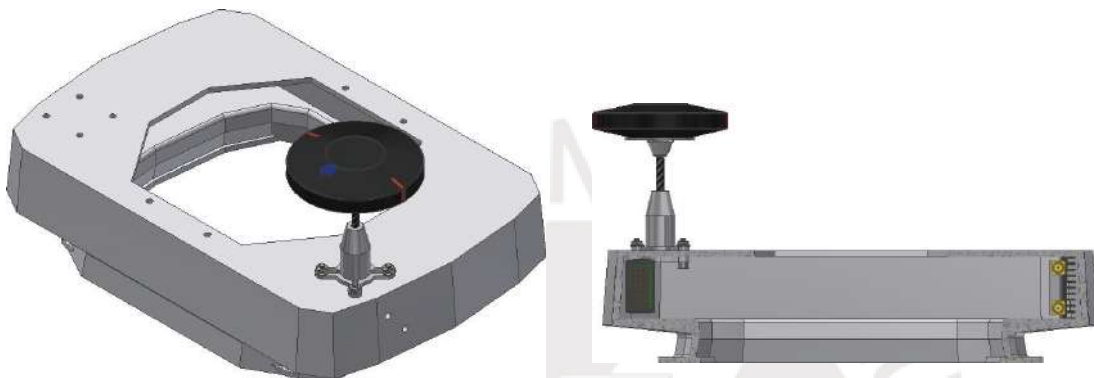


Figura 31. Vistas del cover del drone

## D.2. Cálculos mecánicos y simulaciones

### D.2.1. Prueba de resistencia de sujetador de sistema LiDAR

El sistema LiDAR estará sostenido por el drone mediante unos sujetadores impresos en 3D, y es por ello que, al ser este elemento el más crítico e importante, dado que los sensores que albergará son de costo elevado, se verificará su resistencia y su deformación. Este sujetador se muestra a continuación:

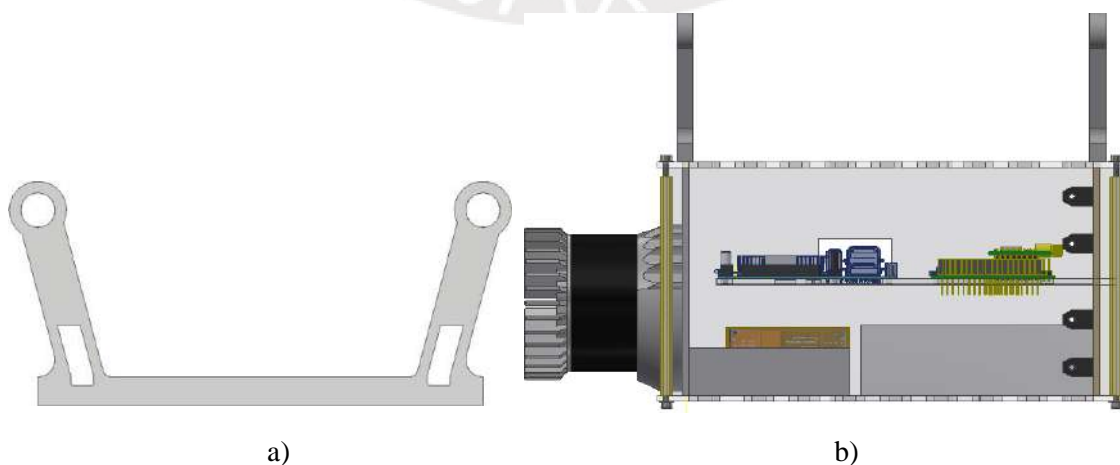


Figura 32. Sistema LiDAR: a)Sujetadores impresos en 3D, b)vista de perfil de sistema LiDAR

Para el cálculo de resistencia, en caso no se tenga los pesos, estos se calcularán con la densidad del material y su volumen. En este sentido, los pesos son los siguientes:

- Cover:  $\rho_{\text{acrílico}}=1.18\text{g/cm}^3$

Tabla 20. Pesos de componentes del cover del sistema LiDAR

Elemento	Volumen (mm <sup>3</sup> )	Masa (g)	Peso (N)
Tapa superior	90625	106.94	1.05
Tapa inferior	83077	98.03	0.96
Tapa izquierda	72952	86.08	0.84
Tapa derecha	72952	86.08	0.84
Tapa media	52555	62.01	0.61
Tapa trasera	38213	45.09	0.44
<b>Total</b>	<b>319749</b>	<b>484.24</b>	<b>4.74</b>

- Espaciadores: 13.8g cada uno  $\rightarrow$  0.14N cada uno
- Tapa frontal (PLA): 56g  $\rightarrow$  0.55N
- Sensor LiDAR OS-1: 380g  $\rightarrow$  3.73N
- Caja interfaz sensor LiDAR: 100g  $\rightarrow$  0.98N
- Regulador de voltaje UBEC DUO: 32g  $\rightarrow$  0.31N
- Batería LiPo 6S 2800mAh: 368g  $\rightarrow$  3.6N
- Odroid XU4: 38g  $\rightarrow$  0.37N
- MTi-DK-7: 60g  $\rightarrow$  0.59N

Estos pesos están distribuidos de la siguiente manera:

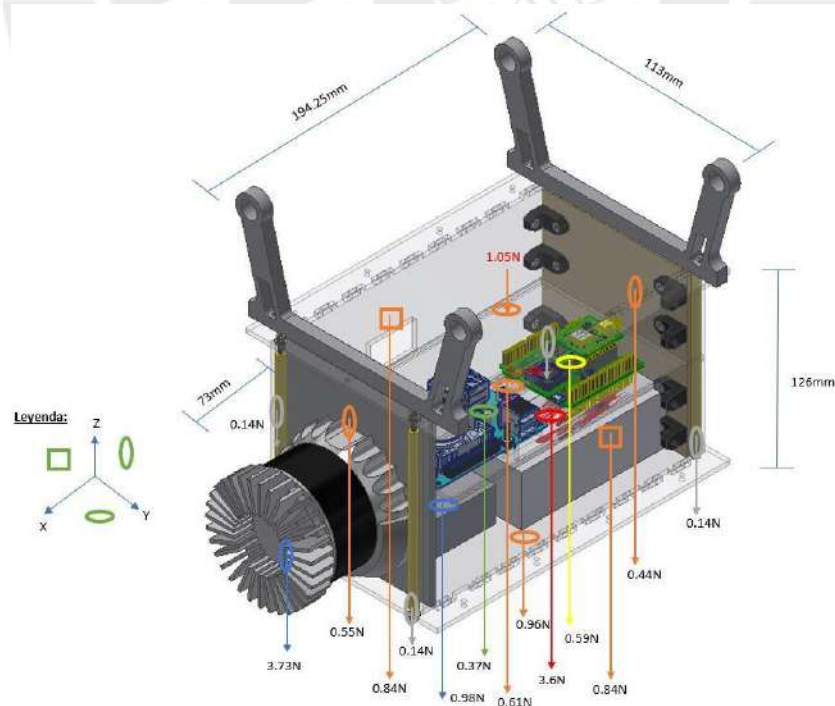


Figura 33. Diagrama de cuerpo libre del Sistema LiDAR

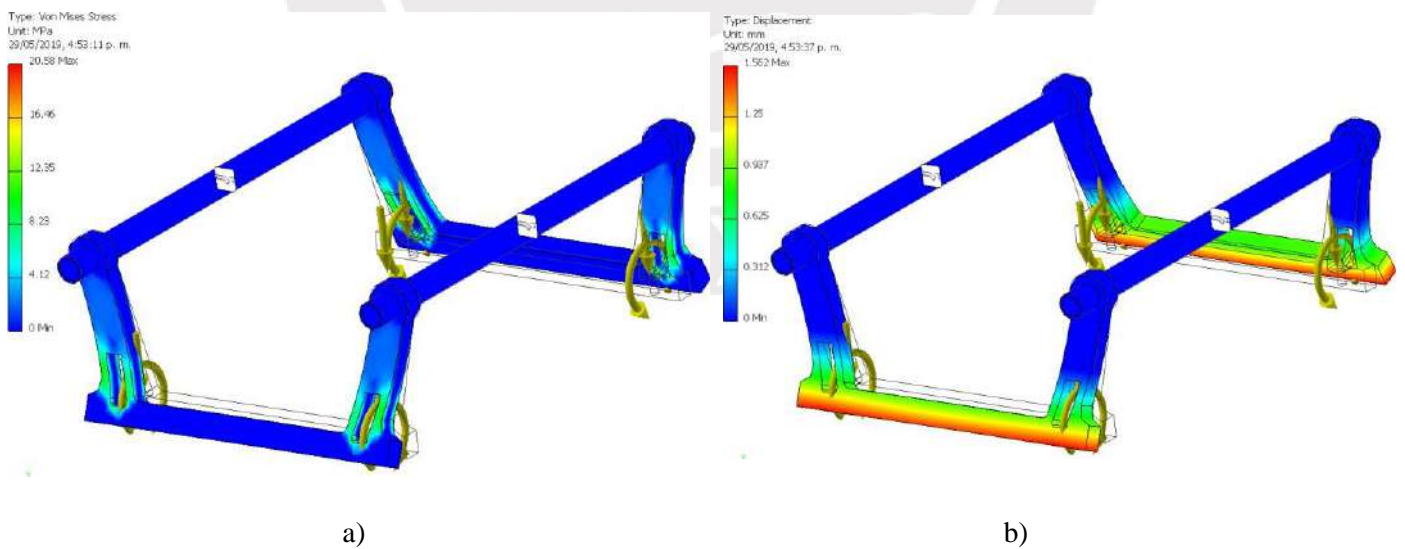
Luego, se trasladan estas cargas a la base de los 2 sujetadores por donde se atornillan con la tapa

superior del sistema LiDAR, y si bien se obtiene que todo el conjunto pesa 15.43N, y trasladando todos los momentos al sujetador frontal originan un momento de 1069Nmm, se supondrá que la carga será de 20N y momentos de 1840Nmm (asumiendo que los 20N se ubican en el centro de gravedad, por lo que saldría de multiplicar 20N y 92mm).

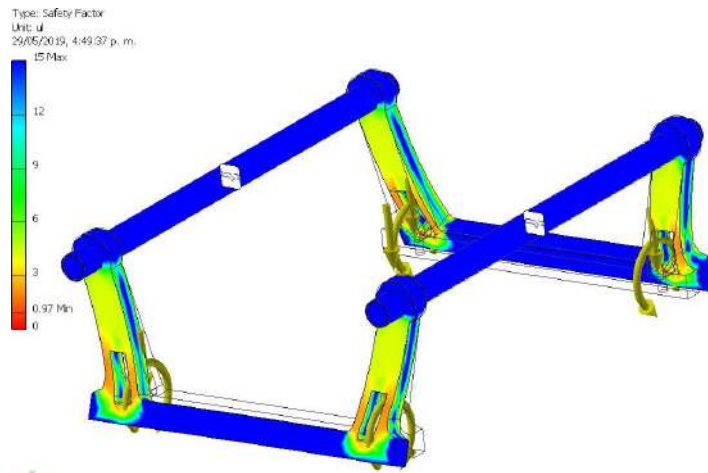


Figura 34. Traslación de cargas del sistema LiDAR a los sujetadores

Luego, se simula mediante el método de elementos finitos con el software Autodesk Inventor, en el cual se ingresa estos datos, restringiendo los tubos de fibra de carbono como fijos, y se obtienen los siguientes resultados.







c)

Figura 35. Resultados de simulación de sujetadores impresos en PLA: a)Esfuerzo equivalente de Von Mises, b)Desplazamiento, c)Factor de seguridad

Como se puede observar en la imagen anterior, si los sujetadores se fabrican en base a PLA, fallarán por fluencia, por las zonas donde estará atornillado a la tapa superior del cover del sistema LiDAR, como era lógico. Por este motivo, se procedió a buscar otros materiales que pueden usarse en impresión 3D, encontrando el Policarbonato (PC) y Ultem.

A continuación, se presentará la simulación con las mismas cargas y restricciones, pero cambiando de material:

Tabla 21. Tabla comparativa de sujetadores impresos en Policarbonato y Ultem9085

	Policarbonato	Ultem9085
Von Mises	<p>Nodes:9527 Elements:4559 Type: Von Mises Stress Unit: MPa 30/05/2019, 5:19:42 p. m. 20.56 Max 16.44 12.33 8.22 4.11 0 Min</p>	<p>Nodes:9527 Elements:4559 Type: Von Mises Stress Unit: MPa 30/05/2019, 5:15:01 p. m. 25.21 Max 20.17 15.13 10.09 5.04 0 Min</p>
Desplazamiento	<p>Nodes:9527 Elements:4559 Type: Displacement Unit: mm 30/05/2019, 5:20:09 p. m. 1.803 Max 1.442 1.082 0.721 0.361 0 Min</p>	<p>Nodes:9527 Elements:4559 Type: Displacement Unit: mm 30/05/2019, 5:17:21 p. m. 1.776 Max 1.421 1.066 0.71 0.355 0 Min</p>
Factor de seguridad	<p>Nodes:9527 Elements:4559 Type: Safety Factor Unit: ul 30/05/2019, 5:20:40 p. m. 15 Max 12 9 6 3 1.44 Min 0</p>	<p>Nodes:9527 Elements:4559 Type: Safety Factor Unit: ul 30/05/2019, 5:17:40 p. m. 15 Max 12 9 6 3 1.31 Min 0</p>

Al observar la tabla anterior se puede observar que esta pieza impresa con filamentos de Policarbonato tiene un mejor factor de seguridad que si hubiera sido con Ultem9085, siendo la zona más crítica por donde se atornilla la tapa del cover del sistema LiDAR. Si bien el factor de seguridad resulta 1.44, no se debería considerar bajo porque la simulación se realizó con un aumento del 33% de peso de carga (20N) y asumiendo para los momentos la magnitud que tendrían en caso se sostuviera el sistema LiDAR solo de un sujetador, aumentado también en un 33% (1840 Nmm).

## D.2.2. Análisis aerodinámico del drone

En esta sección se analizará cómo es el comportamiento del drone cuando vuela de manera horizontal, para lo cual se hará uso de la herramienta de simulación Flow Design de Autodesk Inventor. En primer lugar, se realizará el diagrama de cuerpo libre del drone durante su traslado para poder hallar el ángulo de inclinación del drone y la fuerza de arrastre máxima; en segundo lugar, se hallará el coeficiente de arrastre aerodinámico mediante simulación, y finalmente se verificará la fuerza de arrastre del drone.

Se tiene el siguiente diagrama de cuerpo libre, donde  $T$  es el empuje generado por los 6 motores funcionando a máxima potencia,  $F_d$  es la fuerza de arrastre aerodinámica del viento,  $W$  es el peso del drone y  $\alpha$  es el ángulo de inclinación del drone.



Figura 36. Diagrama de cuerpo libre del drone durante traslado horizontal

Entonces, asumiendo un estado cuasi-estático, dado que es un movimiento horizontal se igualan las componentes verticales, y se obtiene que:

$$\begin{aligned}W &= T \cos \alpha \\83.385 &= 273.35 \cos \alpha \\ \alpha &= 72.24^\circ\end{aligned}$$

Luego, usando este ángulo se tiene que:

$$\begin{aligned}F_d &= T \sin \alpha \\F_d &= 260.32 \text{ N}\end{aligned}$$

Del cálculo anterior se obtiene que si el drone vuela a máxima potencia la fuerza de arrastre y el ángulo de inclinación serían relativamente elevados (260.32 N y  $72.24^\circ$  respectivamente). Sin embargo, el drone no volará en dichas circunstancias, motivo por el cual estos valores serán tomados como los límites máximos y que no deben excederse.

Entonces, para la simulación se asumirá un ángulo de inclinación de  $30^\circ$ , lo cual implicaría un desplazamiento rápido y no a máxima potencia, y que el viento tendrá una velocidad de 10m/s,



obteniendo que las partes más afectadas son los brazos del drone, con presiones de hasta 54.330 MPa, lo cual hace que el viento llegue a tener velocidades de hasta 12.5 m/s, y que el coeficiente de arrastre aerodinámico sea de 0.74 en promedio.

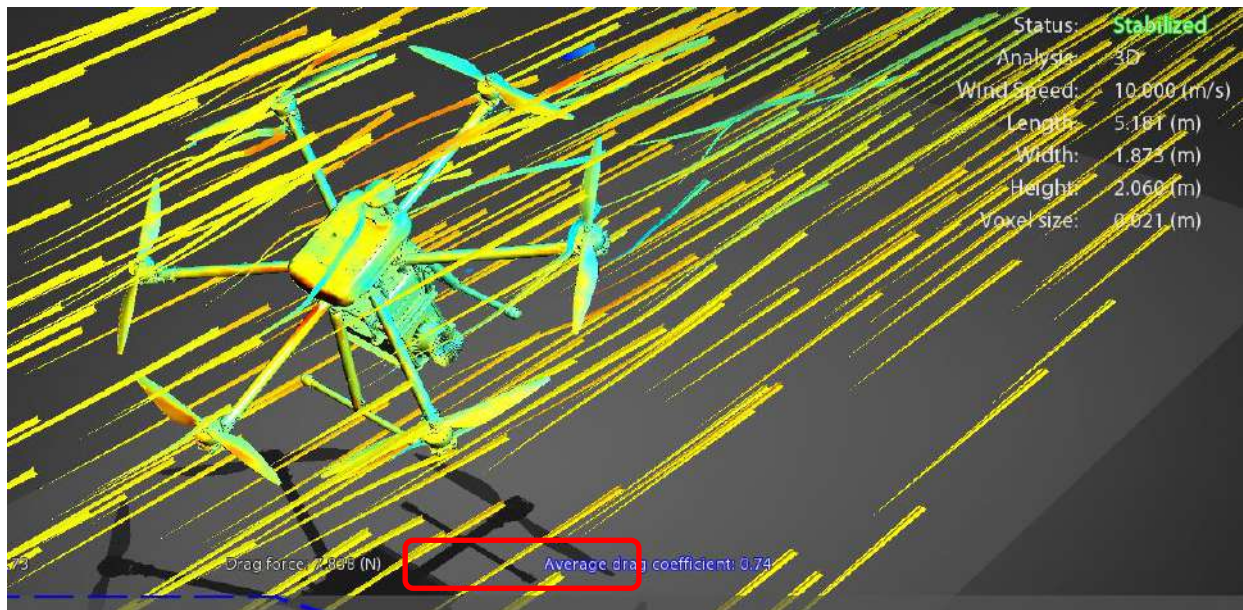


Figura 37. Simulación del comportamiento aerodinámico del drone

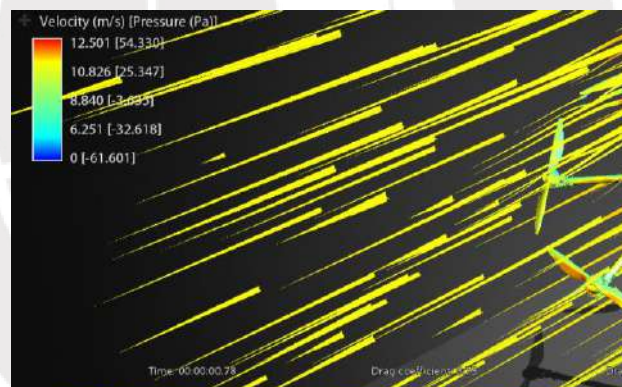


Figura 38. Velocidad y presión del viento de la simulación

Luego, usando estos datos en la fórmula para el cálculo de la fuerza de arrastre aerodinámico [6], se tiene:

$$F_d = \frac{C_d \times \rho \times v^2 \times A_p}{2}$$

Donde:

- $F_d$ : Fuerza de arrastre [N]
- $C_d$ : Coeficiente de arrastre
- $\rho$ : densidad del aire [ $\text{Kg}/\text{m}^3$ ]
- $v$ : velocidad del aire en oposición [m/s]
- $A_p$ : Área proyectada perpendicular al flujo de aire [ $\text{m}^2$ ]

Entonces, para este cálculo se considerará la densidad del aire a condiciones de 20°C y a nivel del mar como 1.2 Kg/m<sup>3</sup>, C<sub>d</sub> la hallada por la simulación y la velocidad del viento 10m/s.

Por otra parte, para el cálculo del área proyectada se considerará las siguientes ecuaciones:

$$A_p = A \times \cos\alpha$$
$$A = 6 \left( \frac{K \times \pi \times D^2}{4} \right) + A_o$$

Donde:

- $\alpha$ : ángulo de inclinación [°]
- K: factor de permeabilidad
- D: diámetro de hélices [m]
- A<sub>o</sub>: Área central del drone (cover) [m<sup>2</sup>]

Entonces, para el cálculo se tiene que:

- $\alpha = 30^\circ$
  - K = 0.5
  - D = 0.47 m
  - A<sub>o</sub> = 0.0293 m<sup>2</sup>
- ⇒ A = 0.5498 m<sup>2</sup>
- ⇒ A<sub>p</sub> = 0.4761 m<sup>2</sup>

Finalmente:

$$F_d = \frac{0.74 \times 1.2 \times 10^2 \times 0.4761}{2}$$
$$F_d = 21.14 \text{ N}$$

Luego, como la fuerza de arrastre obtenida es menor a la fuerza de arrastre máxima, se concluye que el drone puede volar en condiciones donde el viento alcance velocidades de 10m/s, mayor a la velocidad máxima de la lista de requerimientos, que era de 4m/s.



## E. DISEÑO DE CONTROL

### E.1. Interfaz de usuario

#### Vuelo autónomo

En caso se desee utilizar la funcionalidad de vuelo autónomo, primero se debe definir la trayectoria a seguir, para lo cual se ingresa al menú “Flight Plan”.



Figura 39. Imagen inicial de Mission Planner

Fuente: [7]

Luego, se da un click en el mapa en el punto donde se desea que despegue el dron, y esta acción creará un “waypoint”, el cual es un punto de referencia para el dron. Después, se da click derecho al waypoint creado, se selecciona “Draw Polygon” y luego “Add Polygon Point”

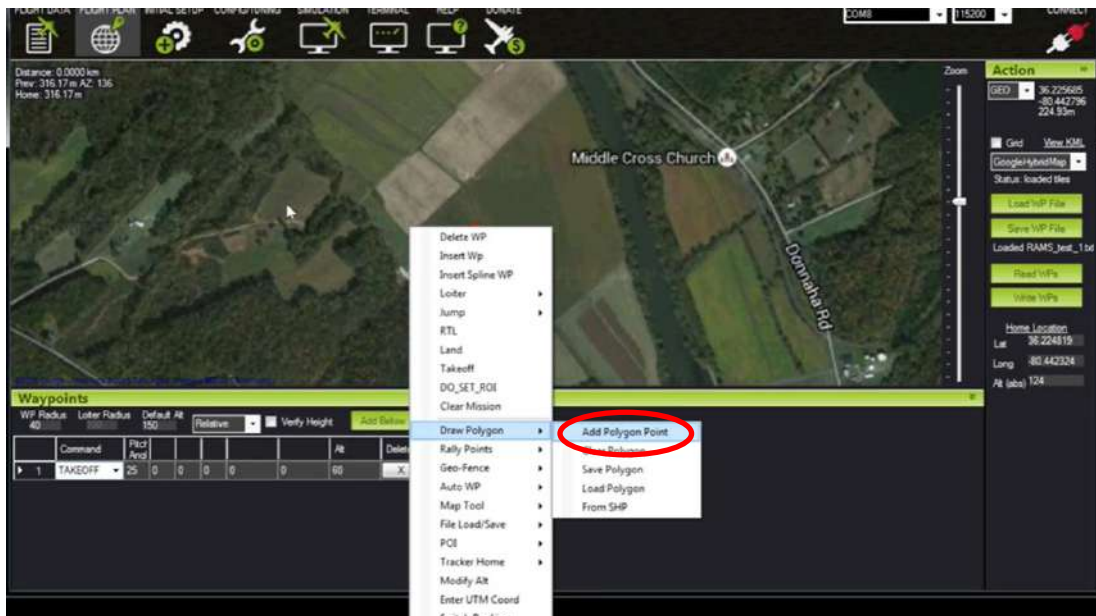


Figura 40. Polygon Point añadido

Fuente: [7]

Esto permitirá delimitar el área de interés sobre la cual se desea que vuele el dron en forma de polígono, pues al dar clicks en el mapa se crean vértices.

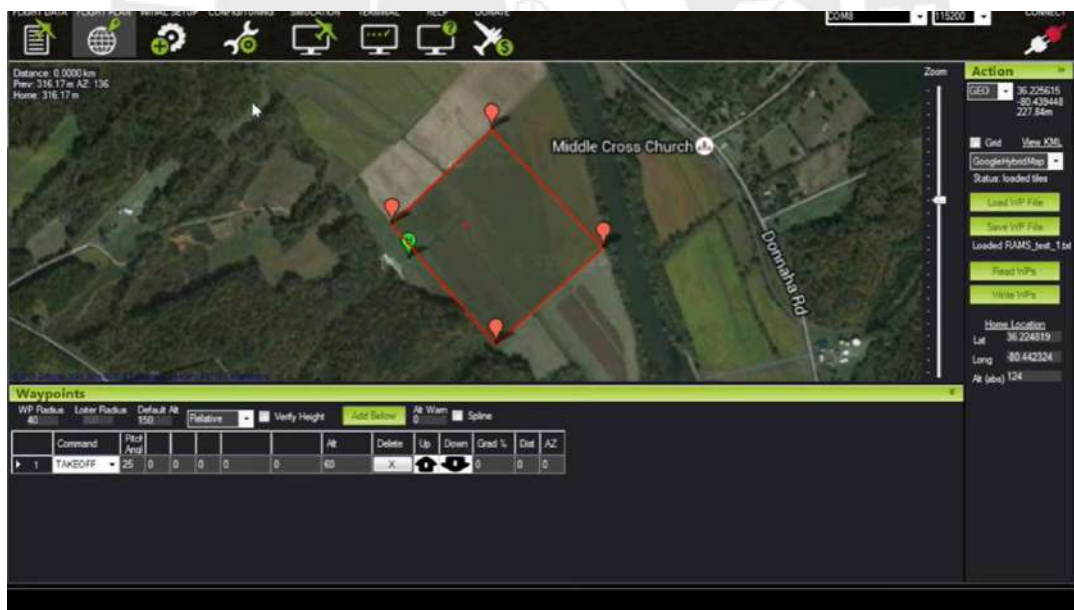


Figura 41. Cuatro Polygon Points añadidos

Fuente: [7]

Una vez que el área esté delimitada se da click derecho, se selecciona “Auto WP” y luego “Survey (Grid)”.

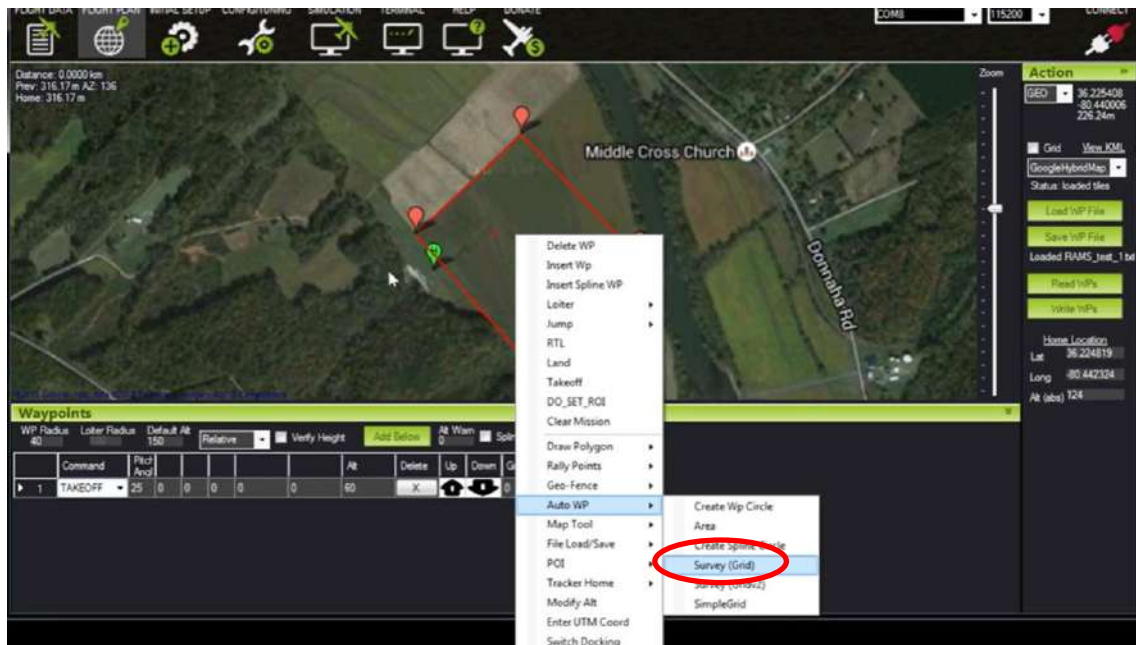


Figura 42. Opción Survey (Grid)

Fuente: [7]

Esto permitirá crear automáticamente la trayectoria que seguirá el drone. En esta vista se configura la altura a la cual se desea que vaya el drone, además de la velocidad (para el proyecto se considerará 20 m de altura y una velocidad de 8 m/s). Luego se da click en “Accept” y se tendrán los waypoints creados automáticamente.



Figura 43. Parámetros en Survey (Grid)

Fuente: [7]



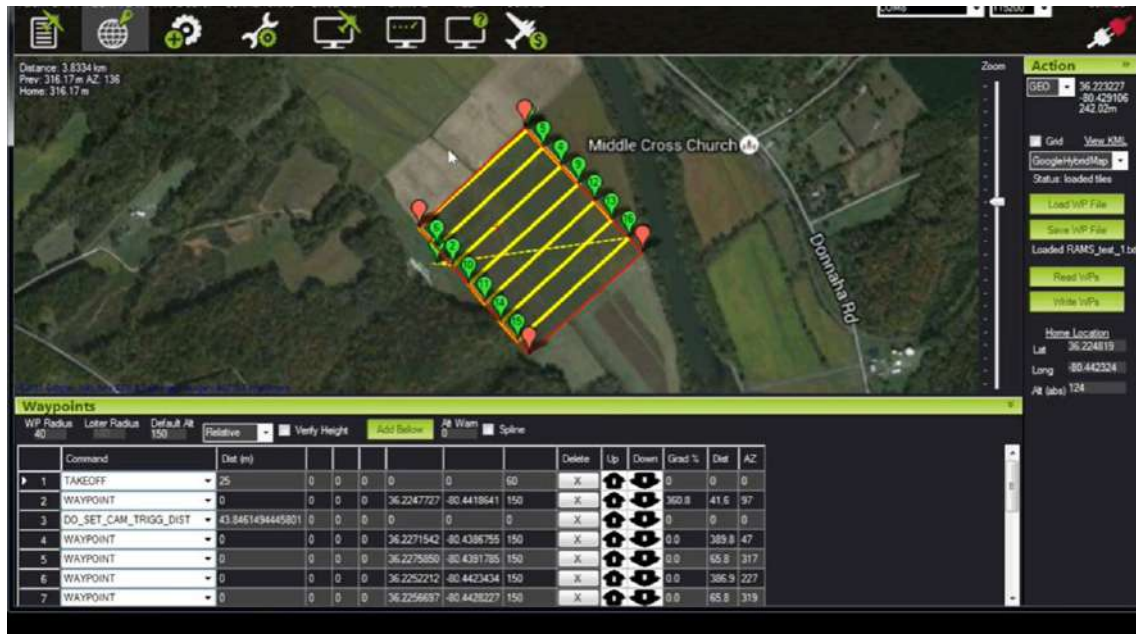


Figura 44. Waypoints creados

Fuente: [7]

Finalmente, para activar el modo autónomo se debe cambiar un modo de vuelo, para lo cual se accede al menú “CONFIG/TUNING” y se cambia el modo de vuelo a “Auto”.

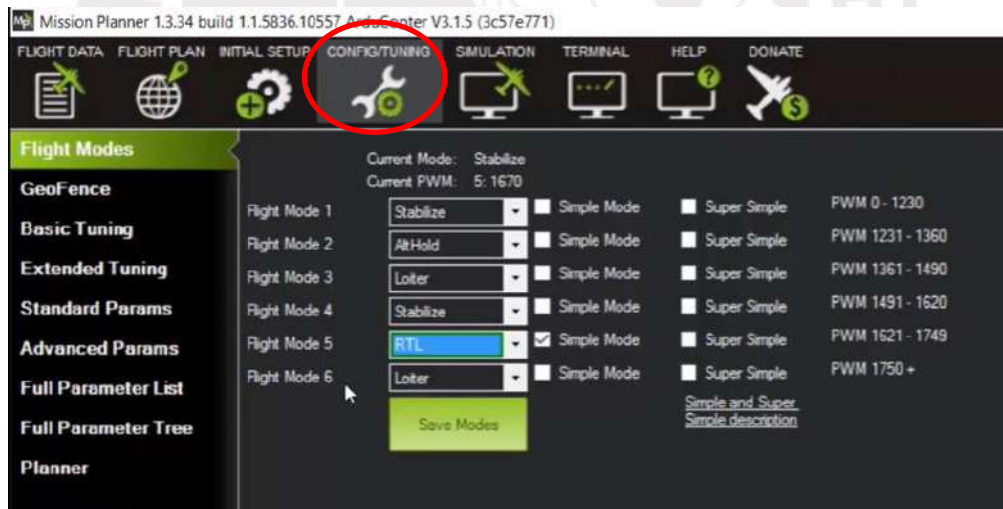


Figura 45. Acceso a “CONFIG/TUNING”

Fuente: [7]

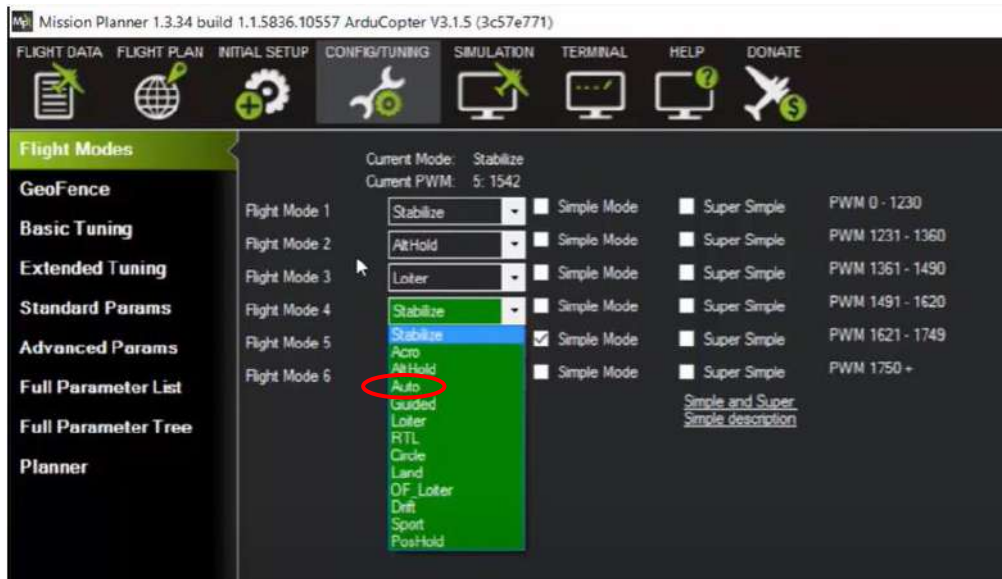
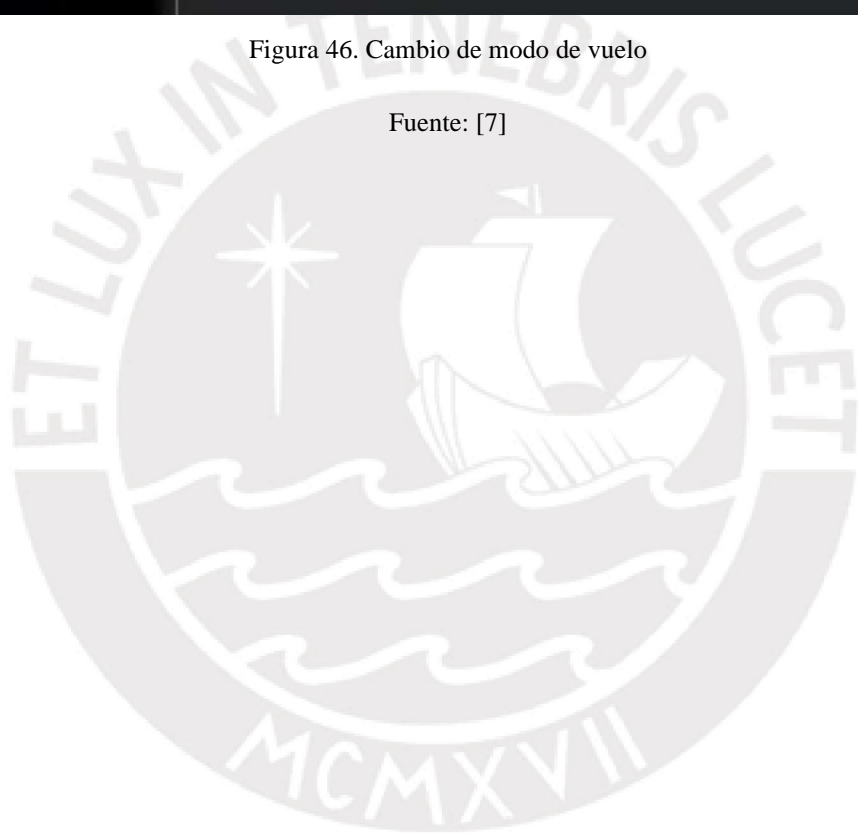


Figura 46. Cambio de modo de vuelo

Fuente: [7]





## F. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Boreal, «Boreal,» [En línea]. Available: <https://www.boreal-uas.com/wp-content/uploads/2016/09/BOREAL-v3.pdf>. [Último acceso: 20 Febrero 2019].
- [2] PHOENIX LiDAR SYSTEMS, «CW-20,» [En línea]. Available: <https://www.phoenixlidar.com/product/terrahawk-cw-20/>. [Último acceso: 25 Febrero 2019].
- [3] PHOENIX LiDAR SYSTEMS, «CW-30,» [En línea]. Available: <https://www.phoenixlidar.com/product/terrahawk-cw-30/>. [Último acceso: 25 Febrero 2019].
- [4] LiDARit, «LiDARit,» [En línea]. Available: <https://www.lidarit.com/sistemas.html>. [Último acceso: 27 Febrero 2019].
- [5] Hélicéo, «Hélicéo - Geomatic Innovation&Technology,» [En línea]. Available: <http://www.heliceo.com/es/produits-pour-geometres/superfox6-dron-topografo/>. [Último acceso: 28 Febrero 2019].
- [6] S. Hoerner, Fluid-dynamic drag, 1965.
- [7] Ardupilot, «Planning a Mission with Waypoints and Events,» [En línea]. Available: <https://ardupilot.org/copter/docs/common-planning-a-mission-with-waypoints-and-events.html>. [Último acceso: 14 Agosto 2021].
- [8] PHOENIX LiDAR SYSTEMS, «PHOENIX LiDAR SYSTEMS,» [En línea]. Available: <https://www.phoenixlidar.com/>. [Último acceso: 21 Marzo 2019].
- [9] YellowScan, «YellowScan: Reliable LiDAR for UAVs,» [En línea]. Available: <https://www.yellowscan-lidar.com/products/yellowscan-surveyor-ultra>. [Último acceso: 20 Febrero 2019].

# G. COTIZACIONES

FREE SHIPPING (orders over \$199)

## Categories

- LiPo Batteries by Voltage
- LiPo Batteries by mAh
- LiPo Battery Customizer
- Hard Case LiPo Packs
- LiPo Batteries for Traxxas
- LiPo Batteries for Arma
- LiPo Batteries for Losi
- Search by Vehicle
- LiPo Batteries for Multirotors
- Chargers/Power Supplies
- 18650 Li-Ion Batteries
- NIMH Battery Packs
- GS LiFe Battery Packs
- Race Edition Packs
- XL Series Packs
- LiPo Saddle Packs
- E-Bike Battery Packs
- Signature Series Packs
- MaxAmps Swag
- Connectors/Adapters
- Other
- UAV Batteries

## Shopping Cart

 Shopping cart  
0 Product(s) in cart  
Total \$0.00  
[» Checkout](#)

## Members Area

 Login Status  
Not logged in  
[» Login](#)



Home » LiPo Batteries by mAh » LiPo 2800mAh Packs

[Checkout!](#)



 Hover to zoom

## LiPo 2800 6S 22.2v Battery Pack

List Price: \$169.99

**Price: \$129.99**

Quantity:

### Plug

Please Select... 

[Add to Cart](#)

[Email Friend](#)

[Ask A Question](#)



- 2800mah capacity
- 6S 22.2 volts
- True 100C rating
- Lifetime warranty
- 5C fast charge capable
- 100% waterproof
- Built today with factory fresh cells
- Built with genuine 12awg Deans Ultra wire
- We add the connector and JST-XH balancing tap for you
- 108mm x 37mm x 43mm, 368g

FREE SHIPPING (orders over \$199)

Categories

- [LiPo Batteries by Voltage](#)
- [LiPo Batteries by mAh](#)
- [LiPo Battery Customizer](#)
- [Hard Case LiPo Packs](#)
- [LiPo Batteries for Traxxas](#)
- [LiPo Batteries for Arma](#)
- [LiPo Batteries for Losi](#)
- [Search by Vehicle](#)
- [LiPo Batteries for Multicopters](#)
- [Chargers/Power Supplies](#)
- [18650 Li-Ion Batteries](#)
- [NiMH Battery Packs](#)
- [GS LiFe Battery Packs](#)
- [Race Edition Packs](#)
- [XL Series Packs](#)
- [LiPo Saddle Packs](#)
- [E-Bike Battery Packs](#)
- [Signature Series Packs](#)
- [MaxAmps Swag](#)
- [Connectors/Adapters](#)
- [Other](#)
- [UAV Batteries](#)

Shopping Cart

 Shopping cart  
 0 Product(s) in cart  
 Total \$0.00  
[Checkout](#)

Members Area

 Login Status  
 Not logged in  
[Login](#)



[Home](#) » [LiPo Batteries by mAh](#) » [LiPo 11000mAh Packs](#)

[Checkout!](#)



**LiPo 11,000 6S 22.2v Battery Pack**

List Price: \$669.99

**Price: \$419.99**

Quantity:

Plug

Please Select... 

Choose custom wrap

Black 

[Add to Cart](#)

[Email Friend](#) [Ask A Question](#)





Share Collect (2)

### MN501-S KV360

**\$99.90**

Available points: 0 Points | Points reward: 99 Points

- Strong power ,long service life
- Excellent cooling performance
- Anti-high temperature/Anti-overload
- Dust-resistance/Waterproof/Anti-corrosion

Parameter:

1

USD200 Consumption Free Shipping by DHL Express (Excl. Remote Items).



Share Collect (5)

### ALPHA 40A 6S ★ ALP

**\$69.99**

Available points: 0 Points | Points reward: 69 Points

- Low Noise , Temperature and Interference
- Fast Response , High Efficiency
- Match U3 KV700 , U5 KV400 , MN5212 KV340 ,MN4006 KV380 , MN501S KV300, MN7005 KV230 Only
- For Compatibility , Please Leave A Note of Motor Type

1

USD200 Consumption Free Shipping by DHL Express (Excl. Remote Items).



Share Collect (1)

## MF1806

**\$44.90**

Available points: 0 Points | Points reward: 44 Points

- Prop Strength X2
- Ultimate durability, longer life time
- Energy-Snubber
- Caution: Polymer props for coaxial configuration are under test, do not run polymer props on coaxial frames

Parameter:

MF1302

MF1503

MF1604

**MF1806**

MF2412

MF2614

MF2815

MF3016

1

+

-

Add to cart

Buy now

0

USD200 Consumption Free Shipping by DHL Express (Excl. Remote Items).







Shop By Categories

## Shopping Cart

[Proceed to Checkout](#)




Register an account to get cash back on all your purchases.

**GET 3% CASH BACK!**

[LEARN MORE](#)

[×](#)



**Pixhawk 2,1 Cube Black**  
**This item will be backordered. Please note your entire order will be held until your backorder is fulfilled.**

\$250.00

- 1 +

\$250.00

---

[Continue Shopping](#)  
[Update Shopping Cart](#)  
[Clear Shopping Cart](#)

**ESTIMATE SHIPPING AND TAX** [▼](#)

**GIFT CARDS** [▲](#)

GIFT CARDS

[Add Gift Card](#)

[Check Gift Card status](#)

**COUPON CODE** [▼](#)

**CART TOTALS**

Subtotal	<b>\$250.00</b>
Grand Total Excl. Tax	<b>\$250.00</b>
Grand Total Incl. Tax	<b>\$250.00</b>

[Proceed to Checkout](#)

## FrSky Taranis X9D Plus 2019 ACCESS w/ X8R 16CH Receiver - Silver

★★★★★ 15 Reviews

[Related Products](#)

The FrSky Taranis X9D Plus 2019 is a re-designed version with additions, like a momentary button and a program scroll wheel, making it even easier for DLG pilots to navigate the menus! This bundle comes with the FrSky X8R 16CH Receiver.

TARANIS  
X9D PLUS  
COMBO



- Description
- Additional Information
- Reviews
- Description

FrSky has given the 2019 treatment to much of their catalog. Featuring updates such as incorporating the new ACCESS protocol as well as numerous hardware tweaks in each model.

Out of Stock

**\$224.99**

1 Questions \ 1 Answers



## Cart

Product	Price	Quantity	Total
<b>Here 2 GNSS</b>	\$125.00	1	\$125.00
<input type="text" value="Coupon code"/> <input type="button" value="Apply Coupon"/>		<input type="button" value="Update Cart"/>	

## Cart totals

<b>Subtotal</b>	\$125.00
<b>Shipping</b>	Flat Rate: <b>\$10.00</b> Shipping to <b>SC</b> <a href="#">Change address</a>
<b>State Tax</b>	\$8.10
<b>Total</b>	<b>\$143.10</b>

[Proceed to checkout](#)



## THE KORE MULTI-ROTOR CARRIER BOARD

**\$200.00**

### FEATURES AT-A-GLANCE

- Up to 12-cell Lithium battery (50,4V)
- 140A continuous current with 280A surges
- Power and signal for ESCs conveniently located in corners
- 12V navigation light power available at each corner
- Built-in power distribution
- Built-in voltage and current sense
- Redundant power supplies for flight critical components
- Payload connectors with resettable fuses for 5V, 12V, and direct battery power
- Good power and error indicator lights

# RFDDesign Pty Ltd

Home | Terms and Conditions | Blog | About Us

## Product Categories

- All Products
- Antennas
- Autopilots
- Cables
- Components
- DIN Rail I/O and 485 Radio Modem
- Industrial
- Radio Modem Bundles
- Radio modems
- RFID
- Servos

## New Products

TX Pole Power Cable 1 m  
**SAUD 15.00**  
[Add To Cart](#)

RFD868ux-EU Modem Bundle  
**SAUD 282.50**  
[Add To Cart](#)

TX Pole Power Cable 4 m  
**SAUD 25.00**  
[Add To Cart](#)

HerePro Multi-RTK (Alpha Version)  
**SAUD 905.00**  
[Add To Cart](#)

Here+ RTK Base  
**SAUD 524.00**  
[Add To Cart](#)

## Our Newsletter

Your First Name:

Your Email Address:

[Home](#) | [Radio modems](#) | RFD 900x Modem

## RFD 900x Modem



Price: **SAUD 131.45**  
 SKU: MODEM-RFD900x  
 Weight: 0.01 KGS  
 Shipping: Calculated at checkout  
 Quantity: 1  [ADD TO CART](#)



[Description](#) | [Similar Products](#) | [Also Viewed](#)

### Product Description

**\* Please note the RFD900x is not compatible with the RFD900+**

### RFD900x New Features:

- New Processor, ARM 32 bit core.
- Air data rate: 500kbit/s.
- AES Hardware accelerated encryption. \*Fully working\*
- RC PPM Passthrough with telemetry at the same time.
- Fully ESD protected + filtered - Every IO port is protected and filtered.
- Original SIK point to point firmware implemented.
- Asynchronous multipoint firmware, \*Beta release\*

## Add to Wish List

Click the button below to add the RFD 900x Modem to your wish list.

[ADD TO WISH LIST](#)

## Related Products

RFD 900u Radio Modem  
**SAUD 76.50**

RFD 868+ Modem  
**SAUD 109.50**

RFD 900x Modem BARE  
**SAUD 120.45**

RFD 900x-US Modem (FCC approved)  
**SAUD 131.45**

RFD 900x-AU Modem  
**SAUD 131.45**

## You Recently Viewed...

RFD 900x Modem  
**SAUD 131.45**  
[Add To Cart](#)



Búsqueda de productos, categoria: ||

MOSTRAR: TODAS LAS CATEGORIAS 1 > SISTEMAS DE PODER 762 > DISTRIBUCIÓN DE PODER 20 > VR/URE/BEC/SBEC 15

## UBEC DUO 4A / 5 ~ 12V y 4A / 5V



13 REVISIÓN

PRECIO: **16,99 \$**

CANTIDAD:

ENVIADO DESDE: GLOBAL

[AÑADIR AL CARRITO](#)

[AÑADIR A LA LISTA DE DESEOS](#)

ENVIÓ GRATIS EN PEDIDOS ELEGIBLES

ESTADO: **EN STOCK**

SKU: 080000010-0

COMPARTIR: [f](#) [t](#) [in](#) [d](#) [v](#) [...](#)

Get Notifications

## CARRITO DE COMPRAS

*Esta no es una factura.*

Clasificar	Detalle de los productos	Descripción	Cantidad	Disponibilidad	Precio unitario (USD)	Precio ext. (USD)
1	 <p> <b>Mouser N.º:</b> 512-MTI-7-DK  <b>Fabricante N.º:</b> MTI-7-DK  <b>Fabricante::</b> Xsens  <b>Ref. Cliente:</b> PUCP                 </p>	Herramientas de desarrollo de sensores de múltiple función MTI-7 Development kit En conformidad con la RoHS	2	2 Se envía ahora	\$496.25	<b>\$992.50</b>





What are you looking for?



## Your cart

Subtotal  
**\$117.20 USD**

Checkout



### USB-UART Module Kit

Price ~~\$12.95 USD~~

Quantity  
1

\$12.95 USD



### 5V/4A Power Supply

Price ~~\$6.95 USD~~

Plug Type US Plug

Quantity  
1

\$6.95 USD



### eMMC 5.1 Module XU3/XU4 Linux (Blue Dot)

Price ~~\$36.45 USD~~ \$26.95 USD

Storage Capacity 32GB

Quantity  
1

\$26.95 USD



### WiFi Module 4 802.11a/b/g/n Dual Band

Price ~~\$14.95 USD~~

Quantity  
1

\$14.95 USD



### RTC Battery

Price ~~\$3.45 USD~~

Quantity  
1

\$3.45 USD



### ODROID-XU4

Price ~~\$61.95 USD~~ \$51.95 USD

Quantity  
1

\$51.95 USD





### 400X500X2MM 100% 3K Cross Grain Carbon Fibre Laminate Plate Panel 2mm Thickness (Matt Sur

AA0015

carbon fiber plate 2mm  
3k pure carbon fiber

Sold:1 [Have a question?](#)

Price:  
USD **\$66.99**

SKU:  
AA0015US

Ships From:

Quantity:  
 (47 available)

Shipping Cost:  
Free Shipping to United States via Free Shipping  
Estimated Delivery Time: **5 to 12 Business Days**



# ARRIS



[ADD TO CART](#)

**rayfun**

**FREE**  
**SHIPPING**  
On orders Over 100€

Products / Tarot 25mm Tripod T-Block for Landing Skid



### Tarot 25mm Tripod T-Block for Landing Skid

Brand: Tarot Code: TL96035

Availability: **In Stock!!!**

**17.50 €**

Ex. Tax: 14.46 €

[TO BUY](#)

**DO YOU PICK UP IN THE STORE? CHECK AVAILABILITY**

[♥ Favorites](#) [≡ Compare this product](#)

[Description](#) [In The Box](#) [Reviews](#)

6061 T6 aluminum alloy applied, CNC processed.  
For Φ25MM tube adapt to Φ16MM CF tube upgrade modification.  
Note: Please fix Φ16MM CF tube and metal landing gear mount with Ab glue.  
- 2 pieces.



Product Search

### Helicopters

- Clearance Sale
- DJI Special
- What's Hot
- Browse by Brand Name
- Browse by No. of Channel
- Browse by Skill Level
- Browse by Size
- Browse by Type
- Multi-rotors
- FPV System
- Handheld Gimbal
- Handheld Gimbal Spare Parts
- Camera
- RC Cars
- RC Planes
- RC Boat
- RC Motorcycle
- RC Tanks
- Helicopter Spare Parts
- Helicopter Canopies
- Helicopter Accessories
- Plane Spare Parts
- Plane Accessories
- Car Spare Parts
- Car Bodies
- Car Accessories
- Motorcycle Parts
- Batteries & Chargers
- Servos
- AIRY Parts
- Leopard Motors
- Tools
- Screws
- Bags & Cases
- O-Rings / Rubber bands
- Apparel

### What's In My Cart?

Remove Product(s)		Qty.	Total
<input type="checkbox"/>	 <p><b>T960</b></p> <p><b>Tarot T960 Hexacopter Build Kit</b>                      - Battery No, I don't need it                      - Battery Charger No, I don't need it                      - Cable Pack No, I don't need it                      - Camera Gimbal No, I don't need it                      - Flight Controller No, I don't need it                      - FPV Monitor No, I have my own FPV monitor                      - GoPro Camera Cable No, I don't need it                      - Mounting Rail No, I don't need it                      - Power Combo No, I'll pick my own Motors + ESC + Props                      - RC Controller No, I don't need it                      - Video Transmitter No, I don't need it</p>	1	USD \$399.00
<input type="checkbox"/>	 <p><b>TL8X017 Battery Mounting Plate</b></p>	1	USD \$28.90
<input type="checkbox"/>	 <p><b>TL8X007 Battery Plate Mount w/ Damper</b></p>	1	USD \$12.90
<input type="checkbox"/>	 <p><b>TL96014 Mounting Rail for T810 / T960</b></p>	1	USD \$24.90
<input type="checkbox"/>	 <p><b>Airy Foldable GPS Mount (Black)</b></p>	1	USD \$12.90

Calculate Shipping Cost

Sub-Total: USD \$478.60



### Shipping Cost

Ship to:  
United States

2 Shipping Methods Available

**Airmail** (Please use **Express Shipment** if your order contains battery)  
 Weight: 3,51 KG.  
 Delivery Time: 8-16 Days  
 USD \$60,14

**Express**  
 Weight: 3,51 KG.  
 Delivery Time: 3-4 Days  
 USD \$90,85

### Currencies

US Dollar

### Bestsellers

- 01   
T960 Tarot T960 Hexacopter Build Kit
- 02   
X8 Tarot X8 Octocopter Build Kit
- 03 

## Cotización piezas

Emilia Lombardi Franco <emilia@zolid.pe>  
Para: paul.avalos@pucp.pe

27 de agosto de 2019, 14:53

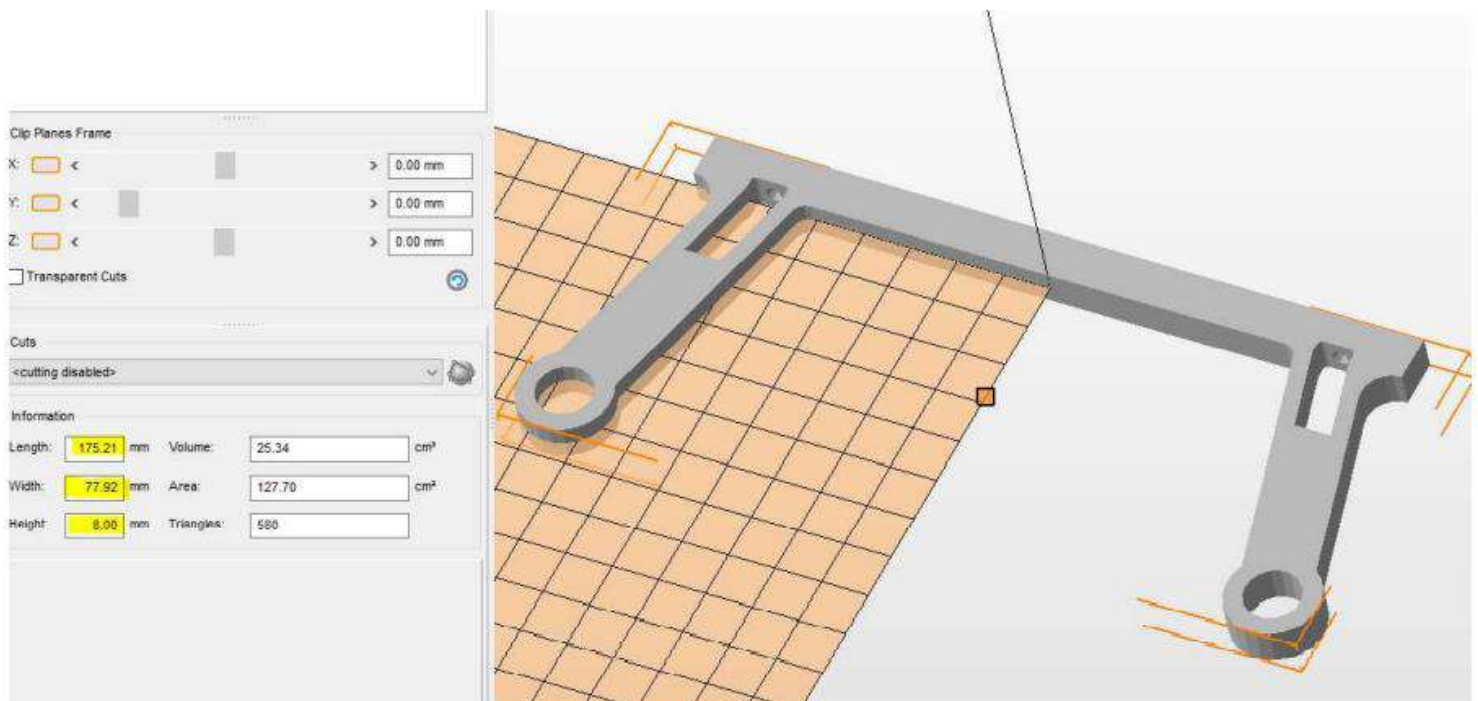
Hola Paul,

Tenemos un material que se llama PC ABS, es una combinación de Policarbonato y ABS. También tenemos PLA Tough, Sería una combinación entre PLA y ABS. Para el tamaño de la carga que mencionas creo que podría funcionar.

Las cotizaciones serían:

En PCABS  
Tapa Frontal: S/ 214.76 inc IG  
Sujetador Dron: S/ 85.90 inc IG

En PLA Tough  
Tapa Frontal: S/ 135.46 inc IG  
Sujetador Dron: S/ 49.56 inc IG



Saludos



EMILIA LOMBARDI  
Diseñadora Industrial

☎ 994 313 633

zolid.pe



FECHA:	19/08/2021
COTIZACIÓN N°:	2021-0020
TIEMPO DE FABRICACIÓN:	4 días laborales
VÁLIDO HASTA:	26/08/2021

### CLIENTE

Nombre: Paul Avalos  
 E-mail: paul.avalos@puccp.pe  
 Dirección: -  
 Ciudad: Lima  
 Teléfono: 997911425

	DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACIONES	CANT.	PRECIO UNITARIO	PRECIO
1	<b>Acople placa Kore MIR.stl</b> 27.0x10.0x7.0 mm	Impresión 3D Material: PLA (FDM) Color: Sin preferencia 20% relleno Calidad estándar - 0.2mm	1	S/1.57	S/1.57
2	<b>Acople placa Kore.stl</b> 27.0x10.0x7.0 mm	Impresión 3D Material: PLA (FDM) Color: Sin preferencia 20% relleno Calidad estándar - 0.2mm	1	S/1.57	S/1.57
3	<b>acopletraserolateral.stl</b> 19.3x14.3x10.0 mm	Impresión 3D Material: PLA (FDM) Color: Sin preferencia 20% relleno Calidad estándar - 0.2mm	1	S/1.52	S/1.52
4	<b>covertesis2.stl</b> 247.8x166.0x56.0 mm	Impresión 3D Material: PLA (FDM) Color: Sin preferencia 20% relleno Calidad estándar - 0.2mm	1	S/129.96	S/129.96
5	<b>Soporte inferior de GPS.stl</b> 29.0x29.0x3.0 mm	Impresión 3D Material: PLA (FDM) Color: Sin preferencia 20% relleno Calidad estándar - 0.2mm	1	S/1.88	S/1.88
6	<b>Soporte XT60 inferior.stl</b> 50.1x10.0x7.5 mm	Impresión 3D Material: PLA (FDM) Color: Sin preferencia 20% relleno Calidad estándar - 0.2mm	1	S/2.91	S/2.91
7	<b>Soporte XT60 inferior_MIR.stl</b> 50.1x10.0x7.5 mm	Impresión 3D Material: PLA (FDM) Color: Sin preferencia 20% relleno Calidad estándar - 0.2mm	1	S/2.91	S/2.91
8	<b>Soporte XT60 Superior.stl</b> 30.1x6.9x10.0 mm	Impresión 3D Material: PLA (FDM) Color: Sin preferencia 20% relleno Calidad estándar - 0.2mm	1	S/1.68	S/1.68
9	<b>lapafrental.stl</b> 109.5x119.7x24.2 mm	Impresión 3D Material: PLA (FDM) Color: Sin preferencia 20% relleno Calidad estándar - 0.2mm	1	S/21.50	S/21.50
10	<b>Unión puerta baterías.stl</b> 52.5x25.0x10.0 mm	Impresión 3D Material: PLA (FDM) Color: Sin preferencia 20% relleno Calidad estándar - 0.2mm	1	S/4.36	S/4.36



11	<b>Unión tope baterías.stl</b> 30.2x19.5x7.0 mm	Impresión 3D Material: PLA (FDM) Color: Sin preferencia 20% relleno Calidad estándar - 0.2mm	1	S/2.41	S/2.41
12	<b>Unión tope baterías_MIR.stl</b> 30.2x19.5x7.0 mm	Impresión 3D Material: PLA (FDM) Color: Sin preferencia 20% relleno Calidad estándar - 0.2mm	1	S/2.41	S/2.41
13	<b>SujetadorDron_SistLIDAR.stl</b> 30.2x19.5x7.0 mm	Impresión 3D Material: PETG (FDM) Color: Sin preferencia 20% relleno Calidad estándar - 0.2mm	1	S/10.78	S/10.78
<b>Envío</b>		Recojo en local			S/0.00

**Subtotal** S/185.46

**IGV (18%)** S/33.38

**Total** **S/218.84**

#### TÉRMINOS Y CONDICIONES

##### 1. Forma de pago

Efectivo, tarjeta, depósito o transferencia bancaria  
50% adelantado y 50% contraentrega

##### 2. Depósito o transferencia bancaria

###### Banco de Crédito del Perú

Cuenta Ahorro Soles: 193-93691062-0-34

Titular: Nelson Sanchez

###### Scotiabank

Cuenta Ahorro Soles: 018-0508343

Titular: Nelson Sanchez

3. Comenzaremos la fabricación el mismo día en que se realiza el pedido, de lunes a viernes antes de las 3 p.m. Si el pedido se realiza después de las 3 p.m. o durante un fin de semana, la fabricación comenzará el siguiente día laboral.

4. Al enviar un pago se considera un pedido como realizado y que el cliente acepta las especificaciones de la cotización (N°2021-0020)

Si usted tiene alguna duda sobre esta cotización, por favor, póngase en contacto con nosotros  
Lagom 3D Solutions | WhatsApp: +51 999 029 152 | E-mail: hola@lagom3d.com



YellowScan Inc.  
 254 South 600 East  
 #105  
 Salt Lake City UT 84102  
 United States

**Incoterms :**  
**DDP**

USGS - U.S. Geological Survey, Mark Bauer  
 Reston 20192

**Invoicing and shipping address:**

USGS - U.S. Geological Survey, Mark Bauer  
 Reston 20192  
 ☎ 3032361247

## Quotation # YS774

**Quotation Date:**  
 17/05/2019

**Validity Date:**  
 30/06/2019

**Salesperson:**  
 Cliff Holle

**Payment Terms:**  
 50% on order, 50% prior  
 shipping

**End Customer:**

USGS - U.S. Geological  
 Survey, Mark Bauer

Description	Quantity	Unit Price	Taxes	Price
<b>• Material</b>				
[YSSVKIT15] YellowScan® Surveyor Integrated System - Multi-echo Velodyne Puck Laser Scanner - Calibrated APX-15 GNSS-inertial board - GNSS antenna and cable - Integrated battery (+ one spare) - Battery charger and data cables - 3 x connectors for external sensor/camera - 1 year warranty - 1.6 kg (battery included) - 1.5 h autonomy HS Code: 9015 80 4000	1.000 Unit(s)	44,000.00		\$ 44,000.00
[YABKTDJIM] Mounting Bracket for DJI M600 - YellowScan custom-made mounting bracket - Rugged design and lightweight aluminium - Wire rope vibration isolator system - Quick release HS Code: 9015 90 0090	1.000 Unit(s)	2,900.00		\$ 2,900.00

**Subtotal: \$ 46,900.00**



THE FUTURE OF POSSIBLE



AUTHORIZED RETAIL STORE  
**ALL4DRONES**  
PLAZA NORTE - SURCO - ASIA

EMPRESA: PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU EMITIDA: 29-04-2019 | VENCE: 14-05-2019  
RUC: 20155945880 COTIZACION ID: 4859  
MONEDA: DÓLARES T.C.: 3.400 ATENDIDO POR: ALVARO SALAZAR

FECHA 29-04-2019  
**ALL4RACE S.A.C.**  
RUC: 20601786134

ITEM	UNID.	IMAGEN	SKU	DESCRIPCION	PRECIO NORMAL	DSCTO	PRECIO OFERTA	VENTA
1	1		M210V2	MATRICE 210 V2	\$US 6,673.034	%5.28	\$US 6,605.085	\$US 6,605.085
2	4		TB55	BATERIA-INTELIGENTE-M200-SERIES-TB55	\$US 434.746	%0.00	\$US 434.746	\$US 1,738.983

**BBVA CONTINENTAL**

- CTA DOLARES 0011-05210100011320
- RECAUDO: DJI ME 9215
- CTA SOLES 0011-0999-01-00002798
- RECAUDO: DJI MN 9214

**BBVA CONTINENTAL INTERBANCARIAS**

- CCI DOLARES 011-521-000100011320-27
- CCI SOLES 011-999-000100002798-05

SUB-TOTAL:	\$US 8,344.07
IGV:	\$US 1,501.93
<b>TOTAL:</b>	<b>\$US 9,846.00</b>

**NUESTROS PRINCIPALES CLIENTES**



LIMA: AV. CAMINOS DEL INCA 221, SANTIAGO DE SURCO, 15038, LIMA, PERÚ +51 (1) 642 9623  
PLAZA NORTE: AV. ALFREDO MENDIOLA 1400 C.C PLAZA NORTE TIENDA N260 - N262 - INDEPENDENCIA +51 (1) 641 9576  
WWW.A4D.PE

## Carrito > Detalles del Pago > Pedido Completado

Los envíos se realizarán a PORTES PAGADOS en la Península y Baleares, para compras superiores a 100€ y paquetes de hasta 5 kg. Portes pagados a las Islas Canarias para compras superiores a 295 euros. Envíos internacionales, consultar. Más información sobre nuestras condiciones generales en: [Condiciones generales](#)

Producto	Precio	Cantidad	Subtotal
  <p>DJI Zenmuse L1 Lidar SKU: DJI.L1</p>	10.351,00€	- 1 +	10.351,00€

[← Seguir comprando](#)
[Actualizar carrito](#)



### Total del carrito


Subtotal	10.351,00€
Envío	Los costes de envío se calculan al finalizar compra.
<b>Total</b>	<b>10.351,00€</b>


[Sign In](#) | [Sign Up](#) | [United States \(English / \\$ USD\)](#)

## My Shopping Cart

Log in to synchronize the items in your shopping cart. [Log In Now >](#)

Item	Item Price	Quantity	Price
<input checked="" type="checkbox"/>  <p><b>Matrice 300 RTK</b> Estimated shipping date: 09/20/2021 (UTC-5)</p>	USD \$13,200	- 1 +	USD \$13,200 


 Enjoy a 1% rebate on every purchase in the form of DJI Credit - the more you buy, the more you earn.

[Learn more about DJI Credit >](#)

 Have a Coupon Code?

Proceed to checkout to use Coupons and DJI Credits.

**CART SUBTOTAL: USD \$13,200**

Tax: Calculated at checkout 

Shipping: Free

Financing available through  on orders over USD \$100

[Continue Shopping](#)

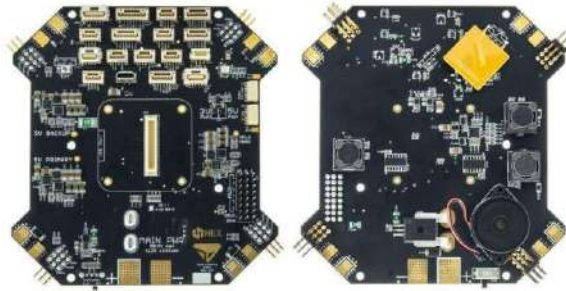
[Check Out](#)

## H. DATASHEETS





## Kore v1.3.1 and Newer



## Introduction

The primary purpose of the Kore Multi-Rotor Carrier Board for the Pixhawk Cube is to reduce the rat's nest of wires and modules typically associated with a multi-rotor assembly. It provides built-in power distribution, redundant power supplies for the autopilot, built-in fail-over power selection, a separate payload power regulator, and many other features.

While this carrier board is geometrically optimized for quadcopters, X8 configurations, and octocopters, it provides connections for every function of the Pixhawk autopilot. Therefore, this board can be integrated into any vehicle type that is supported by the Pixhawk Cube, including all other multi-rotor frame types, plane, rover, sub, and antenna tracker.

## Features At-A-Glance

- Up to 12-cell Lithium battery (50.4V)
- 140A continuous current with 280A surges
- Power and signal for ESCs conveniently located in corners
- 12V navigation light power available at each corner
- Built-in power distribution
- Built-in voltage and current sense
- Redundant power supplies for flight critical components
- Payload connectors with resettable fuses for 5V, 12V, and direct battery power
- Good power and error indicator lights
- Built-in buzzer with volume control
- Connectors for every function of Pixhawk Cube
- Easily accessible PWM voltage level selector (3.3V or 5V)
- Resistant to ground bounce on PWM signal
- Connector-compatible with standard ProficNC carrier board
- Connector ports for debugging IO and FMU processors

## Power

The system battery should be connected directly to the large pads labeled "MAIN PWR". Pads are available on both top and bottom of the board. No external power brick is necessary, as voltage and current sense is done directly on the board. Pay special attention to the polarity symbols, as there is no reverse protection. Batteries up to 12S, or 50.4V, may be used.

The power distribution system is rated to supply 140A to the ESCs when exposed to stagnant air at room temperature, with surges up to 280A. If the board will have continuous airflow across it (exposed to prop wash during flight), significantly higher currents may be sourced. Alternatively, if the board will be mounted within an enclosure or if flown on a very hot day, it may be necessary to de-rate the current capacity. For users that expect to operate their vehicle continuously at high currents (over 100A), it is recommended that ground testing is done with a temperature gun prior to flight. The surface of the carrier board should never exceed 100°C.

In order to accurately read the voltage and current using the built-in sensors on the board, the following parameters should be set in the Pixhawk Cube:

Parameter	Value
BATT_AMP_OFFSET	0.45
BATT_AMP_PERVOLT	50
BATT_CURR_PIN	3
BATT_MONITOR	4

Parameter	Value
BATT_VOLT_MULT	15.3
BATT_VOLT_PIN	2

To set these parameters in mission planner, navigate to the **Config/Tuning -> Full Parameter List** Page.

- **Note:** If you are using a fresh installation of mission planner you will have to enable this page by setting **Config/Tuning->Planner->Layout** to **"Advanced"**

You may either type in these parameters manually, or download this parameter file (/assets/params/Multirotor\_PCB\_Power.param) and upload via mission planner. After inputting via either method, be sure to click "Write Params" to save the parameters in the Cube.

## General Use Payload Power Connectors

There are three general use payload power connectors to source power for external devices and payloads. They are labeled as J1, J14, and J19 in white ink on the board. Molex brand Clik-Mate connectors are used for the power connectors.

Reference	Voltage	Max Current	Pinout	Mating Part Number
J1	Battery Voltage	3A	1-3: Battery, 4-6: GND	Molex 5023800600
J14	5.3V	1.5A	1-2: 5.3V, 3-4: GND	Molex 5023800400
J19	12.2V	2A	1-2: 12.2V, 3-5: GND	Molex 5023800500

The battery voltage and 5.3V power connectors are independently fused with resettable fuses. If a short occurs, the fuse will cut power to the offending connector. If this occurs, identify the short and remove it. Wait a couple of minutes and the fuse should reset. **The fuses may not react instantly and damage may occur to your carrier board if an external device has a short.** SpektreWorks is not responsible for damage caused by an external device.

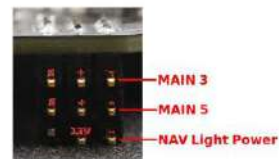
The 12.2V power connector is **not** internally fused. It is highly recommended that the user fuse any external loads to prevent excessive current from damaging the carrier board.

## ESC Connections

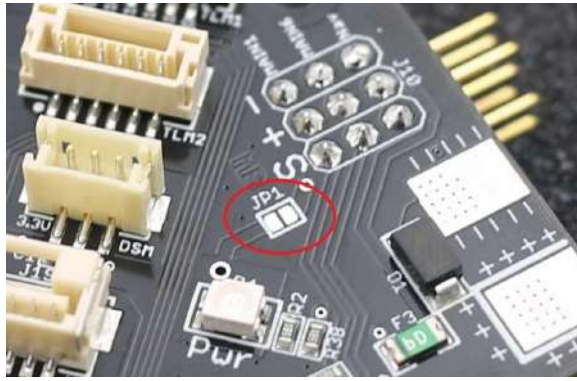
At each corner of the board are solder pads for ESC power. The power wires from your ESCs may be soldered to the pads on the top or bottom surface.

Next to the ESC power pads are 3x3 0.1" header pins. The bottom row of pins provides power for navigation lights. The center pin is 12V and the right pin is ground. The left pin is unused and should be removed. **Make sure you do not plug in an ESC cable into the bottom row of this connector.**

The top two rows of pins are for the ESC PWM signal. These two rows correspond to two of the "Main Out" connections of the Pixhawk Cube. The rows are labeled in white ink on the board. The "S", "+", and "-" correspond to the PWM signal, power, and ground, respectively. All eight Main Out connections are available in the four corners of the board. It helps to look at the header pins from the side to see which row corresponds to which label.



By default, the board does not supply power to the ESC PWM connections. However, if no BEC is available to power the ESCs, the user may bridge JP1 with solder to provide 5.3V from the board to the ESCs. **If JP1 is bridged with solder, do not plug a BEC into the ESC connections.**



Most commercially available ESCs expect 3.3V PWM signals from the autopilot to control the motor. This is the default setting of a Pixhawk Cube. If, however, you require 5V PWM signals, there is a convenient switch for this on the carrier board. The switch is located on the right side of the board and is labeled "3V PWM" and "5V PWM". Use a pen or a sharp tool to slide the switch to the desired voltage.



## Aux Pins

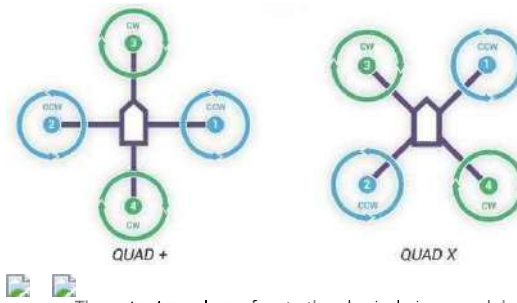
Additionally, the six "Aux Out" connections are available as part of a 3x8 group of headers on the right side of the board. Refer to the labels in white ink to identify each pin. By default, the board does not supply power to the center pins of the Aux channels. An external power supply connected to these pins will supply all of the Aux pins, but will be isolated from the rest of the board. If desired, the board can supply 5.3V to the Aux rail by bridging the pads of JP2 with solder. It is recommended to only use on-board power for low-noise and low-power devices. It is not recommended to use servo motors with on-board power. **If JP2 is bridged with solder, do not connect an external power supply to the Aux pins.**



## Motor Pin Assignments

The default Motor PWM pin arrangement of the carrier board was chosen for easy integration with a standard quadcopter. For other vehicle or frame types (including X8, Hex, Octo, etc), it is necessary to re-map the motor outputs to the correct corners of the board. This is possible for ArduCopter Firmware v3.5.0+.

When re-mapping PWM outputs with Ardupilot, it is important to distinguish the **motor number** from the **output number**. The **motor number** refers to the physical location of the motor, and does not change. The following graphics show the motor numbers used by the ArduCopter firmware.



The **output number** refers to the physical pin on each board that each motor is assigned to. These pins are on the corners of the board and are numbered "MAIN1" through "MAIN8".

Any motor number can be re-mapped to any output. This is done by setting the `SERVORX_FUNCTION` (where x is the output number) to the appropriate value given in the table below.

Motor Number Desired	SERVORX_FUNCTION Value
1	33
2	34
3	35
4	36
5	37
6	38
7	39
8	40

For example, if I wanted to plug Motor 3 into the MAIN5 connector on the board, I would set the `SERVOR5_FUNCTION` parameter to 35.

## Hex Setup

The following procedure may be used to configure the board for a hexacopter:

- Flash the cube with ArduCopter 3.5.0 or later.
- Connect to the cube in mission planner and navigate to the **Initial Setup -> Mandatory Hardware -> Frame Type** page.
- Set the `FRAME_CLASS` to Hexa
- Reboot the Pixhawk Cube
- Navigate to the **Config/Tuning -> Full Parameter List** Page.
  - Note:** If you are using a fresh installation of mission planner you will have to enable this page by setting **Config/Tuning->Planner->Layout** to "Advanced"
- Set the following parameter values:
  - `SERVO1_FUNCTION=37`
  - `SERVO2_FUNCTION=38`
  - `SERVO3_FUNCTION=35`
  - `SERVO4_FUNCTION=36`
  - `SERVO5_FUNCTION=34`
  - `SERVO6_FUNCTION=33`
  - You may either type in these parameters manually, or download this parameter file (`/assets/params/Multirotor_PCB_HEX.param`) and upload via mission planner. After inputting via either method, be sure to click "Write Params" to save the parameters in the Cube.
- Connect your ESCs according to the following table using the motor numbers from the "Hexa X" picture above

Motor Number	Output
1	MAIN6
2	MAIN5
3	MAIN3
4	MAIN4
5	MAIN1
6	MAIN2

## Octa Setup

The following procedure may be used to configure the board for a flat octacopter:

- Flash the cube with ArduCopter 3.5.0 or later.
- Connect to the cube in mission planner and navigate to the **Initial Setup -> Mandatory Hardware -> Frame Type** page.
- Set the `FRAME_CLASS` to Octa
- Reboot the Pixhawk Cube
- Navigate to the **Config/Tuning -> Full Parameter List** Page.
  - Note:** If you are using a fresh installation of mission planner you will have to enable this page by setting **Config/Tuning->Planner->Layout** to "Advanced"



6. Set the following parameter values:
  - SERVO1\_FUNCTION=33
  - SERVO2\_FUNCTION=34
  - SERVO3\_FUNCTION=39
  - SERVO4\_FUNCTION=36
  - SERVO5\_FUNCTION=37
  - SERVO6\_FUNCTION=35
  - SERVO7\_FUNCTION=40
  - SERVO8\_FUNCTION=38
  - You may either type in these parameters manually, or download this parameter file (/assets/params/Multicopter\_PCB\_OCTA.param) and upload via mission planner. After inputting via either method, be sure to click "Write Params" to save the parameters in the Cube.
7. Connect your ESCs according to the following table using the motor numbers from the "Octo X" picture above

Motor Number	Output
1	MAIN1
2	MAIN2
3	MAIN6
4	MAIN4
5	MAIN5
6	MAIN8
7	MAIN3
8	MAIN7

## X-8 Setup

The following procedure may be used to configure the board for an X-8 (OctaQuad):

1. Flash the cube with ArduCopter 3.5.0 or later.
2. Connect to the cube in mission planner and navigate to the **Initial Setup -> Mandatory Hardware -> Frame Type** page.
3. Set the FRAME\_CLASS to OctaQuad
4. Reboot the Pixhawk Cube
5. Navigate to the **Config/Tuning -> Full Parameter List** Page.
  - **Note:** If you are using a fresh installation of mission planner you will have to enable this page by setting **Config/Tuning->Planner->Layout** to "Advanced"
6. Set the following parameter values:
  - SERVO2\_FUNCTION=35
  - SERVO3\_FUNCTION=34
  - You may either type in these parameters manually, or download this parameter file (/assets/params/Multicopter\_PCB\_X8.param) and upload via mission planner. After inputting via either method, be sure to click "Write Params" to save the parameters in the Cube.
7. Connect your ESCs according to the following table using the motor numbers from the "Octo X" picture above

Motor Number	Output
1	MAIN1
2	MAIN3
3	MAIN2
4	MAIN4
5	MAIN5
6	MAIN6
7	MAIN7
8	MAIN8

## Digital and Analog Connectors

The SpektreWorks carrier board comes with all of the same JST-brand receptacles as the standard ProfiCNC carrier board with a few exceptions. The tables below describe the pin-out of each JST connector.

### Telemetry 1

Name	Label	Pins
TLM1	J4	1. 5V
		2. Serial 1 TX
		3. Serial 1 RX
		4. Serial 1 CTS



Name	Label	Pins
		5. Serial 1 RTS
		6. GND

## Telemetry 2

Name	Label	Pins
TLM2	J8	1. 5V
		2. Serial 2 TX
		3. Serial 2 RX
		4. Serial 2 CTS
		5. Serial 2 RTS
		6. GND

## GPS1 (SER3/I2C1)

Name	Label	Pins
SER3/I2C1	J2	1. 5V
		2. Serial 3 TX
		3. Serial 3 RX
		4. SCL1
		5. SDA1
		6. Safety Button
		7. Safety LED
		8. GND

## GPS2 (SER4/I2C2)

Name	Label	Pins
SER4/ I2C2	J18	1. 5V
		2. Serial 4 TX
		3. Serial 4 RX
		4. SCL2
		5. SDA2
		6. GND

## I2C1

Name	Label	Pins
I2C1	J3	1. 5V
		2. SCL1
		3. SDA1
		4. GND

## I2C2

Name	Label	Pins
I2C2	J7	1. 5V
	J15	2. SCL1
		3. SDA1
		4. GND

## CAN1

Name	Label	Pins
CAN1	J16	1. 5V
		2. CAN1_H
		3. CAN1_L
		GND
		4.

## CAN2

Name	Label	Pins
CAN2	J6	1. 5V
		2. CAN2_H
		3. CAN2_L
		4. GND

## SPI

Name	Label	Pins
SPI	J5	1. 5V
		2. SCK
		3. MISO
		4. MOSI
		5. ~NSS
		6. DRDY
		7. GND

Note: The SPI port will likely be removed in future versions of this carrier board.

## ADC

Name	Label	Pins
ADC	J13	1. 5V
		2. ADC_IN
		3. NC
		4. GND

The ADC\_IN input voltage is divided by two using a symmetric 10kΩ voltage divider on the board. Do not exceed analog voltages above 6.6V on this pin.

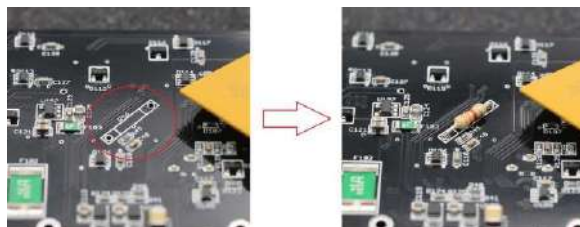
## BATT2 Sense

Name	Label	Pins
BATT2 SENSE	J17	1. 5V
		2. BATT2_Volt_Sense
		3. BATT2_Current_Sense
		4. GND

In order to use the BATT2\_Volt\_Sense pin, a user-selected resistor must be soldered to the board. Use the following equation to select the resistor value:

$$R = \frac{3030 \cdot V_{(max)} - 10000}{V_{(max)} - 10000}$$

Where  $V_{max}$  is the maximum voltage expected on this pin.  $R$  will be the resistance in Ohms. Once this value is calculated, a common through hole style resistor should be soldered to the space labeled R46 on the bottom surface of the board.



In order for the Pixhawk Cube to accurately read the secondary voltage, the BATT2\_VOLT\_MULT parameter must be set. It can be calculated using the following equation:

$$BATT2\_VOLT\_MULT = \frac{V_{(max)}}{3.3}$$

## Debug

Two Debug connectors are provided for developer use. One debug header is provided for each process on the Pixhawk 2.1 Cube.

Connector is JST brand and mates with SHR-06V-S-B or SHR-06V-S

Name	Label	Pins
SER5/FMU DBG	J20	1. 3.3V
		2. Serial 5 TX
		3. Serial 5 RX
		4. FMU-SWDIO
		5. FMU-SWCLK
		6. GND

Name	Label	Pins
IO DBG	J21	1. 3.3V
		2. IO-SERIAL1_TX
		3. DSM/IO-SERIAL1_RX
		4. IO-SWDIO
		5. IO-SWCLK
		6. GND

## Indicator Lights

The carrier board has two indicator lights on the top surface labeled “Pwr” and “Err”.

**Pwr Light:** There are two independent 5V regulators that provide power to the autopilot and other peripherals. This light will shine blue if and only if both regulators are working. **Do not fly if this light is not blue.**

**Err Light:** If one of the two regulators has failed, this light will shine red. **Do not fly if this light is red.**

Indicator Light Logic	Err Light		
	Lit	Unlit	
Pwr Light	Lit	<b>Do Not Fly</b>	Ok To Fly
	Unlit	<b>Do Not Fly</b>	<b>Do Not Fly</b>

## Buzzer and Volume Control

The carrier board comes with a piezoelectric buzzer mounted on the underside of the board. No external buzzer is required. For safety reasons, do not mount the board on your vehicle in a manner that causes the buzzer to be muffled.

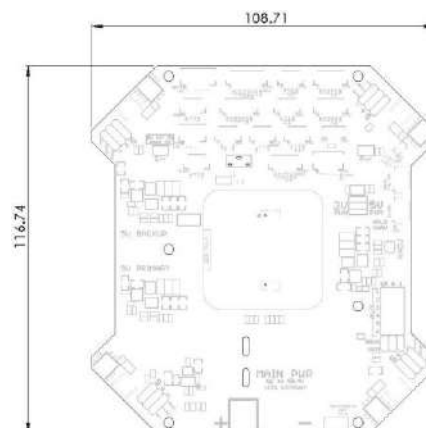
The carrier board features a volume control switch located at the front edge of the board. When the switch is pushed to the right, the buzzer will be at full, ear-splitting volume. When pushed to the left, the volume is reduced. For safety reasons, never fly with the switch at the lower volume.

## Mechanical Information

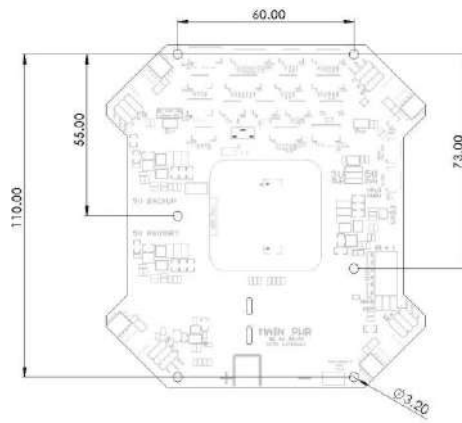
### Mass

79g without Cube 108g with Cube

### Outer Dimensions



### Mounting Hole Locations



## Errata

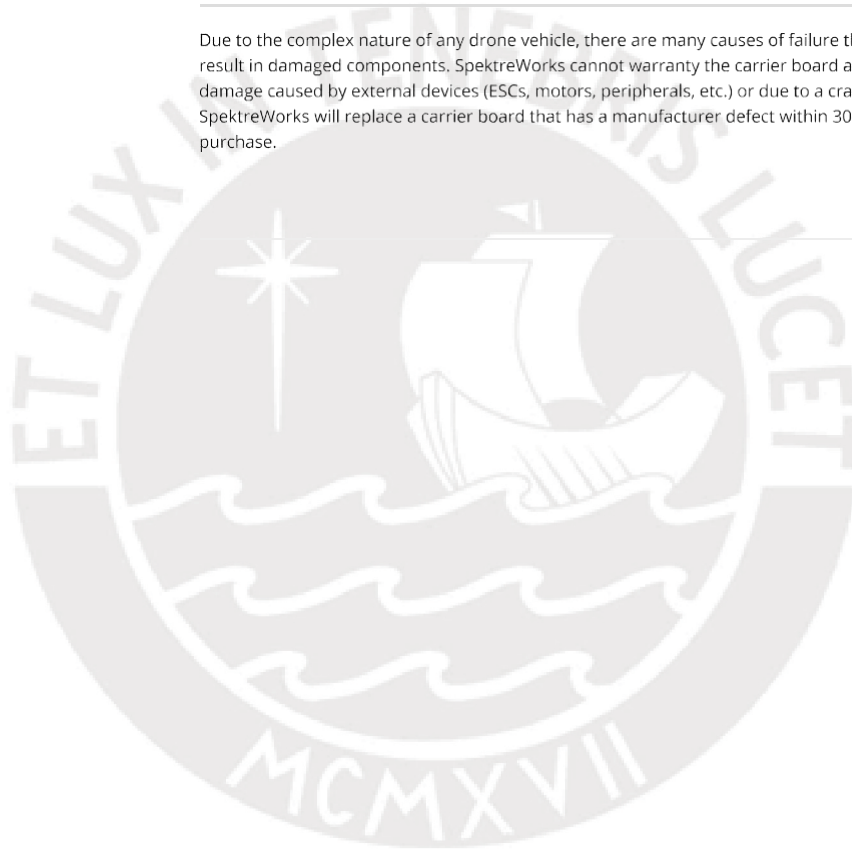
---

The pins on connector J3 should be labeled "SCL1" and "SDA1", not "SCL2" and "SDA2". The label "I2C1" next to the connector is correct.

## Disclaimer

---

Due to the complex nature of any drone vehicle, there are many causes of failure that may result in damaged components. SpektreWorks cannot warranty the carrier board against damage caused by external devices (ESCs, motors, peripherals, etc.) or due to a crash. SpektreWorks will replace a carrier board that has a manufacturer defect within 30 days of purchase.



## FrSky 2.4GHz ACCST X8R Manual

### Introduction

Thank you for purchasing FrSky X8R 8/16ch full duplex telemetry receiver. In order to fully enjoy the benefits of this system, please read the instruction manual carefully and set up the device as described below.

### Overview



Green LED	Red LED	Status
ON	Flashing	Binding
Flashing	OFF	Normal
OFF	Flashing	Signal Lost
Flash Twice	OFF	Failsafe Set

### Specifications

Dimension: 46.25x26.6x14.2mm (L x W x H)

Weight: 12.1g

Number of Channels: 16CH (1~8ch from conventional channel outputs, 1~16ch from SBUS port or combine two X8R to become a 16 channels receiver)

With RSSI output: analog voltage output (0~3.3V)

Operating Voltage Range: 4.0~10V

Operating Current: 100mA@5V

Operating Range: full range (>1.5km)

Firmware Upgradeable

Compatibility: FrSky DFT/DJT/DHT/DHT-U in D\_mode

FrSky Taranis X9D/XJT in D8 mode

FrSky Taranis X9D/XJT in D16 mode

### What's New!

- More number of channels: 1~8ch from conventional channel outputs, 1~16ch from SBUS port, or combine two X8R to become a 16 channels receiver.
- Parallel two X8R to become a 16 channel receiver.
- With RSSI output: analog voltage output (0~3.3V)
- Smart Port enabled, realizing two-way full duplex transmission.



Smart Port (S. Port) is a signal wire full duplex digital transmission interface developed by FrSky Electronic Co., Ltd. All products enabled with Smart Port (including XJT module, X8R receiver, new hub-less sensors, new Smart Dashboard, etc), serial port user data and other user input/output devices can be connected without limitations for numbers or sequences at a high transmission speed.

### Binding Procedure

Binding is the process of uniquely associating a particular receiver to a transmitter module. A transmitter module can be bound to multiple receivers (not to be used simultaneously). A receiver can only be bound to one transmitter module.

Follow the steps below to finish the binding procedure.

1. Turn on the transmitter while holding the F/S button on the module (please refer to the module instruction manual for switch positions). Release the button. The RED LED on the XJT module will flash, indicating the transmitter is ready to bind to the receiver.
2. Set X8R receiver in bind mode (**see below chart for details**), The RED LED on the receiver will flash, indicating the binding process is completed.
3. Turn off both the transmitter and the receiver.
4. Turn on the transmitter and connect the battery. The GREEN LED on the receiver indicates the receiver is receiving commands from the transmitter. The receiver/transmitter module binding will not have to be repeated, unless one of the two is replaced.

**Note:** After binding procedure is completed, recycle the power and check if the receiver is really under control by linked transmitter.

### Receiver Mode and Binding Operation:

Mode of X8R	Telemetry	Channel Output	Receiver Mode select & Bind Operation	
			Jumped before Bind (signal pins)	F/S Button
Mode 1(D8)	√	CH1~CH8	CH7&CH8	connect the battery to any available channel output (no need to hold the F/S button on X8R)
Mode 2(D16)	x	CH1~CH8	CH3&CH4	connect the battery to any available channel output while holding the F/S button on X8R
Mode 3(D16)	x	CH9~CH16	CH1&CH2	
Mode 4(D16)	√	CH9~CH16	CH1&CH2, CH3&CH4	
Mode 5(D16)	√	CH1~CH8	No Jumper	

When combine two X8R to become a 16CH receiver, you need to disable telemetry on either one of the two X8R's as above chart.

### Range Check

A pre-flight range check should be done before each flying session. Reflections from nearby metal fences, concrete buildings or trees can cause loss of signal both during range check and during the flight. Follow the steps below to perform the range check.

1. Place the model at least 60cm (two feet) above non-metal contaminated ground (e.g. on a wooden bench).
2. The receiver antennas should be separated in the model, and do not touch the ground.
3. The module antenna should be in a vertical position.
4. Turn on the transmitter and the receiver, press the F/S button on the XJT module for 4 seconds to enter range check mode, the RED LED will be off, GREEN LED will flash rapidly. The effective distance will be decreased to 1/30 (at least 30m).
5. Walk away from the model while simultaneously operating the controls on the transmitter to confirm all controls' normal operation.
6. Press the F/S button on the XJT module for 1~2 seconds to exit range check mode, RED LED will be back on, indicating normal operation is back.

### Failsafe

Failsafe is a useful feature in which all controls move to a preset position whenever the control signal is lost for a period of time. X8R supports failsafe function for all channels. Follow the steps below to set failsafe positions for each channel:

1. Bind the receiver first and turn on both the transmitter and the receiver;
2. Move the controls to the desired failsafe position for all channels;
3. Press briefly the F/S button on the receiver (less than 1 second). The Green LED will flash rapidly, indicating the failsafe position has been set in the receiver.

To disable the failsafe function, re-bind the receiver.

Failsafe is recommended to set when system is firstly used, or receiver has been re-bound. Follow steps below to set failsafe.

Option-1. How to set failsafe to a user-determined state on lost signal:

- 1) Bind the receiver to the transmitter module first and turn on both the transmitter and the receiver;
- 2) Move the controls to desired failsafe position for all channels;
- 3) Press briefly the F/S button on the receiver and you are done.

Option-2. How to set failsafe for no pulses on lost signal:

- 1) Turn off the transmitter, power on the receiver, and then press briefly the F/S button on the receiver.

**Note:** If failsafe is not set, failsafe default will hold last position before signal is lost. In this case, there exists risk that your model will fly away or cause injury.

For more details, please check the complete manual for X8R from [www.frsky-rc.com](http://www.frsky-rc.com) - Download -Manual. Should you have other questions, please send e-mails to FrSky technical support [sales4tech@gmail.com](mailto:sales4tech@gmail.com).

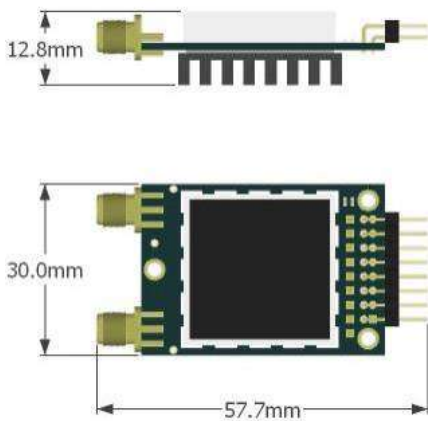




# RFD900x Radio Modem Data Sheet

## 902-928MHz frequency band

Product Specifications and Performance  
Flash Programmer User Manual



## Features

- Out of the box RF communications.
- Air data rate speeds of up to 500kbps
- Diversity antenna support
- Weight of 14g
- Outdoor RF line-of-site range of 40km or more depending on antenna configuration

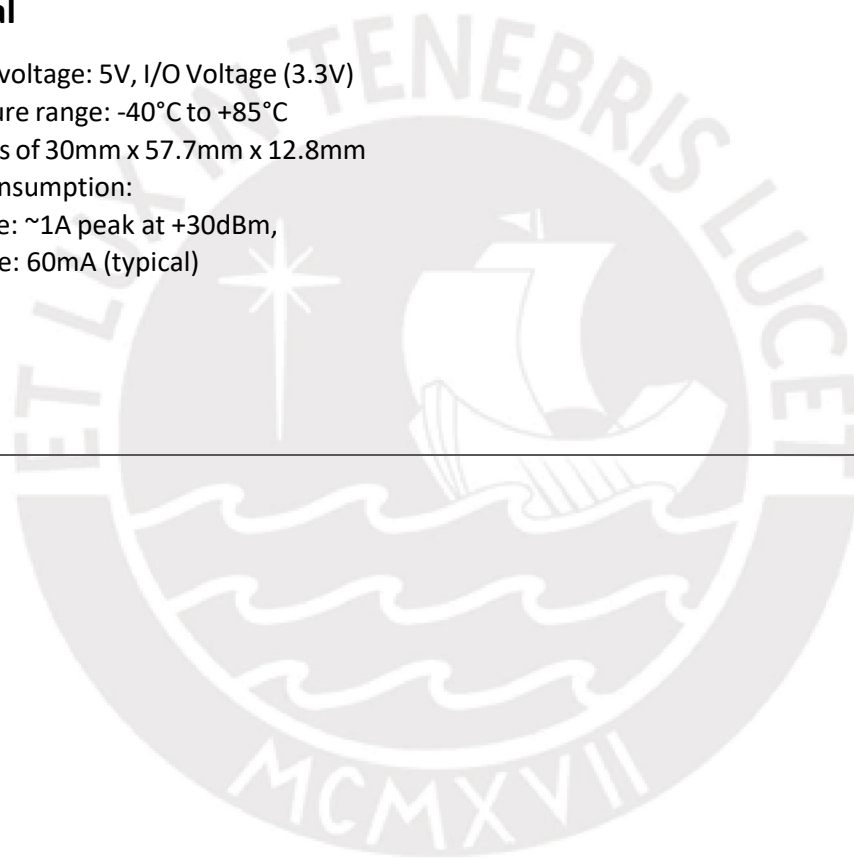
## Applications

- Telemetry data
- UAV control
- Remote weather station
- House automation
- Long range RC

## Operational

- Operating voltage: 5V, I/O Voltage (3.3V)
- Temperature range: -40°C to +85°C
- Dimensions of 30mm x 57.7mm x 12.8mm
- Current consumption:
  - TX mode: ~1A peak at +30dBm,
  - RX mode: 60mA (typical)

RFDesign Pty Ltd  
7/1 Stockwell Place  
Archerfield, QLD 4108  
rfdesign.com.au



## Table of contents

---

1Key features .....	4
2Specifications .....	5
3Output power levels.....	6
4Performance characteristics .....	7
5Pin signals and layout.....	8
6Physical dimensions .....	9
7Software/GCS Support .....	10
8Diversity .....	11
8.1 Spatial diversity.....	11
8.2 Polarisation diversity.....	11
9Network options .....	12
9.1 Simple pair (P2P).....	12
9.2 Asynchronous non-hopping mesh .....	12
10Frequently asked questions (FAQ) .....	13
How many antennas do I need to use?.....	13
How do I connect the FTDI cable to the modem?.....	13
What do I need to upload the firmware or to change the modem configuration? .....	13
I upgraded to asynchronous firmware and the modems don't connect any more?.....	13
How do I configure 2 base stations and one Airborne platform with 3 modems? (Asynchronous). 13	
11Useful links.....	15
1Document revision history .....	16

---

## 1 Key features

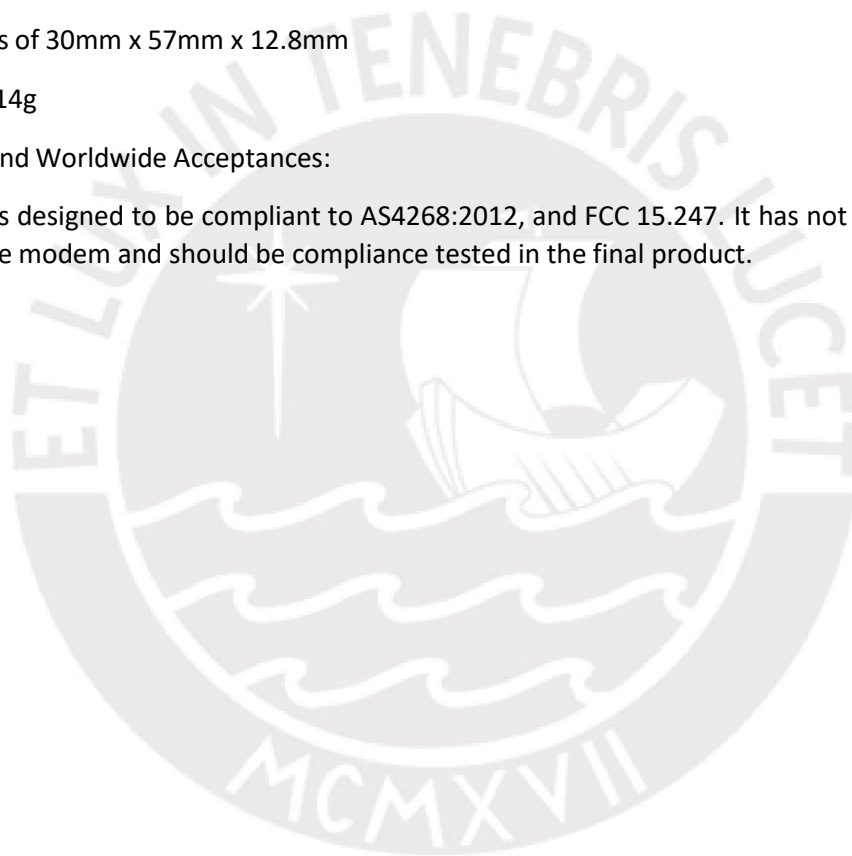
---

RFD900x provides compact and yet powerful data communication. The key features are:

- No configuration required for out of the box RF communications.
- Operating frequency range of 902 – 928MHz
- Outdoor RF line-of-site range of 40km or more depending on antennas
- Air data rate speeds of up to 500kbps
- Diversity antenna support
- Operating temperature of -40 to +85 degrees Celsius
- Dimensions of 30mm x 57mm x 12.8mm
- Weight of 14g

Compliances and Worldwide Acceptances:

The RFD900x is designed to be compliant to AS4268:2012, and FCC 15.247. It has not been certified as a standalone modem and should be compliance tested in the final product.



## 2 Specifications

Performance	
Supported RF Data Rates	4 to 750 kbps dependent on type and version of firmware
Indoor Range	500m – 1km
Line-Of-Sight Range	40km or more depending on antennas and settings
Transmit Power	0 to 30dBm in 1dBm steps
Receiver Sensitivity	>121dBm at low data rates
Low Noise Amplifier	>20dB

Features	
Serial Data Interface	+3.3V nominal, 3.3V tolerant
Configuration Method	AT Commands, APM Planner, RF Design Modem Tools
Frequency Band	902MHz - 928MHz
Interference Immunity	FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum)
Serial Interface Data Rate	2400 to 1000000 bps dependent on type and version of firmware
Antenna Connection	2 x RPSMA diversity switched ports
GPIO	6 pins (Digital, PPM capable)
Compliance Standards	FCC Part 15.247, AS/NZS 4268:2012

Networking and Security	
Addressing Options	Network ID: 0 –255
Channels	Up to 50 Frequency Hopping Channels
Supported Network Topologies	Point-to-point and asynchronous mesh <sup>1</sup> and multipoint synchronous mesh <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Only available in separate firmware versions available on the RFD website

Power Requirements	
Supply Voltage	+5V nominal (+5V min, +5.5V Max, +6V ABS Max),
Transmit Current	~1A peak at max power
Receive Current	~60mA



### 3 Output power levels

---

Many countries have different legal power levels. Be sure to operate within the legal power limits of the country that you are operating in. The RFD900x modem can support the power levels between 0dBm and 30dBm in 1dBm steps. Formula 2-1 can be used to convert the power in dBm into milliwatts.

$$P_{mW} = 10^{(P_{dBm}/10)}$$

*Formula 2-1*

To calculate Effective Isotropic Radiated Power (EIRP) you can use the formula 2-2 below:

$$EIRP(dBm) = Transmitpower(dBm) - Cableloss(dB) + AntennaGain(dBi)$$

*Formula 2-2*

The FCC limit for EIRP is 4 Watts, or 36dBm for frequency hopping radios in the ISM 900 MHz band. The Australian EIRP limit is 30dBm as defined by ACMA.



## 4 Performance characteristics

Figure 4-1 shows how the output power of the RFD900x varies with supply voltage when the output power is set to +30dBm.

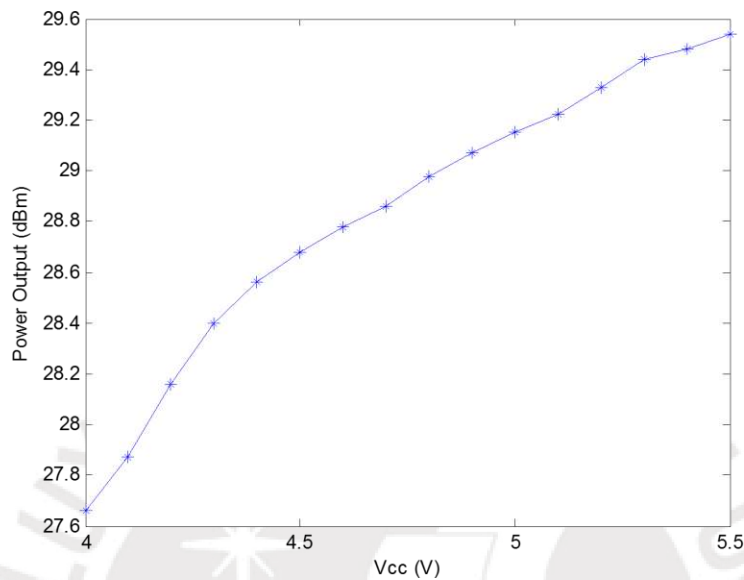


Figure 4-1: Output power vs. input supply voltage

Figure 4-2 shows how the current through the RFD900x varies with the transmit power level. The current during transmission is shown by the 'High Level' plot and that during receive mode is shown by the 'Low Level' plot.

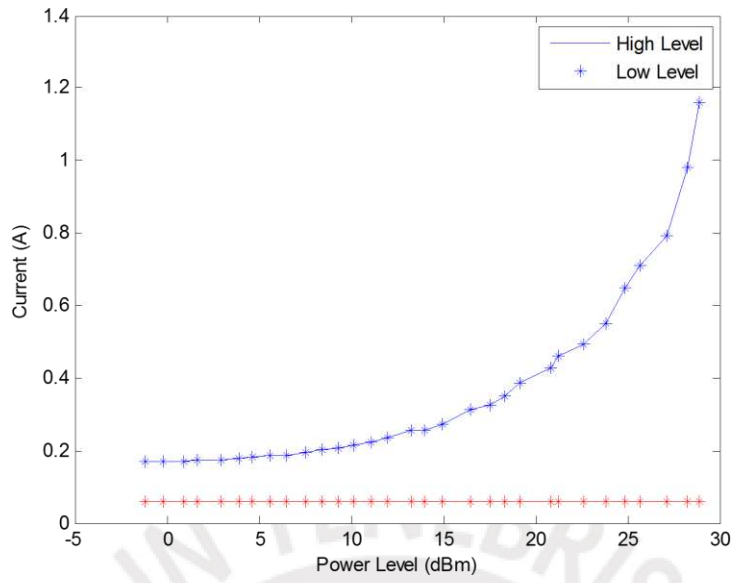
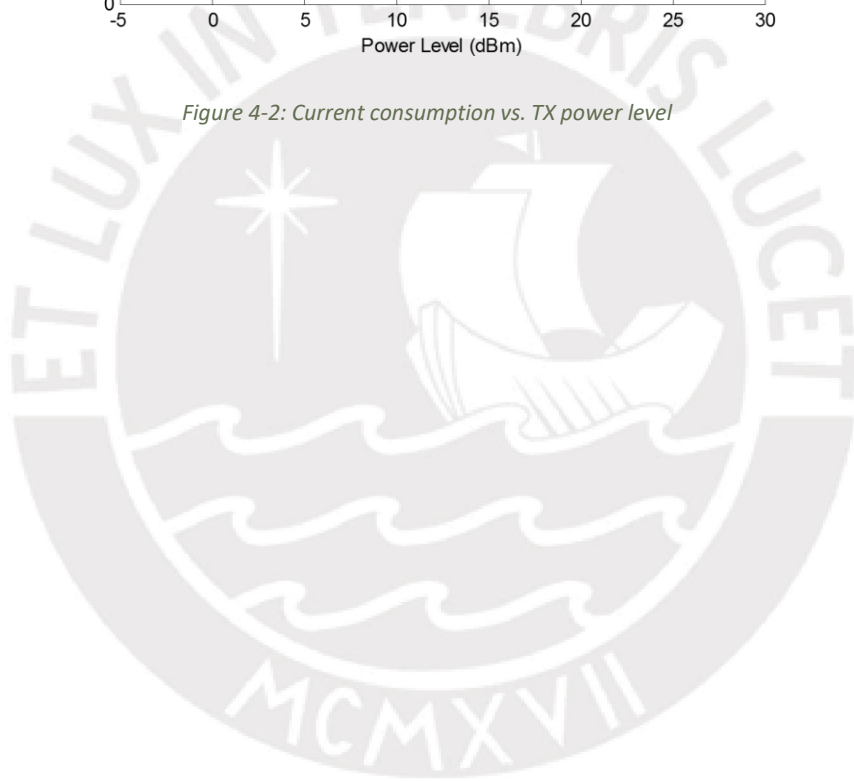


Figure 4-2: Current consumption vs. TX power level



## 5 Pin signals and layout

Pin #	Name	Direction	Description	Max Voltage
1	GND	-	Ground	0V
2	GND	-	Ground	0V
3	CTS	Either	Clear to send	3.3V
4	Vcc	-	Power supply	5V
5	Vusb	-	Power supply from USB	5V
6	Vusb	-	Power supply from USB	5V
7	RX	Input	UART Data In	3.3V
8	GPIO5/P3.4	Either	Digital I/O	3.3V
9	TX	Output	UART Data Out	3.3V
10	GPIO4/P3.3	Either	Digital I/O	3.3V
11	RTS	Either	Request to send	3.3V
12	GPIO3/P1.3	Either	Digital I/O	3.3V
13	GPIO0/P1.0	Either	Digital I/O	3.3V
14	GPIO2/P1.2	Either	Digital I/O	3.3V
15	GPIO1/P1.1	Either	Digital I/O, PPM I/O	3.3V
16	GND	-	Ground	0V

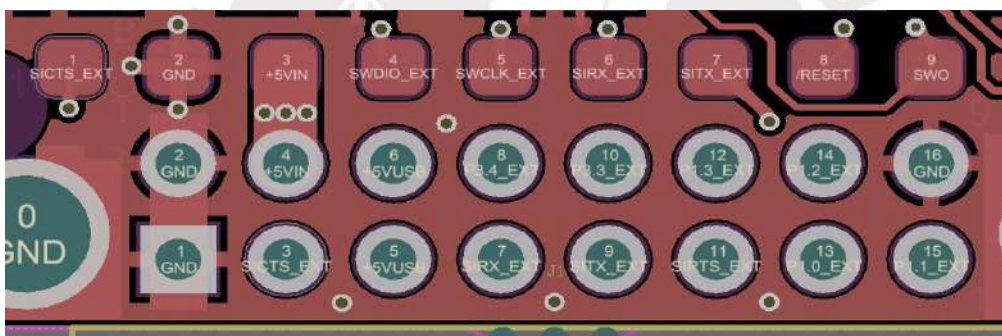


Figure 5-1: Physical pin layout of the RFD900x Radio Modem

GPIO pins will configure for 40kOhm pull down or pull up based on setting as input or output. They can sink or source approximately 5 mA each.

The FTDI cable (see “Useful Links”) is compatible with the RFD900x modem.

Pin 1 of the FTDI cable (black wire) should connect to pin 1 of the RFD900x header. To power the modem from the +5V USB power, a jumper is needed to connect pins 4 and 6.

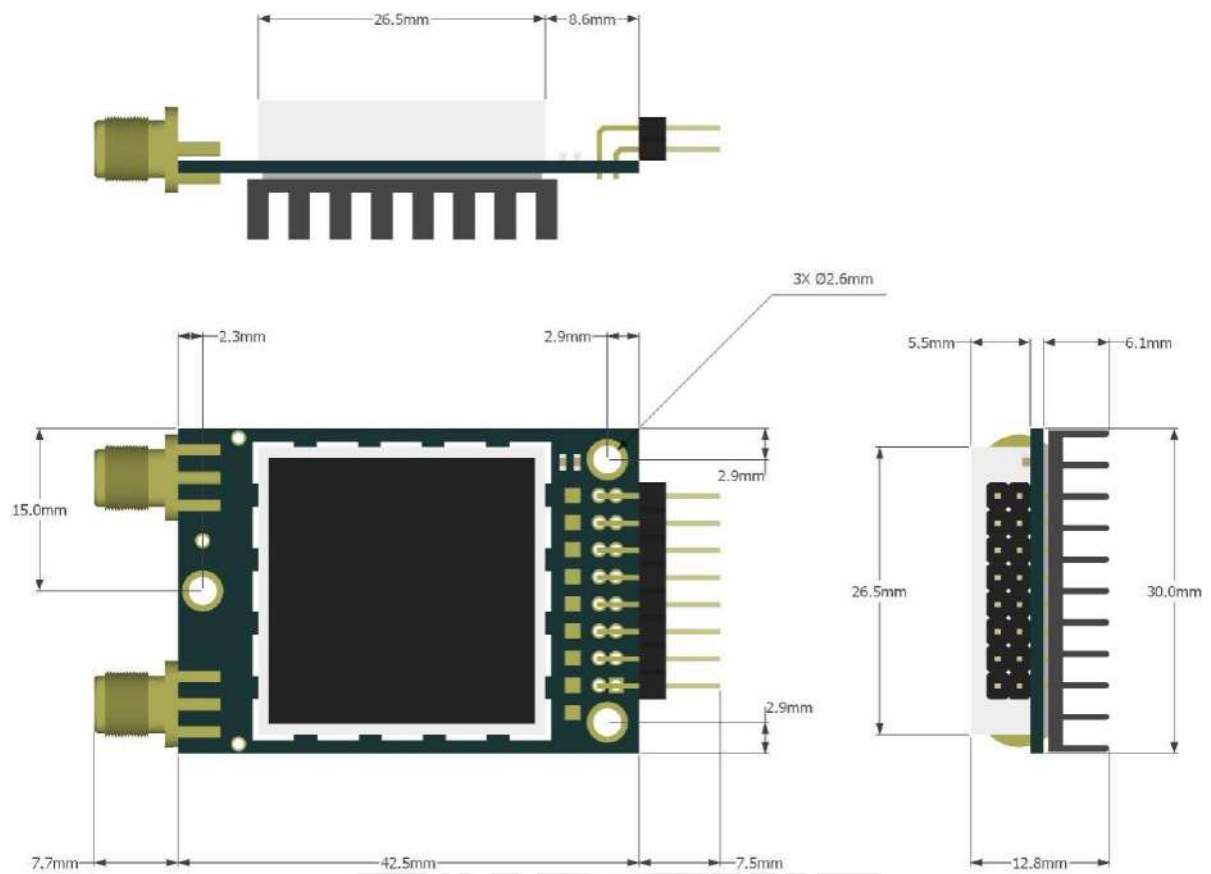
To power the modem from an external +5V supply, connect the power to pins 2 and 4 as per figure 5-1

To force the modem into bootload mode short pad 9 (the right most of the row of pads in front of the pin header) to the shield or other ground on the modem as the modem is powered up. The on-board LED will become solid red when in boot mode at this point the short can be removed. The modem is then in a state ready to accept firmware.





## 6 Physical dimensions



## 7 Software/GCS Support

---

The default firmware (see “Useful Links”) is a development of the open source project called “SiK” and was created by Mike Smith. It has been further developed and modified by Andrew Tridgell and RFDdesign.

The modems feature a boot loader to facilitate field upgrade of the modem firmware via the serial port. This is most easily performed by using the latest version RFD Modem tools (see “Useful links”)

Parameters such as power levels, air data rates, serial speeds, GPIO pins etc can all be custom set by the user using the AT Command set, the RFD Modem Tools V2 or later and APM Planner.

Default serial port settings are as follows:

- 57600 baud rate
- No parity
- 8 data bits
- 1 stop bit

The RFD900x Radio Modem has many software features including:

- Frequency Hopping Spread Spectrum
- Transparent Serial Link
- Configuration by AT commands for local radio, RT Commands for remote radio
- User configurable serial data rates and air data rates
- Error correction routines
- 128-bit AES hardware encryption with user settable key
- MAVLink protocol framing (user selectable)
- MAVLink radio status reporting (Local RSSI, Remote RSSI, Local Noise, Remote Noise)
- Automatic antenna diversity switching on a packet basis in real-time
- Automatic duty cycle throttling based on radio temperature to avoid overheating
- PPM (R/C signal) pass through (Control vehicle across radio).
- GPIO pin mirroring

## 8 Diversity

---

The RFD900x has two antenna ports and firmware which supports diversity operation of antennas. During the receive sequence the modem will check both antennas and select the antenna with the best receive signal. The antenna selected during receive is then also used for subsequent transmission. In the case of only one antenna connected, it will automatically select the port with the antenna connected. Testing by Silicon Labs has shown that link budgets can be improved up to the order of 8dB by employing a diversity scheme.

### 8.1 Spatial diversity

Spatial diversity is the case where the antennas are separated by some distance from one another. It is recommended that two antennas connected to the RFD900 modem be separated by at least 25cm, more if possible.

### 8.2 Polarisation diversity

Polarisation diversity is the case where the antennas are perpendicular to each other. i.e. one vertical, and one horizontal. This is effective in reducing multipath effects which affect one or the other polarisation. This scheme also helps to maintain the link between non-static objects such as aircraft performing acrobatics by increasing the likelihood that one antenna will maintain the same polarisation as an antenna on the other side of the link. Figure 8-1 depicts how two right-angle monopole antennas can be positioned to achieve polarisation diversity.



*Figure 8-1: Antenna configuration to achieve polarisation diversity*

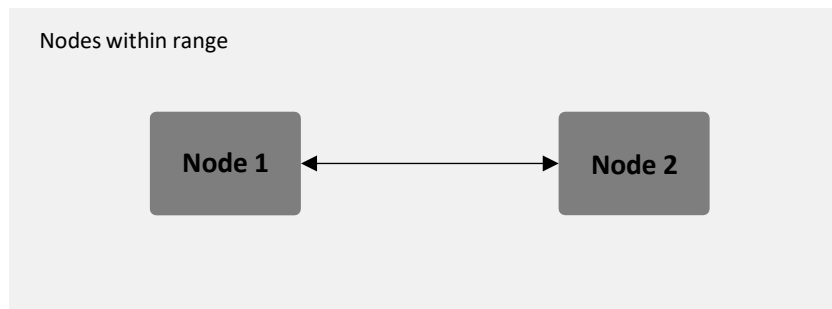
## 9 Network options

---

RFD900x support firmware for simple pair (peer to peer), asynchronous mesh network and multipoint network. Available for download from the website (see “Useful Links”).

### 9.1 Simple pair (P2P)

The out-of-the-box firmware of the RFD900x radio modem is set to work in simple pair mode. If you purchased a bundle, you are only required to connect the antennas and supply to initiate the link. As soon as the pair synchronises, the on-board LED will become solid green.



*Figure 9-1 Peer to peer modem pair network*

### 9.2 Asynchronous non-hopping mesh

The asynchronous non-forwarding mesh firmware offers a straight forward communication option that allows the user to quickly transmit and receive data across a great distance between two or more nodes. Figure 9-2 depicts this communication topology. If all the nodes are within range and have compatible parameters, communication between them will succeed.

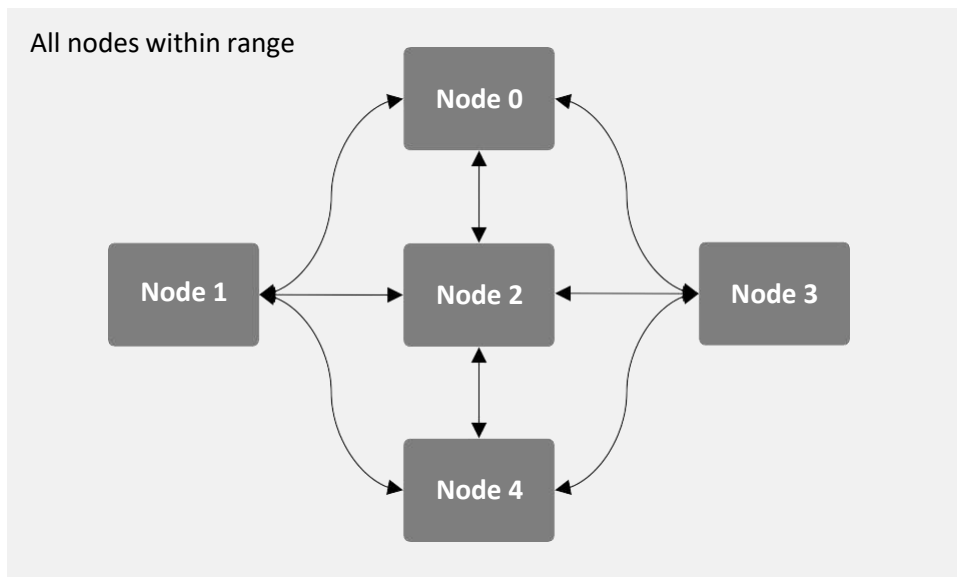


Figure 9-2 Asynchronous mesh topology

It is also possible to establish forwarding between nodes in the network. (See the asynchronous firmware datasheet for details)

### 9.3 Multipoint synchronised mesh

The network requires that one of the devices assumes a *base* role to control the timeslot distribution of the surrounding radios. If one of the nodes is out of the base's range, communication is still possible if the parameter *SyncAny* is properly set.

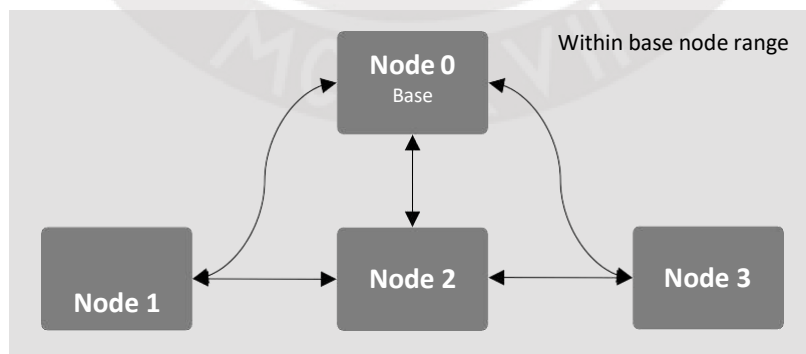


Figure 9-3 Multipoint mesh topology



## 10 Frequently asked questions (FAQ)

---

### 10.1 How many antennas do I need to use?

One is the minimum. Two is recommended.

### 10.2 How do I connect the FTDI cable to the modem?

The black cable of the FTDI (pin 1) should connect to pin 1 on the modem as shown in Figure 10-1.

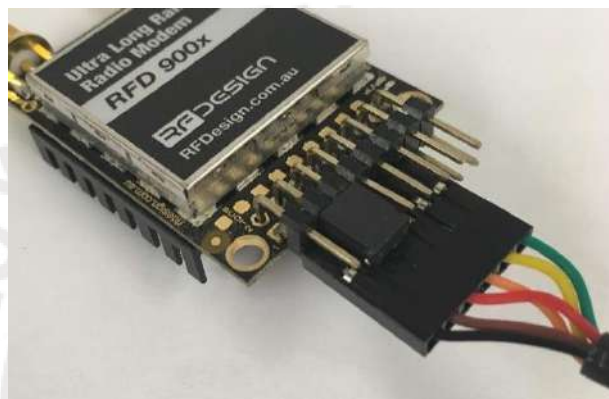


Figure 10-1: An FTDI cable connected to the RFD900x modem

### 10.3 What do I need to upload the firmware or to change the modem configuration?

Download the latest firmware (see “Useful Links”). Download the RFD900x Modem Tools (see “Useful Links”). Connect the FTDI cable to the modem and to a computer. Use the RFD900x Modem Tools to upload the latest firmware or to change the modem configuration (see “RFD900x Modem Tools User Manual”).

### 10.4 I upgraded to asynchronous firmware and the modems don't connect anymore?

The default setting for a modem is to have a NODEID set to 1 and DESTID set to 2. As communication is addressed NODEID must be different for all units and DESTID will set the modems to connect to.

### 10.5 How do I configure 2 base stations and one Airborne platform with 3 modems? (Asynchronous)

Set the Airborne platform as follows:

```
NODEID = 1  
DESTID = 65535, (32768 from version 2.45F)  
MAVLINK = 1
```

Set the ground station as follows:

```
NODEID = 2 or 3  
DESTID = 1  
MAVLINK = 1
```

This will allow the airborne modem to handover to multiple ground stations as it flies from the coverage area of one ground station, to another. Both ground stations can be connected and can control the Airborne platform simultaneously. (APM Planner using MAVLink)



## 11 Useful links

---

### **RFD900x Firmware**

<http://rfdesign.com.au/firmware/>

RFD SiK firmware is standard SiK (open source)

RFD Asynchronous firmware

RFD Multipoint firmware

### **RFD900x Flash Programmer**

<http://rfdesign.com.au/downloads/>

### **FTDI Cable documentation**

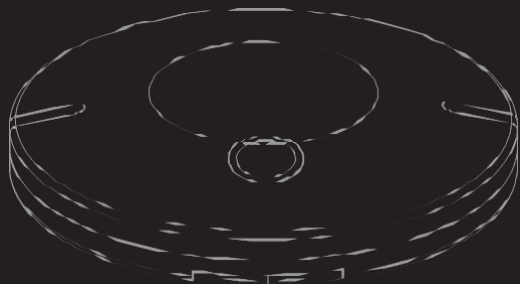
[http://www.ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/Cables/DS\\_TTL-232R\\_CABLES.pdf](http://www.ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/Cables/DS_TTL-232R_CABLES.pdf)



## 12 Document revision history

Version	Date	Changes
1.0	22/09/17	Release document
1.1	22/05/18	Updated to correct typos, mistakes and changes in new versions





## Here GNSS

Here GNSS module is an integrated solution for positioning and heading reference for Ardupilot Paparazzi and PX4 open source drone technology. It is compatible with Pixhawk, PIXHAWK2.1 and most of the other open source flight controller. It features an integrated GNSS module and a digital compass, a backup battery and LED lights for visible indications of UAV status.

## what is in this package

1. GPS Module
2. 8 to 8 cable (JST connector) for 1st GPS port



1. Ensure arrow points to front mounting direction of vehicle when mounting GPS to vehicle.

2. GPS LED status indicator

3. Safety switch

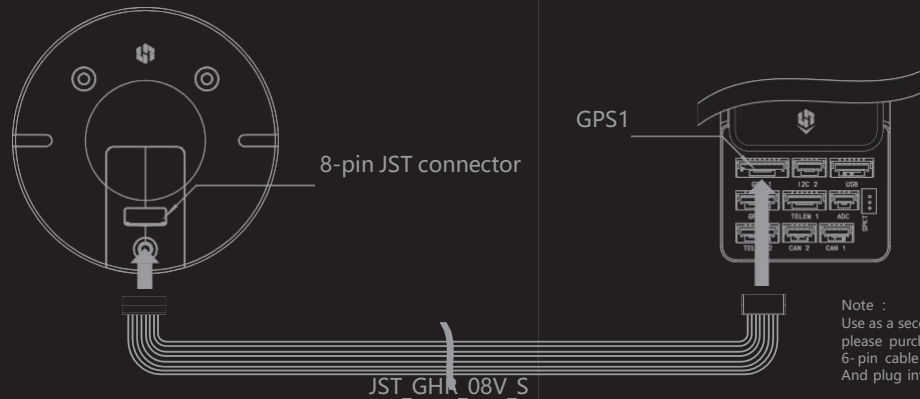
Firm press for more than 5 seconds to allow motor to spin.

**here**  
USER MANUAL

Fast Positioning,  
Reliable Navigation



## Connecting Here GNSS with PIXHAKW2.1



Note :  
Use as a second GPS,  
please purchase GPS2  
6-pin cable from [proficnc.com](http://proficnc.com).  
And plug into the GPS2 port.

## Mounting Tips

When mounting the GPS to your vehicle, place the GPS module (with antenna facing up) outside your vehicle with a clear view of the sky, as far as possible from potential sources of magnetic interference such as motors and speed controllers. For copters and rovers, we recommend elevating the GPS module.

## Acknowledgement

Designed by ProficCNC in Australia with help from Hex, Ardupilot.  
Built by Hex Technology.  
We support Open software development through the Ardupilot Initiative

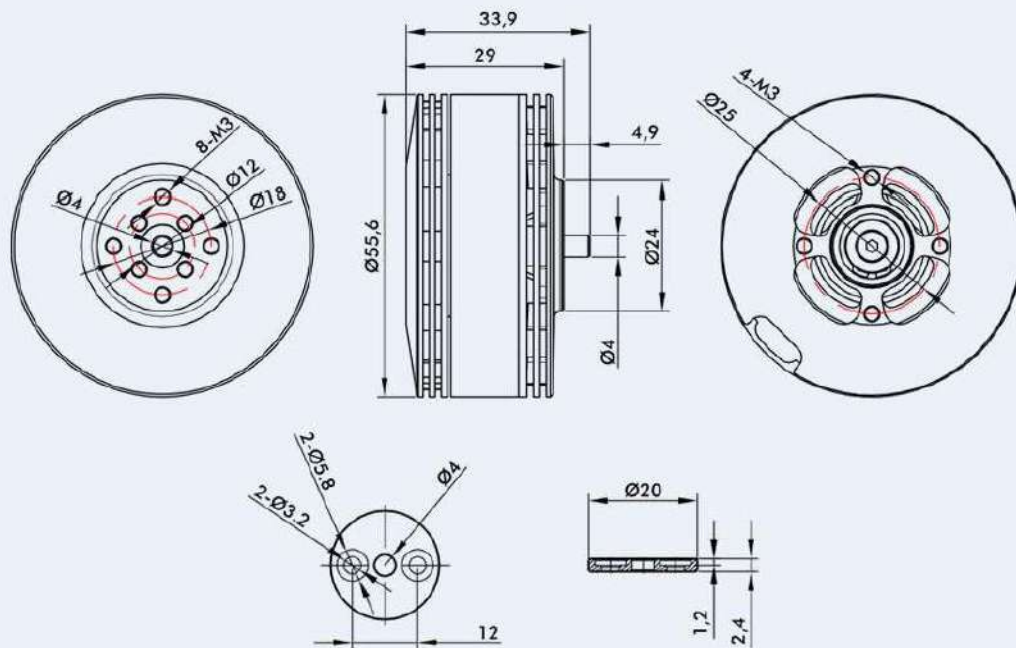
Welcome to the world of open-source autopilot



USER MANUAL

[hex.aero](https://hex.aero) > [download](#) > [Here+](#) GNSS RTK Guide

## Product Drawing-MN501S



## Specifications-MN501S

Motor size	φ55.6*33.9mm
Stator	Imported silicon steel sheet; Anti-rust treatment; 150°C high temperature-resisting coatings
Configuration	24N28P
Shaft Diameter	IN: 6mm, OUT: 4mm
Bearing	Imported 696ZZ
Magnet Level	180°C high temperature resistance
Silicon Cable	16AWG*150MM
Copper Wire	220°C high temperature resistance; Level C
Coil Insulation Test	500V
Centrifugal Cooling Design	YES
Rotor Dynamic Balance Standard	≤5Mg
Motor Dynamic Balance Standard	≤10Mg
IP	IP45
Accessories	M3*10mm Mounting Screw*2, Cover*1, M3*8mm Motor Mounting Screw*4

KV	240	Rated Voltage (Lipo)	6-12S
Idle Current (18V)	0.9A	ESC Recommendation	AIR 40A
Peak Current (180s)	25A	Propeller Recommendation	14-15 / 20-22"
Max. Power (180s)	1200W	Motor Weight (incl. Cable)	170g

KV	300	Rated Voltage (Lipo)	6-8S
Idle Current (15V)	1.1A	ESC Recommendation	AIR 40A
Peak Current (180s)	40A	Propeller Recommendation	20-22 "
Max. Power (180s)	1000W	Motor Weight (Incl. Cable)	170g
Internal Resistance	63mΩ	Package Weight	350g

KV	360	Rated Voltage (Lipo)	6S
Idle Current (15V)	1.4A	ESC Recommendation	AIR 40A
Peak Current (180s)	40A	Propeller Recommendation	17-18 "
Max. Power (180s)	1000W	Motor Weight (Incl. Cable)	175g
Internal Resistance	45mΩ	Package Weight	350g

### Test Report-MN501S

Item No.	Propeller	Throttle	Voltage (V)	Current (A)	Input power (W)	RPM	Torque (N*m)	Thrust (g)	Efficiency (g/W)	Operating Temperature
MN501S KV240	T-motor P14*4.8CF	40%	48.5	2.9	140.65	5011	0.17	975	6.93	57.5°C (Ambient Temperature : 9.2°C)
		42%	48.49	3.12	151.19	5182	0.18	1026	6.79	
		44%	48.5	3.36	163.01	5337	0.19	1084	6.65	
		46%	48.49	3.62	175.73	5508	0.2	1142	6.50	
		48%	48.49	3.9	189.06	5667	0.21	1215	6.42	
		50%	48.53	4.2	203.63	5834	0.23	1282	6.30	
		52%	48.53	4.59	222.80	6035	0.25	1386	6.22	
		54%	48.53	4.97	241.34	6213	0.26	1487	6.16	
		56%	48.52	5.33	258.66	6383	0.27	1567	6.06	
		58%	48.53	5.65	274.29	6413	0.27	1646	6.00	
		60%	48.52	5.99	290.44	6655	0.3	1730	5.96	
		62%	48.52	6.35	308.30	6829	0.31	1809	5.87	
		64%	48.52	6.79	329.45	6993	0.32	1905	5.78	
		66%	48.52	7.25	351.77	7161	0.34	1980	5.63	
		68%	48.56	7.78	377.65	7340	0.35	2103	5.57	
		70%	48.55	8.35	405.25	7534	0.37	2204	5.44	
		75%	48.55	9.72	472.05	7947	0.42	2481	5.26	
80%	48.54	11.35	550.83	8376	0.47	2787	5.06			
90%	48.53	14.74	715.24	9161	0.57	3314	4.63			
100%	48.52	18.52	898.64	9870	0.68	3891	4.33			

Item No.	Propeller	Throttle	Voltage (V)	Current (A)	Input power (W)	RPM	Torque (N*m)	Thrust (g)	Efficiency (g/W)	Operating Temperature
		40%	48.59	3.57	173.61	4887	0.23	1166	6.72	
		42%	48.58	3.89	188.73	5067	0.24	1252	6.64	

MN501S KV240	T-motor P15*5CF	48%	48.58	4.9	238.14	5536	0.29	1506	6.32	78°C (Ambient Temperature : 9.2°C)
		50%	48.58	5.3	257.62	5684	0.31	1605	6.23	
		52%	48.58	5.69	276.57	5855	0.34	1710	6.18	
		54%	48.57	6.26	304.15	6057	0.32	1842	6.05	
		56%	48.57	6.78	329.21	6242	0.34	1949	5.92	
		58%	48.57	7.41	360.05	6411	0.36	2094	5.81	
		60%	48.57	7.87	382.15	6513	0.36	2176	5.70	
		62%	48.57	8.02	389.34	6632	0.38	2199	5.65	
		64%	48.57	8.52	413.77	6804	0.4	2295	5.55	
		66%	48.56	9.11	442.48	6960	0.42	2421	5.47	
		68%	48.56	9.79	475.35	7145	0.44	2557	5.38	
		70%	48.56	10.54	511.82	7317	0.47	2693	5.26	
		75%	48.56	12.32	598.02	7729	0.53	3000	5.02	
		80%	48.55	14.05	681.88	8076	0.57	3294	4.83	
		90%	48.54	18.31	888.86	8840	0.7	3957	4.45	
100%	48.52	23.11	1121.15	9532	0.81	4667	4.16			

Item No.	Propeller	Throttle	Voltage (V)	Current (A)	Input power (W)	RPM	Torque (N*m)	Thrust (g)	Efficiency (g/W)	Operating Temperature
----------	-----------	----------	-------------	-------------	-----------------	-----	--------------	------------	------------------	-----------------------

MN501S KV240	T-motor P22*6.6CF	40%	24.35	2.87	69.93	1914	0.23	915.88	13.09	68°C (Ambient Temperature : 9.2°C)
		42%	24.35	3.21	78.09	2002	0.24	998.61	12.78	
		44%	24.35	3.59	87.46	2093	0.26	1087.75	12.43	
		46%	24.35	3.92	95.54	2176	0.28	1166.29	12.2	
		48%	24.35	4.31	104.99	2268	0.3	1246.41	11.87	
		50%	24.35	4.75	115.56	2361	0.33	1339.4	11.59	
		52%	24.35	5.28	128.49	2485	0.35	1452.8	11.3	
		54%	24.35	5.86	142.69	2595	0.38	1566.3	10.97	
		56%	24.34	6.46	157.16	2695	0.41	1684.43	10.71	
		58%	24.34	7.07	172.03	2797	0.43	1796.5	10.44	
		60%	24.34	7.69	187.15	2892	0.46	1899.86	10.15	
		62%	24.33	8.35	203.1	2979	0.49	2020.32	9.94	
		64%	24.33	9.16	222.83	3078	0.52	2147.06	9.63	
		66%	24.33	9.82	238.96	3185	0.55	2272.82	9.51	
		68%	24.33	10.6	257.87	3271	0.57	2394.29	9.28	
		70%	24.32	11.32	275.22	3358	0.6	2508.86	9.11	
		75%	24.32	13.44	326.95	3566	0.68	2823.45	8.63	
		80%	24.31	15.63	380.03	3785	0.75	3038.41	7.99	
		90%	24.29	20.62	500.93	4173	0.9	3453.83	6.89	
100%	24.27	25.21	611.87	4478	1.02	4187.24	6.84			

Item No.	Propeller	Throttle	Voltage (V)	Current (A)	Input power (W)	RPM	Torque (N*m)	Thrust (g)	Efficiency (g/W)	Operating Temperature
----------	-----------	----------	-------------	-------------	-----------------	-----	--------------	------------	------------------	-----------------------

		40%	24.28	3.08	74.73	2594	0.12	889	11.89	
--	--	-----	-------	------	-------	------	------	-----	-------	--



MN501S KV300	T-motor P20*6CF	44%	24.32	3.87	94.21	2815	0.16	1058	11.23	86.5°C (Ambient Temperature : 9.2°C)
		46%	24.32	4.39	106.66	2949	0.18	1172	10.98	
		48%	24.31	4.89	118.85	3070	0.2	1271	10.69	
		50%	24.31	5.43	131.9	3186	0.22	1382	10.48	
		52%	24.32	6.06	147.37	3310	0.25	1489	10.11	
		54%	24.31	6.71	163.16	3438	0.27	1592	9.76	
		56%	24.31	7.35	178.6	3543	0.3	1712	9.59	
		58%	24.31	8.01	194.67	3646	0.32	1829	9.39	
		60%	24.3	8.68	211.02	3742	0.34	1944	9.21	
		62%	24.3	9.37	227.73	3736	0.37	2078	9.13	
		64%	24.3	10.22	248.24	3960	0.4	2163	8.72	
		66%	24.3	10.99	267	4058	0.42	2310	8.65	
		68%	24.29	11.73	284.97	4151	0.45	2424	8.51	
		70%	24.29	12.62	306.46	4233	0.47	2535	8.27	
		75%	24.29	14.75	358.2	4517	0.53	2852	7.96	
		80%	24.28	17.13	415.98	4725	0.6	3068	7.38	
90%	24.26	22.59	548.08	5275	0.73	3710	6.77			
100%	24.24	27.75	672.56	5603	0.85	4284	6.37			

Item No.	Propeller	Throttle	Voltage (V)	Current (A)	Input power (W)	RPM	Torque (N*m)	Thrust (g)	Efficiency (g/W)	Operating Temperature
----------	-----------	----------	-------------	-------------	-----------------	-----	--------------	------------	------------------	-----------------------

MN501S KV300	T-motor P22*6.6CF	40%	24.34	4.25	103.44	2333	0.22	1204	11.64	HOT (Ambient Temperature : 9.2°C)
		42%	24.34	4.72	114.9	2422	0.24	1305	11.36	
		44%	24.33	5.28	128.55	2523	0.27	1421	11.05	
		46%	24.33	5.9	143.57	2627	0.3	1540	10.73	
		48%	24.33	6.62	161.11	2754	0.33	1666	10.34	
		50%	24.33	7.4	179.92	2859	0.36	1824	10.14	
		52%	24.33	8.23	200.26	2966	0.4	1980	9.88	
		54%	24.32	9.11	221.6	3276	0.43	2139	9.65	
		56%	24.32	9.94	241.78	3371	0.46	2266	9.37	
		58%	24.32	10.87	264.4	3463	0.5	2381	9.00	
		60%	24.31	11.83	287.61	3544	0.54	2530	8.80	
		62%	24.31	12.79	310.85	3639	0.56	2645	8.51	
		64%	24.31	13.98	339.87	3751	0.6	2803	8.25	
		66%	24.31	15.08	366.61	3835	0.64	2941	8.02	
		68%	24.3	16.11	391.57	3920	0.67	3008	7.68	
		70%	24.3	17.28	419.78	4090	0.71	3096	7.38	
75%	24.33	20.38	495.91	4200	0.8	3507	7.07			
80%	24.32	23.68	575.99	4478	0.89	4027	6.99			
90%	24.29	31.11	755.56	4733	1.06	4655	6.16			
100%	24.27	37.74	916.04	5017	1.2	5277	5.76			

Item No.	Propeller	Throttle	Voltage	Current	Input power	RPM	Torque	Thrust	Efficiency	Operating Temperature
----------	-----------	----------	---------	---------	-------------	-----	--------	--------	------------	-----------------------



MN501S KV360	T-motor P17*5.8CF	42%	24.27	4.54	110.13	3333	0.19	938	8.51	57.5°C (Ambient Temperature : 9.2°C)
		44%	24.27	5.02	121.88	3471	0.21	1029	8.44	
		46%	24.26	5.54	134.44	3620	0.23	1103	8.21	
		48%	24.27	6.1	148.02	3748	0.25	1185	8.01	
		50%	24.27	6.66	161.58	3882	0.27	1256	7.77	
		52%	24.3	7.32	177.92	4017	0.3	1346	7.56	
		54%	24.29	8.11	197.08	4184	0.32	1464	7.43	
		56%	24.29	8.74	212.34	4314	0.34	1555	7.32	
		58%	24.29	9.48	230.26	4441	0.32	1664	7.23	
		60%	24.29	10.15	246.64	4558	0.34	1758	7.13	
		62%	24.29	10.91	265.02	4670	0.35	1853	6.99	
		64%	24.28	11.71	284.41	4777	0.37	1959	6.89	
		66%	24.29	12.48	303.04	4895	0.39	2040	6.73	
		68%	24.28	13.49	327.44	5041	0.41	2161	6.60	
		70%	24.28	14.34	348.05	5144	0.43	2245	6.45	
		75%	24.27	16.53	401.28	5396	0.47	2486	6.19	
		80%	24.18	19.42	469.67	5703	0.53	2777	5.91	
90%	24.2	25.46	616.05	6266	0.64	3333	5.41			
100%	24.18	31.46	760.58	6732	0.74	3837	5.05			
Item No.	Propeller	Throttle	Voltage (V)	Current (A)	Input power (W)	RPM	Torque (N*m)	Thrust (g)	Efficiency (g/W)	Operating Temperature
MN501S KV360	T-motor P18*6.1CF	40%	23.94	3.93	94.08	2927	0.06	917	9.75	86.2°C (Ambient Temperature : 9.2°C)
		42%	23.93	4.35	103.99	3040	0.07	989	9.51	
		44%	23.93	4.82	115.34	3153	0.09	1080	9.36	
		46%	23.93	5.32	127.23	3261	0.11	1160	9.12	
		48%	23.94	6.14	146.87	3476	0.14	1310	8.92	
		50%	23.94	7.09	169.75	3658	0.17	1450	8.54	
		52%	23.94	7.76	185.84	3786	0.19	1540	8.29	
		54%	23.94	8.48	203.03	3914	0.21	1657	8.16	
		56%	23.94	9.31	222.83	4043	0.24	1708	7.66	
		58%	23.94	10.36	247.97	4178	0.28	1881	7.58	
		60%	23.94	11.26	269.56	4321	0.3	2003	7.43	
		62%	23.94	12.1	289.72	4422	0.32	2138	7.38	
		64%	23.95	13.13	314.43	4540	0.35	2269	7.22	
		66%	23.98	14.24	341.35	4661	0.38	2400	7.03	
		68%	23.98	15.29	366.58	4774	0.41	2519	6.87	
		70%	23.98	16.46	394.63	4874	0.44	2671	6.77	
		75%	23.99	19.34	463.96	5153	0.51	2974	6.41	
80%	23.99	22.39	537.18	5486	0.58	3276	6.10			
90%	24	29.83	715.91	5908	0.73	3959	5.53			

Notes: Motor temperature is motor surface temperature @100% throttle running 10 mins.  
 (Data above based on benchtest are for reference only. Comparison with that of other motor types is not recommended.)

### Contents-MN501S



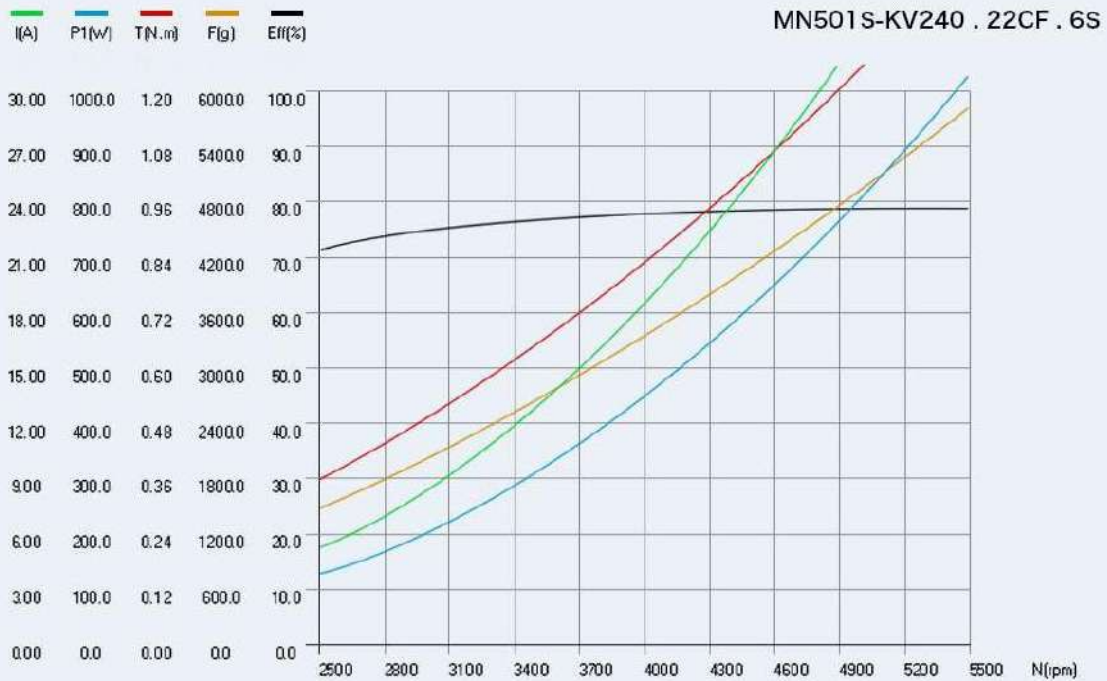
Motor × 1  
 (KV240, KV300 or KV360)



Parts Bag × 1  
 (M3\*10mm Mounting Screw\*2, Cover\*1, M3\*8mm Motor Mounting Screw\*4)

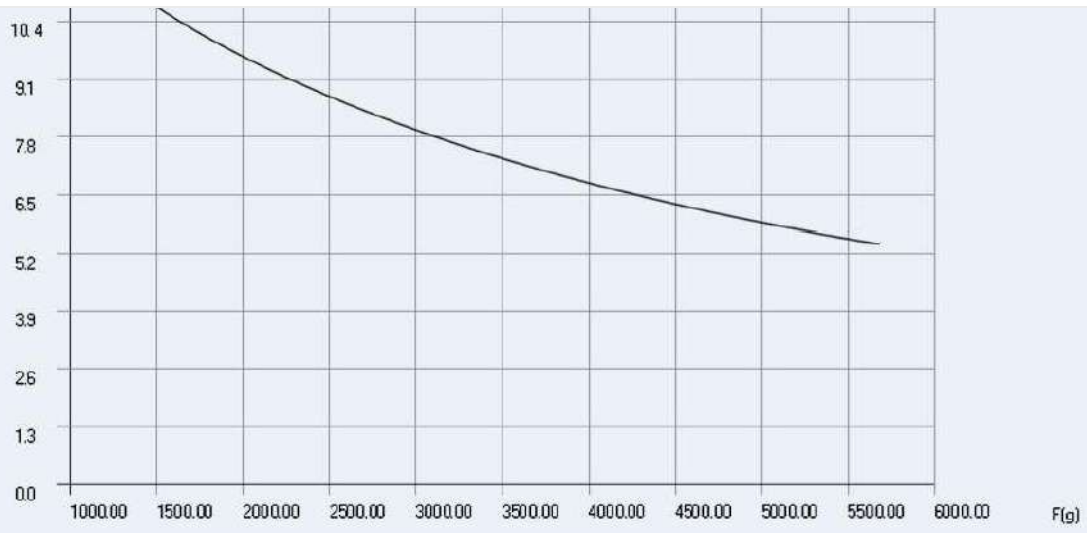
Please check that your package contains all the above items before use. If something is missing, please contact T-MOTOR.

### Analytical Graph of Motor Operation-MN501S



Thrust, Efficiency, Torque, Power, Current & Rpm Graph

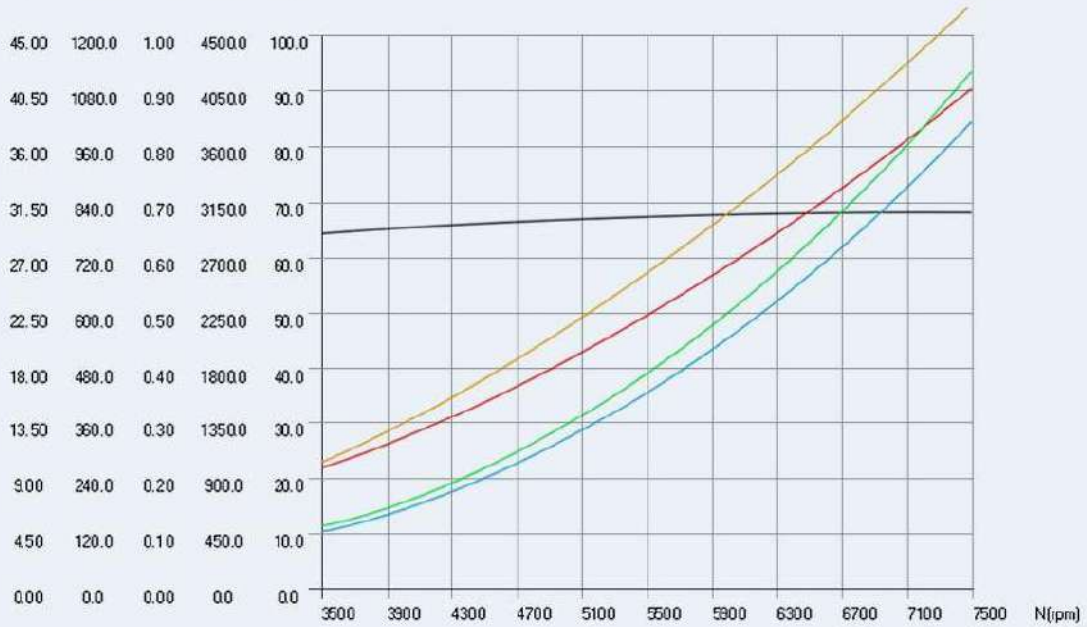




Efficiency Graph

■ I(A)   
 ■ P1(W)   
 ■ T(N.m)   
 ■ F(g)   
 ■ Eff(%)

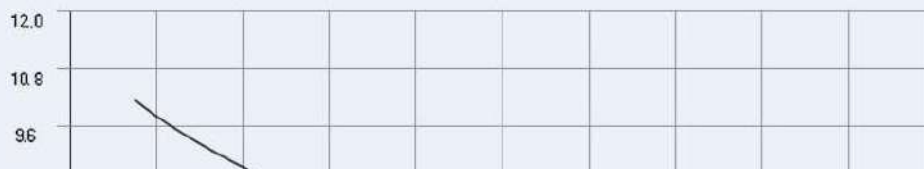
MN501S-KV360 . 17CF . 6S

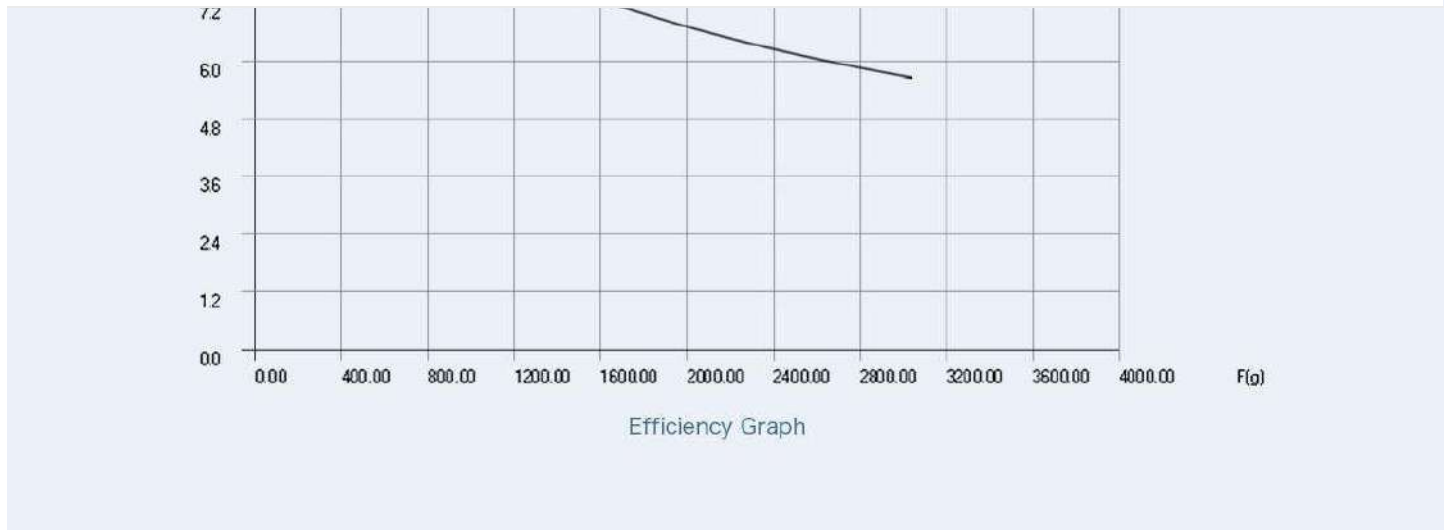


Thrust, Efficiency, Torque, Power, Current & Rpm Graph

■ Effect

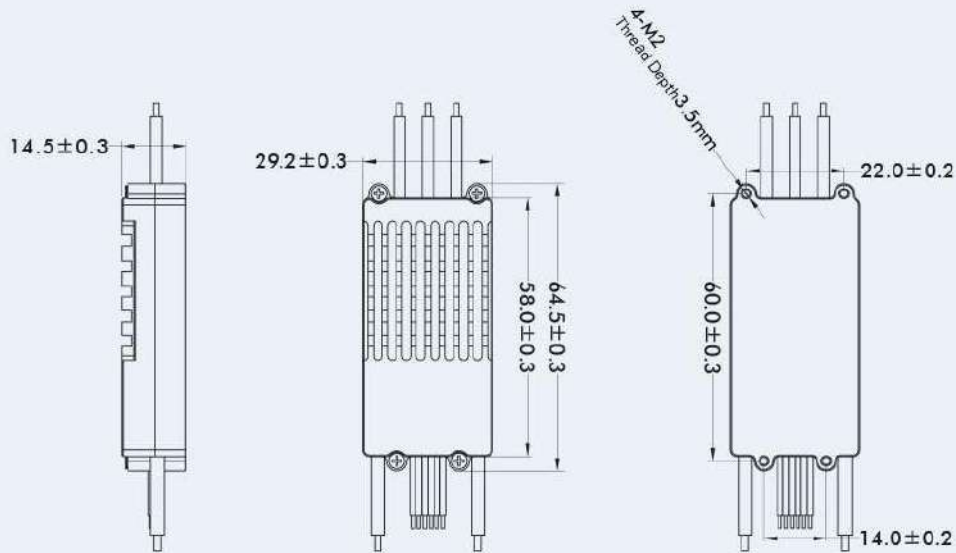
MN501S-KV360 . 17CF . 6S







## Product Drawing-ALPHA 40A LV



MF2211



## Basic Parameter-ALPHA 40A LV

Size	64.5*29.4*14.7mm (L*W*H)
Weight (Incl. Cable)	54.5g
Motor Cable	Silicone wire-deep orange-16AWG-65MM*3PCS
Power Cable	Silicone wire-red/black-14AWG-150MM
Signal Cable	PVC flat cable-30 core wires--2-300MM (white, blank, black/JP 3P male connector)
Upgrade Cable	PVC flat cable-30 core wires--3-300MM (black, red, white/JP 3P male connector)

## Performance Parameter-ALPHA 40A LV

Support Voltage (6S)	18-25.2V	BEC	NO
Con. Current	40A	Throttle Pos. Range	1100-1940 $\mu$ s
Peak Current (10s)	60A	Throttle Refresh Frequency	500Hz
Standby Consumption	$\leq 50$ mA	Throttle Response Speed	120ms



## Contents-ALPHA 40A LV



ESC×1  
(ALPHA 40A LV)



manual×1

Please check that your package contains all the above items before use.  
If something is missing, please contact T-MOTOR.

All the products are authentic  
from T-MOTOR, please rest assured  
to purchase

T-MOTOR service center provides  
the utmost user-friendly service  
to customers

Service mail : [onlinesales@rctigermotor.com](mailto:onlinesales@rctigermotor.com)  
Hotline : +86-791-88556889-8026  
Monday to Friday : 9:00AM-5:00PM UTC+8

### Direct Sell Platforms

AliExpress  
Ebay  
Amazon

### Help&Support

Payment Guide  
Order Information

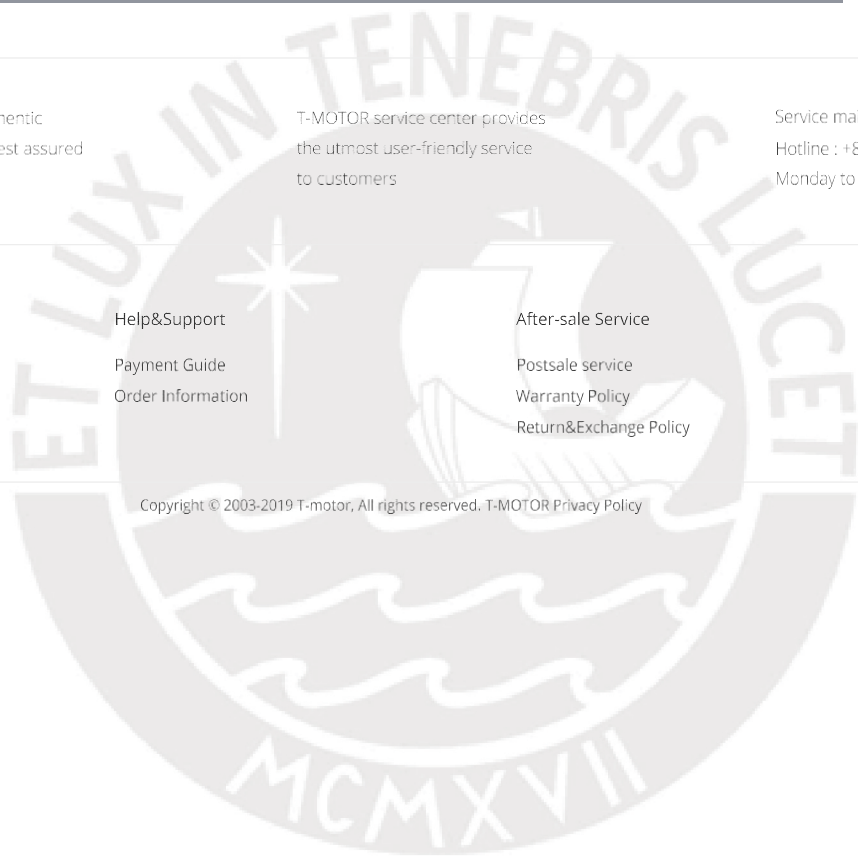
### After-sale Service

Postsale service  
Warranty Policy  
Return&Exchange Policy

### About T-motor

About Us  
Contact Us

Copyright © 2003-2019 T-motor, All rights reserved. T-MOTOR Privacy Policy



筒

[ODROID BOARD](#) / [EXYNOS5 OCTA](#)**Sale!**

## ODROID-XU4 Special Price

~~\$59.00~~ **\$49.00**

Option

[ADD TO CART](#)[BUY NOW](#)

TOTAL \$49.00

Wishlist

SKU: C143452239825

Category: Exynos5 Octa

tag: ODROID-XU4



### DESCRIPTION

#### ODROID-XU4

is powered by ARM® big.LITTLE™ technology, the [Heterogeneous Multi-Processing \(HMP\)](#) solution.

ODROID-XU4 is a new generation of computing device with more powerful, more energy-efficient hardware and a smaller form factor. Offering open source support, the board can run various flavors of Linux, including the latest Ubuntu 16.04 and Android 4.4 KitKat, 5.0 Lollipop and 7.1 Nougat.

By implementing the eMMC 5.0, USB 3.0 and Gigabit Ethernet interfaces, the ODROID-XU4 boasts amazing data transfer speeds, a feature that is increasingly required to support advanced processing power on ARM devices.

This allows users to truly experience an upgrade in computing, especially with faster booting, web browsing, networking, and 3D games.

\* Samsung Exynos5422 Cortex™-A15 2Ghz and Cortex™-A7 Octa core CPUs

\* Mali-T628 MP6(OpenGL ES 3.1/2.0/1.1 and OpenCL 1.2 Full profile)

\* 2Gbyte LPDDR3 RAM PoP stacked

\* eMMC5.0 HS400 Flash Storage

\* 2 x USB 3.0 Host, 1 x USB 2.0 Host

\* Gigabit Ethernet port

\* HDMI 1.4a for display

\* Size : 83 x 58 x 20 mm approx.(excluding cooler)



[User Manual is available.](#)

<http://magazine.odroid.com/odroid-xu4/>

Package include

- ODROID-XU4 Board
- Active cooling fan / Passive cooler(XU4Q) mounted

**\*\* 5V/4A Power Supply is sold separately from 19th of February 2017.**

A MicroSD card or an eMMC module is required to boot the OS. We strongly recommend an eMMC module for faster OS booting, quicker application launching, seamless multi-tasking and efficient access to the cloud.

#### NOTE:

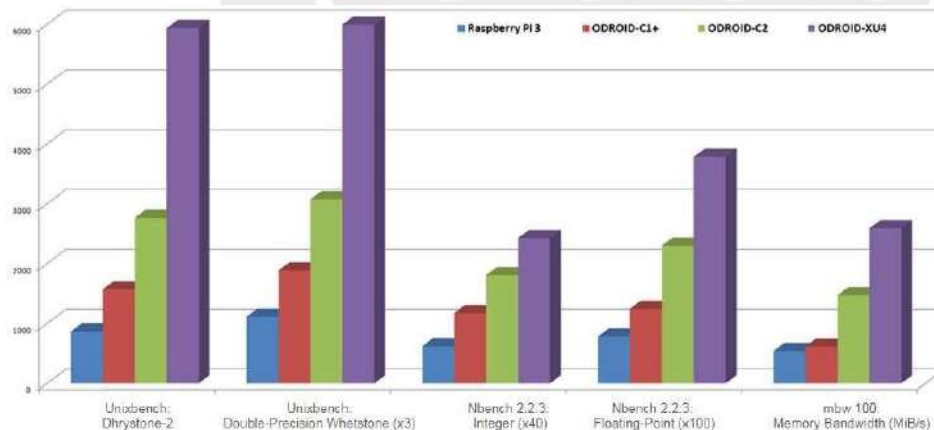
1. The active cooling fan is mounted on the XU4 board by default. It spins only when the CPU load is high and the temperature of the CPU hits a minimum threshold temperature. Like most fans, a slight hum can be expected when active. The cooling fan is subject to be changed without notice.
2. The passive tall-blue-heat-sink mounted on XU4Q is too tall to use the XU4 shifter shield and some other add-on shield.

#### CPU/RAM PERFORMANCE

We ran several benchmarks to measure the computing power on the XU4. The same tests were performed on the Raspberry Pi 3 Model B, ODROID-C1+, ODROID-C2 and ODROID-XU4.

The values of the test results were scaled uniformly for comparison purposes. The computing power of the XU4 was measured to be ~7 times faster than the latest Raspberry Pi 3 thanks to the 2Ghz Cortex-A15 cores and much higher 64bit memory bandwidth. Using the XU4 as a computer provides a "desktop like" experience, unlike the sluggish performance of most single-board computers!

Particularly for developers, compiling code on the XU4 is super fast. The high-performance 2GB DDR3 RAM is an additional advantage allowing most programs to be compiled directly on the XU4.



Benchmarks (Index Score)	Raspberry Pi 3	ODROID-C1+	ODROID-C2	ODROID-XU4
Unixbench: Dhrystone-2	865.4	1571.6	2768.2	5941.4
Unixbench: Double-Precision Whetstone (x3)	1113	1887.3	3076.8	6186.3
Nbench 2.2.3: Integer (x40)	619.92	1173.6	1808.92	2430.52
Nbench 2.2.3: Floating-Point (x100)	781.8	1245.3	2300.3	3787.3
mbw100: Memory Bandwidth (MiB/s)	542.912	616.339	1472.856	2591.461

#### SD/eMMC PERFORMANCE

The XU4 can boot from a MicroSD card or an eMMC module. An easy-access hardware switch is provided to select the boot





### SPECIFICATIONS

Processor	Samsung Exynos5422 ARM® Cortex™-A15 Quad 2.0GHz/Cortex™-A7 Quad 1.4GHz
Memory	2Gbyte LPDDR3 RAM PoP (750Mhz, 12GB/s memory bandwidth, 2x32bit bus)
3D Accelerator	Mali™-T628 MP6 OpenGL ES 3.1 / 3.0 / 2.0 / 1.1 and OpenCL 1.2 Full profile
Audio	HDMI Digital audio output. Optional USB sound card
USB3.0 Host	SuperSpeed USB standard A type connector x 2 port
USB2.0 Host	HighSpeed USB standard A type connector x 1 port
Display	HDMI 1.4a with a Type-A connector
Storage (Option)	eMMC module socket : eMMC 5.0 Flash Storage (up to 64GByte) MicroSD Card Slot (up to 128GByte)
Fast Ethernet LAN	10/100/1000Mbps Ethernet with RJ-45 Jack ( Auto-MDIX support)
WiFi (Option)	USB IEEE 802.11 ac/b/g/n ITIR WLAN with Antenna (External USB adapter)
HDD/SSD SATA interface (Optional)	SuperSpeed USB (USB 3.0) to Serial ATA3 adapter for 2.5"/3.5" HDD and SSD storage
Power Input	4.8Volt~5.2Volt (5V/4A Power supply is recommended)
System Software	Ubuntu 16.04 + OpenGL ES + OpenCL on Linux Kernel 4.14 LTS Android 4.4.2 on Kernel LTS 3.10 Android 7.1 is available as a community driven OS development Full source code is accessible via our Github.
Size	83 x 58 x 20 mm (weight: 38gram) without cooler approx.

### COMPATIBLE PRODUCTS



Sale!



POWER SUPPLY & BATTERY  
RTC Backup Battery  
\$2.50

ADD TO CART

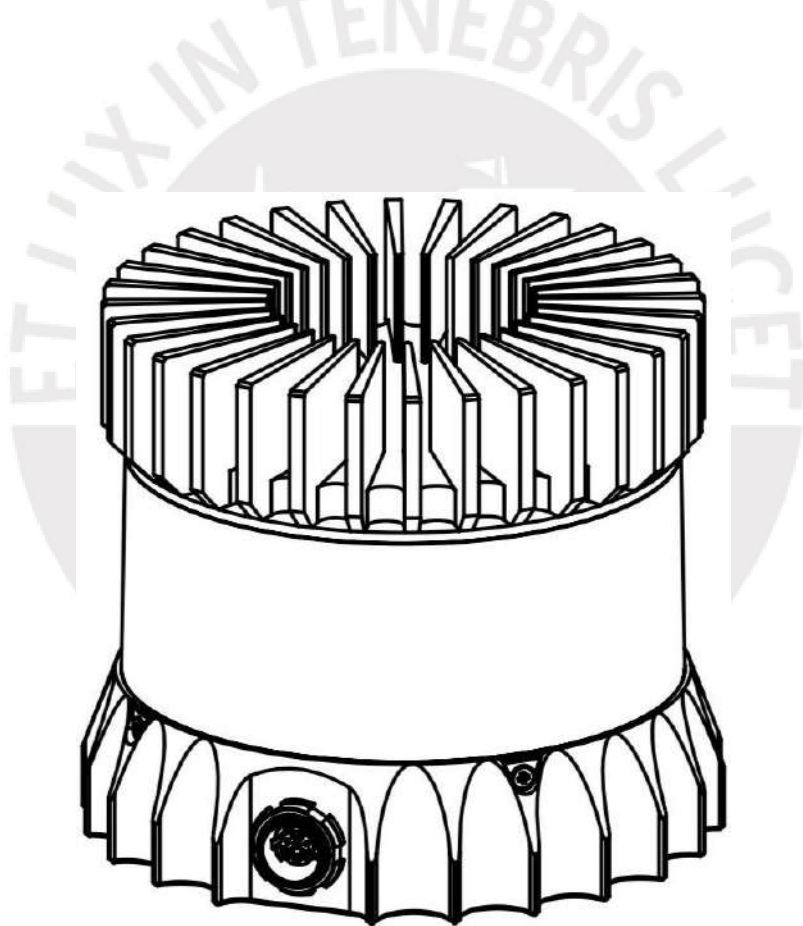




**OUSTER**

**OS-1-64/16 High Resolution Imaging Lidar**

**Hardware User Guide**

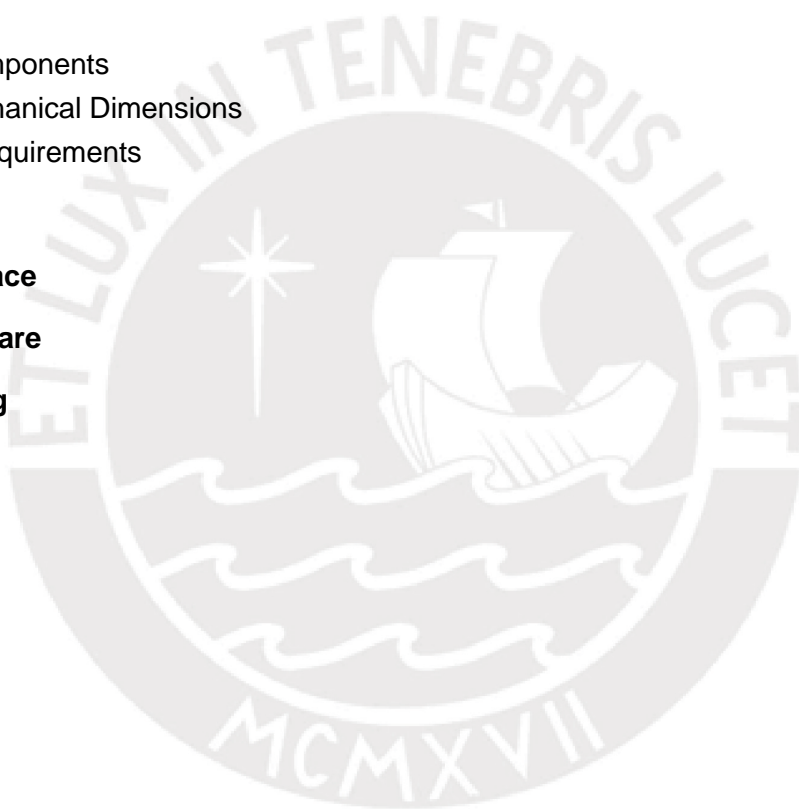






## Table of Contents

<b>Introduction</b>	<b>3</b>
<b>Safety &amp; Legal Notices</b>	<b>3</b>
<b>Set-Up</b>	<b>4</b>
Included Components	4
Exterior Mechanical Dimensions	5
Heat Sink Requirements	6
<b>Interface Box</b>	<b>6</b>
<b>Drivers &amp; Interface</b>	<b>8</b>
<b>Updating Firmware</b>	<b>8</b>
<b>Troubleshooting</b>	<b>8</b>
<b>Specifications</b>	<b>10</b>





## 1 Introduction

The OS-1 family of sensors offer a market leading combination of price, performance, reliability and SWAP. They are designed for indoor/outdoor all-weather environments and long lifetime. As the smallest high performance lidar on the market, the OS-1 can be directly integrated into vehicle facias, windshield, side mirrors, and headlight clusters. The OS-1 family of sensors consist of two models, the OS-1-16 and OS-1-64, with differing resolution, but of identical mechanical dimensions.

### HIGHLIGHTS

- Fixed resolution per frame operating mode
- Camera-like intensity, ambient, and range images
- Simultaneous and co-calibrated 2D and 3D output
- Multi-sensor crosstalk immunity
- Industry leading intrinsic calibration
- Open source drivers

For the purposes of this document, the term “OS-1” refers to the family of sensors, and only where there is a difference in performance will each model will be referred to by its specific model designation.

## 2 Safety & Legal Notices

The OS-1-16 and OS-1-64 are Class 1 laser products per **EN/IEC 60825-1:2014** and operate in the 850nm band.

FDA 21CFR1040 Notice: OS-1-16 and OS-1-64 comply with FDA performance standards for laser products except for deviations pursuant to Laser Notice No. 50, dated July 26th, 2001.





**WARNING: The OS-1 is a sealed unit, and is not user-serviceable.**

Your use of the OS-1 is subject to the Terms of Sale that you signed with Ouster or your distributor/integrator. Included in these terms is the prohibition on removing or otherwise opening the sensor housing, inspecting the internals of the sensor, reverse-engineering any part of the sensor, or permitting any third party to do any of the foregoing.

“Ouster” and “OS-1” are both registered trademarks of Ouster. They may not be used without express permission from Ouster.

If you have any questions about the above points, contact us at [legal@ouster.io](mailto:legal@ouster.io).

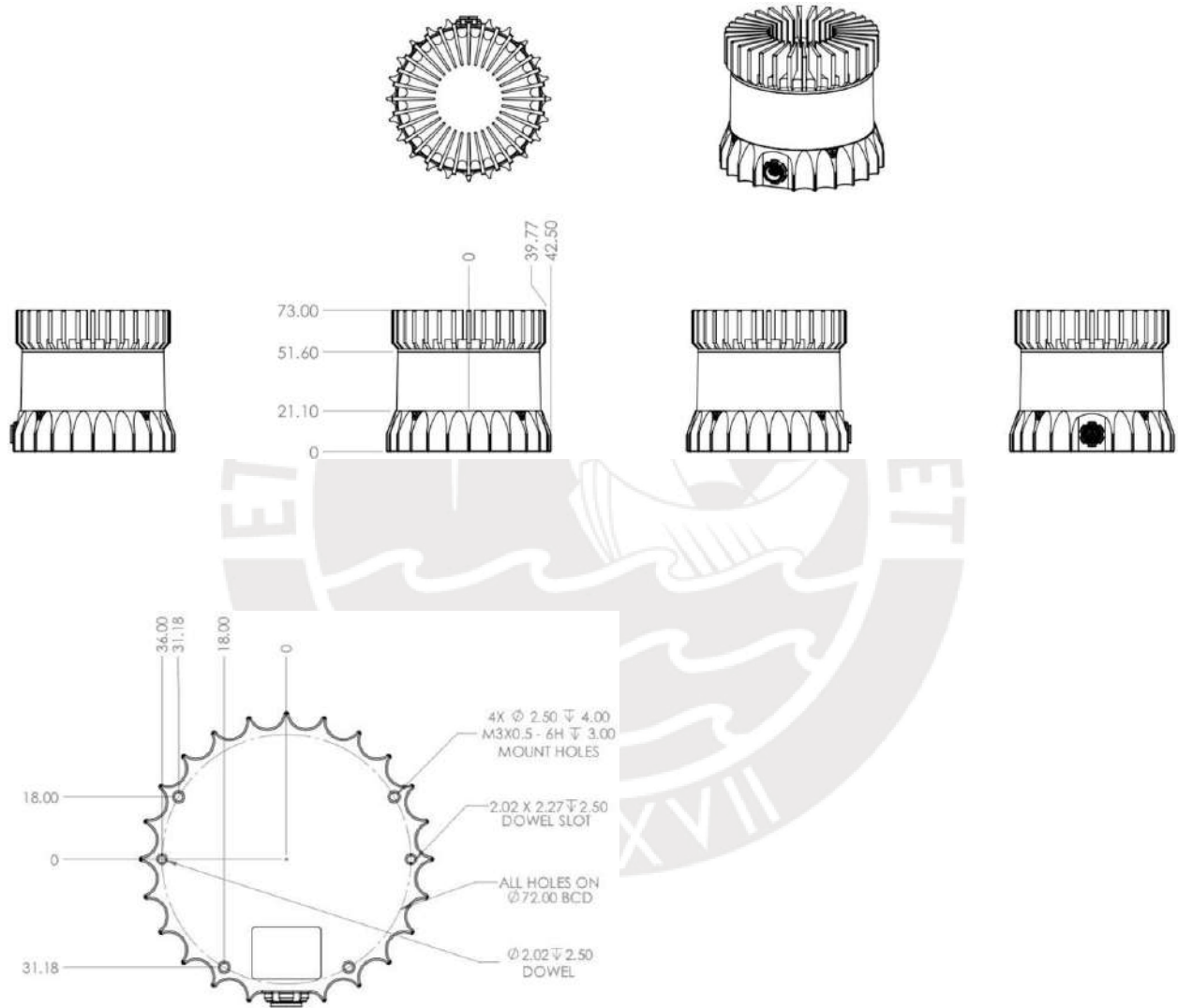
## 3 Set-Up

### 3.1 Included Components

The OS-1 is shipped with the following items:

- OS-1-16 or -64 Sensor
- Sensor to interface box cable/connector
- Interface box
- Interface box AC/DC power supply (2 meters)
- RJ45 cable (1 meter)
- Optional: Heat sink

### 3.2 Exterior Mechanical Dimensions



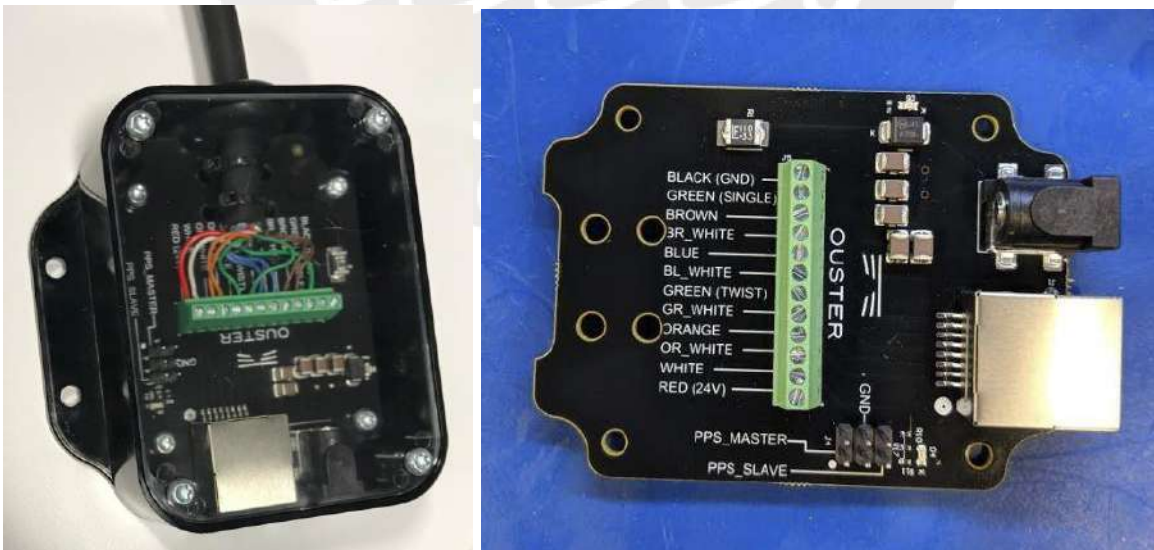
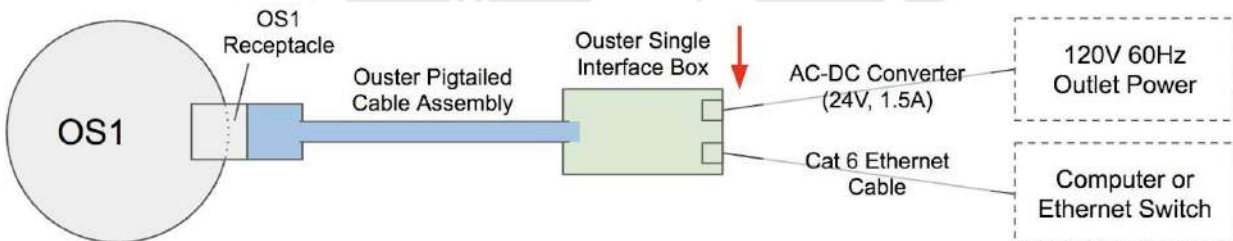
The sensor has 4 x M3 mounting holes and 2 x 2.0 mm dowel pin holes

## 3.3 Heat Sink Requirements

The sensor typically consumes 14-16 Watts. The recommended  $T_{\text{heatsink}}$  is  $< 25^{\circ} \text{C}$  above ambient -- meaning the sensor can get to  $45\text{-}50^{\circ} \text{C}$  with a heat sink, or even higher, without performance degradation. A heat sink is required to achieve the full temperature spec of the sensor, though Ouster internal testing has shown that a heat sink may not be required for use on drones or other moderately or highly convective environments.

## 4 Interface Box

The Interface Box that accompanies the OS-1 sensor is designed to allow the sensor to be operated for test and evaluation purposes. It breaks out the OS-1 sensor cable, which is a combination of power and ethernet, into a their two constituent connectors.



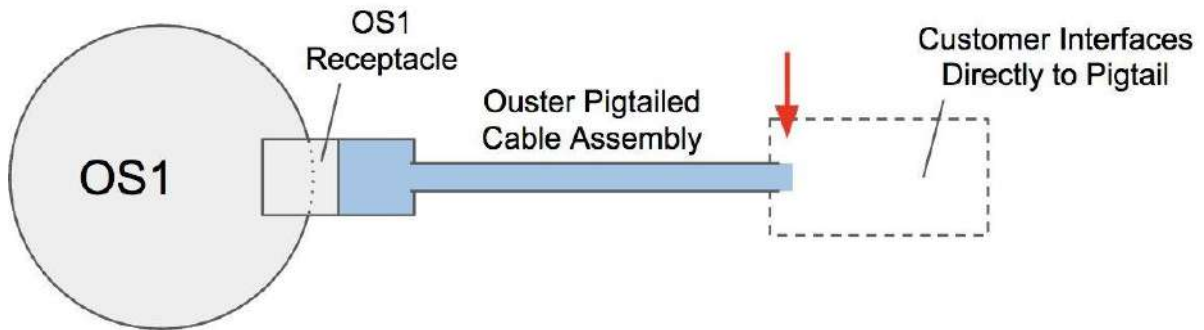




It terminates the interface cable from the sensor, allows it to be powered up and provides access to the Sensor Gigabit Ethernet Interface via a standard RJ-45 connector. DC Power to the sensor is provided to the interface box by the accompanying 24 V DC supply.

NOTE: If the sensor is not connected to Gigabit ethernet, it will stop sending data and will output an error code if the cabling is wired incorrectly and fails to achieve a 1000Mb/s + full duplex link.

The interface box is not necessary; a user can splice the wires directly into an RJ45 cable and connect the power wires directly to a 24V DC power supply. HOWEVER, Ouster is not responsible for any errors in wiring as a result of bypassing the interface box and this activity may result in a voiding of your warranty if it results in damage to the sensor.



Connector Pinout			
Net Name	Pin Number	Wire	Twisted With
PPS_MASTER	Pin 1	Green, 28 AWG	N/A
PPS_SLAVE	Pin 9	White, 28 AWG	N/A
VCC_24	Pin 10	Red, 22 AWG	N/A
GROUND	Pin 5	Black, 22 AWG	N/A
GROUND (Additional)	Pin 13, Pin 14, Pin 15	N/A	N/A
TRP_1_P (Ethernet)	Pin 4	White/Orange, 28 AWG	Orange
TRP_1_N (Ethernet)	Pin 3	Orange, 28 AWG	White/Orange



# OUSTER

TRP_2_P (Ethernet)	Pin 7	White/Green, 28 AWG	Green
TRP_2_N (Ethernet)	Pin 6	Green (twisted), 28 AWG	White/Green
TRP_3_P (Ethernet)	Pin 2	Blue, 28 AWG	White/Blue
TRP_3_N (Ethernet)	Pin 11	White/Blue, 28 AWG	Blue
TRP_4_P (Ethernet)	Pin 12	White/Brown, 28 AWG	Brown
TRP_4_N (Ethernet)	Pin 8	Brown, 28 AWG	White/Brown

The PPS Master and Slave pins operate at 5V

## 5 Drivers & Interface

The sensor will automatically turn on, start scanning, obtain an IP address, and start taking measurements when provided power by the Interface Box. However it will only stream UDP data packets after receiving a destination IP address on TCP Port 7501. Instructions can be found in the OS-1 Software User Guide and/or Ouster's drivers on GitHub (<https://github.com/ouster-lidar>).

## 6 Updating Firmware

The device can be updated over the local network. Refer to the Ouster Software User Guide for instructions.

## 7 Troubleshooting

Do not attempt to open or repair the sensor yourself. Opening or tampering with the sensor is a violation of the Ouster Terms and Conditions of Sale will result in voiding of your warranty.

- Check power and Ethernet connections the interface box.
- Power cycle the sensor.



# OUSTER

If you are still having trouble with your sensor, call us at 1-415-594-4032 ext 444 or email us at [support@ouster.io](mailto:support@ouster.io).





## 8 Specifications

### OPTICAL PERFORMANCE

Range	0.5 m - 120 m @ 80% reflective lambertian target, 225 w/m2 sunlight, SNR of 12 0.5 m - 40 m @ 10% reflective lambertian target, 225 w/m2 sunlight, SNR of 12 ** range of 0.0-80m (min range of 0.0m) in enhanced low range mode
Range Accuracy	Zero bias for lambertian targets, slight bias for retroreflectors
Range Resolution	1.2 cm
Range Repeatability	SNR = 100: $\pm 3$ cm - 1 sigma SNR = 12: $\pm 10$ cm - 1 sigma
Vertical Resolution	<b>OS-1-64:</b> 64 <b>OS-1-16:</b> 16
Horizontal Resolution	512-2048 (configurable)
Field of View	Vertical: +16.6° to -16.6° (32.2°) <b>OS-1-64:</b> uniform spacing <b>OS-1-16:</b> multiple options, including uniform spacing, tight around the horizon, and below the horizon  Horizontal: 360°
Angular Sampling Accuracy	Vertical: $\pm 0.01^\circ$ / Horizontal: $\pm 0.01^\circ$
Rotation Rate	10 to 20 Hz (configurable)
# of Returns	1 (strongest)

### LASER

Laser Product Class	Class 1 eye-safe per IEC/EN 60825-1: 2014
Maximum output of Laser radiation	$< 100\mu\text{J}$
Laser Wavelength	850 nm
Beam Diameter Exiting Sensor	10 mm
Laser Pulse Width (FWHM)	8 ns
Beam Divergence	0.13° (FWHM)



### LIDAR OUTPUT

Connection	UDP over gigabit ethernet
Point Per Second	<b>OS-1-64:</b> 1,310,720 <b>OS-1-16:</b> 327,680
Data Per Point	Range, intensity, ambient, reflectivity, angle, timestamp
Timestamp Resolution	10 ns
Data Latency	< 10 ms

### IMU OUTPUT

Connection	UDP over gigabit ethernet
Samples Per Second	1,000
Data Per Sample	3-axis gyro, 3-axis accelerometer
Timestamp Resolution	10 ns
Data Latency	< 10 ms

### CONTROL INTERFACE

Connection	TCP over gigabit ethernet
Time Synchronization	<p><b>Input sources:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• IEEE 1588 precision time protocol</li> <li>• External PPS</li> <li>• Internal 10 ppm drift clock</li> </ul> <p><b>Output sources:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Configurable 1-60 Hz output pulse</li> </ul>
Lidar Operating Modes	<p>Hardware triggered angle firing:</p> <p><b>OS-1-64</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 64 × 2048 @ 10hz</li> <li>• 64 × 1024 @ 20hz</li> <li>• 64 × 1024 @ 10hz</li> <li>• 64 × 512 @ 20hz</li> <li>• 64 × 512 @ 10hz</li> </ul> <p><b>OS-1-16</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 16 × 2048 @ 10hz</li> <li>• 16 × 1024 @ 20hz</li> <li>• 16 × 1024 @ 10hz</li> <li>• 16 × 512 @ 20hz</li> </ul>





# OUSTER

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 16 × 512 @ 10hz</li> </ul> <p>Each 50% the total number of points gathered is reduced - e.g., from 2048x10 to 1024x10 - extends range by 15-20%.</p> <p>Fixed timing firing:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Configurable measurement period between 50 μsec and 1 sec and spin rates between 5 and 20hz.</li> </ul>
Additional Programmability	<p>Multi-sensor rotation phase tuning</p> <p>Query-able intrinsic calibration information:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Beam angles</li> <li>• IMU pose correction matrix</li> </ul>

## MECHANICAL/ELECTRICAL

Power Consumption	14-16 W typical, 18 W peak
Operating Voltage	22-26 V, 24 V nominal
Connector	Proprietary pluggable connector (Power + data + DIO)
Dimensions	Diameter: 85 mm (3.34 in) Height: 73 mm (2.87 in)
Weight	380 g (13.4 oz)
Mounting	4 x M3 screws / 2 locating 3 mm pins

## OPERATIONAL

Operating Temperature	-20° C to +50° C with specified heat sink
Storage Temperature	-40° C to +105° C
Ingress	IP67
Shock	500 m/s <sup>2</sup> amplitude, 11 ms Half Sine
Vibration	5 Hz to 2,000 Hz, 3 Grms
Compliance	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Laser Safety:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ IEC/EN 60825-1:2014 Class 1</li> <li>○ US 21CFR1040: Complies with FDA performance standards for laser products except for deviations pursuant to Laser Notice No. 50, dated July 26th, 2001</li> </ul> </li> <li>• <b>Product Safety:</b> IEC/EN 62368-1:2014</li> </ul>



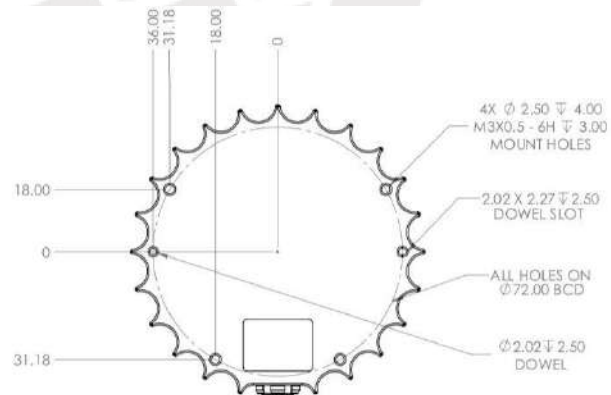
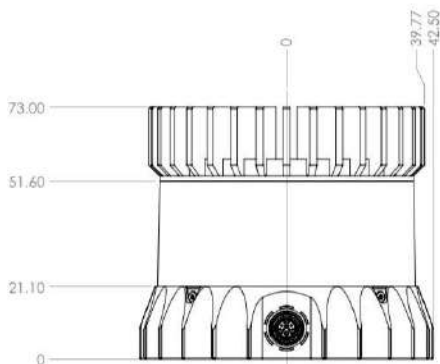
# OUSTER

	<ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>EMC:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ FCC 47Cfr Part 15B, Class A</li> <li>○ EN 55032: 2012/AC: 2013, Class A</li> <li>○ IEC/EN 61000-4-3,4,5,6</li> <li>○ IEC/EN 61000-6-2:2005 Class A</li> <li>○ IEC/EN 61000-6-4: 2007</li> </ul> </li> <li>● <b>CE Mark:</b> Future</li> <li>● <b>ROHS</b></li> </ul>
--	--

## ACCESSORIES

Included Interface Box	PolyCarb/FR4, 100 g, 75 mm × 50 mm × 25 mm (L × W × H), 2 m CAT6 cable, 24 V power adapter, 5 m sensor cable
Optional Mount	Aluminum, 530, 100 mm × 100 mm × 20.5 mm (L×W×H), 4×M8 thru holes

## EXTERIOR DIMENSIONS



\* Specifications are subject to change without notice.

[WWW.OUSTER.IO](http://WWW.OUSTER.IO)

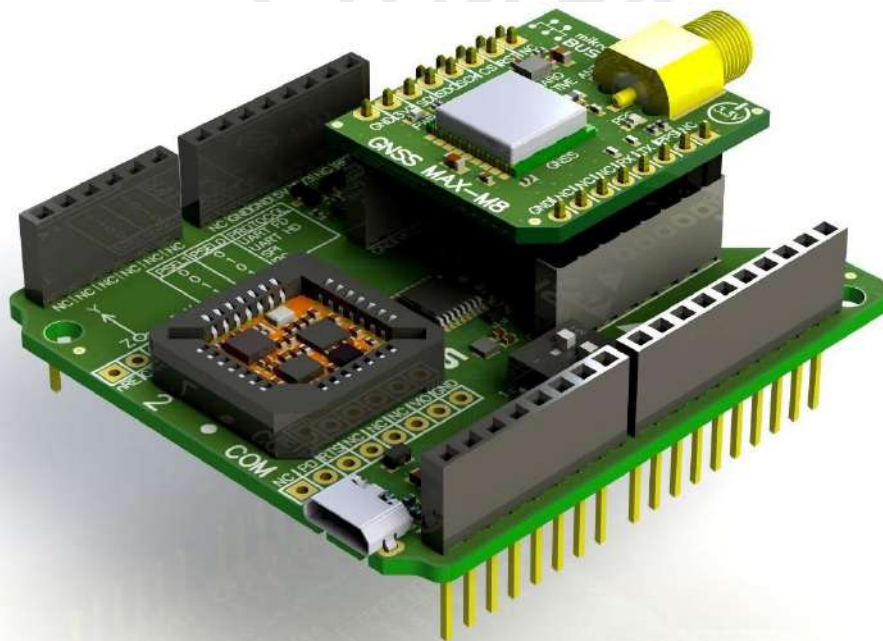


**xsens**

# MTi 1-series Development Kit

## MTi-3-DK and MTi-7-DK User Manual

Document MT0513P, Revision D, 24 March 2018



Xsens Technologies B.V.

Pantheon 6a  
P.O. Box 559  
7500 AN Enschede  
The Netherlands

**phone** +31 (0)88 973 67 00  
**fax** +31 (0)88 973 67 01  
**e-mail** [info@xsens.com](mailto:info@xsens.com)  
**internet** [www.xsens.com](http://www.xsens.com)

Xsens North America, Inc.

10557 Jefferson Blvd,  
Suite C  
CA-90232 Culver City  
USA

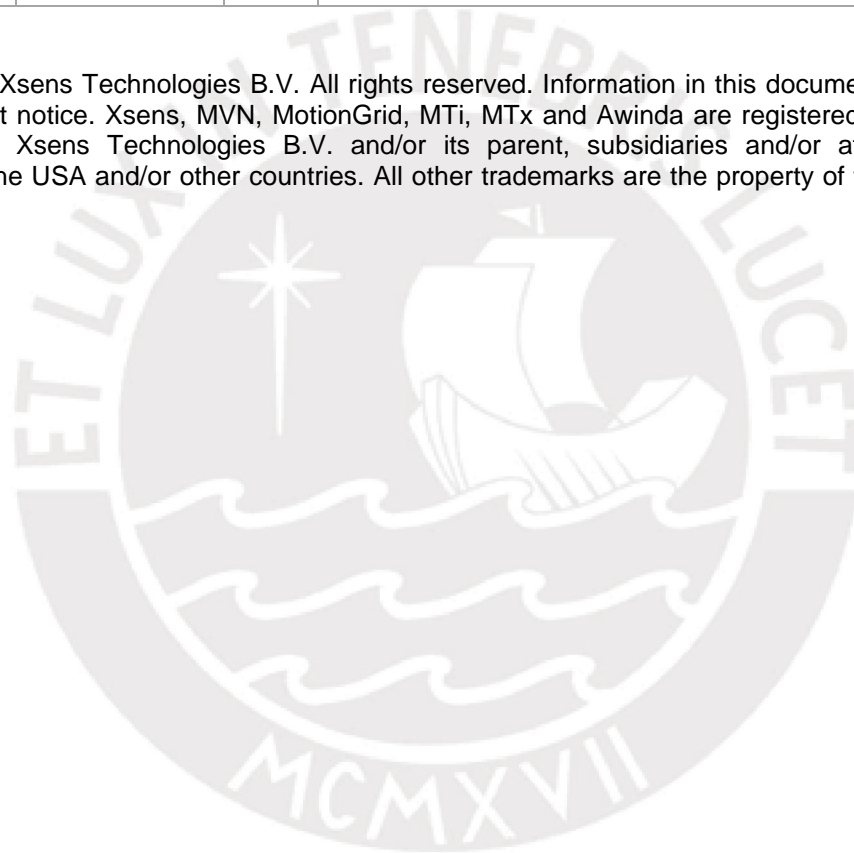
**phone** 310-481-1800  
**fax** 310-416-9044  
**e-mail** [info@xsens.com](mailto:info@xsens.com)  
**internet** [www.xsens.com](http://www.xsens.com)



## Revisions

Revision	Date	By	Changes
A	8 July 2015	MHA	Initial release
...	...	...	...
D	24 March 2018	AVY	Document caters only to <ul style="list-style-type: none"><li>- MTi-3-DK (HW version <math>\geq</math> 2.0)</li><li>- MTi-7-DK (New release, HW version <math>\geq</math> 2.0)</li></ul> Removed any references to previous version of the DK (MTi-3-8A7G6x, HW $\leq$ 1.1)

© 2005-2018, Xsens Technologies B.V. All rights reserved. Information in this document is subject to change without notice. Xsens, MVN, MotionGrid, MTi, MTx and Awinda are registered trademarks or trademarks of Xsens Technologies B.V. and/or its parent, subsidiaries and/or affiliates in The Netherlands, the USA and/or other countries. All other trademarks are the property of their respective owners.

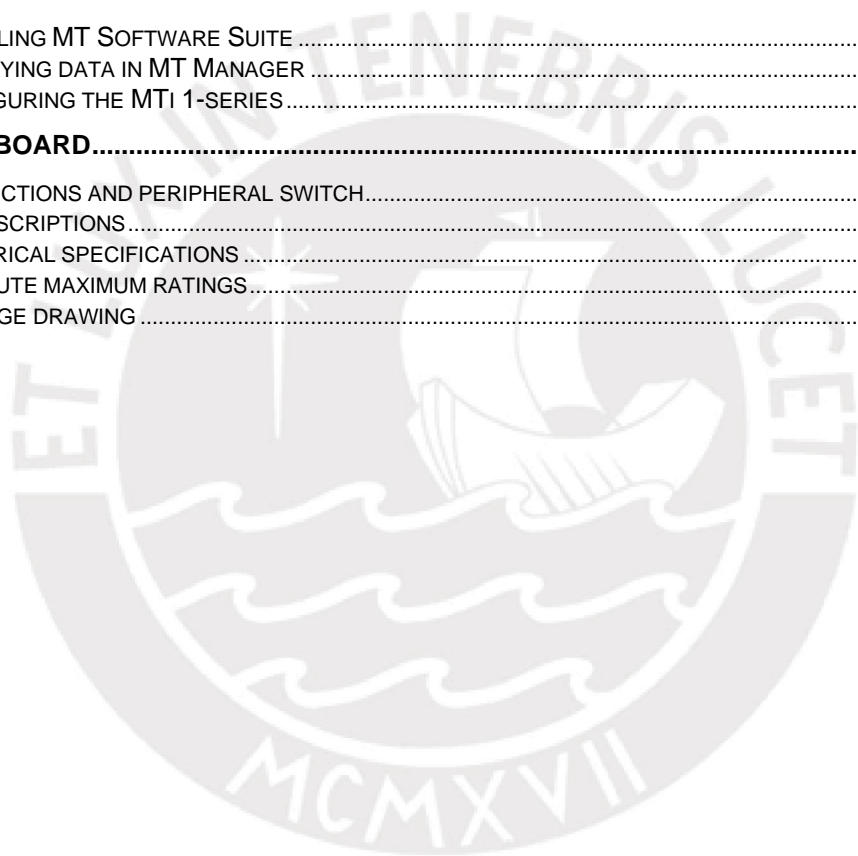




**xsens**

## Table of Contents

<b>1</b>	<b>GENERAL INFORMATION</b> .....	<b>1</b>
1.1	PACKAGE INFORMATION.....	1
1.2	ORDERING INFORMATION.....	2
<b>2</b>	<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>3</b>
2.1	KIT CONTENTS AND FEATURES .....	3
2.2	SOFTWARE AND DOCUMENTATION.....	4
2.2.1	<i>Embedded examples</i> .....	4
<b>3</b>	<b>GETTING STARTED</b> .....	<b>5</b>
3.1	INSTALLING MT SOFTWARE SUITE .....	5
3.2	DISPLAYING DATA IN MT MANAGER .....	6
3.3	CONFIGURING THE MTi 1-SERIES.....	7
<b>4</b>	<b>SHIELD BOARD</b> .....	<b>8</b>
4.1	CONNECTIONS AND PERIPHERAL SWITCH.....	8
4.2	PIN DESCRIPTIONS.....	12
4.3	ELECTRICAL SPECIFICATIONS .....	13
4.4	ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS.....	13
4.5	PACKAGE DRAWING .....	14



## List of Tables

Table 1: Package contents for 1-series Development Kits .....	1
Table 2: Ordering information for 1-series Development Kits .....	2
Table 3: Connections on external power header (J100 in Figure 7) .....	9
Table 4: Connections on Arduino-compatible header (P100, P101, P102 and P103 in Figure 7) .....	9
Table 5: Connections on UART communication extension sockets (P202 and P203 in Figure 7) .....	10
Table 6: Switch positions to enable interfaces on Shield Board (SW200 in Figure 7) .....	10
Table 7: Connections on auxiliary sensor extension sockets (P200 and P201 in Figure 7) .....	11
Table 8: Pin descriptions Shield Board .....	12
Table 9: System specification Shield Board .....	13
Table 10: Absolute maximum ratings Shield Board .....	13

## List of Figures

Figure 1: Exploded view of the MTi 1-series Shield board .....	3
Figure 2: Start up screen for MT Software Suite installer .....	5
Figure 3: Software components installation .....	5
Figure 4: Successful installation screen .....	6
Figure 5: MT Manager overview .....	6
Figure 6: Output configuration dialog in MT Manager using an MTi-7-DK .....	7
Figure 7: MTi 1-series Shield Board with connector designators .....	8
Figure 8: Top view (left) and the bottom view (right) of the GNSS daughter card .....	11
Figure 9: MTi 1-series Shield Board package drawing (Top and Side view) .....	14








## 1 General information

This document provides information on the contents and usage of the MTi 1-series Development Kits. The MTi 1-series module (MTi 1-s) is a fully functional, self-contained module that is easy to design-in. The MTi 1-s can be connected to a host through I<sup>2</sup>C, SPI or UART interfaces. The MTi-3 Development Kit (MTi-3-DK) enables users to evaluate features for the MTi-3 (AHRS), MTi-2 (VRU) and MTi-1 (IMU) modules. The MTi-7 Development Kit (MTi-7-DK) enables users to evaluate features of the MTi-7 (external-GNSS/INS). In addition to the MTi 1-s interfaces, both Development Kits include a USB interface.

### 1.1 Package information

Table 1: Package contents for 1-series Development Kits

Component	Name
	Shield board
	MTi 1-series module (MTi 1-s)
	GNSS daughter card <sup>1</sup>
	GNSS antenna <sup>1</sup>
	USB cable

<sup>1</sup> Only with MTi-7-DK



## 1.2 Ordering information

Table 2: Ordering information for 1-series Development Kits

Kit	Description	Package contents	Packing Method
MTi-7-DK	Development kit for MTi-7 (external-GNSS-aided-AHRS)	<ul style="list-style-type: none"><li>- Shield board</li><li>- MTi-7 module (in the socket)</li><li>- GNSS daughter card</li><li>- GNSS antenna</li><li>- USB cable</li></ul>	Single unit
MTi-3-DK	Development kit for MTi-1 (IMU), MTi-2 (VRU) and MTi-3 (AHRS)	<ul style="list-style-type: none"><li>- Shield board</li><li>- MTi-3 module (in the socket)</li><li>- USB cable</li></ul>	Single unit

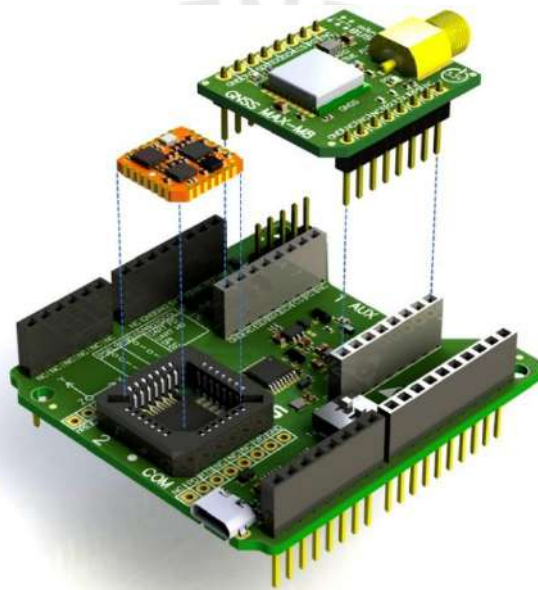


## 2 Introduction

### 2.1 Kit contents and features

The MTi 1-series Development Kit contains

- Shield board
- MTi-3 or MTi-7 mounted in the socket
- GNSS daughter card (only with MTi-7-DK)
- GNSS antenna (only with MTi-7-DK)
- USB cable



**Figure 1: Exploded view of the MTi 1-series Shield board**

The Shield Board, the MTi 1-s (orange module) and the GNSS daughter card (with the SMA connector) are shown in Figure 1. The features of the Shield Board include:

- 3.3 V compatible I/O
- Power indicator LEDs
- Arduino-compatible headers
- External power pin header
- Manual peripheral selection switch for MTi 1-series
- Switching between UART and I<sup>2</sup>C on Arduino-compatible headers based on PSEL switch setting
- USB to UART converter
- Auxiliary extension socket
- Optional socket connections for mikroBUS™ RS232/RS485 click boards™

See Section 4 for more details.



## 2.2 Software and documentation

The MTi 1-series Development Kit is supported by the MT Software Suite, which includes the following software components:

- MT Manager
- Magnetic Field Mapper
- MT SDK with documentation

Additionally, the latest firmware for the MTi-3 or the MTi-7 module can be downloaded and updated using the Firmware Updater that is also available on our website.

The Software components can be downloaded from the Xsens website – [www.xsens.com](http://www.xsens.com).

Along with the SDK documentation that is part of the MT Software Suite installer package, the MTi 1-series Development Kit is supported by the following additional documents<sup>2</sup>

- Hardware Integration Manual: MTi 1-series (MT1503)
- Datasheet: MTi 1-series (MT0512P)
- MT Low Level Communication Protocol (MT0101P)
- MT Manager User Manual (MT0216P)
- MT Magnetic Field Mapper Documentation (MT0202P)
- Product Change Notification
  - o *MTi 1-series: Components placement change*

### 2.2.1 Embedded examples

The MTi 1-series is designed for easy integration in embedded systems. To aid in development, example code is provided for the ARM<sup>®</sup> Mbed<sup>™</sup> platform.

An example implementation of the Xbus Low Level Communication Protocol is provided as generic C99 compliant source code<sup>3</sup>, while an ARM<sup>®</sup> Mbed<sup>™</sup> specific application demonstrates the use of the Xbus library to communicate with an MTi 1-series development kit using UART communications.

The example code has been tested with the following ARM<sup>®</sup> Mbed<sup>™</sup> compatible boards:

- ST Nucleo F302R8 – Cortex M4
- FreeScale FRDM-KL46Z – Cortex M0+
- NXP EA LPC 4088 – Cortex M4

The example code is available at <http://www.mbed.org/teams/Xsens>. Documentation on how to use the project is provided on the description page and in the code. Note that these examples are provided as is and are not supported by the Xsens support team. The examples are licensed under the [Apache Licence version 2.0](#).

It is easy to extend the program with commands from the Xsens Low Level Communication Protocol (LLCP). This protocol is documented in detail in the Low Level Communication Protocol Documentation.

---

<sup>2</sup> The MT SDK and other documentation links can be found here 'C:\Program Files\Xsens\MT Software Suite x.x.x\Documentation'.

<sup>3</sup> Xbus example code is not specific to ARM processors and should be compatible with other embedded architectures.

### 3 Getting started

#### 3.1 Installing MT Software Suite

The MT Software Suite is available from the Xsens website ([www.xsens.com/mt-software-suite](http://www.xsens.com/mt-software-suite)).

The installation procedure consists of a set of several installers and starts with the GUI as shown in Figure 2.



Figure 2: Start up screen for MT Software Suite installer

It is possible to choose the components that you need to install (Figure 3).







Figure 3: Software components installation

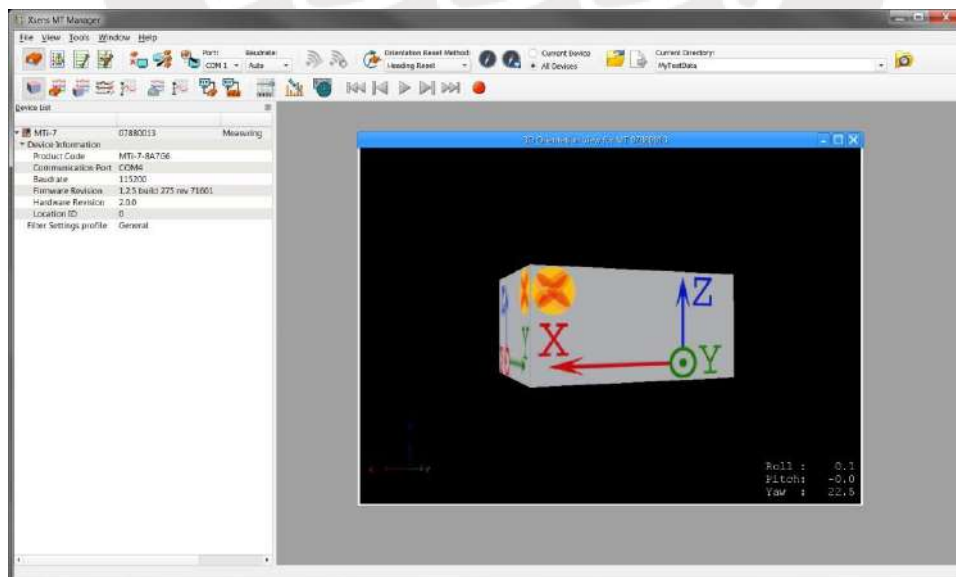
When you cancel the installation of a particular component, the installer will continue with the next component. Make sure to accept the End-User License agreement and Software License Agreements, and then wait for the successful installation screen to appear as shown in Figure 4.



**Figure 4: Successful installation screen**

### 3.2 Displaying data in MT Manager


When the MTi 1-series Shield Board is connected in MT Manager, the device description is shown in the “Device List” (Figure 5). To see a real time 3D orientation of the MTi click the 3D View icon . The inertial data , orientation data in Euler angles  and the status data  can be visualized by clicking their respective icons in Figure 5.

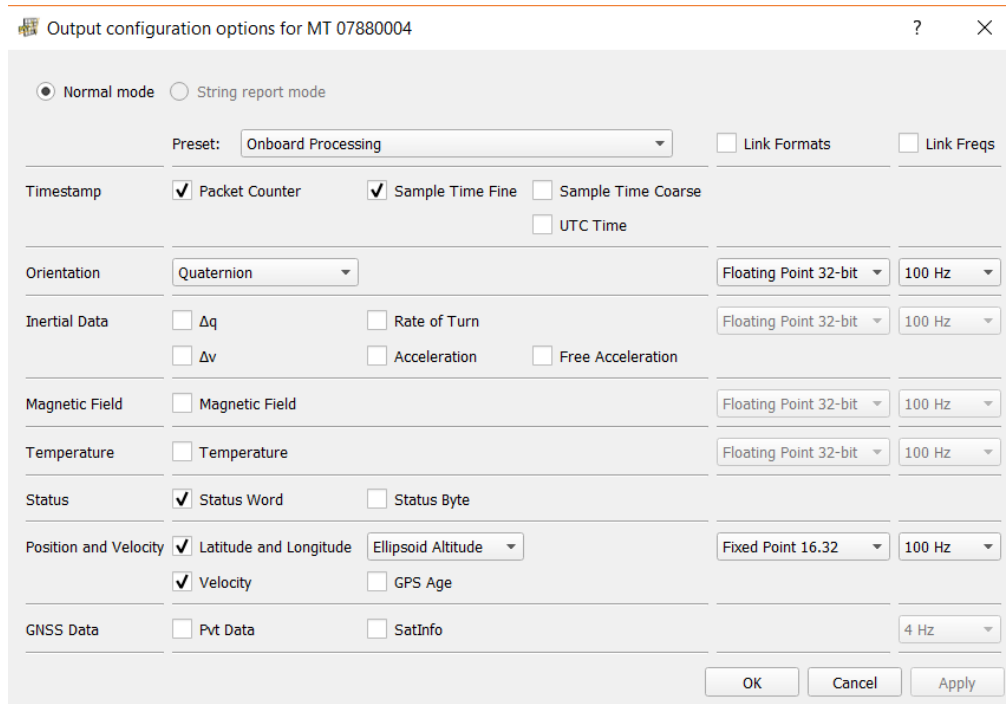


**Figure 5: MT Manager overview**



### 3.3 Configuring the MTi 1-series

The MTi-1s can be directly configured by means of MT Manager. Click the Output Configuration button  to open the Output Configuration dialog (Figure 6).



**Figure 6: Output configuration dialog in MT Manager using an MTi-7-DK**

By default, the output of the MTi-3 and MTi-7 is set to the 'Onboard Processing' preset, whereas the MTi-1 module is set to 'XDA processing' preset. Click "Inertial Data" ( $\Delta q/\Delta v$  or Rate of Turn/Acceleration) and "Magnetic Field" to be able to show this data in MT Manager.

With MT Manager, it is possible to record data and export that data for use in other programs, set alignment matrices, configure synchronization options and to review the test and calibration report. More information on the functions and features can be found in the MT Manager User Manual. The MT Manager User Manual can be found via Help → Documentation.

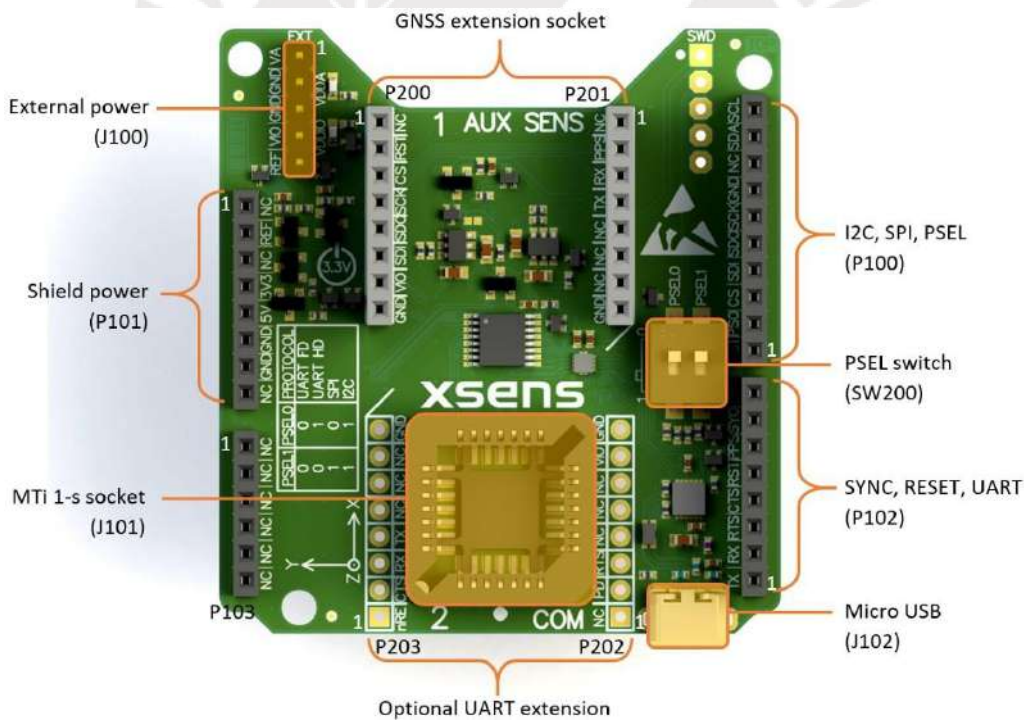
## 4 Shield board

The MTi 1-s modules are available with a development kit. An MTi-3 AHRS or an MTi-7 external-GNSS/INS is mounted in a PLCC-28 socket and connected to USB, UART, I<sup>2</sup>C and SPI. The Shield Board exposes the pins of the MTi 1-s module making it easier for the user to test all the features and the peripherals offered by the MTi 1-s. This chapter discusses in more detail the connections and peripherals available on the MTi 1-s Shield Board.

### 4.1 Connections and peripheral switch

The MTi 1-series Shield Board has the following connections as shown in Figure 7:

- External power pin header (J100)
- Arduino-compatible headers (P100, P101, P102 and P103)
- UART communication extension socket, not placed by default (P202 and P203)
- Micro USB (J102)
- Peripheral selection switch (SW200)
- Auxiliary sensor extension socket (P200 and P201) used for GNSS daughter card
- MTi 1-series module placed in J101



**Figure 7: MTi 1-series Shield Board with connector designators**

The *External power pin header J100* can be used to directly supply the VDDIO and/or VDDA supplies for the MTi 1-s module (Table 3). The IOREF pin on this connector can be used to override the default 3.3 V VDDIO by placing a jumper from this pin to the adjacent VDDIO pin.

**Table 3: Connections on external power header (J100 in Figure 7)**

Pin	Description
1	VDDA
2	GND
3	GND
4	VDDIO
5	IOREF

The connections for *Arduino-compatible headers* with a pitch of 2.54 mm (0.1 inch) are shown in Table 4. The MTi 1-series Shield Board does not support Arduino-compatible boards with an IOREF of 5V as the maximum VDDIO is 3.6V for the MTi 1-s module. Therefore, the VDDIO is by default set to 3.3V. This default VDDIO voltage can be overruled by placing a jumper on the external power header, but only for voltages within the operational VDDIO range of the MTi 1-s module. For information on the connections, refer to the pin description in Section 4.2. Refer to Table 6 on how to enable the various interfaces on the Shield Board.

**Table 4: Connections on Arduino-compatible header (P100, P101, P102 and P103 in Figure 7)**

Pin	Arduino	Shield Board	Pin	Arduino	Shield Board
			P100-10	SCL/D15	SCL
			P100-9	SDA/D14	SDA
			P100-8	AVDD	NC
P101-1	NC	NC	P100-7	GND	GND
P101-2	IOREF	IOREF	P100-6	SCK/D13	SCK/ADD0
P101-3	NRST	NC	P100-5	MISO/D12	MISO/ADD1
P101-4	3V3	3V3	P100-4	MOSI/D11	MOSI/ADD2
P101-5	5V	5V	P100-3	CS/D10	nCS
P101-6	GND	GND	P100-2	D9	PSEL0
P101-7	GND	GND	P100-1	D8	PSEL1
P101-8	VIN	NC	P102-8	D7	SYNC_IN
			P102-7	D6	SYNC_OUT
P103-1	A0	NC	P102-6	D5	SYNC_PPS
P103-2	A1	NC	P102-5	D4	RESET
P103-3	A2	NC	P102-4	D3	DRDY/CTS/nRE
P103-4	A3	NC	P102-3	D2	RTS/DE
P103-5	A4	NC	P102-2	TX/D1	RxD
P103-6	A5	NC	P102-1	RX/D0	TxD

The *UART communication extension socket* is not placed by default. When the socket is placed, it can be used to directly plug an UART transceiver module of MikroElektronika like the 'RS232 click' or 'RS485

click 3.3V'. This UART communication extension socket uses (only) the 3.3V supply pin, which is connected to VDDIO. We recommend to place low profile sockets (like the *CES-108-01-T-S*) to make sure that the MTi 1-s module is still easily accessible. The pin description of these headers is shown in Table 5.

**Table 5: Connections on UART communication extension sockets (P202 and P203 in Figure 7)**

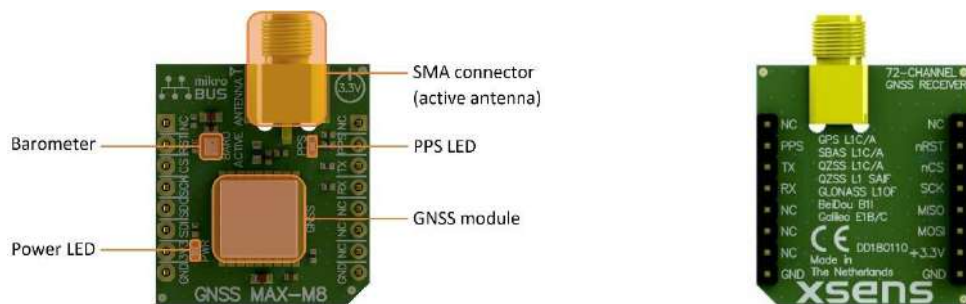
Pin	Mikro BUS	MTi 1-s	Pin	Mikro BUS	MTi 1-s
P202-1	AN	NC	P203-1	PWM	DRDY/CTS/nRE
P202-2	RST	Pull-down	P203-2	INT	DRDY/CTS/nRE
P202-3	CS	RTS/DE	P203-3	TX	RxD
P202-4	SCK	NC	P203-4	RX	TxD
P202-5	MISO	NC	P203-5	SCL	NC
P202-6	MOSI	NC	P203-6	SDA	NC
P202-7	3.3V	VDDIO	P203-7	5V	NC
P202-8	GND	GND	P203-8	GND	GND

The MTi 1-series Shield Board has a *Micro USB* connection that can be connected directly to a USB port on a PC or laptop. **Note:** Make sure to disconnect any other power supply, as this will overrule the USB connection.

The *Peripheral selection switch* sets the interface configuration of the MTi 1-s module in the socket. The switch connects the PSEL lines (Table 6) to GND with a 5 k $\Omega$  pull-down when set to ON. Otherwise, the PSEL lines are pulled-up with a 100 k $\Omega$  resistor. The PSEL pins on the Arduino-compatible headers can be used to overrule these lines.

**Table 6: Switch positions to enable interfaces on Shield Board (SW200 in Figure 7)**

PSEL1	PSEL0	Interface	Comments
0	0	UART full-duplex	This interface uses the flow control lines RTS and CTS. The UART full-duplex communications mode can be used without hardware flow control. In this case the CTS line needs to be tied low (GND) to make the MTi device transmit.
0	1	UART half-duplex	The UART itself is still full duplex but the DE and nRE lines are used to control a half-duplex transceiver
1	0	SPI	
1	1	I <sup>2</sup> C	When I <sup>2</sup> C interface is selected, it is required to set the address on the Arduino-compatible headers (see MTi 1-series Data Sheet for the I <sup>2</sup> C-addresses table)



**Figure 8: Top view (left) and the bottom view (right) of the GNSS daughter card**

The MTi-7-DK comes with the GNSS daughter card installed in the *auxiliary sensor extension sockets* (P200 and P201). As shown in Figure 8, the GNSS daughter card consists of a GNSS and a barometer sensor component. The LEDs (Power and PPS) give indication of proper functioning of the GNSS daughter card. The supplied GNSS antenna can be connected to the SMA connector.

The *auxiliary sensor extension socket* has mikroBUS™ compatible pinning. This enables the user to connect alternate GNSS daughter card modules with mikroBUS™ pinning to the MTi 1-series Shield board. The pinning connections for the auxiliary sensor extension socket are listed in Table 7. This extension only uses the 3.3V supply pin, which is connected to VDDIO. Therefore, make sure that the VDDIO is within the required voltage range of the GNSS module.

**Table 7: Connections on auxiliary sensor extension sockets (P200 and P201 in Figure 7)**

Pin	Mikro BUS	MTi 1-s	Pin	Mikro BUS	MTi 1-s
P200-1	AN	NC	P201-1	PWM	NC
P200-2	RST	nRST	P201-2	INT	SYNC_PPS
P200-3	CS	AUX_nCS	P201-3	TX	AUX_RxD
P200-4	SCK	AUX_SCK	P201-4	RX	AUX_TxD
P200-5	MISO	AUX_MISO	P201-5	SCL	NC
P200-6	MOSI	AUX_MOSI	P201-6	SDA	NC
P200-7	3.3V	VDDIO	P201-7	5V	NC
P200-8	GND	GND	P201-8	GND	GND





## 4.2 Pin descriptions

Table 8: Pin descriptions Shield Board

Name	Type	Description
<b>Power Interface</b>		
VDDA	Power	Power supply voltage for sensing elements
VDDIO	Power	Digital I/O supply voltage
<b>Controls</b>		
PSEL0	Selection pins	These pins determine the signal interface. Note that when the PSEL0/PSEL1 is not connected, its logic value is 1. When PSEL0/PSEL1 is connected to GND, its logic value is 0
PSEL1		
RESET		Active high reset pin, connect to GND if not used
<b>Peripheral Interface</b>		
SDA	I2C interface	I2C serial data
SCL		I2C serial clock
ADD[0..2]		I2C address selection pins
nCS	SPI interface	SPI chip select
MOSI		SPI serial data input (slave)
MISO		SPI serial data output (slave)
SCK		SPI serial clock
RTS	UART interface	Hardware flow control in UART full-duplex mode (Ready-to-Send)
CTS		Hardware flow control in UART full-duplex mode (Clear-to-Send)
nRE		Receiver control signal in UART half-duplex mode
DE		Transmitter control signal in UART half-duplex mode
RxD		Receiver data input
TxD		Transmitter data output
DRDY		Data ready
SYNC_IN	Sync interface	Accepts a trigger input to request the latest available data message
SYNC_OUT		N/A
SYNC_PPS		Pulse Per Second output of GNSS module
AUX_RxD	Auxiliary UART interface	Auxiliary UART data input
AUX_TxD		Auxiliary UART data output
AUX_nCS	Auxiliary SPI interface	Auxiliary SPI chip select
AUX_MOSI		Auxiliary SPI serial data output (master)
AUX_MISO		Auxiliary SPI serial data input (master)
AUX_SCK		Auxiliary SPI serial clock



### 4.3 Electrical specifications

The Shield Board has the same communication protocol as the MTi 1-s module. Table 9 shows the electrical specifications for the Shield Board.

**Table 9: System specification Shield Board**

		Min	Typ	Max	Unit
VDDA		2.16	3.3	3.6	V
VDDIO		1.8	3.3	3.6	V
V <sub>IO</sub>	V <sub>IH</sub>	0.75 * VDDIO			V
	V <sub>IL</sub>			0.25 * VDDIO	V

### 4.4 Absolute maximum ratings

**Table 10: Absolute maximum ratings Shield Board**

Parameter	Min	Max	Unit	Comments
Storage temperature	-50	+125	°C	
Operating temperature	-40	+85	°C	
VDD	-0.3	4.0	V	Specification for the external power header J100.
5V on P101 and J102	-0.3	6.0	V	Specification for the Arduino and USB.
VDDIO	-0.3	4.0	V	Specification for the external power header J100.
V <sub>UART,PSEL,I<sup>2</sup>C</sub>	-0.3	VDDIO + 0.3	V	
V <sub>RESET,SYNC,SPI</sub>	-0.3	VDDIO + 4.0	V	
Acceleration <sup>4</sup>		10,000	g	Any axis, unpowered, for 0.2 ms
ESD protection <sup>5</sup>		±2000	V	Human body model

Stresses beyond those listed under “Absolute Maximum Ratings” may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only. Functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability. Make sure not to apply force on the components of the MTi 1-s module, especially when placing the MTi 1-s module in a PLCC socket.

<sup>4</sup>  $\Delta$  This is a mechanical shock (g) sensitive device. Proper handling is required to prevent damage to the part.

<sup>5</sup>  $\blacktriangledown$  This is an ESD-sensitive device. Proper handling is required to prevent damage to the part.

### 4.5 Package drawing

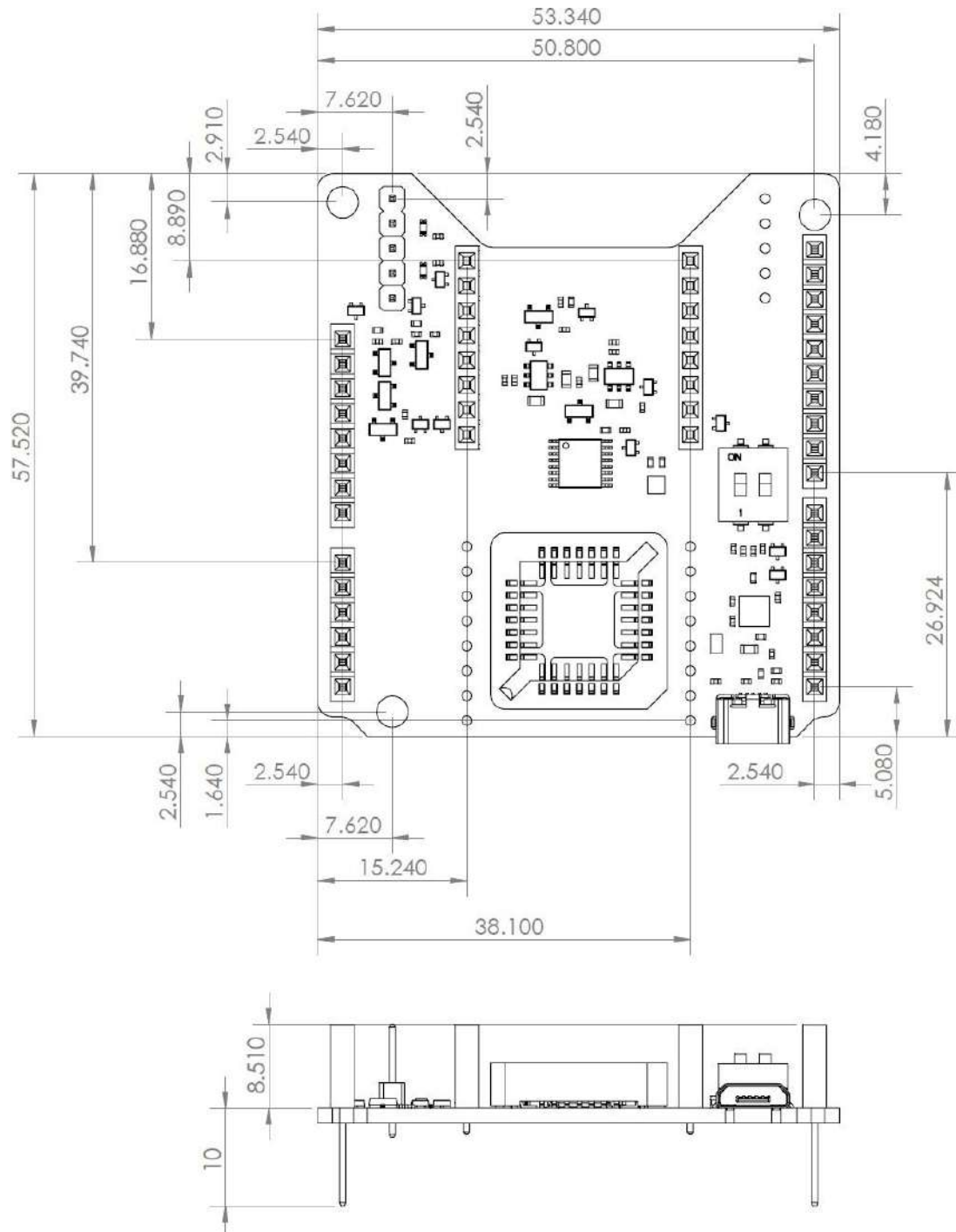


Figure 9: MTi 1-series Shield Board package drawing (Top and Side view)

## UBEC DUO 4A/5~12V & 4A/5V

SKU: U4A2P

This device is a high-efficiency, switch-mode buck regulator with two output channels, works with 7~26Vdc Input. One output channel is capable of supplying 0~4A/5V for your RX or Flight Controller. This device also features another output channel with 4A & 5~12V(adjustable), inbuilt power switch that is operated by a spare Aux Channel, this feature can be used to power and switch on/off a wide variety of electric equipments, such as Multi-rotors Gimbals, Video Transmitters, FPV camera systems, HV Servos, navigation/landing lights, bomb drop, etc.

### Features

- Switch-mode buck regulator
- Two output channels,
- Build-in Aux control (On/Off) function
- Low input voltage alarm & threshold setting
- Output Short-circuit protection

### Specifications

- Input voltage range: 7~26V (2~6S LiPo battery)
- Out-1: 5V, 6V, 7.2V, 12V (Adjustable), 0~4A, Max.6A, inbuilt Aux control switch.
- Out-2: 5V, 0~4A, Max.6A
- Efficiency: up to 95%
- Standby current: 10mA
- LiPo voltage alarm setting: 3.4V, 3.5V, 3.6V, 3.7V/Cell & OFF
- Input cable 20cm (Silicone 20AWG), Output cable 30cm (2pairs,Silicone 22AWG)
- Size & weight: 58x36x8mm, 32g

### How to Use

**!** *It is a step-down regulator, the input should be 4cells LiPo at least, to ensure stable output 12V.*

**⚠** *Pay attention to the input polarity. Reversed polarity will damage the UBEC.*

#### 1. Adjust the Out-1 voltage

- **Pls disconnect any attached equipments on OUT-1 before setting the voltage**
- Hold the KEY 3 seconds to enter the setting of the Out-1 voltage.
- Then press KEY to choose the voltage between 5V, 6V, 7.2V, 12V (Blue LED) .
- The value will be saved & exit if no action within 5 seconds.

#### 2. Aux control function

- **No Aux connection, OUT-1 Default is ON**
- Connect the Aux pins to a spare Aux channel on the receiver (Two position switch) .
- Move the toggle switch to one side or another side.
- Out-1 ON, with blue LED light ON & "BeBe...BeBe"
- Out-1 OFF, with blue LED light OFF & "BeBeBeBe"

#### 3. Input voltage monitor, Low voltage alarm & Alarm values setting

The UBEC can monitor 2~6S LiPo voltage status & notify you once the cells reach the defined voltage.

3.1 If the Input voltage is in the range of following, The UBEC will detect the cell numbers automatically when the LiPo is connected.

7.4 ~ 8.6V: 2cells LiPo    11.1~12.9V: 3cells LiPo  
14.8~17.2V: 4cells LiPo    18.5~21.5V: 5cells LiPo  
22.2~25.8V: 6cells LiPo

The UBEC will alarm "Be" & the voltage threshold red LED will be shown.

During the using of LiPo, UBEC will detect the voltage always.

- If the input voltage is below "threshold " cells", the alarm will be triggered with "Be..Be..Be..Be..."
- Input voltage rise again, the alarm will be suspended.

3.2 If the input voltage is out of the aforesaid range, The UBEC will alarm "Be..Be..Be" & 4 red LEDs light.

Pls check if the battery total voltage is below 3.7V\*cells

3.3 The alarm threshold can be customized between 3.4V, 3.5V, 3.6V, 3.7V & OFF

- Press the KEY to set the alarm threshold. All Red LEDs go out, This function is OFF.
- The value will be saved & exit if no action within 10 seconds.

## General Description

The AOZ1284 is a high voltage, high efficiency, simple to use, 4A buck regulator optimized for a variety of applications. The AOZ1284 works from a 3.0V to 36V input voltage range, and provides up to 4A of continuous output current. The output voltage is adjustable from 30V down to 0.8V.

The AOZ1284 integrates an N-channel high-side power MOSFET. The switching frequency can set from 200kHz to 2MHz with an external resistor. The soft-start time can be set with an external capacitor.

## Features

- 3.0V to 36V operating input voltage range
- 50mΩ internal NMOS
- Up to 95% efficiency
- Adjustable soft-start
- Output voltage adjustable from 0.8V to 30V
- 4A continuous output current
- Adjustable switching frequency from 200kHz to 2MHz
- Cycle-by-cycle current limit
- Short-circuit protection
- Over-voltage protection
- Over-temperature protection
- EPAD SO-8 package

## Applications

- Point-of-load DC/DC conversion
- Set top boxes and cable modems
- Automotive applications
- DVD drives and HDDs
- LCD Monitors & TVs
- Telecom/Networking/Datacom equipment



## Typical Application

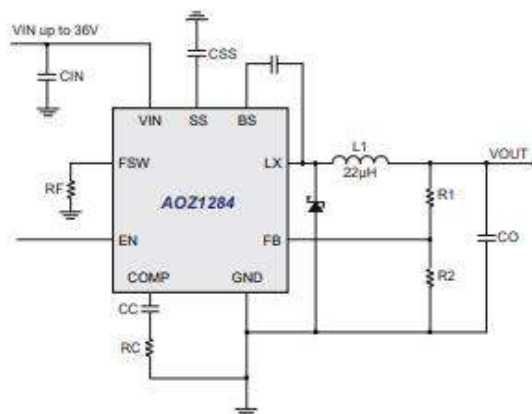


Figure 1. 36V/4A Buck Regulator

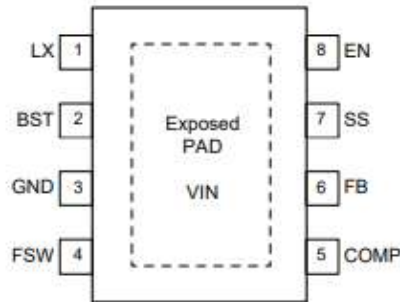
**Ordering Information**

Part Number	Ambient Temperature Range	Package	Environmental
AOZ1284PI	-40 °C to +85 °C	EPAD SO-8	Green Product



AOS Green Products use reduced levels of Halogens, and are also RoHS compliant. Please visit [www.aosmd.com/media/AOSGreenPolicy.pdf](http://www.aosmd.com/media/AOSGreenPolicy.pdf) for additional information.

**Pin Configuration**



**Pin Description**

Pin Number	Pin Name	Pin Function
1	LX	PWM Output. Connect to inductor.
2	BST	Bootstrap Voltage Input. Driver supply for High-side NMOS. Connected to 100nF capacitor between BST and LX.
3	GND	Ground.
4	FSW	Frequency Bias. Connect to resistor to determine switching frequency.
5	COMP	Compensation. Connect to resistor and capacitor for system stability.
6	FB	Feedback Input. It is regulated to 0.8V. The FB pin is used to determine the PWM output voltage via a resistor divider between the output and GND.
7	SS	Soft Start.
8	EN	Enable.
Exposed Pad	VIN	Supply Voltage Input.



### Absolute Maximum Ratings

Exceeding the Absolute Maximum Ratings may damage the device.

Parameter	Rating
Supply Voltage ( $V_{IN}$ )	40V
LX to GND	-0.7V to $V_{IN} + 0.3V$
EN, SS, FB and COMP to GND	-0.3V to +6V
BST to GND	-0.3V to $V_{LX} + 6V$
Junction Temperature ( $T_J$ )	+150°C
Storage Temperature ( $T_S$ )	-65°C to +150°C
ESD Rating <sup>(1)</sup>	2kV

**Note:**

1. Devices are inherently ESD sensitive, handling precautions are required. Human body model rating: 1.5kΩ in series with 100pF.

### Recommended Operating Conditions

The device is not guaranteed to operate beyond the Recommended Operating Conditions.

Parameter	Rating
Supply Voltage ( $V_{IN}$ )	3.0V to 36V
Output Voltage ( $V_{OUT}$ )	0.8V to $V_{IN} \cdot 0.85V$
Ambient Temperature ( $T_A$ )	-40°C to +85°C
Package Thermal Resistance EPAD SO-8 ( $\theta_{JA}$ )	50°C/W

### Electrical Characteristics

$T_A = 25^\circ\text{C}$ ,  $V_{IN} = 12V$ ,  $V_{FN} = 3V$ ,  $V_{CHIT} = 3.3V$ , unless otherwise specified. Specifications in **BOLD** indicate a temperature range of -40°C to +85°C. These specifications are guaranteed by design.

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
$V_{IN}$	Supply Voltage		<b>3</b>		<b>36</b>	V
$V_{UVLO}$	Input Under-Voltage Lockout Threshold	$V_{IN}$ rising $V_{IN}$ falling	2.3		2.9	V V
$I_{IN}$	Supply Current (Quiescent)	$I_{OUT} = 0$ , $V_{FB} = 1V$ , $V_{EN} > 1.2V$		<b>1</b>	<b>1.5</b>	mA
$I_{OFF}$	Shutdown Supply Current	$V_{EN} = 0V$			10	μA
$V_{FB}$	Feedback Voltage	$T_A = 25^\circ\text{C}$	788	800	812	mV
$V_{FB\_LOAD}$	Load Regulation	0.4A < Load < 3.6A		0.5		%
$V_{FB\_LINE}$	Line Regulation	Load = 2A		0.03		%/V
$I_{FB}$	Feedback Voltage Input Current	$V_{FB} = 800mV$		0.5	1	μA
<b>ENABLE</b>						
$V_{EN\_OFF}$	EN Input Threshold	Off threshold			<b>0.4</b>	V
$V_{EN\_ON}$		On threshold	<b>1.2</b>			V
$V_{EN\_HYS}$	EN Input Hysteresis			200		mV
<b>CURRENT LIMIT</b>						
	Peak Current Limit	1284	5	6		A
<b>SOFT START (SS)</b>						
$I_{SS}$	Soft Start Source Current		2	2.5	3	μA
<b>MODULATOR</b>						
$f_O$	Frequency	$R_F = 270k\Omega$ $R_F = 46.6k\Omega$	160 0.8	200 1	240 1.2	kHz MHz
$D_{MAX}$	Maximum Duty Cycle	$f_O = 1MHz$		87		%
$T_{ON\_MIN}$	Minimum On Time			150		ns
GVEA	Error Amplifier Voltage Gain			500		V/V
GEA	Error Amplifier Transconductance			170		μA/V
GCS	Current Sense Circuit Transconductance			4.5		A/V

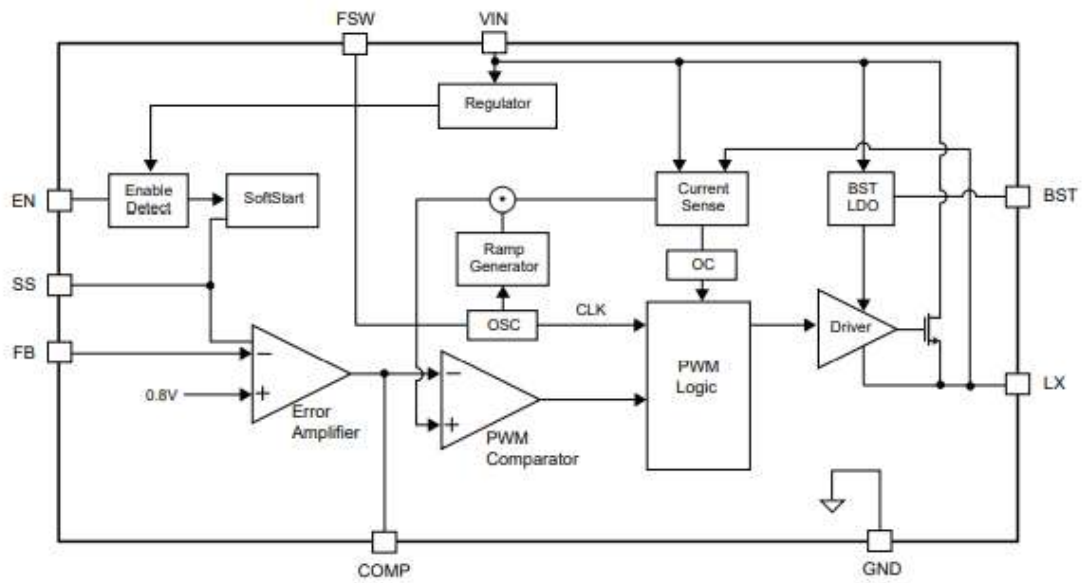


**Electrical Characteristics** *(continued)*

$T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $V_{IN} = 12\text{V}$ ,  $V_{EN} = 3\text{V}$ ,  $V_{OUT} = 3.3\text{V}$ , unless otherwise specified. Specifications in **BOLD** indicate a temperature range of  $-40\text{ }^\circ\text{C}$  to  $+85\text{ }^\circ\text{C}$ . These specifications are guaranteed by design.

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
<b>POWER STATE OUTPUT</b>						
$I_{LEAKAGE}$	NMOS Leakage	$V_{EN} = 0\text{V}$ , $V_{LX} = 0\text{V}$			10	$\mu\text{A}$
$R_{DS(ON)}$	NMOS On-Resistance			50	70	$\text{m}\Omega$
<b>THERMAL PROTECTION</b>						
$T_{SD}$	Thermal Shutdown Threshold			145		$^\circ\text{C}$
$T_{SD\_HYS}$	Thermal Shutdown Hysteresis			45		$^\circ\text{C}$

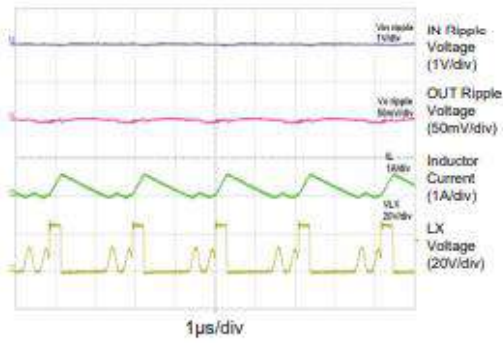
Block Diagram



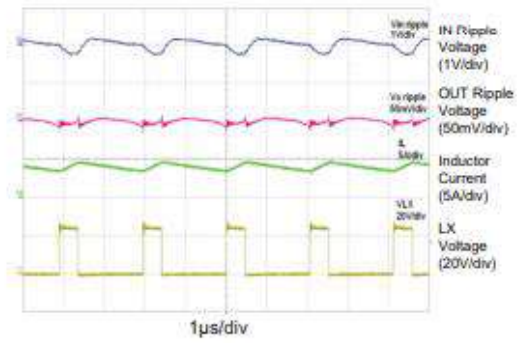
### Typical Performance Characteristics

$T_A = 25^\circ\text{C}$ ,  $V_{IN} = 24\text{V}$ ,  $V_{EN} = 5\text{V}$ ,  $V_{OUT} = 5\text{V}$ , unless otherwise specified.

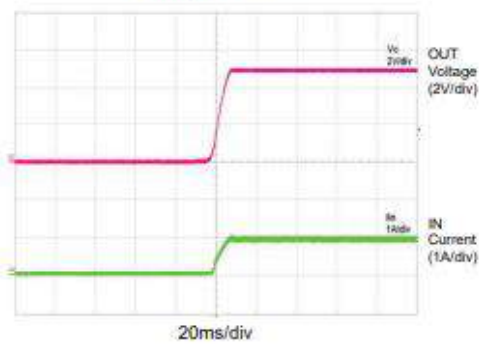
Light Load Operation



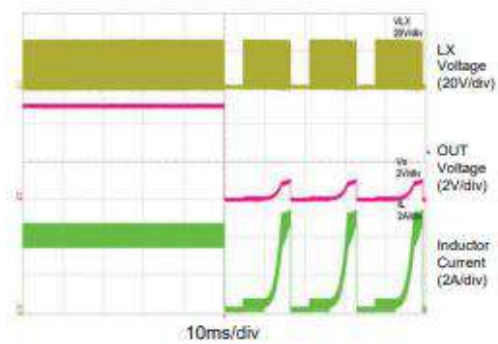
Full Load Operation



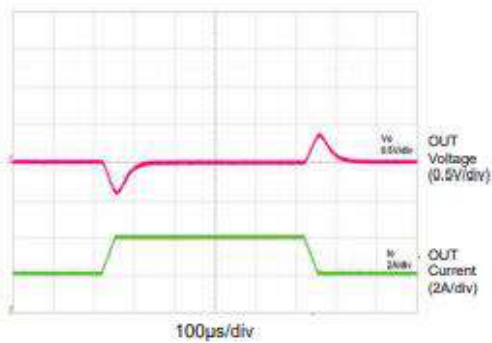
Start Up to Full Load



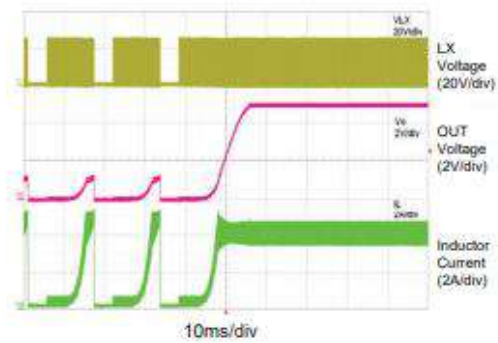
Short Circuit Protection



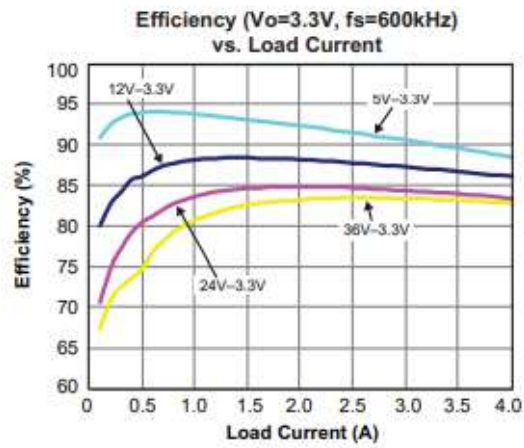
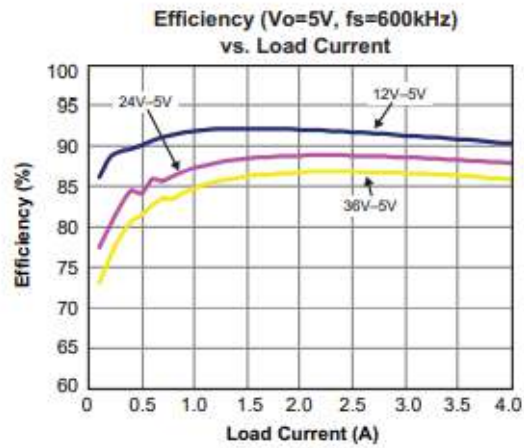
50% to 100% Load Transient



Short Circuit Recovery



Efficiency Curves



### Detailed Description

The AOZ1284 is a current-mode step down regulator with integrated high side NMOS switch. It operates from a 3V to 36V input voltage range and supplies up to 4A of load current. Features include enable control, Power-On Reset, input under voltage lockout, external soft-start and thermal shut down.

The AOZ1284 is available in EPAD SO-8 package.

#### Enable and Soft Start

The AOZ1284 has external soft start feature to limit inrush current and ensure the output voltage ramps up smoothly to regulation voltage. A soft start process begins when the input voltage rises to 3V and voltage on EN pin is HIGH. In soft start process, a 2.5µA internal current source charges the external capacitor at SS. As the SS capacitor is charged, the voltage at SS rises. The SS voltage clamps the reference voltage of the error amplifier, therefore output voltage rising time follows the SS pin voltage. With the slow ramping up output voltage, the inrush current can be prevented. Minimum external soft-start capacitor 850pF is required, and the corresponding soft-start time is about 200µs.

The EN pin of the AOZ1284 is active high. Connect the EN pin to a voltage between 1.2V to 5V if enable function is not used. Pull it to ground will disable the AOZ1284. Do not leave it open. The voltage on EN pin must be above 1.2V to enable the AOZ1284. When voltage on EN pin falls below 0.4V, the AOZ1284 is disabled. If an application circuit requires the AOZ1284 to be disabled, an open drain or open collector circuit should be used to interface to EN pin.

#### Steady-State Operation

Under steady-state conditions, the converter operates in fixed frequency and Continuous-Conduction Mode (CCM).

The AOZ1284 integrates an internal N-MOSFET as the high-side switch. Inductor current is sensed by amplifying the voltage drop across the drain to source of the high side power MOSFET. Since the N-MOSFET requires a gate voltage higher than the input voltage, a boost capacitor connected between LX pin and BST pin drives the gate. The boost capacitor is charged while LX is low. An internal 10Ω switch from LX to GND is used to insure that LX is pulled to GND even in the light load. Output voltage is divided down by the external voltage divider at the FB pin. The difference of the FB pin voltage and reference is amplified by the internal transconductance error amplifier. The error voltage, which shows on the COMP pin, is compared against the current signal, which is sum of inductor current signal and ramp compensation signal, at PWM comparator input. If the current signal is

less than the error voltage, the internal high-side switch is on. The inductor current flows from the input through the inductor to the output. When the current signal exceeds the error voltage, the high-side switch is off. The inductor current is freewheeling through the Schottky diode to output.

#### Switching Frequency

The AOZ1284 switching frequency can be programmed by an external resistor. The external resistor value can be calculated by the following formula:

$$RF(k\Omega) = \frac{5000}{f_O(kHz)} - 5k\Omega$$

Some standard values of RF for most commonly used switching frequency are listed in Table 1.

fo (Hz)	RF (kΩ)
200k	270
500k	100
1M	46.6

Table 1.

#### Output Voltage Programming

Output voltage can be set by feeding back the output to the FB pin with a resistor divider network. In the application circuit shown in Figure 1. The resistor divider network includes R1 and R2. Usually, a design is started by picking a fixed R2 value and calculating the required R1 with equation below.

$$V_O = 0.8 \times \left( 1 + \frac{R_1}{R_2} \right)$$

Some standard values of R1 and R2 for the most commonly used output voltage values are listed in Table 2.

Vo (V)	R1 (kΩ)	R2 (kΩ)
0.8	1.0	Open
1.2	4.99	10
1.5	10	11.5
1.8	12.7	10.2
2.5	21.5	10
3.3	31.6	10
5.0	52.3	10

Table 2.



The combination of R1 and R2 should be large enough to avoid drawing excessive current from the output, which will cause power loss.

### Protection Features

The AOZ1284 has multiple protection features to prevent system circuit damage under abnormal conditions.

#### Over Current Protection (OCP)

The sensed inductor current signal is also used for over current protection. Since the AOZ1284 employs peak current mode control, the COMP pin voltage is proportional to the peak inductor current. The COMP pin voltage is limited to be between 0.4V and 2.5V internally. The peak inductor current is automatically limited cycle by cycle.

The cycle by cycle current limit threshold is internally set. When the load current reaches the current limit threshold, the cycle by cycle current limit circuit turns off the high side switch immediately to terminate the current duty cycle. The inductor current stop rising. The cycle by cycle current limit protection directly limits inductor peak current. The average inductor current is also limited due to the limitation on peak inductor current. When cycle by cycle current limit circuit is triggered, the output voltage drops as the duty cycle decreasing.

The AOZ1284 has internal short circuit protection to protect itself from catastrophic failure under output short circuit conditions. The FB pin voltage is proportional to the output voltage. Whenever FB pin voltage is below 0.2V, the short circuit protection circuit is triggered.

#### Power-On Reset (POR)

A power-on reset circuit monitors the input voltage. When the input voltage exceeds 2.9V, the converter starts operation. When input voltage falls below 2.3V, the converter will stop switching.

#### Thermal Protection

An internal temperature sensor monitors the junction temperature. It shuts down the internal control circuit and high side NMOS if the junction temperature exceeds 145°C. The regulator will restart automatically under the control of soft-start circuit when the junction temperature decreases to 100°C.

### Application Information

The basic AOZ1284 application circuit is shown in Figure 1. Component selection is explained as follows.

#### Input Capacitor

The input capacitor (C1 in Figure 1) must be connected to the VIN pin and GND pin of the AOZ1284 to maintain steady input voltage and filter out the pulsing input current. The voltage rating of input capacitor must be greater than maximum input voltage plus ripple voltage.

The input ripple voltage can be approximated by equation below:

$$\Delta V_{IN} = \frac{I_O}{f \times C_{IN}} \times \left(1 - \frac{V_O}{V_{IN}}\right) \times \frac{V_O}{V_{IN}}$$

Since the input current is discontinuous in a buck converter, the current stress on the input capacitor is another concern when selecting the capacitor. For a buck circuit, the RMS value of input capacitor current can be calculated by:

$$I_{CIN\_RMS} = I_O \times \sqrt{\frac{V_O}{V_{IN}} \left(1 - \frac{V_O}{V_{IN}}\right)}$$

if we let  $m$  equal the conversion ratio:

$$\frac{V_O}{V_{IN}} = m$$

The relationship between the input capacitor RMS current and voltage conversion ratio is calculated and shown in Figure 2. It can be seen that when  $V_O$  is half of  $V_{IN}$ ,  $C_{IN}$  is under the worst current stress. The worst current stress on  $C_{IN}$  is  $0.5 \times I_O$ .

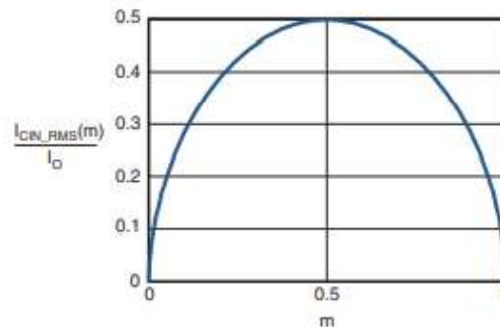


Figure 2.  $I_{CIN}$  vs. Voltage Conversion Ratio



For reliable operation and best performance, the input capacitors must have current rating higher than  $I_{CIN-RMS}$  at worst operating conditions. Ceramic capacitors are preferred for input capacitors because of their low ESR and high ripple current rating. Depending on the application circuits, other low ESR tantalum capacitor or aluminum electrolytic capacitor may also be used. When selecting ceramic capacitors, X5R or X7R type dielectric ceramic capacitors are preferred for their better temperature and voltage characteristics. Note that the ripple current rating from capacitor manufacturers is based on certain amount of life time. Further de-rating may be necessary for practical design requirement

### Inductor

The inductor is used to supply constant current to output when it is driven by a switching voltage. For given input and output voltage, inductance and switching frequency together decide the inductor ripple current, which is:

$$\Delta I_L = \frac{V_O}{f \times L} \times \left(1 - \frac{V_O}{V_{IN}}\right)$$

The peak inductor current is:

$$I_{Lpeak} = I_O + \frac{\Delta I_L}{2}$$

High inductance gives low inductor ripple current but requires larger size inductor to avoid saturation. Low ripple current reduces inductor core losses. It also reduces RMS current through inductor and switches, which results in less conduction loss.

When selecting the inductor, make sure it is able to handle the peak current without saturation even at the highest operating temperature.

The inductor takes the highest current in a buck circuit. The conduction loss on inductor needs to be checked for thermal and efficiency requirements.

Surface mount inductors in different shape and styles are available from Coilcraft, Elytone and Murata. Shielded inductors are small and radiate less EMI noise. But they cost more than unshielded inductors. The choice depends on EMI requirement, price and size.

### Output Capacitor

The output capacitor is selected based on the DC output voltage rating, output ripple voltage specification and ripple current rating.

The selected output capacitor must have a higher rated voltage specification than the maximum desired output voltage including ripple. De-rating needs to be considered for long term reliability.

Output ripple voltage specification is another important factor for selecting the output capacitor. In a buck converter circuit, output ripple voltage is determined by inductor value, switching frequency, output capacitor value and ESR. It can be calculated by the equation below:

$$\Delta V_O = \Delta I_L \times \left(ESR_{CO} + \frac{1}{8 \times f \times C_O}\right)$$

where,

$C_O$  is output capacitor value, and

$ESR_{CO}$  is the equivalent series resistance of the output capacitor.

When low ESR ceramic capacitor is used as output capacitor, the impedance of the capacitor at the switching frequency dominates. Output ripple is mainly caused by capacitor value and inductor ripple current. The output ripple voltage calculation can be simplified to:

$$\Delta V_O = \Delta I_L \times \left(\frac{1}{8 \times f \times C_O}\right)$$

If the impedance of ESR at switching frequency dominates, the output ripple voltage is mainly decided by capacitor ESR and inductor ripple current. The output ripple voltage calculation can be further simplified to:

$$\Delta V_O = \Delta I_L \times ESR_{CO}$$

For lower output ripple voltage across the entire operating temperature range, X5R or X7R dielectric type of ceramic, or other low ESR tantalum capacitor or aluminum electrolytic capacitor may also be used as output capacitors.

In a buck converter, output capacitor current is continuous. The RMS current of output capacitor is decided by the peak to peak inductor ripple current.

It can be calculated by:

$$I_{CO\_RMS} = \frac{\Delta I_L}{\sqrt{12}}$$

Usually, the ripple current rating of the output capacitor is a smaller issue because of the low current stress. When the buck inductor is selected to be very small and inductor ripple current is high, output capacitor could be overstressed.

### Schottky Diode Selection

The external freewheeling diode supplies the current to the inductor when the high side NMOS switch is off. To reduce the losses due to the forward voltage drop and recovery of diode, Schottky diode is recommended to use. The maximum reverse voltage rating of the chosen Schottky diode should be greater than the maximum input voltage, and the current rating should be greater than the maximum load current.

### Low Input operation

When  $V_{IN}$  is lower than 4.5V, such as 3.0V, an external 5V is required to add into the BST pin for proper operation.

### Loop Compensation

The AOZ1284 employs peak current mode control for easy use and fast transient response. Peak current mode control eliminates the double pole effect of the output L&C filter. It greatly simplifies the compensation loop design.

With peak current mode control, the buck power stage can be simplified to be a one-pole and one-zero system in frequency domain. The pole is dominant pole and can be calculated by:

$$f_{P1} = \frac{1}{2\pi \times C_O \times R_L}$$

The zero is a ESR zero due to output capacitor and its ESR. It can be calculated by:

$$f_{Z1} = \frac{1}{2\pi \times C_O \times ESR_{CO}}$$

where;

$C_O$  is the output filter capacitor;  
 $R_L$  is load resistor value and  
 $ESR_{CO}$  is the equivalent series resistance of output capacitor.

The compensation design is actually to shape the converter close loop transfer function to get desired gain and phase. Several different types of compensation network can be used for AOZ1284. For most cases, a series capacitor and resistor network connected to the COMP pin sets the pole-zero and is adequate for a stable high-bandwidth control loop.

In the AOZ1284, FB pin and COMP pin are the inverting input and the output of internal transconductance error amplifier. A series R and C compensation network connected to COMP provides one pole and one zero. The pole is:

$$f_{P2} = \frac{G_{EA}}{2\pi \times C_C \times G_{VEA}}$$

where;

$G_{EA}$  is the error amplifier transconductance, which is  $200 \cdot 10^{-6}$  A/V;  
 $G_{VEA}$  is the error amplifier voltage gain, which is 500 V/V and  
 $C_C$  is compensation capacitor.

The zero given by the external compensation network, capacitor  $C_C$  ( $C_5$  in Figure 1) and resistor  $R_C$  ( $R_1$  in Figure 1), is located at:

$$f_{Z2} = \frac{1}{2\pi \times C_C \times R_C}$$

To design the compensation circuit, a target crossover frequency  $f_C$  for close loop must be selected. The system crossover frequency is where control loop has unity gain. The crossover frequency is also called the converter bandwidth. Generally a higher bandwidth means faster response to load transient. However, the bandwidth should not be too high due to system stability concern. When designing the compensation loop, converter stability under all line and load condition must be considered.

Usually, it is recommended to set the bandwidth to be less than 1/10 of switching frequency.

The strategy for choosing  $R_C$  and  $C_C$  is to set the cross over frequency with  $R_C$  and set the compensator zero with  $C_C$ . Using selected crossover frequency,  $f_C$ , to calculate  $R_C$ :

$$R_C = f_C \times \frac{V_O}{V_{FB}} \times \frac{2\pi \times C_O}{G_{EA} \times G_{CS}}$$

where;

$f_C$  is desired crossover frequency;  
 $V_{FB}$  is 0.8V;  
 $G_{EA}$  is the error amplifier transconductance, which is  $200 \cdot 10^{-6}$  A/V and  
 $G_{CS}$  is the current sense circuit transconductance, which is 4.5 A/V.



The compensation capacitor  $C_C$  and resistor  $R_C$  together make a zero. This zero is put somewhere close to the dominate pole  $f_{p1}$  but lower than 1/5 of selected crossover frequency.  $C_C$  can be selected by:

$$C_C = \frac{1.5}{2\pi \times R_C \times f_{p1}}$$

Equation above can also be simplified to:

$$C_C = \frac{C_O \times R_L}{R_C}$$

### Thermal Management and Layout Consideration

In the AOZ1284 buck regulator circuit, high pulsing current flows through two circuit loops. The first loop starts from the input capacitors, to the VIN pin, to the LX pins, to the filter inductor, to the output capacitor and load, and then return to the input capacitor through ground. Current flows in the first loop when the high side switch is on. The second loop starts from inductor, to the output capacitors and load, to the GND pin of the AOZ1284, to the LX pins of the AOZ1284. Current flows in the second loop when the low side diode is on.

In PCB layout, minimizing the two loops area reduces the noise of this circuit and improves efficiency. A ground plane is recommended to connect input capacitor, output capacitor, and GND pin of the AOZ1284.

In the AOZ1284 buck regulator circuit, the three major power dissipating components are the AOZ1284, external diode and output inductor. The total power dissipation of converter circuit can be measured by input power minus output power.

$$P_{total\_loss} = (V_{IN} \times I_{IN}) - (V_O \times I_{IN})$$

The power dissipation of inductor can be approximately calculated by output current and DCR of inductor:

$$P_{inductor\_loss} = I_O^2 \times R_{inductor} \times 1.1$$

The power dissipation of diode is:

$$P_{diode\_loss} = I_O \times F_V \times \left(1 - \frac{V_O}{V_{IN}}\right)$$

The actual junction temperature can be calculated with power dissipation in the AOZ1284 and thermal impedance from junction to ambient.

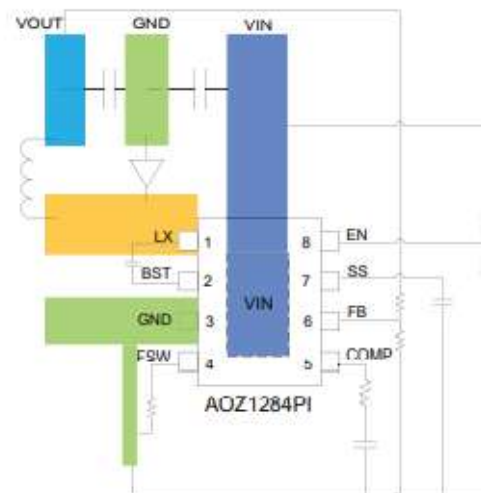
$$T_{junction} = (P_{total\_loss} - P_{diode\_loss} - P_{inductor\_loss}) \times \theta_{JA} + T_{ambient}$$

The maximum junction temperature of AOZ1284 is 145°C, which limits the maximum load current capability.

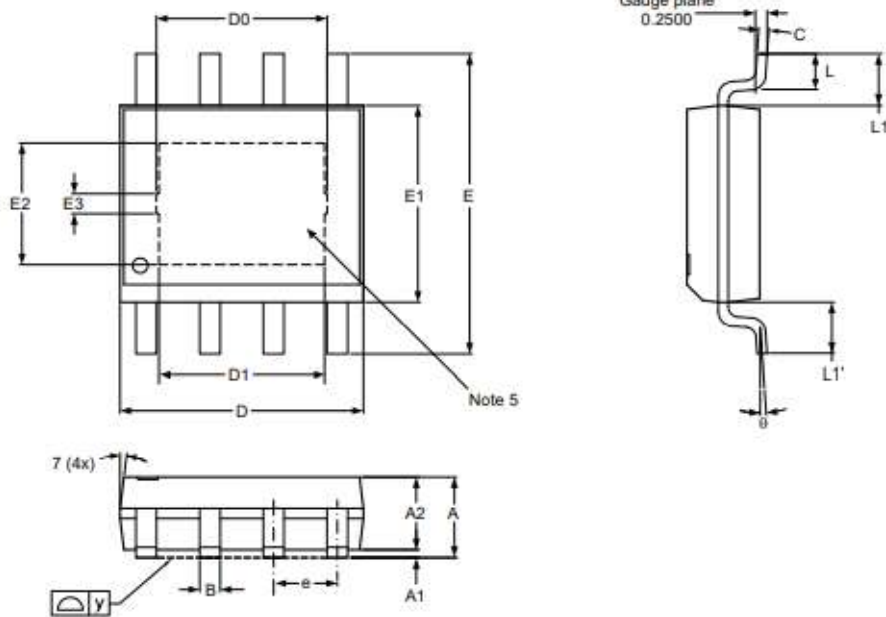
The thermal performance of the AOZ1284 is strongly affected by the PCB layout. Extra care should be taken by users during design process to ensure that the IC will operate under the recommended environmental conditions.

Several layout tips are listed below for the best electric and thermal performance.

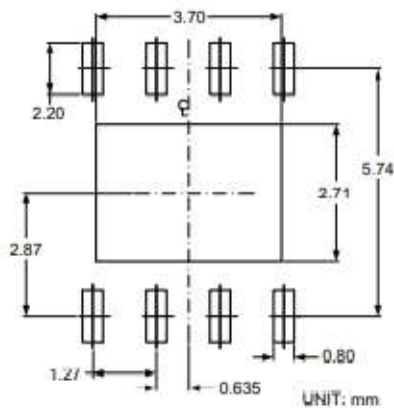
1. Do not use thermal relief connection to the VIN and the GND pin. Pour a maximized copper area to the GND pin and the VIN pin to help thermal dissipation.
2. Input capacitor should be connected to the VIN pin and the GND pin as close as possible.
3. Make the current trace from LX pins to L to Co to the GND as short as possible.
4. Pour copper plane on all unused board area and connect it to stable DC nodes, like VIN, GND or VOUT.
5. Keep sensitive signal trace such as trace connected with FB pin and COMP pin far away from the LX pins.



Package Dimensions, SO-8 EP1



RECOMMENDED LAND PATTERN



Notes:

1. Package body sizes exclude mold flash and gate burrs.
2. Dimension L is measured in gauge plane.
3. Tolerance 0.10mm unless otherwise specified.
4. Controlling dimension is millimeter, converted inch dimensions are not necessarily exact.
5. Die pad exposure size is according to lead frame design.
6. Followed from JEDEC MS-012

Dimensions in millimeters

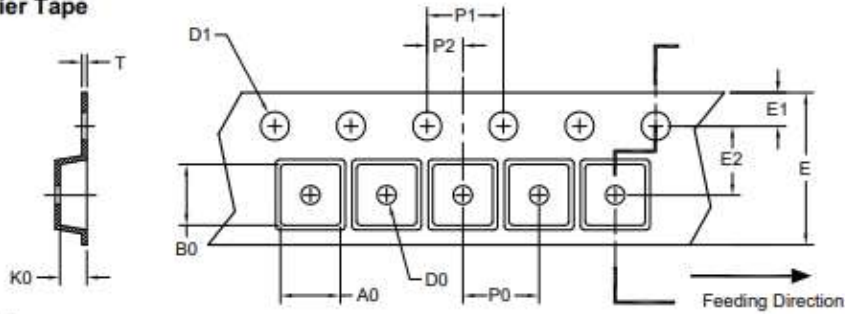
Symbols	Min.	Nom.	Max.
A	1.40	1.55	1.70
A1	0.00	0.05	0.10
A2	1.40	1.50	1.60
B	0.31	0.406	0.51
C	0.17	—	0.25
D	4.80	4.96	5.00
D0	3.20	3.40	3.60
D1	3.10	3.30	3.50
F	5.80	6.00	6.20
e	—	1.27	—
E1	3.80	3.90	4.00
E2	2.21	2.41	2.61
E3	—	0.40 REF	—
L	0.40	0.95	1.27
y	—	—	0.10
θ	0°	3°	8°
L1 L1'	—	0.04	0.12
L1	—	1.04 REF	—

Dimensions in inches

Symbols	Min.	Nom.	Max.
A	0.055	0.061	0.067
A1	0.000	0.002	0.004
A2	0.055	0.059	0.063
B	0.012	0.016	0.020
C	0.007	—	0.010
D	0.189	0.195	0.197
D0	0.126	0.134	0.142
D1	0.122	0.130	0.138
F	0.228	0.236	0.244
e	—	0.050	—
E1	0.150	0.153	0.157
E2	0.087	0.095	0.103
E3	—	0.016 REF	—
L	0.016	0.037	0.050
y	—	—	0.004
θ	0°	3°	8°
L1 L1'	—	0.002	0.006
L1	—	0.041 REF	—

**Tape and Reel Dimensions, SO-8 EP1**

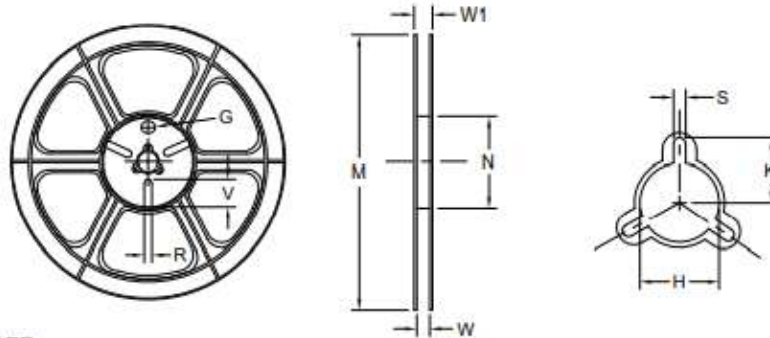
**Carrier Tape**



UNIT: mm

Package	A0	B0	K0	D0	D1	E	E1	E2	P0	P1	P2	T
SO-8 (12mm)	6.40 ±0.10	5.20 ±0.10	2.10 ±0.10	1.60 ±0.10	1.50 ±0.10	12.00 ±0.10	1.75 ±0.10	5.50 ±0.10	8.00 ±0.10	4.00 ±0.10	2.00 ±0.10	0.25 ±0.10

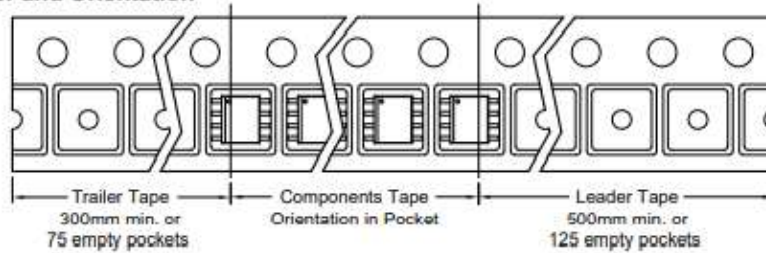
**Reel**



UNIT: mm

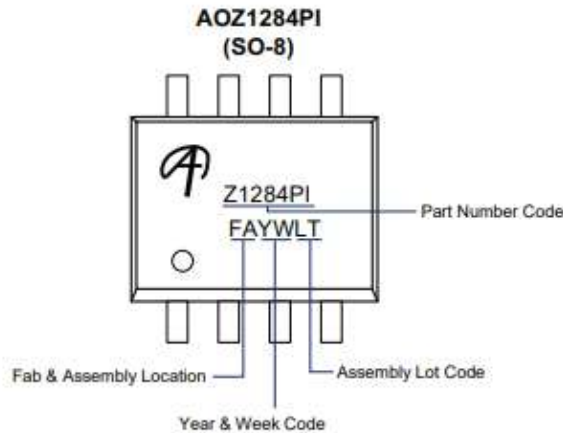
Tape Size	Reel Size	M	N	W	W1	H	K	S	G	R	V
12mm	ø330	ø330.00 ±0.50	ø97.00 ±0.10	13.00 ±0.30	17.40 ±1.00	ø13.00 +0.50/-0.20	10.60	2.00 ±0.50	-	-	-

**Leader/Trailer and Orientation**





**Part Marking**



**LEGAL DISCLAIMER**

Applications or use as critical components in life support devices or systems are not authorized. AOS does not assume any liability arising out of such applications or uses of its products. AOS reserves the right to make changes to product specifications without notice. It is the responsibility of the customer to evaluate suitability of the product for their intended application. Customer shall comply with applicable legal requirements, including all applicable export control rules, regulations and limitations.

AOS' products are provided subject to AOS' terms and conditions of sale which are set forth at: [http://www.aosmd.com/terms\\_and\\_conditions\\_of\\_sale](http://www.aosmd.com/terms_and_conditions_of_sale)

**LIFE SUPPORT POLICY**

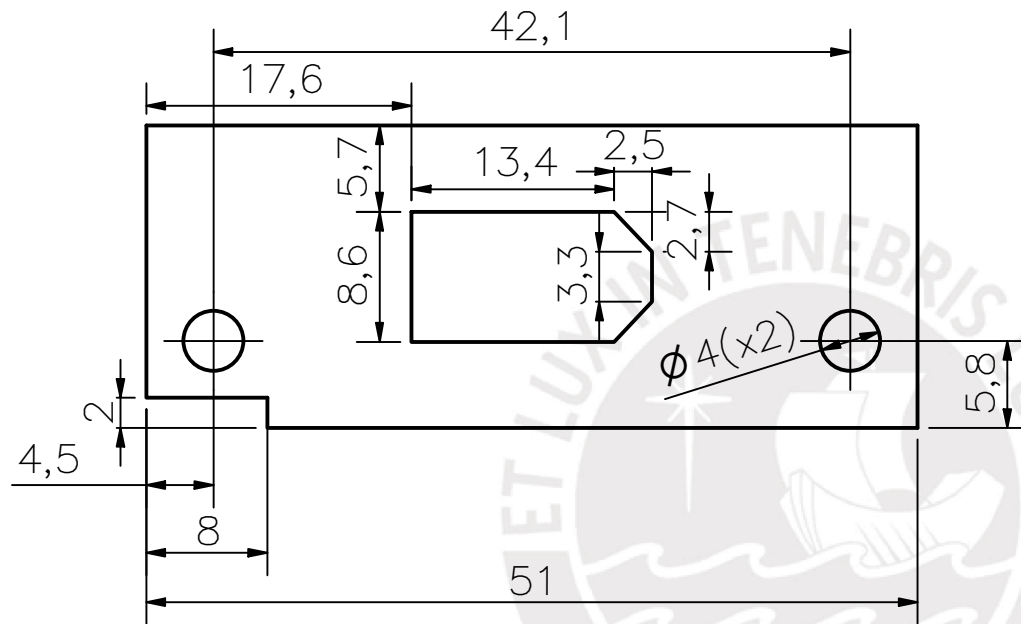
ALPHA AND OMEGA SEMICONDUCTOR PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS.

As used herein:

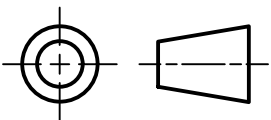
- |   |   |
|---|---|
| <p>1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body or (b) support or sustain life, and (c) whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury of the user.</p> | <p>2. A critical component in any component of a life support, device, or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.</p> |
|---|---|

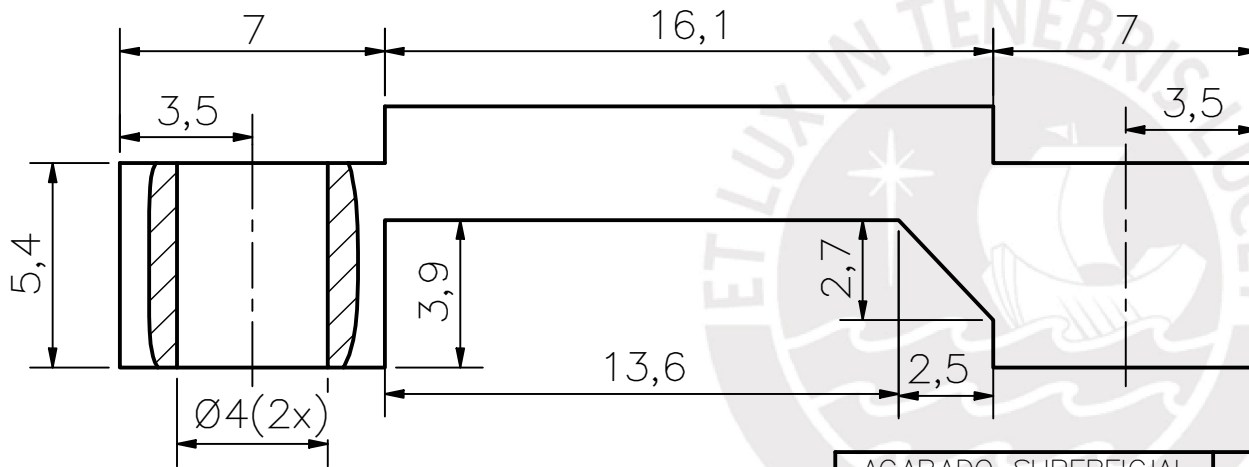
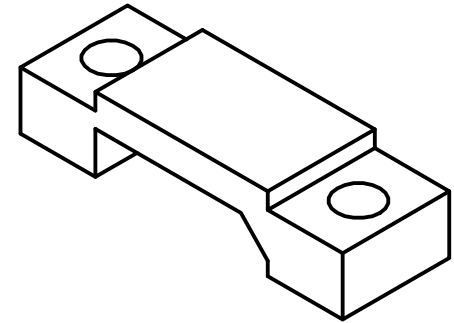
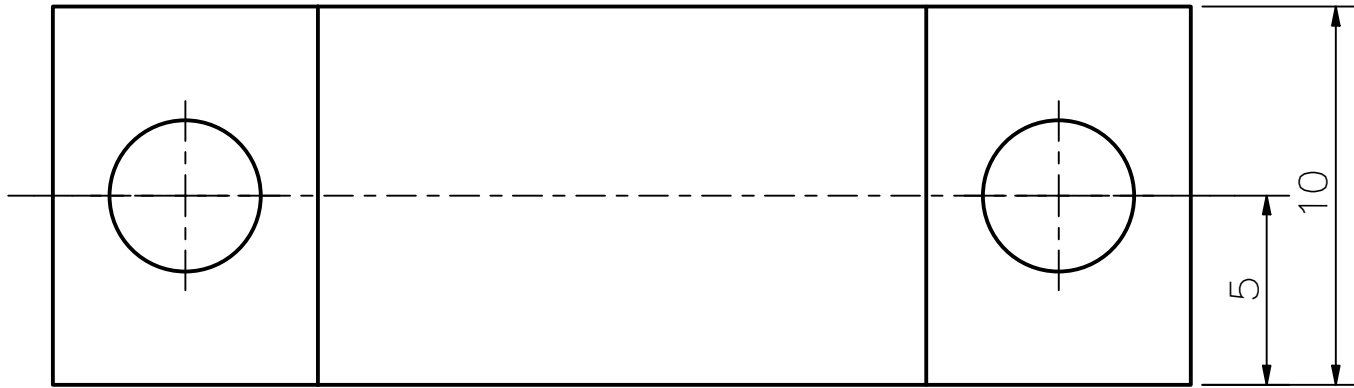
## I. PLANOS MECÁNICOS Y ELÉCTRICOS





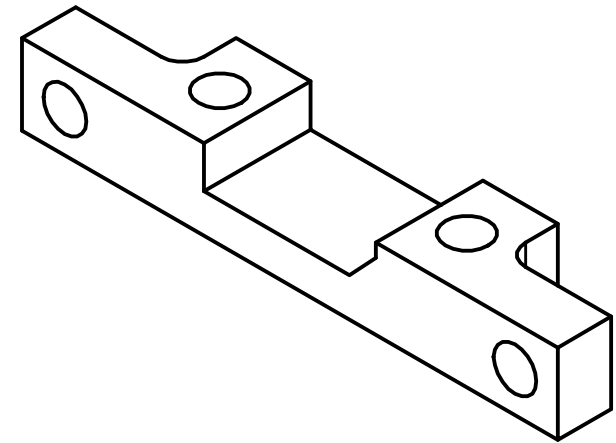
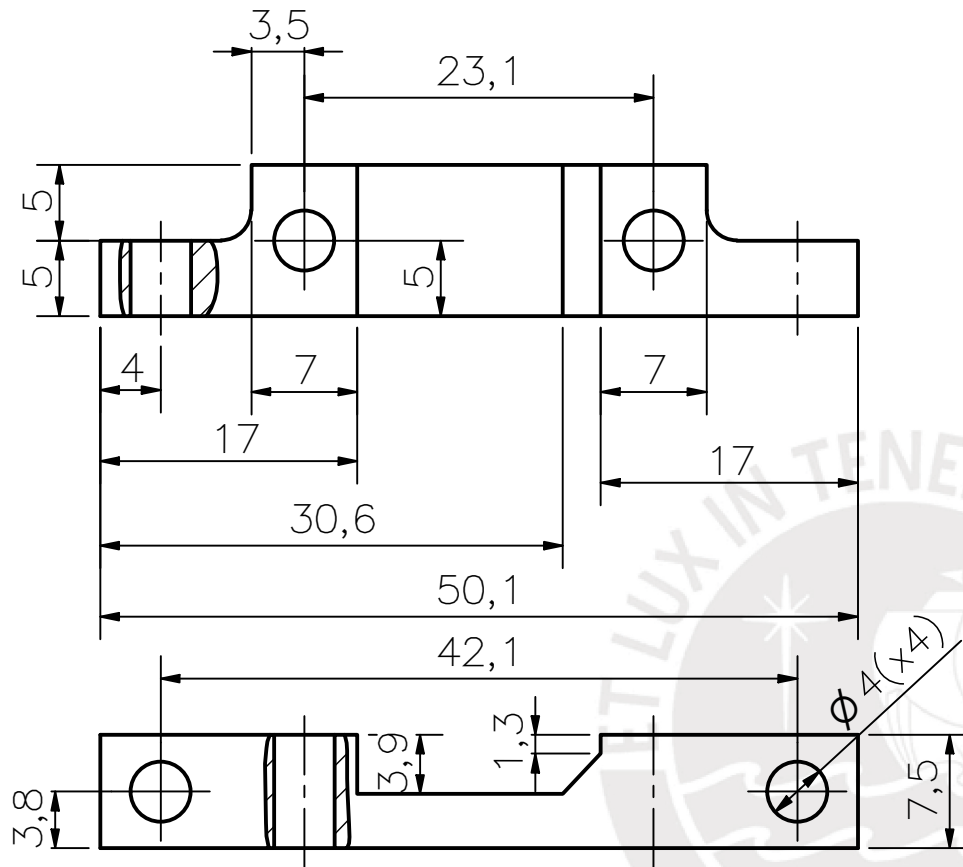
ESPESOR 2

ACABADO SUPERFICIAL N11 ✓	TOLERANCIA GENERAL ± 0.1mm	MATERIAL FIBRA DE CARBONO
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	DRONE PARA MAPEO DE ZONAS VULNERABLES A DESASTRES NATURALES MEDIANTE USO DE SENSOR LIDAR PLACA CF PARA CONECTOR XT60	ESCALA 2:1
20140959	AVALOS VILLA, JULIO PAUL RYAN	FECHA: 2021.08.24
		LÁMINA: D01-A4



ACABADO SUPERFICIAL N9	TOLERANCIA GENERAL ± 0.1mm	MATERIAL PLA
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	DRONE PARA MAPEO DE ZONAS VULNERABLES A DESASTRES NATURALES MEDIANTE USO DE SENSOR LIDAR	ESCALA 5:1
20140959	AVALOS VILLA, JULIO PAUL RYAN	FECHA: 2021.08.24
		LÁMINA: D02-A4

DATOS IMPRESIÓN 3D	
VELOCIDAD VOLUMÉTRICA MÁXIMA	15 mm <sup>3</sup> /s
DENSIDAD	1.24 g/cm <sup>3</sup>
ALTURA DE CAPA	0.2 mm
DIÁMETRO DE BOQUILLA	0.4 mm

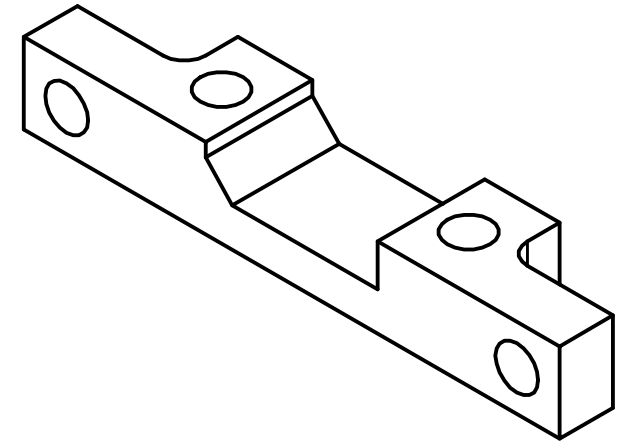
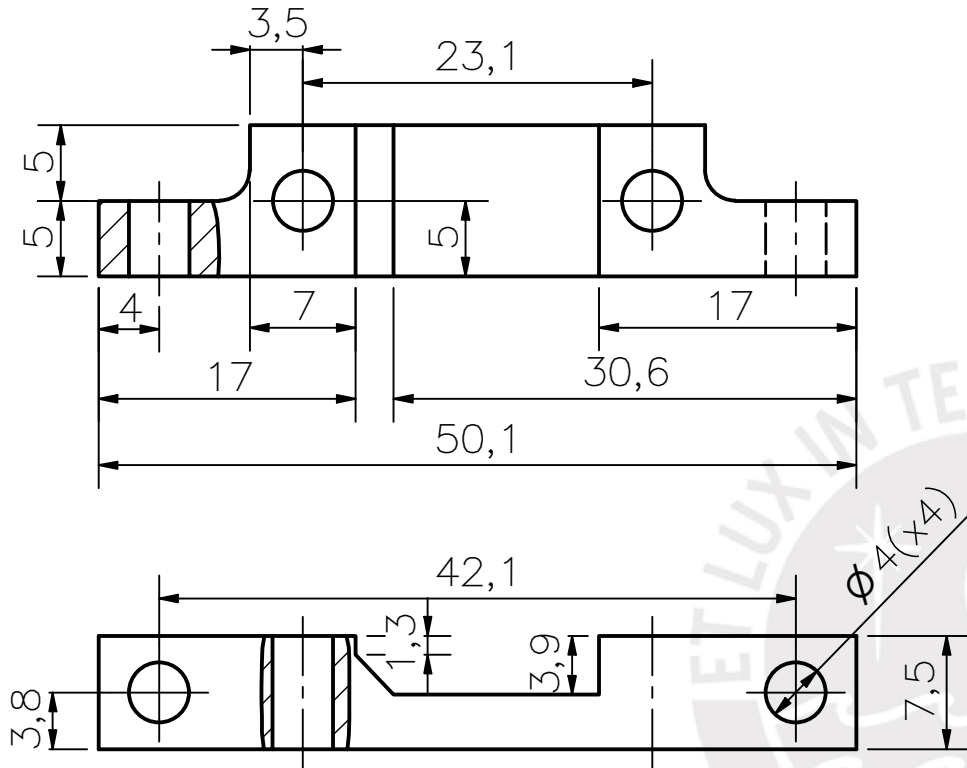


REDONDEOS NO  
INDICADOS R2

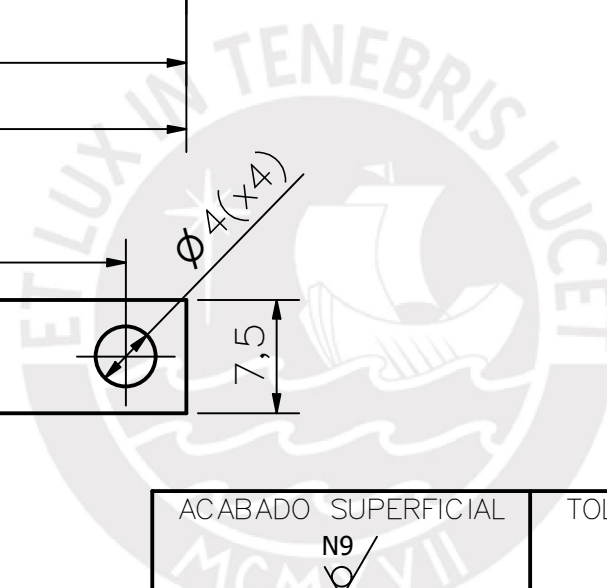
DATOS IMPRESIÓN 3D	
VELOCIDAD VOLUMÉTRICA MÁXIMA	15 mm <sup>3</sup> /s
DENSIDAD	1.24 g/cm <sup>3</sup>
ALTURA DE CAPA	0.2 mm
DIÁMETRO DE BOQUILLA	0.4 mm

ACABADO SUPERFICIAL N9	TOLERANCIA GENERAL ± 0.1mm	MATERIAL PLA
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	DRONE PARA MAPEO DE ZONAS VULNERABLES A DESASTRES NATURALES MEDIANTE USO DE SENSOR LIDAR	ESCALA
	<b>SOPORTE INFERIOR</b> <b>XT60</b>	<b>2:1</b>
20140959	AVALOS VILLA, JULIO PAUL RYAN	FECHA: 2021.08.24
		LÁMINA: D03-A4



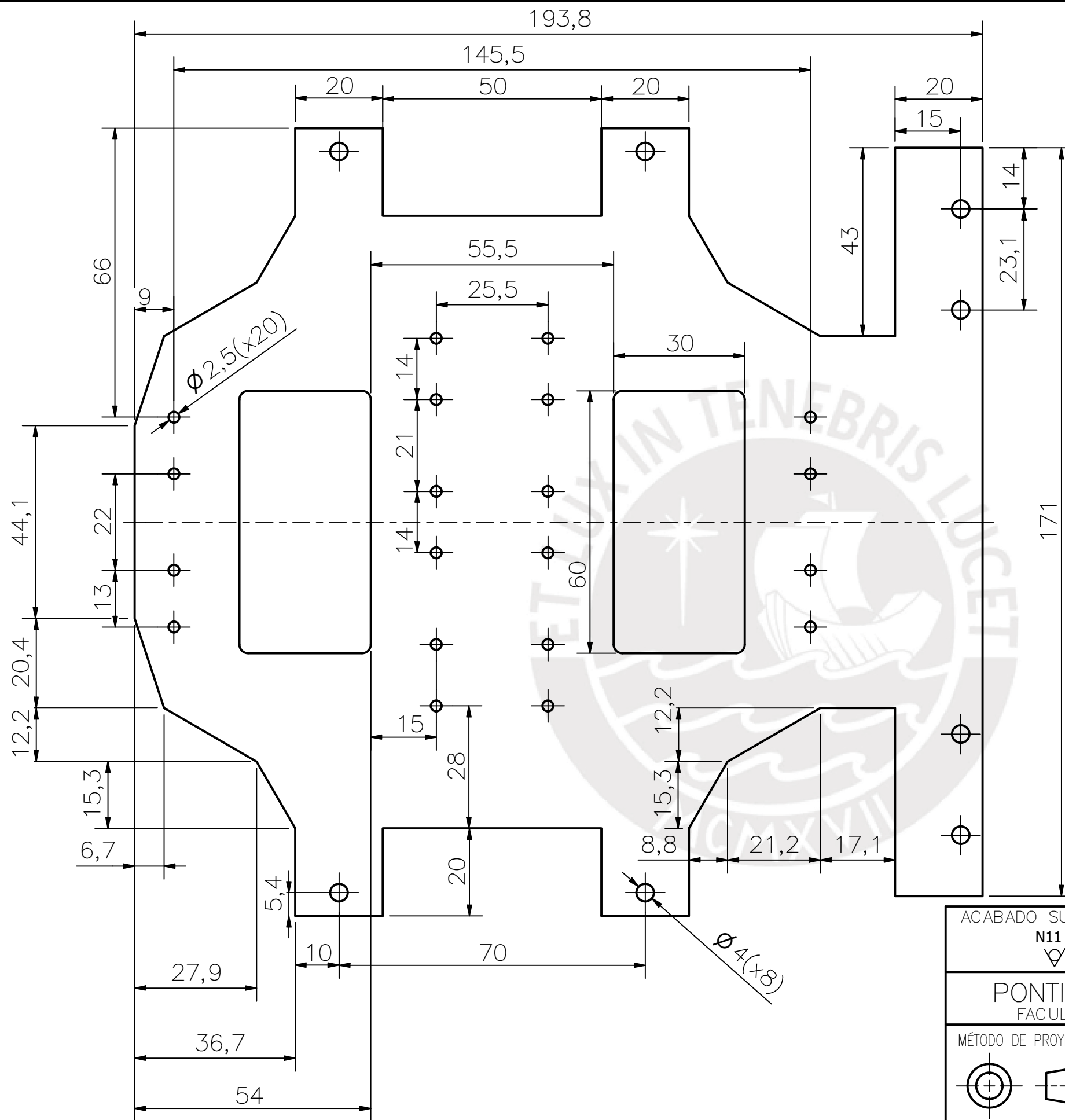


REDONDEOS NO  
INDICADOS R2



DATOS IMPRESIÓN 3D	
VELOCIDAD VOLUMÉTRICA MÁXIMA	15 mm <sup>3</sup> /s
DENSIDAD	1.24 g/cm <sup>3</sup>
ALTURA DE CAPA	0.2 mm
DIÁMETRO DE BOQUILLA	0.4 mm

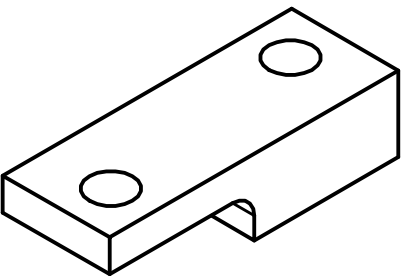
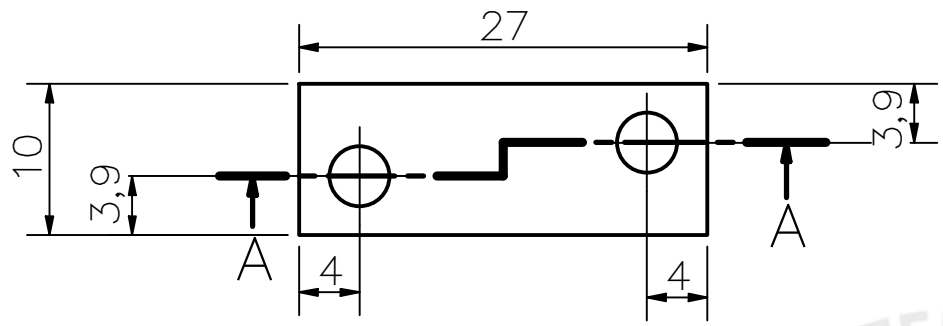
ACABADO SUPERFICIAL N9 ✓	TOLERANCIA GENERAL ± 0.1mm	MATERIAL PLA
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	DRONE PARA MAPEO DE ZONAS VULNERABLES A DESASTRES NATURALES MEDIANTE USO DE SENSOR LIDAR <b>SOPORTE INFERIOR</b> <b>XT60 MIR</b>	ESCALA <b>2:1</b>
20140959	AVALOS VILLA, JULIO PAUL RYAN	FECHA: 2021.08.24
		LÁMINA: D04-A4



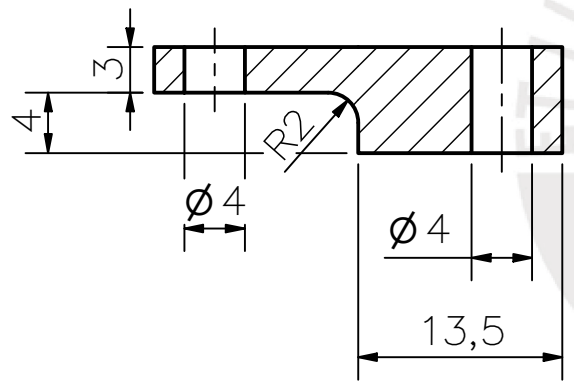
ESPESOR 2

REDONDEOS NO INDICADOS R2

ACABADO SUPERFICIAL N11 	TOLERANCIA GENERAL $\pm 0.1\text{mm}$	MATERIAL FIBRA DE CARBONO
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	DRONE PARA MAPEO DE ZONAS VULNERABLES A DESASTRES NATURALES MEDIANTE USO DE SENSOR LIDAR	ESCALA 1:1
20140959	AVALOS VILLA, JULIO PAUL RYAN	FECHA: 2021.08.24
		LÁMINA: D05-A3

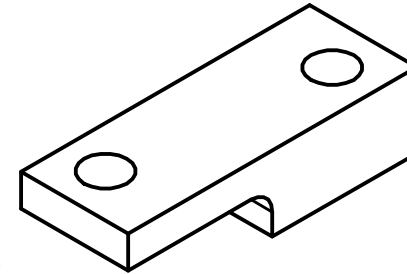
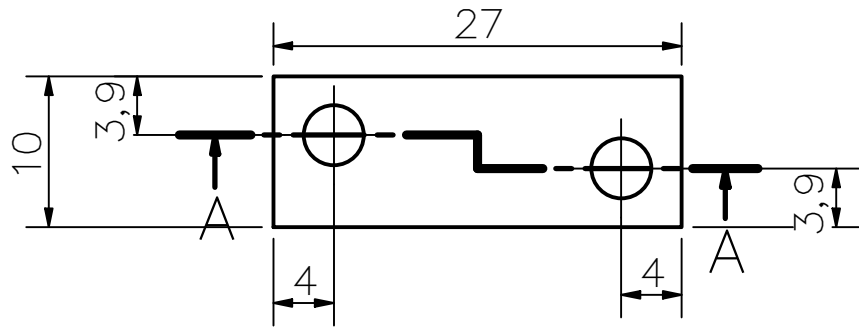


SECCIÓN A-A

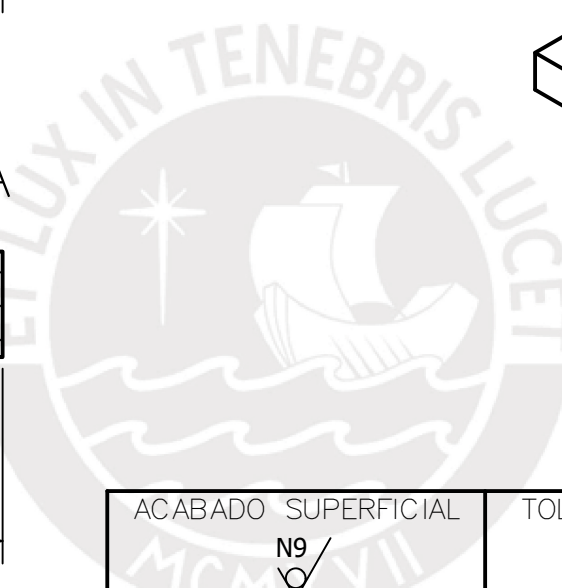
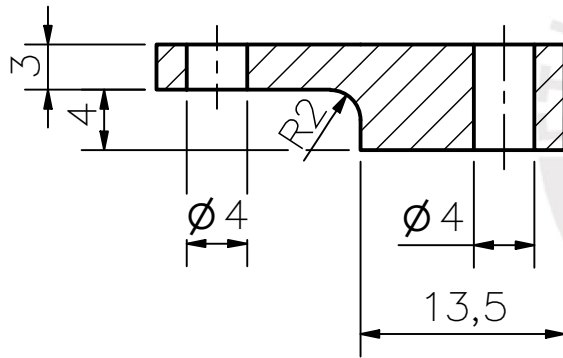


DATOS IMPRESIÓN 3D	
VELOCIDAD VOLUMÉTRICA MÁXIMA	15 mm <sup>3</sup> /s
DENSIDAD	1.24 g/cm <sup>3</sup>
ALTURA DE CAPA	0.2 mm
DIÁMETRO DE BOQUILLA	0.4 mm

ACABADO SUPERFICIAL N9 ✓	TOLERANCIA GENERAL ± 0.1mm	MATERIAL PLA
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	DRONE PARA MAPEO DE ZONAS VULNERABLES A DESASTRES NATURALES MEDIANTE USO DE SENSOR LIDAR	ESCALA 5:1
20140959	AVALOS VILLA, JULIO PAUL RYAN	FECHA: 2021.08.24
		LÁMINA: D06-A4

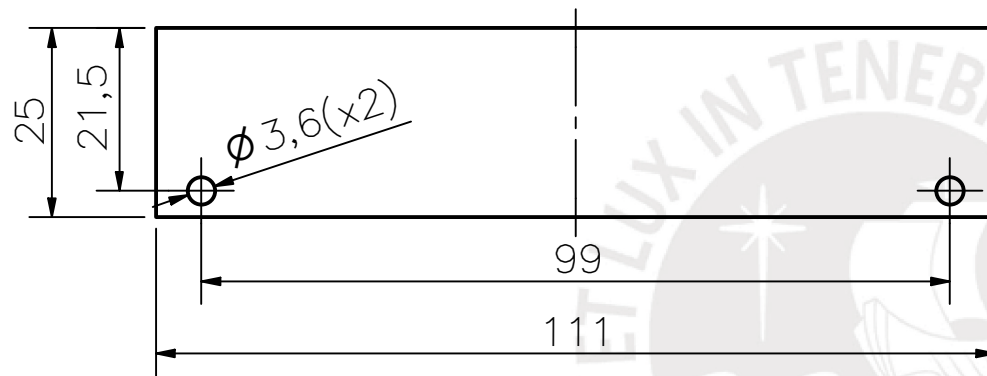


SECCIÓN A-A



DATOS IMPRESIÓN 3D	
VELOCIDAD VOLUMÉTRICA MÁXIMA	15 mm <sup>3</sup> /s
DENSIDAD	1.24 g/cm <sup>3</sup>
ALTURA DE CAPA	0.2 mm
DIÁMETRO DE BOQUILLA	0.4 mm

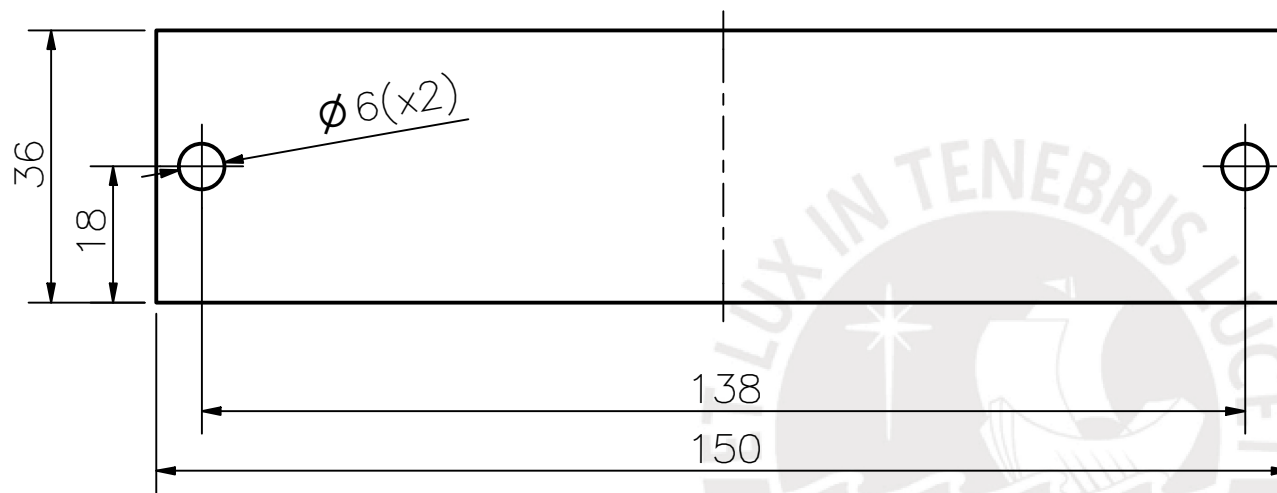
ACABADO SUPERFICIAL N9 /	TOLERANCIA GENERAL ± 0.1mm	MATERIAL PLA
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	DRONE PARA MAPEO DE ZONAS VULNERABLES A DESASTRES NATURALES MEDIANTE USO DE SENSOR LIDAR <b>ACOPLE PLACA KORE</b> <b>MIR</b>	ESCALA <b>5:1</b>
20140959	AVALOS VILLA, JULIO PAUL RYAN	FECHA: 2021.08.24
		LÁMINA: D07-A4



ESPESOR 1.5

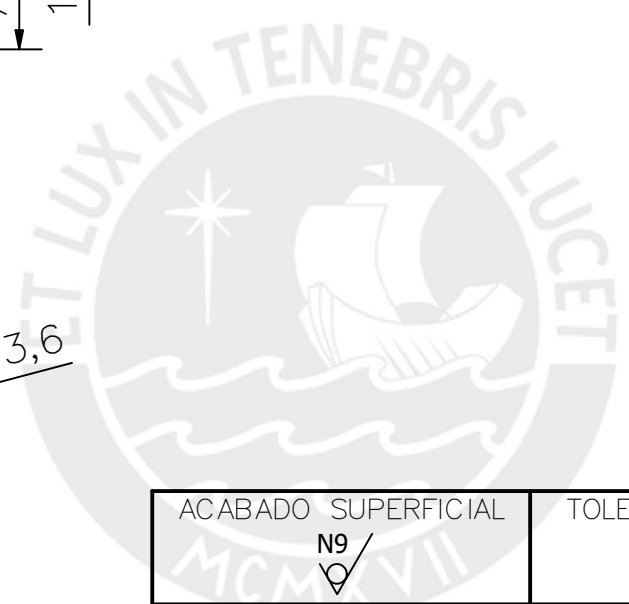
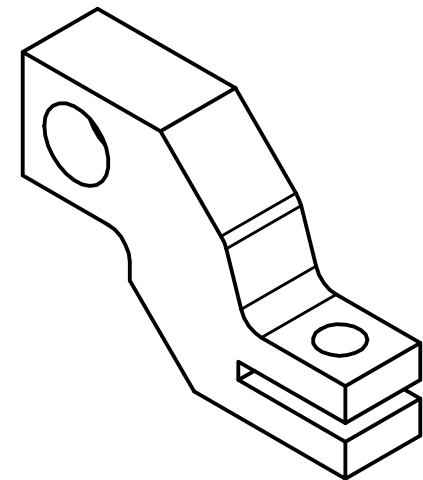
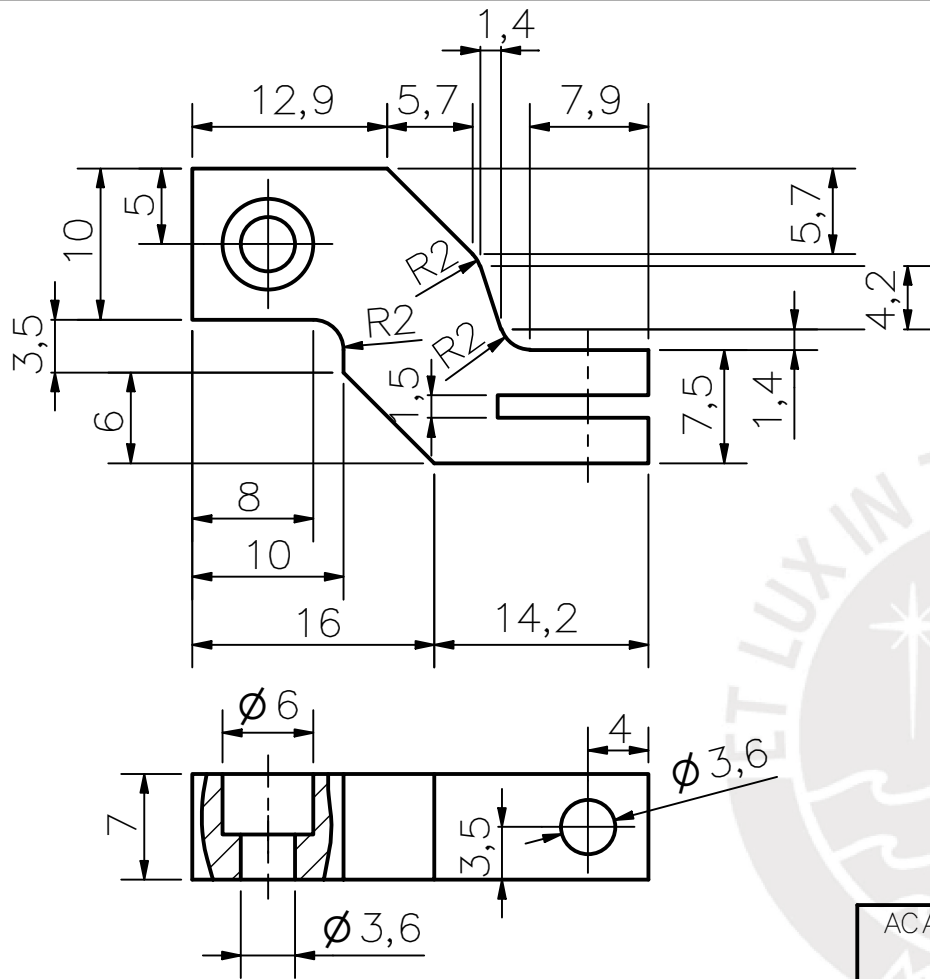
ACABADO SUPERFICIAL N11 /	TOLERANCIA GENERAL $\pm 0.1\text{mm}$	MATERIAL FIBRA DE CARBONO
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	DRONE PARA MAPEO DE ZONAS VULNERABLES A DESASTRES NATURALES MEDIANTE USO DE SENSOR LIDAR	ESCALA 1:1
20140959	AVALOS VILLA, JULIO PAUL RYAN	FECHA: 2021.08.24
		LÁMINA: D08-A4





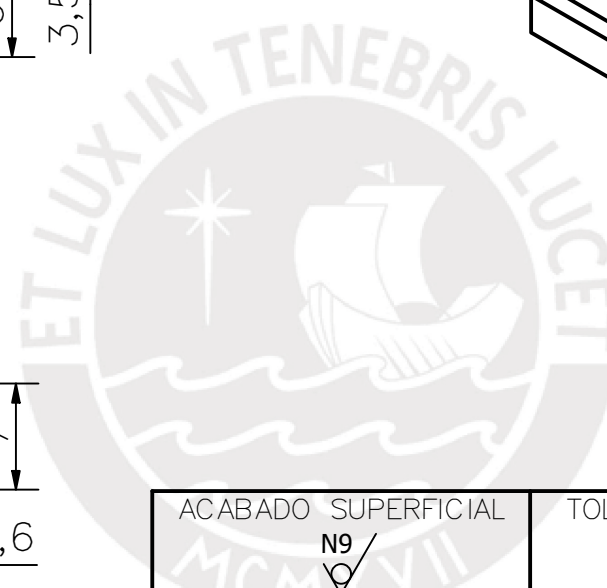
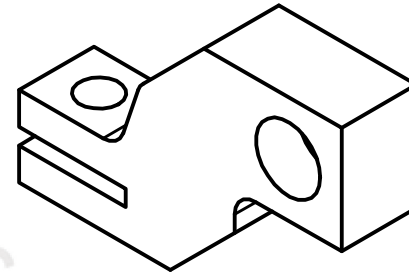
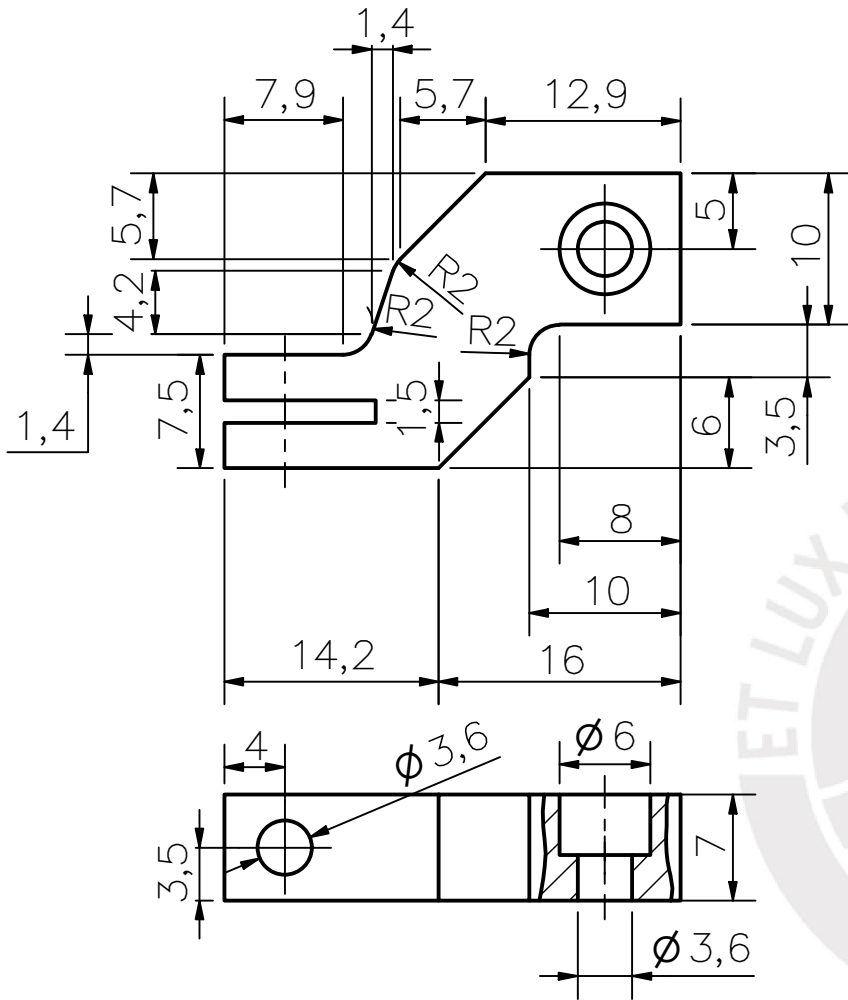
ESPESOR 1.5

ACABADO SUPERFICIAL N11 /	TOLERANCIA GENERAL ± 0.1mm	MATERIAL FIBRA DE CARBONO
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	DRONE PARA MAPEO DE ZONAS VULNERABLES A DESASTRES NATURALES MEDIANTE USO DE SENSOR LIDAR	ESCALA 1:1
20140959	AVALOS VILLA, JULIO PAUL RYAN	FECHA: 2021.08.24
		LÁMINA: D09-A4



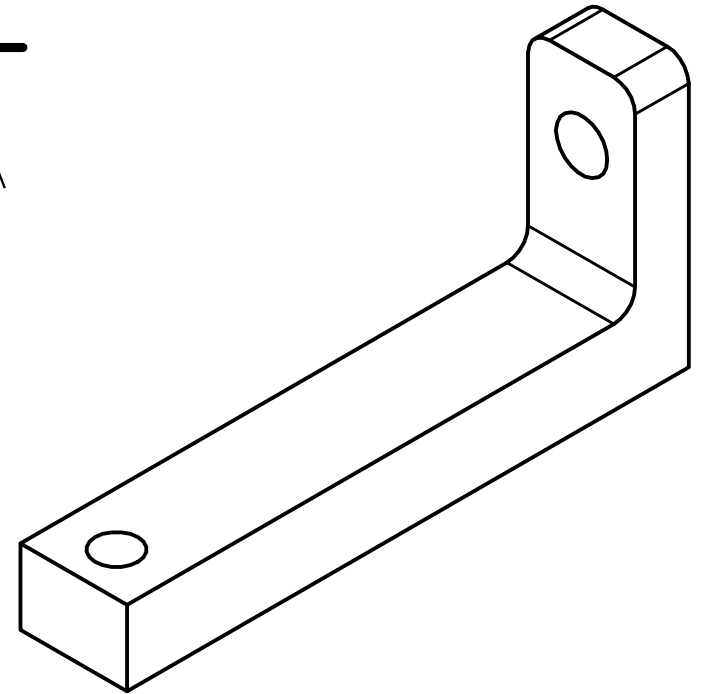
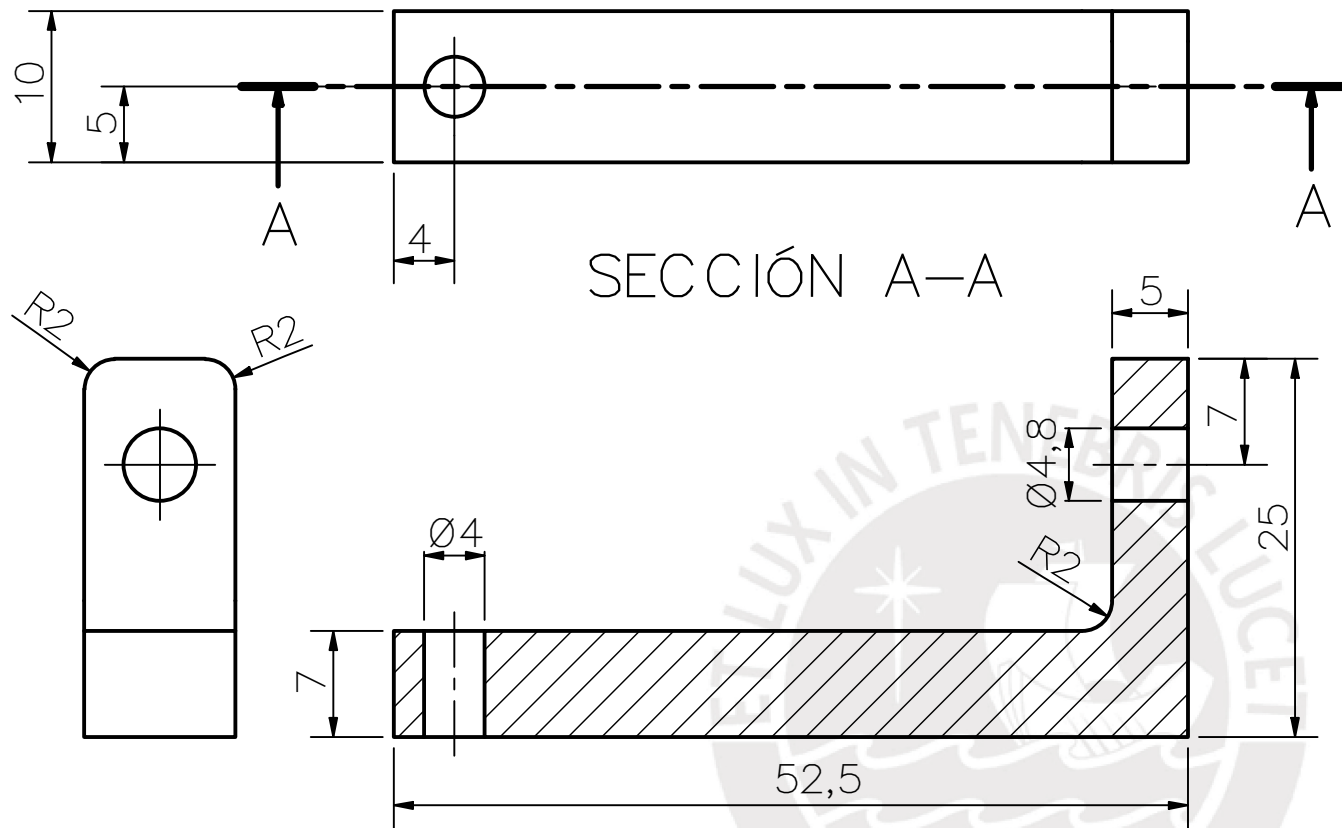
DATOS IMPRESIÓN 3D	
VELOCIDAD VOLUMÉTRICA MÁXIMA	15 mm <sup>3</sup> /s
DENSIDAD	1.24 g/cm <sup>3</sup>
ALTURA DE CAPA	0.2 mm
DIÁMETRO DE BOQUILLA	0.4 mm

ACABADO SUPERFICIAL N9 ✓	TOLERANCIA GENERAL ± 0.1mm	MATERIAL PLA
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	DRONE PARA MAPEO DE ZONAS VULNERABLES A DESASTRES NATURALES MEDIANTE USO DE SENSOR LIDAR	ESCALA 2:1
20140959	AVALOS VILLA, JULIO PAUL RYAN	FECHA: 2021.08.24
		LÁMINA: D10-A4



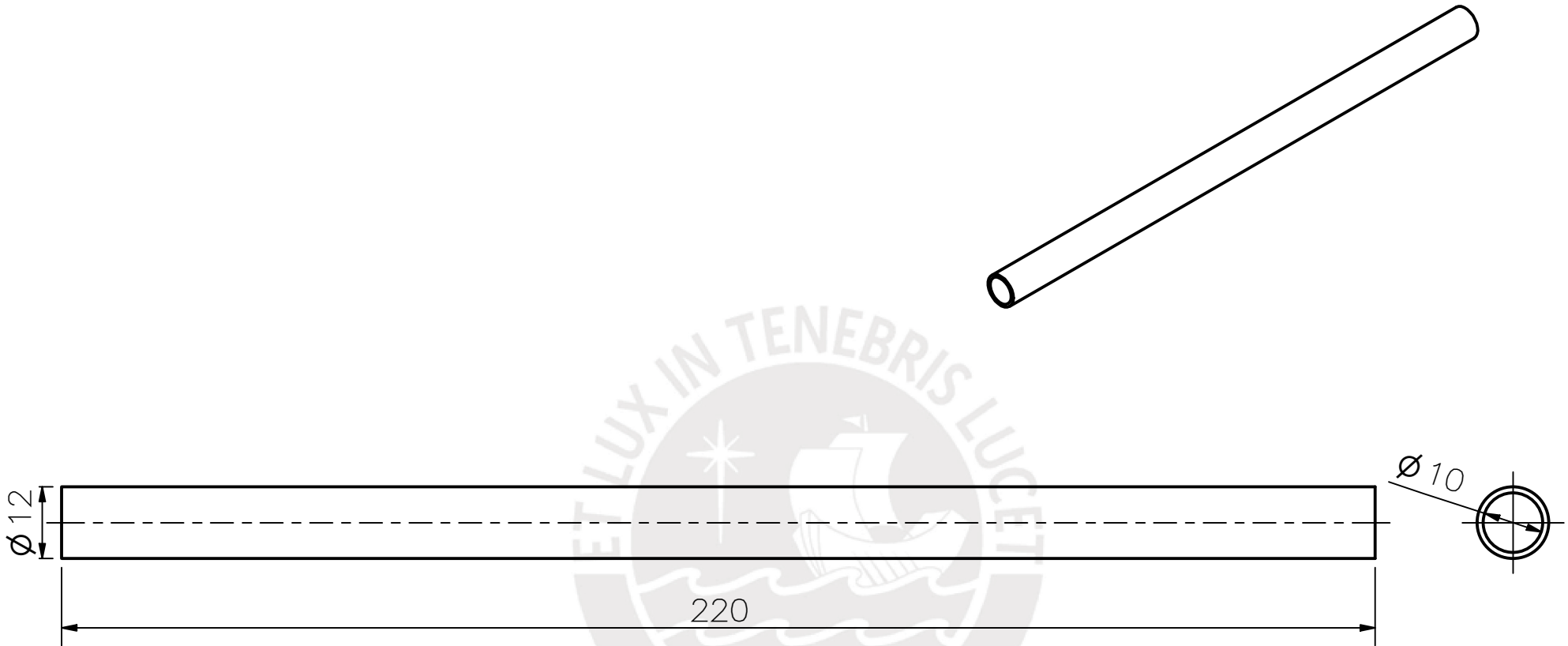
DATOS IMPRESIÓN 3D	
VELOCIDAD VOLUMÉTRICA MÁXIMA	15 mm <sup>3</sup> /s
DENSIDAD	1.24 g/cm <sup>3</sup>
ALTURA DE CAPA	0.2 mm
DIÁMETRO DE BOQUILLA	0.4 mm

ACABADO SUPERFICIAL N9	TOLERANCIA GENERAL ± 0.1mm	MATERIAL PLA
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	DRONE PARA MAPEO DE ZONAS VULNERABLES A DESASTRES NATURALES MEDIANTE USO DE SENSOR LIDAR	ESCALA
	<b>UNIÓN TOPE BATERÍAS</b> <b>MIR</b>	<b>5:1</b>
20140959	AVALOS VILLA, JULIO PAUL RYAN	FECHA: 2021.08.24
		LÁMINA: D11-A4



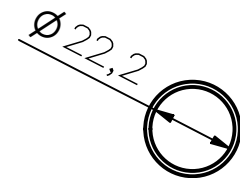
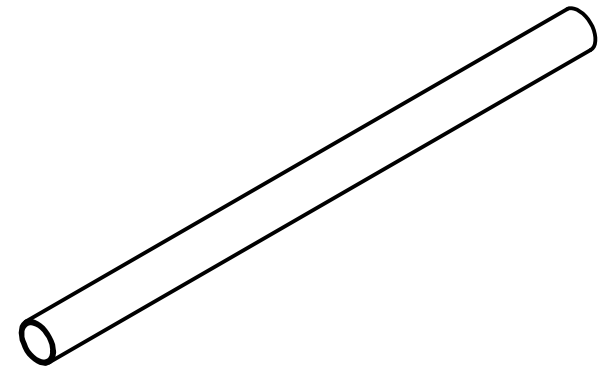
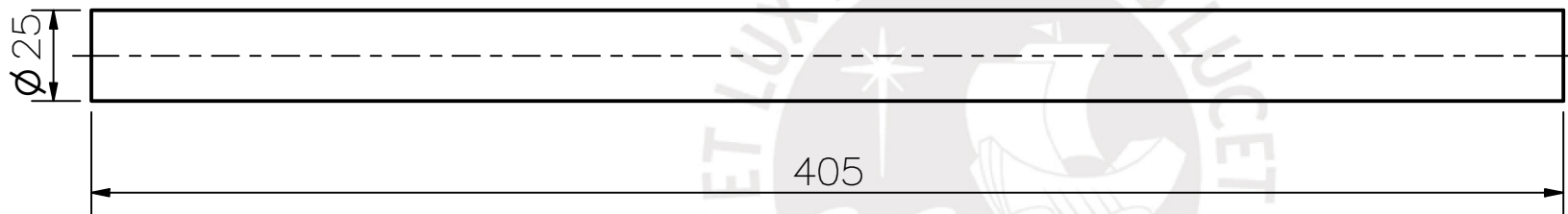
DATOS IMPRESIÓN 3D	
VELOCIDAD VOLUMÉTRICA MÁXIMA	15 mm <sup>3</sup> /s
DENSIDAD	1.24 g/cm <sup>3</sup>
ALTURA DE CAPA	0.2 mm
DIÁMETRO DE BOQUILLA	0.4 mm

ACABADO SUPERFICIAL N9 ✓	TOLERANCIA GENERAL ± 0.1mm	MATERIAL PLA
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	DRONE PARA MAPEO DE ZONAS VULNERABLES A DESASTRES NATURALES MEDIANTE USO DE SENSOR LIDAR	ESCALA 2:1
20140959	AVALOS VILLA, JULIO PAUL RYAN	FECHA: 2021.08.24
		LÁMINA: D12-A4

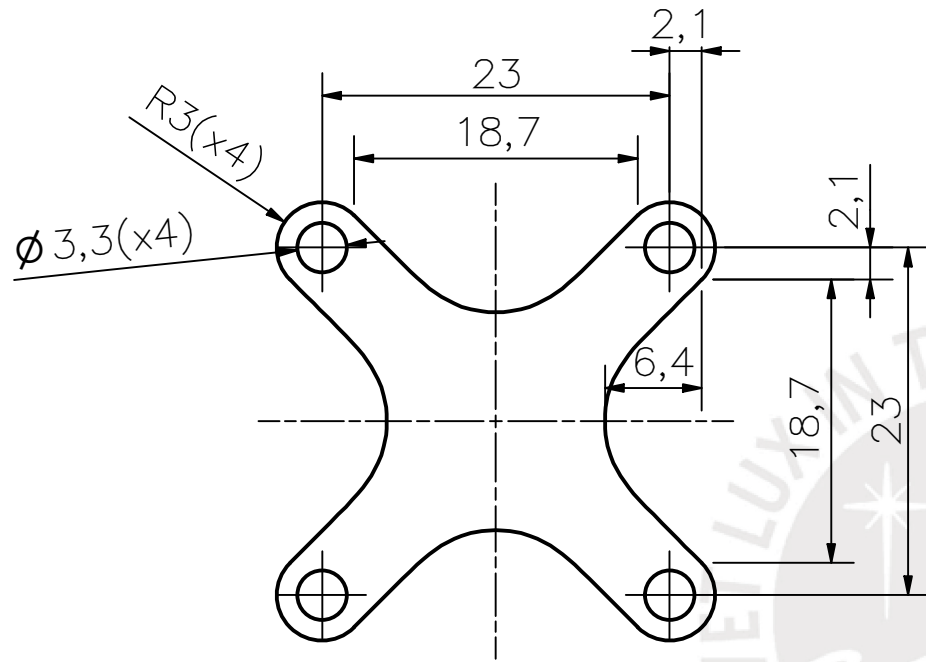


ACABADO SUPERFICIAL N11 ✓	TOLERANCIA GENERAL ± 0.1mm	MATERIAL FIBRA DE CARBONO
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	DRONE PARA MAPEO DE ZONAS VULNERABLES A DESASTRES NATURALES MEDIANTE USO DE SENSOR LIDAR  <b>TUBO 12MM</b>	ESCALA 1:1
20140959	AVALOS VILLA, JULIO PAUL RYAN	FECHA: 2021.08.24
		LÁMINA: D13-A4

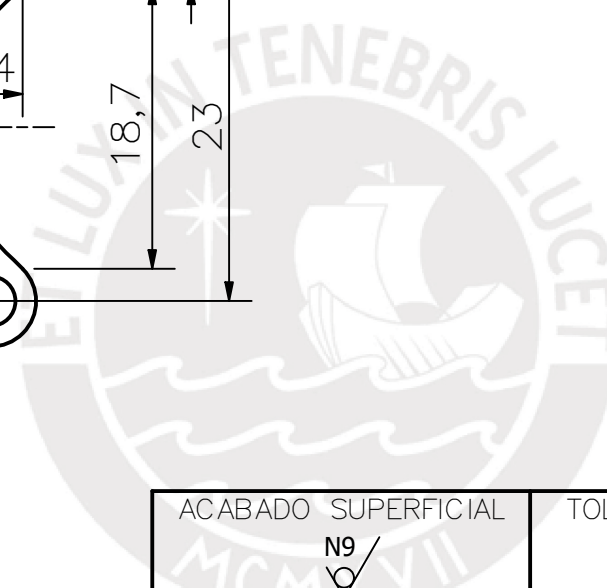




ACABADO SUPERFICIAL <b>N11</b> / 	TOLERANCIA GENERAL $\pm 0.1\text{mm}$	MATERIAL FIBRA DE CARBONO
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	DRONE PARA MAPEO DE ZONAS VULNERABLES A DESASTRES NATURALES MEDIANTE USO DE SENSOR LIDAR  <b>TUBO 25MM</b>	ESCALA  <b>1:2</b>
20140959	AVALOS VILLA, JULIO PAUL RYAN	FECHA: 2021.08.24
		LÁMINA: D14-A4



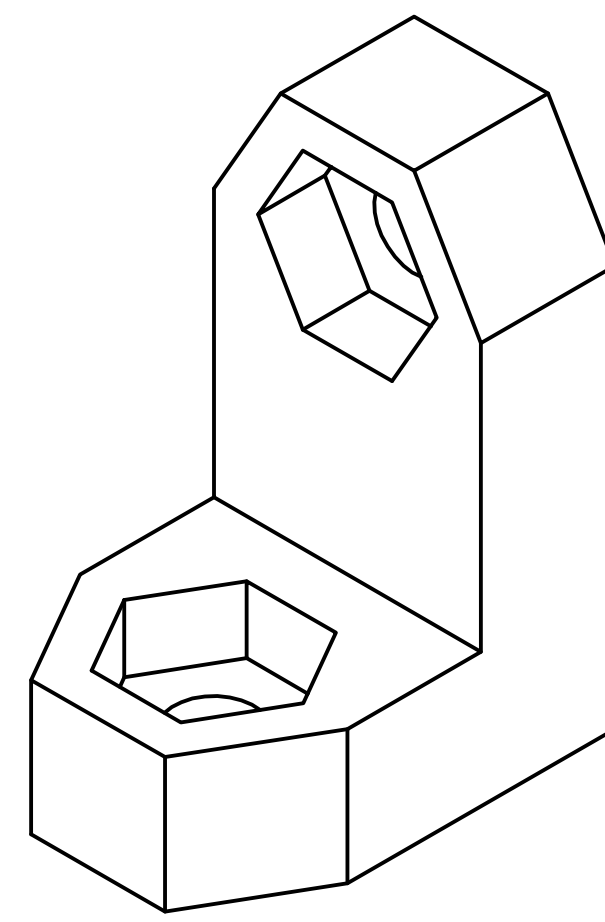
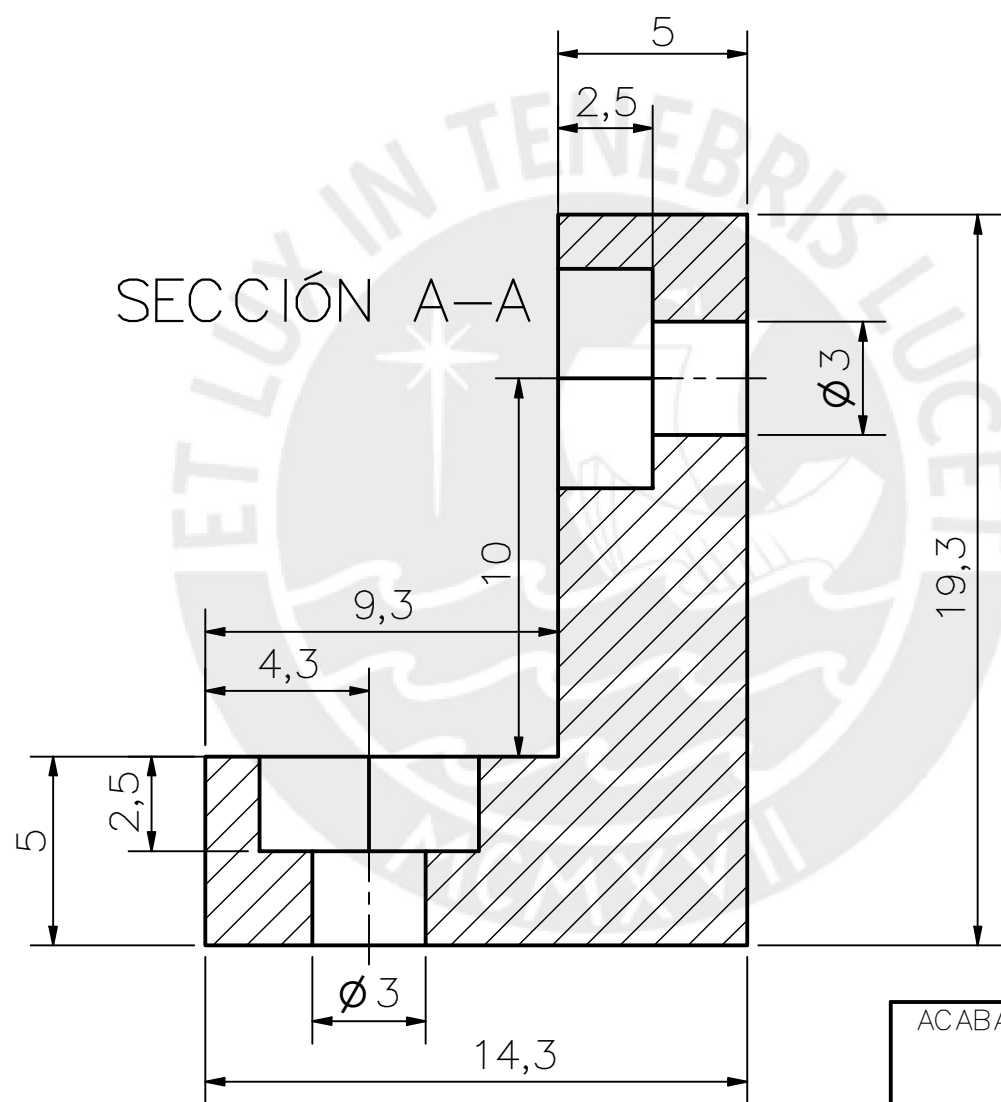
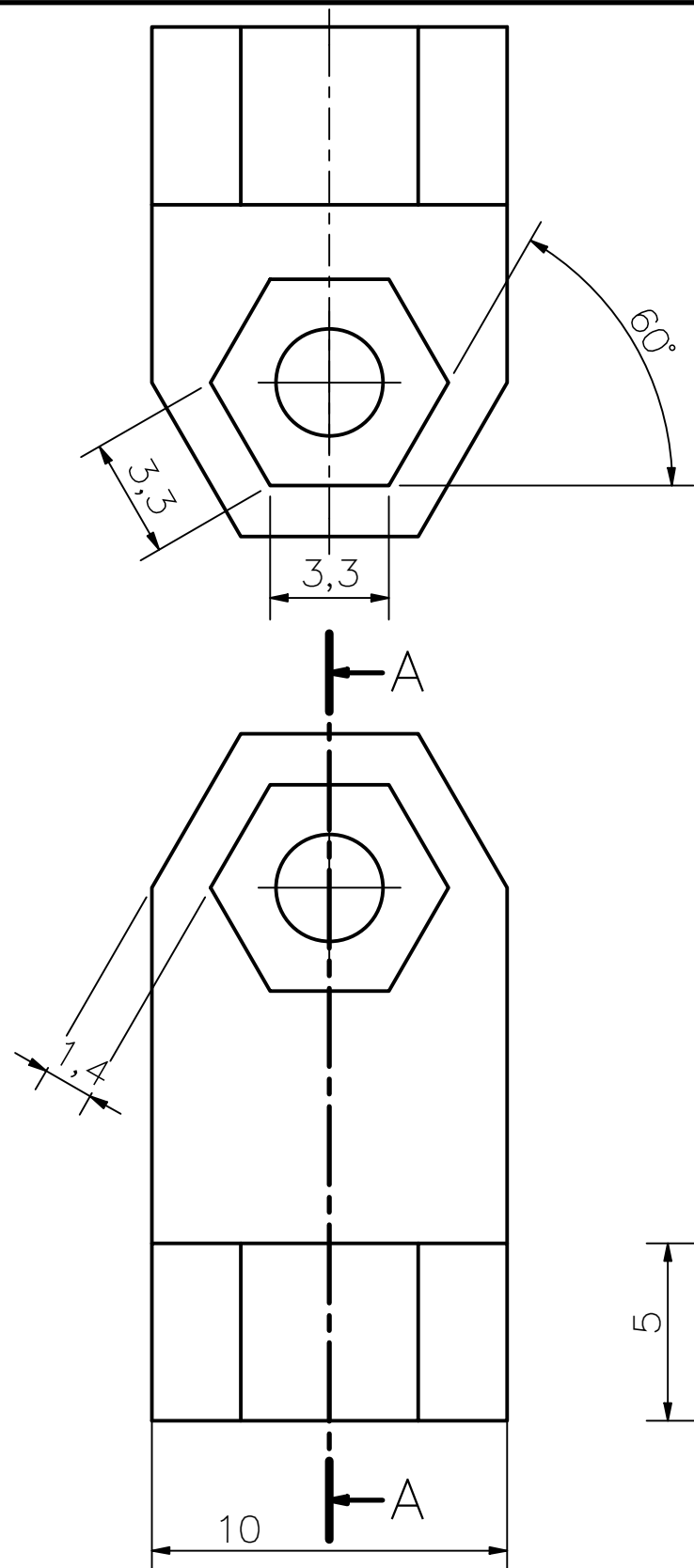
ESPESOR 3



DATOS IMPRESIÓN 3D	
VELOCIDAD VOLUMÉTRICA MÁXIMA	15 mm <sup>3</sup> /s
DENSIDAD	1.24 g/cm <sup>3</sup>
ALTURA DE CAPA	0.2 mm
DIÁMETRO DE BOQUILLA	0.4 mm

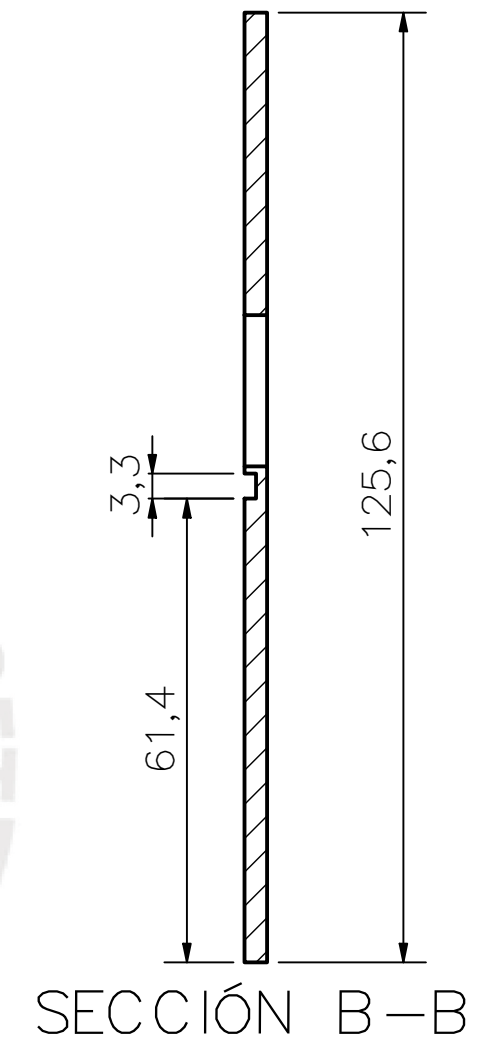
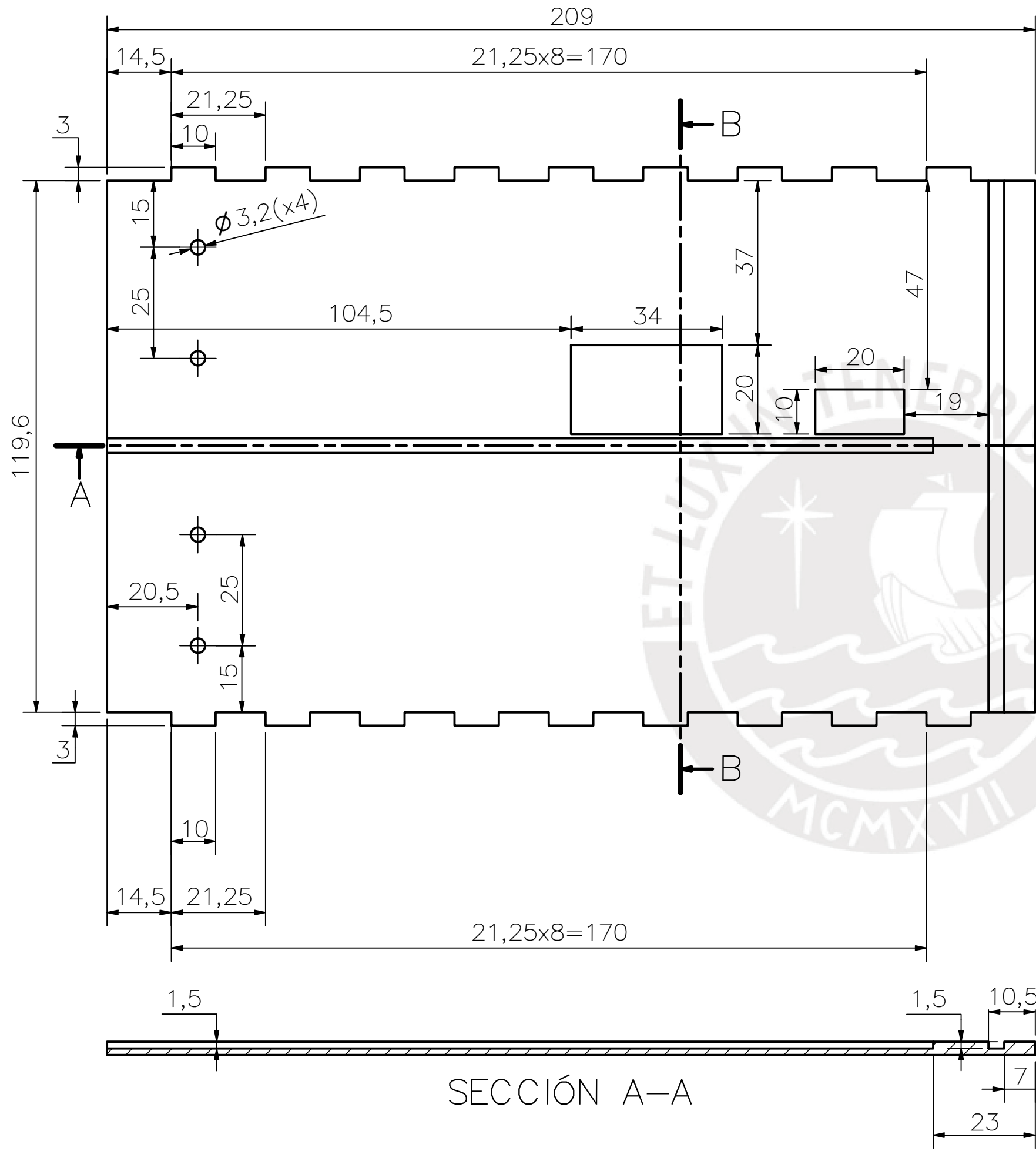
ACABADO SUPERFICIAL N9 ✓	TOLERANCIA GENERAL ± 0.1mm	MATERIAL PLA
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	DRONE PARA MAPEO DE ZONAS VULNERABLES A DESASTRES NATURALES MEDIANTE USO DE SENSOR LIDAR <b>SOPORTE INFERIOR DE GPS</b>	ESCALA <b>2:1</b>
20140959	AVALOS VILLA, JULIO PAUL RYAN	FECHA: 2021.08.24
		LÁMINA: D15-A4





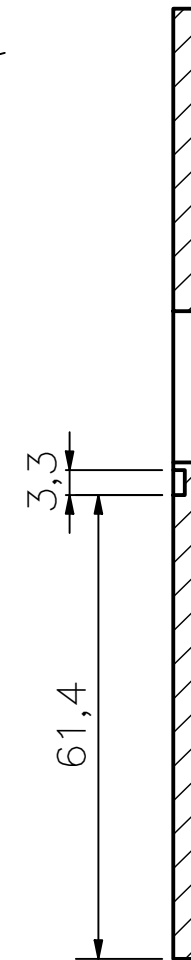
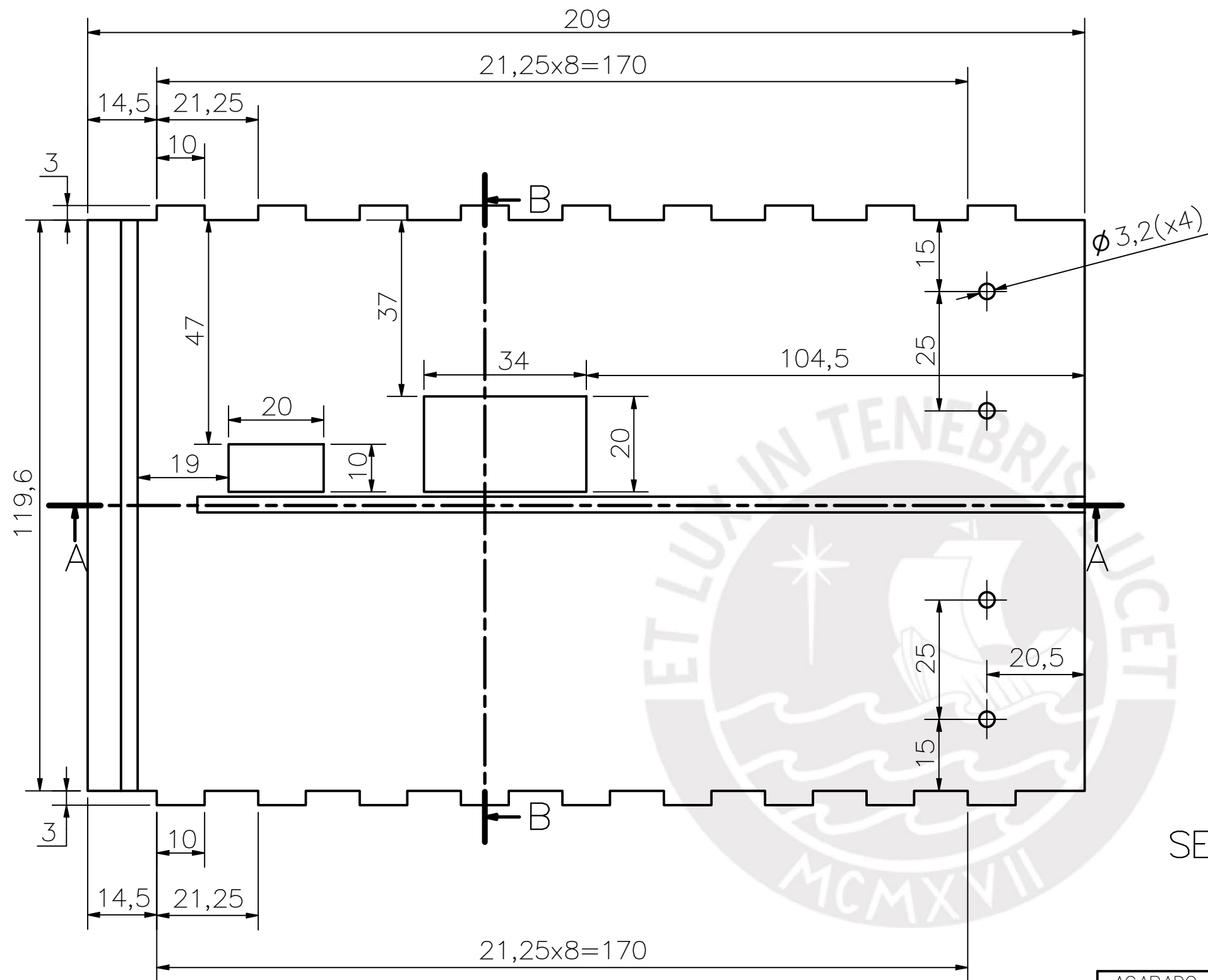
DATOS IMPRESIÓN 3D	
VELOCIDAD VOLUMÉTRICA MÁXIMA	15 mm <sup>3</sup> /s
DENSIDAD	1.24 g/cm <sup>3</sup>
ALTURA DE CAPA	0.2 mm
DIÁMETRO DE BOQUILLA	0.4 mm

ACABADO SUPERFICIAL N9	TOLERANCIA GENERAL ± 0.1mm	MATERIAL PLA
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	DRONE PARA MAPEO DE ZONAS VULNERABLES A DESASTRES NATURALES MEDIANTE USO DE SENSOR LIDAR	ESCALA 5:1
20140959	AVALOS VILLA, JULIO PAUL RYAN	FECHA: 2021.08.24
		LÁMINA: D17-A4



ESPESOR 3

ACABADO SUPERFICIAL N9	TOLERANCIA GENERAL $\pm 0.1\text{mm}$	MATERIAL PMMA – ACRÍLICO
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	DRONE PARA MAPEO DE ZONAS VULNERABLES A DESASTRES NATURALES MEDIANTE USO DE SENSOR LIDAR	ESCALA 1:1
20140959	AVALOS VILLA, JULIO PAUL RYAN	FECHA: 2021.08.25
		LÁMINA: D18-A3



SECCIÓN B-B

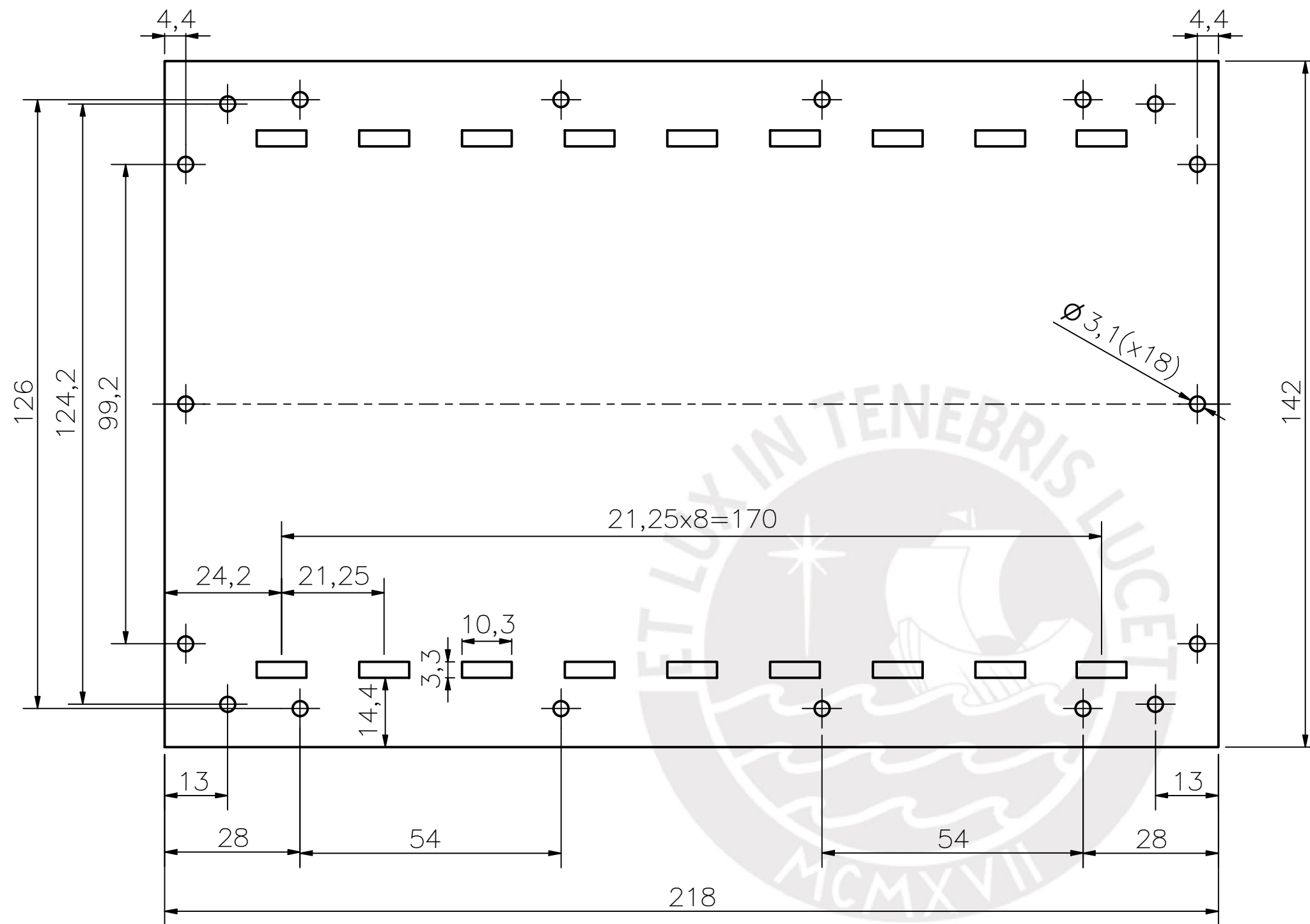
ESPESOR 3



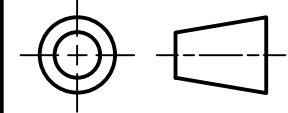
SECCIÓN A-A

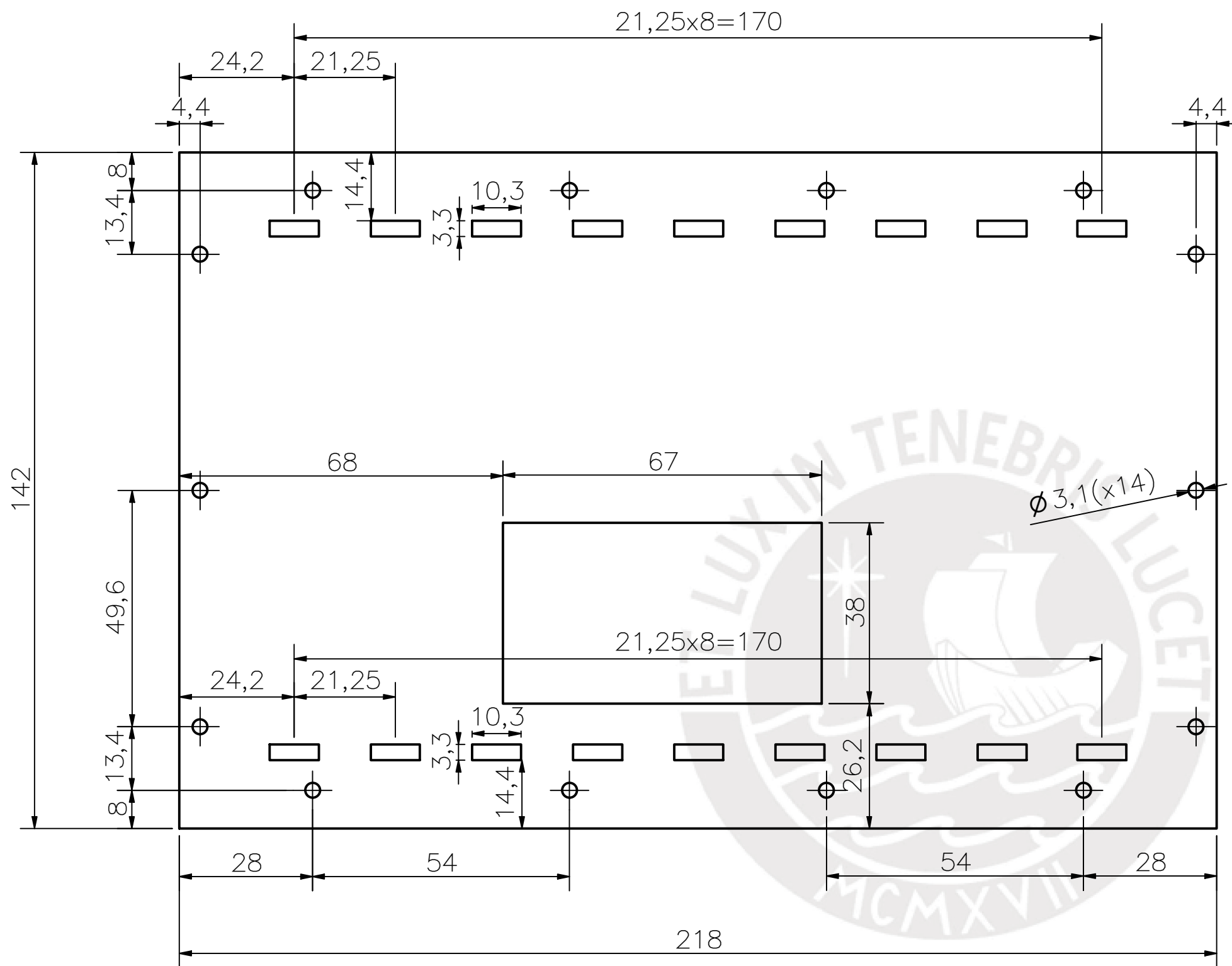
ACABADO SUPERFICIAL N9	TOLERANCIA GENERAL ± 0.1mm	MATERIAL PMMA – ACRÍLICO
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	DRONE PARA MAPEO DE ZONAS VULNERABLES A DESASTRES NATURALES MEDIANTE USO DE SENSOR LIDAR	ESCALA 1:1
20140959	AVALOS VILLA, JULIO PAUL RYAN	FECHA: 2021.08.25
		LÁMINA: D19-A3





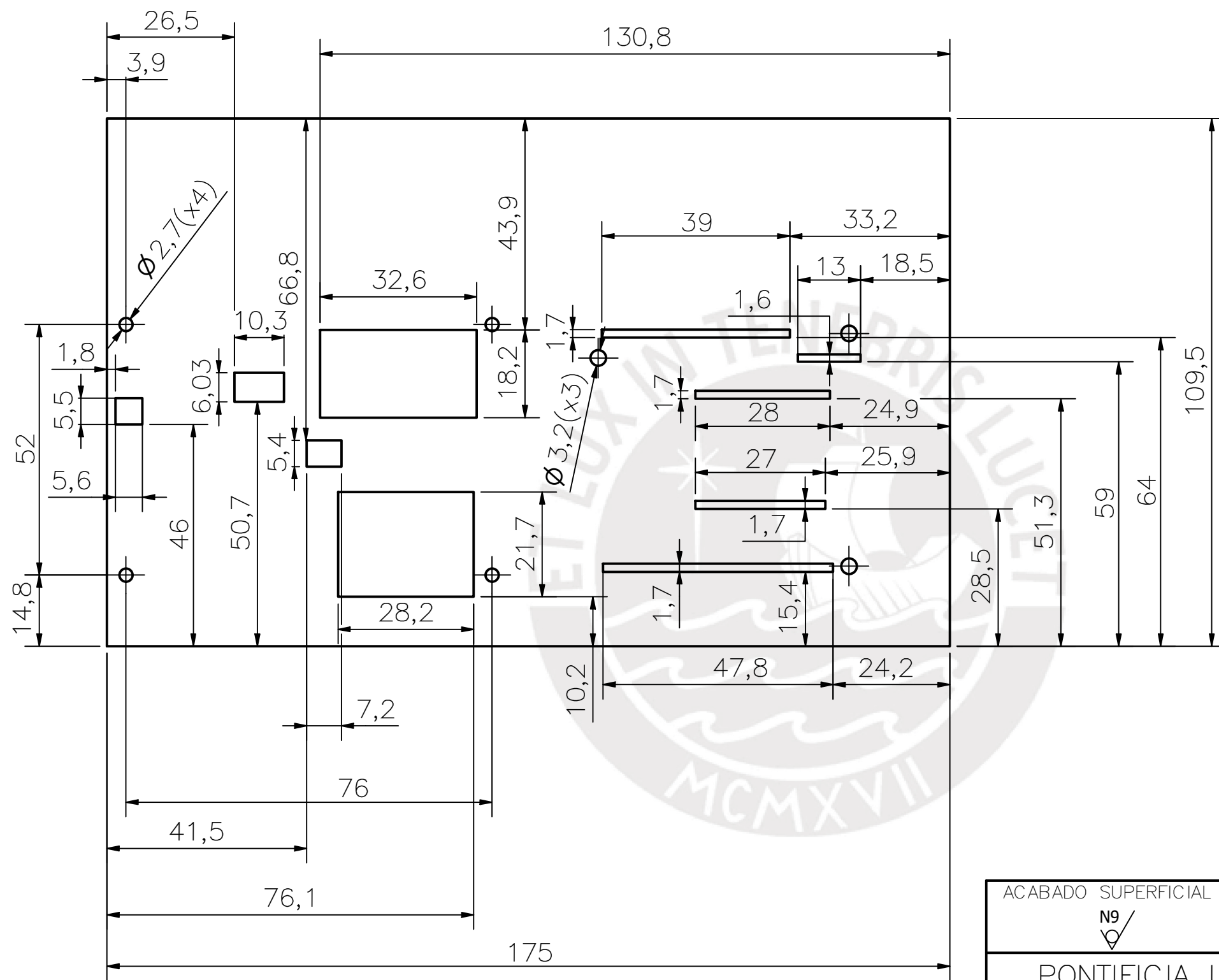
ESPESOR 3

ACABADO SUPERFICIAL N9	TOLERANCIA GENERAL ± 0.1mm	MATERIAL PMMA – ACRÍLICO
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	DRONE PARA MAPEO DE ZONAS VULNERABLES A DESASTRES NATURALES MEDIANTE USO DE SENSOR LIDAR	ESCALA 1:1
20140959	AVALOS VILLA, JULIO PAUL RYAN	FECHA: 2021.08.25
		LÁMINA: D20-A3

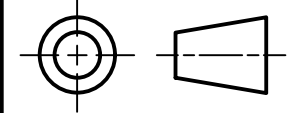


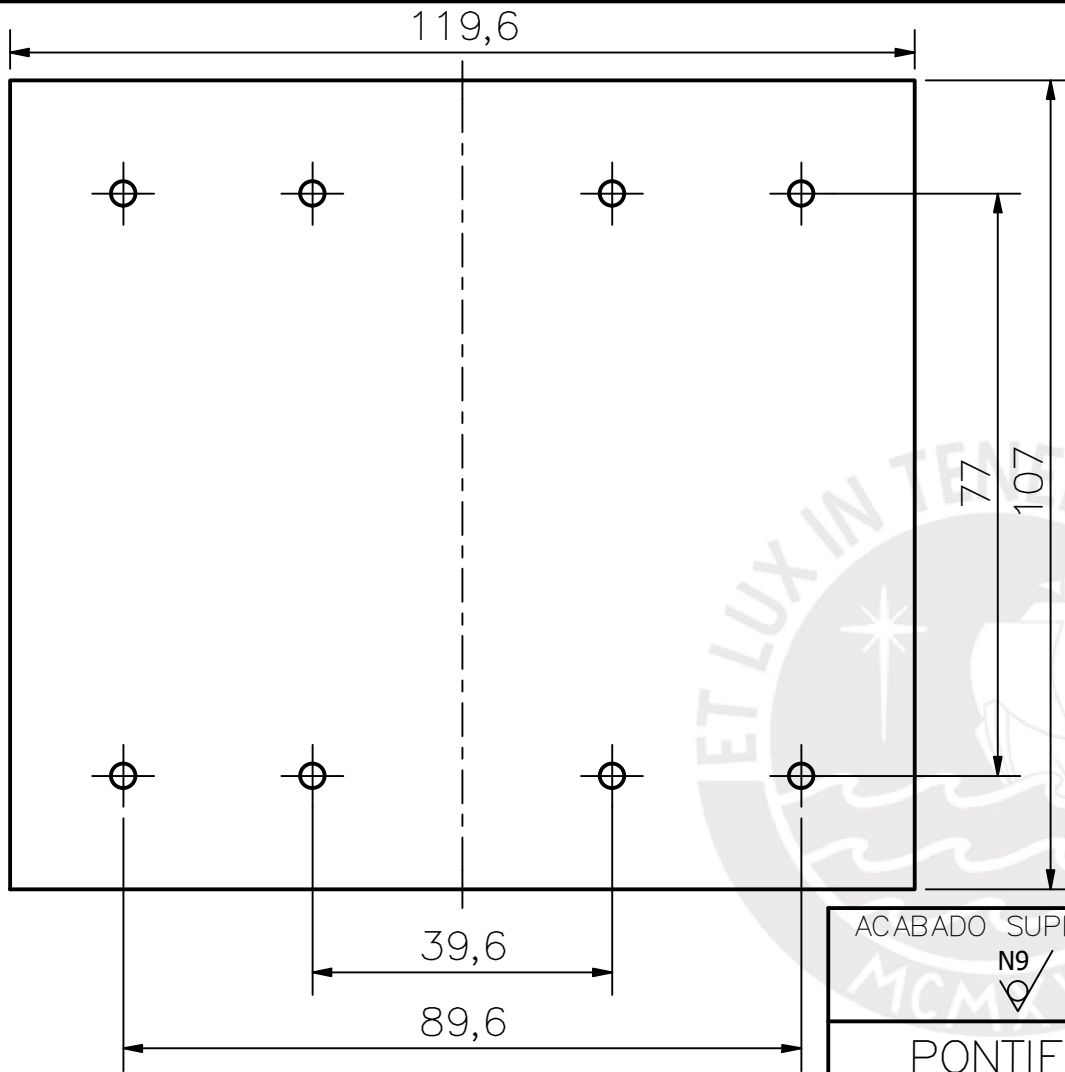
ESPESOR 3

ACABADO SUPERFICIAL N9	TOLERANCIA GENERAL $\pm 0.1\text{mm}$	MATERIAL PMMA – ACRÍLICO
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	DRONE PARA MAPEO DE ZONAS VULNERABLES A DESASTRES NATURALES MEDIANTE USO DE SENSOR LIDAR	ESCALA 1:1
20140959	AVALOS VILLA, JULIO PAUL RYAN	FECHA: 2021.08.25
		LÁMINA: D21-A3



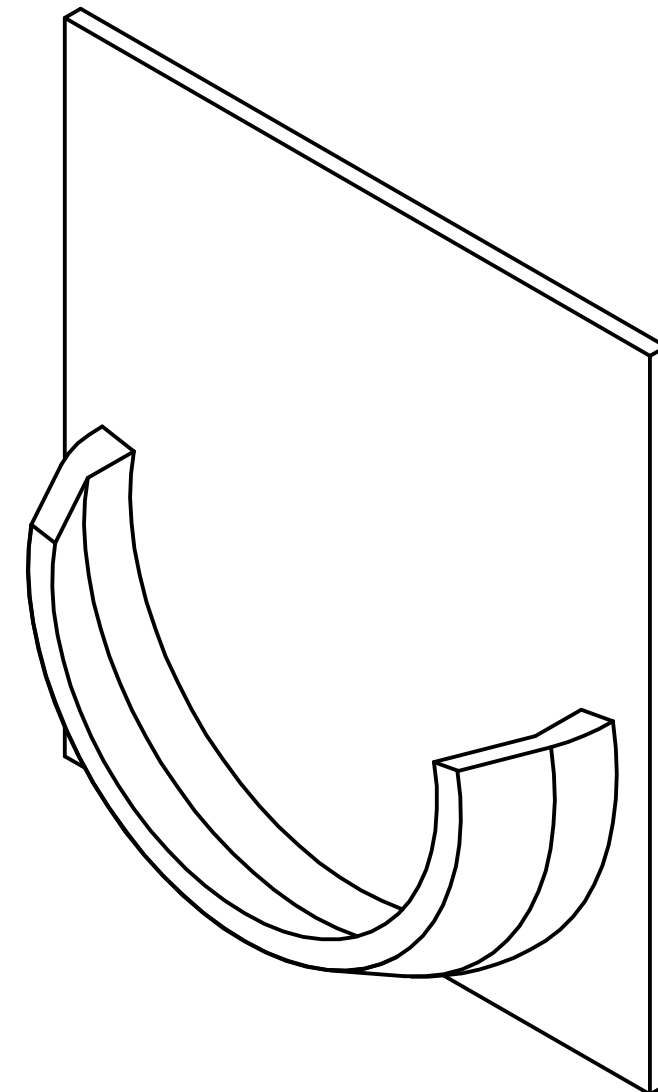
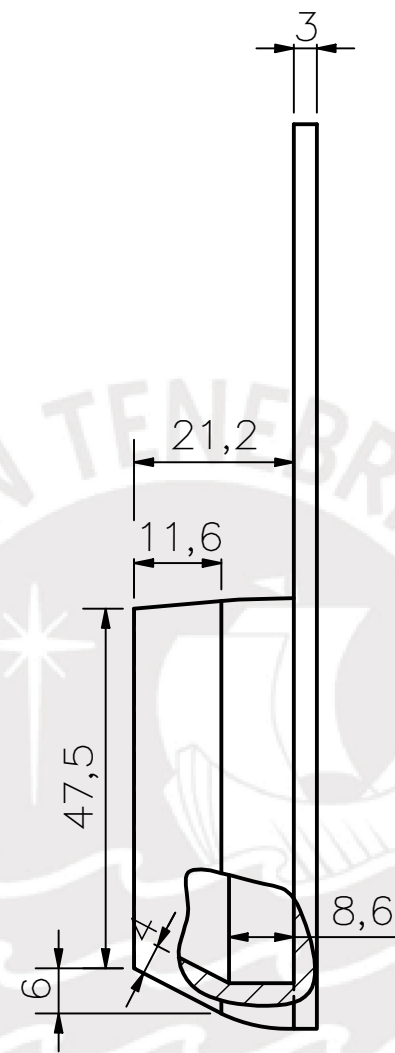
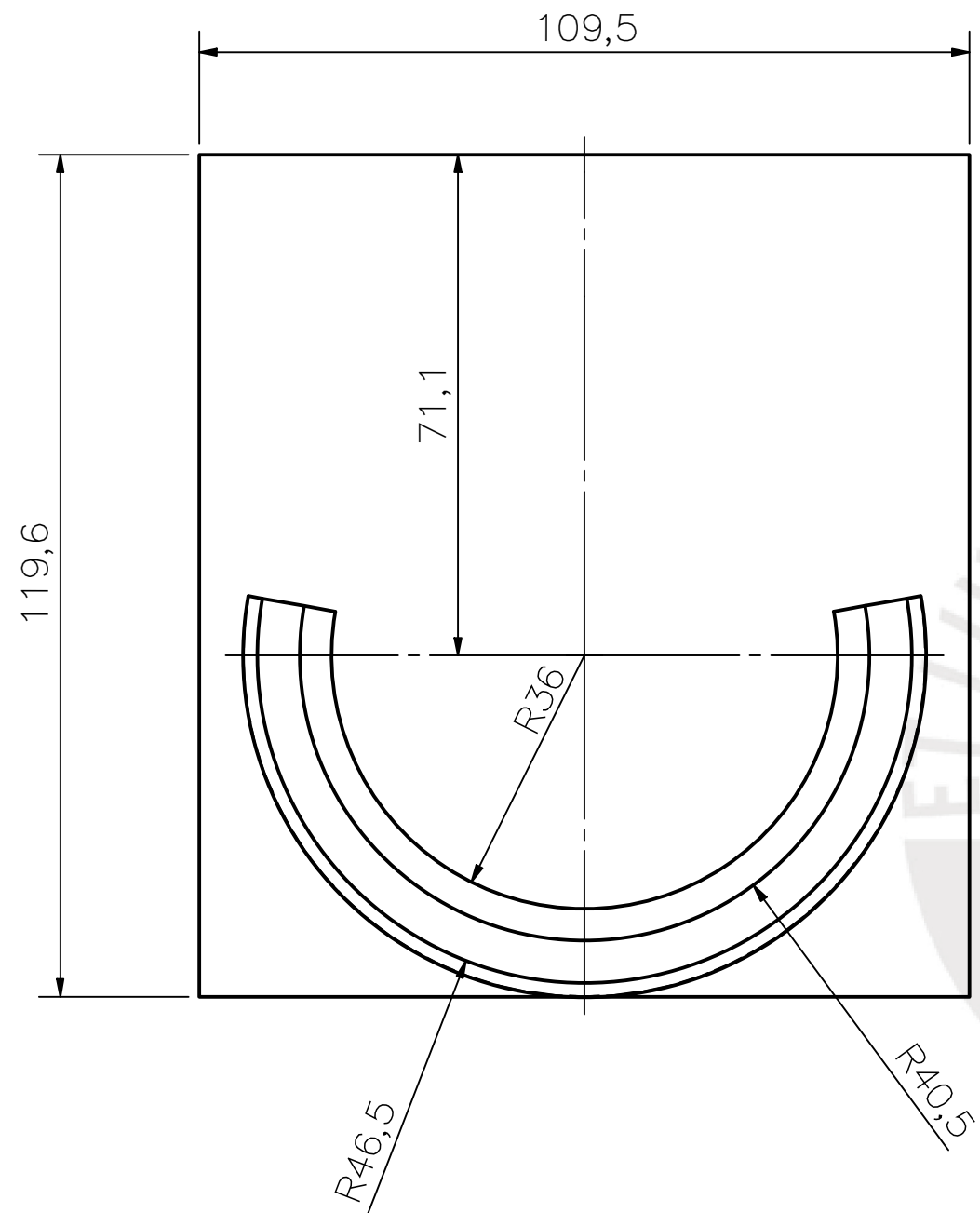
ESPESOR 3

ACABADO SUPERFICIAL N9	TOLERANCIA GENERAL ± 0.1mm	MATERIAL PMMA – ACRÍLICO
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	DRONE PARA MAPEO DE ZONAS VULNERABLES A DESASTRES NATURALES MEDIANTE USO DE SENSOR LIDAR	ESCALA 1:1
20140959	AVALOS VILLA, JULIO PAUL RYAN	FECHA: 2021.08.25
		LÁMINA: D22-A3



ESPESOR 3

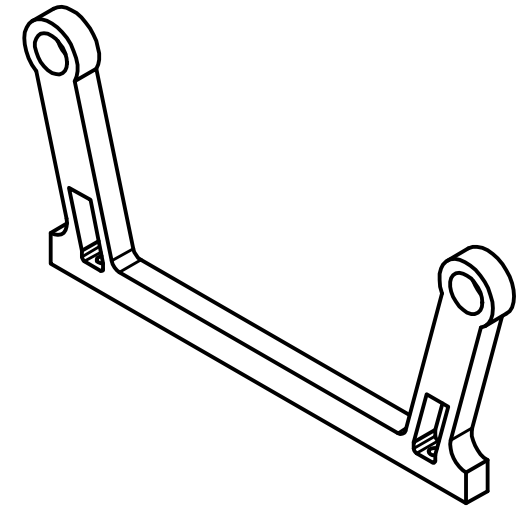
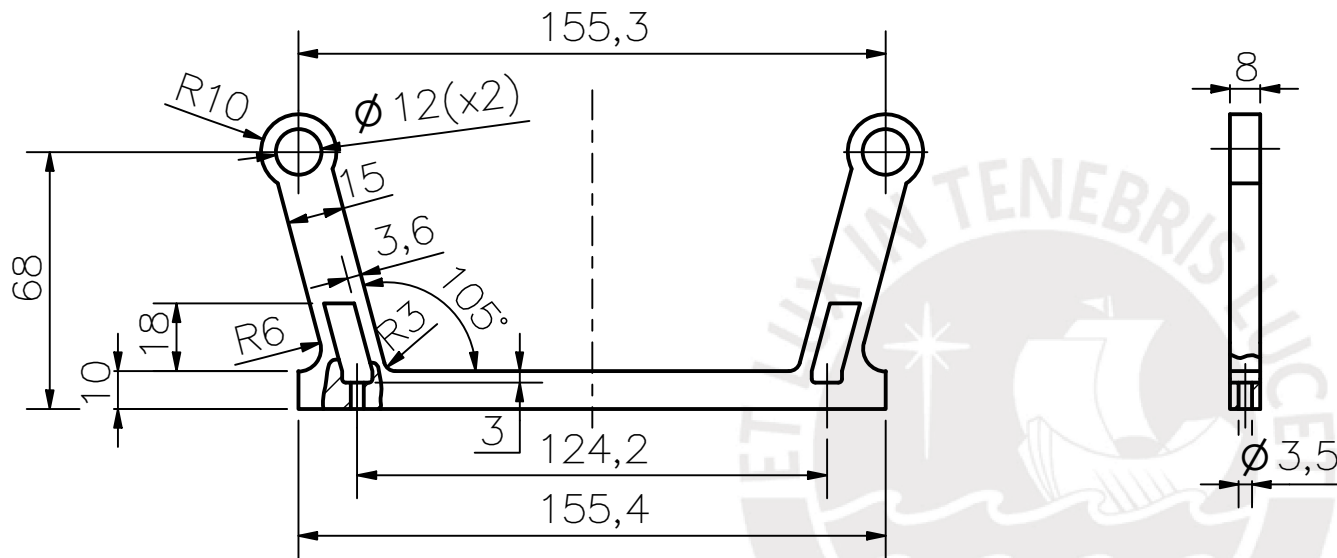
ACABADO SUPERFICIAL N9 ✓	TOLERANCIA GENERAL ± 0.1mm	MATERIAL PMMA – ACRÍLICO
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	DRONE PARA MAPEO DE ZONAS VULNERABLES A DESASTRES NATURALES MEDIANTE USO DE SENSOR LIDAR	ESCALA 1:1
20140959	AVALOS VILLA, JULIO PAUL RYAN	FECHA: 2021.08.25
		LÁMINA: D23-A4



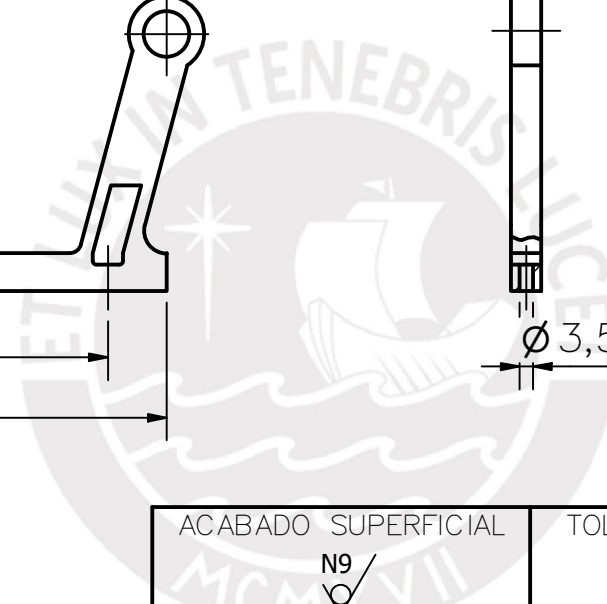
DATOS IMPRESIÓN 3D

VELOCIDAD VOLUMÉTRICA MÁXIMA	15 mm <sup>3</sup> /s
DENSIDAD	1.24 g/cm <sup>3</sup>
ALTURA DE CAPA	0.2 mm
DIÁMETRO DE BOQUILLA	0.4 mm

ACABADO SUPERFICIAL N9	TOLERANCIA GENERAL ± 0.1mm	MATERIAL PLA
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	DRONE PARA MAPEO DE ZONAS VULNERABLES A DESASTRES NATURALES MEDIANTE USO DE SENSOR LIDAR	ESCALA 1:1
20140959	AVALOS VILLA, JULIO PAUL RYAN	FECHA: 2021.08.25
		LÁMINA: D24-A3



REDONDEOS NO  
INDICADOS R1

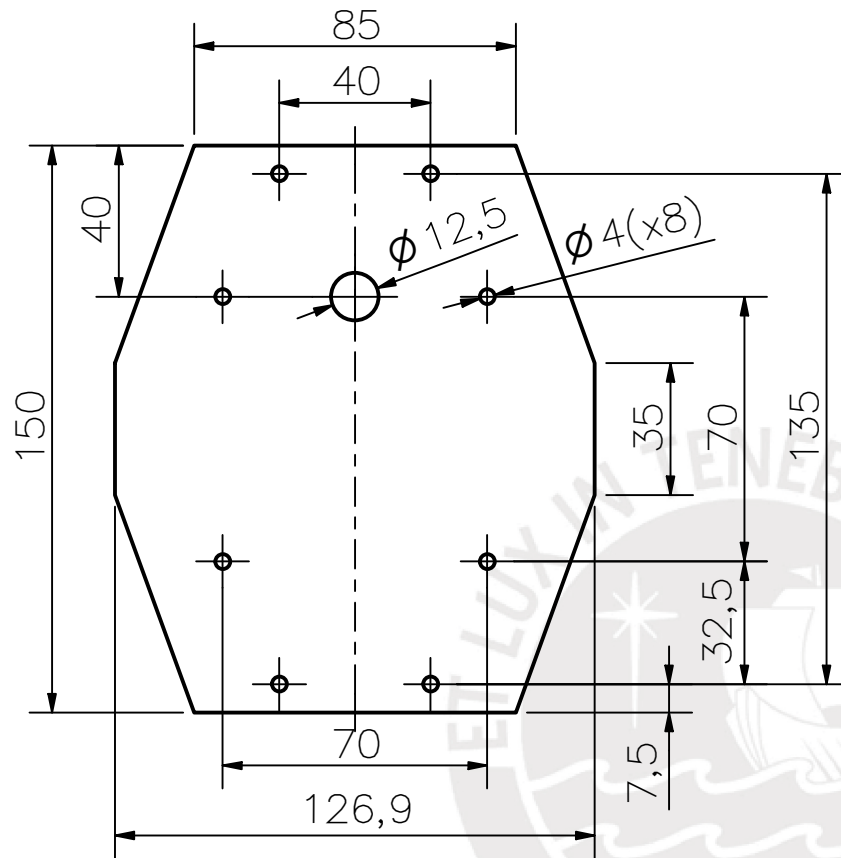


ACABADO SUPERFICIAL N9 /	TOLERANCIA GENERAL ± 0.1mm	MATERIAL POLICARBONATO
-----------------------------	-------------------------------	---------------------------

DATOS IMPRESIÓN 3D	
VELOCIDAD VOLUMÉTRICA MÁXIMA	8 mm <sup>3</sup> /s
DENSIDAD	1.3 g/cm <sup>3</sup>
ALTURA DE CAPA	0.2 mm
DIÁMETRO DE BOQUILLA	0.4 mm

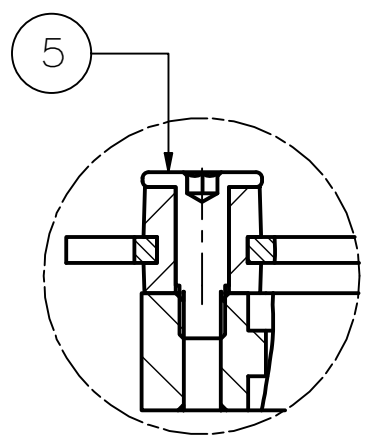
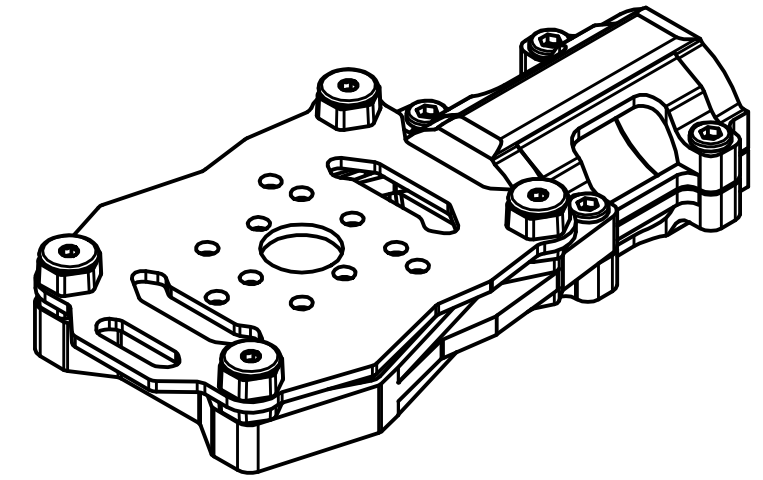
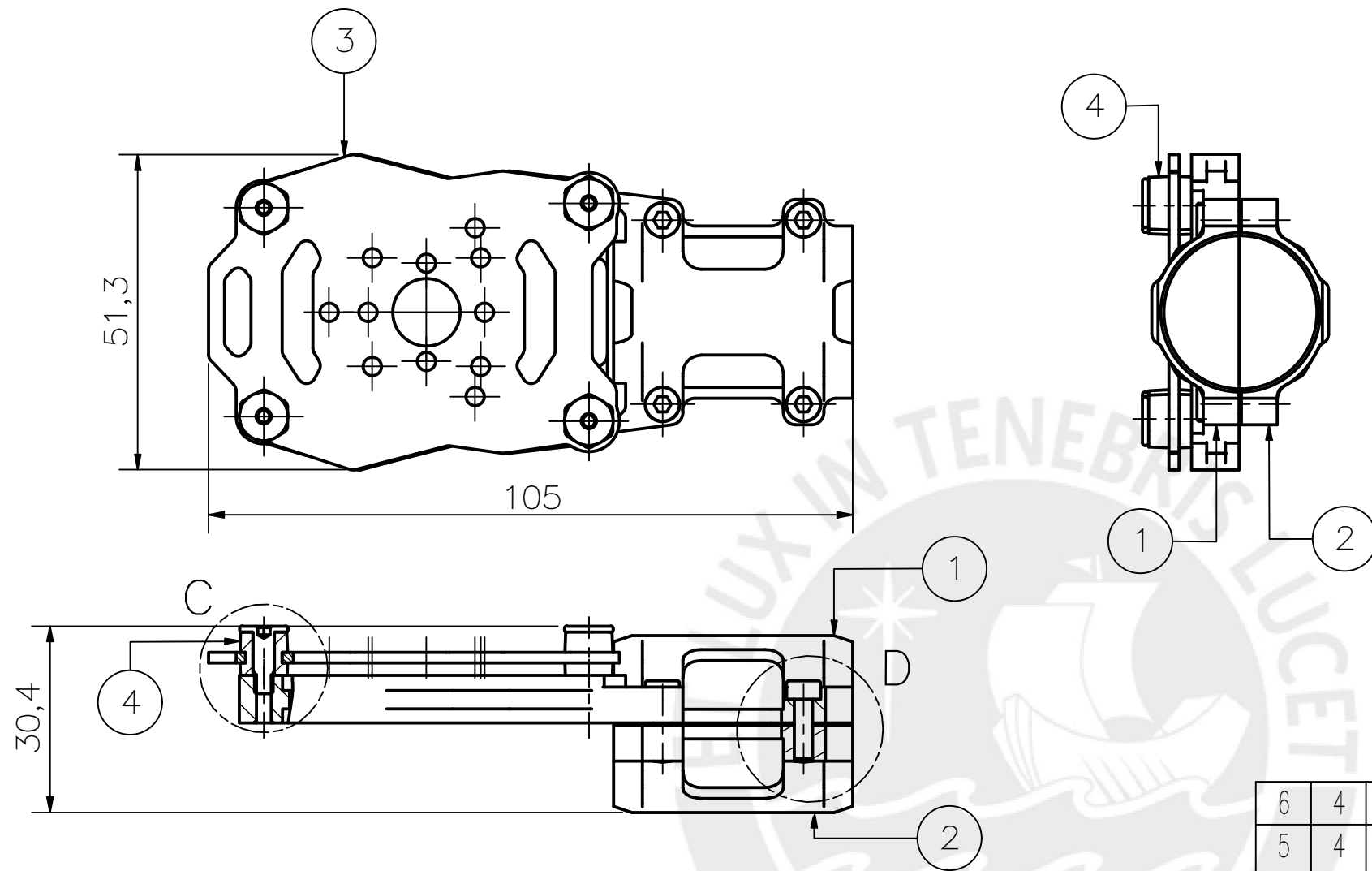
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	DRONE PARA MAPEO DE ZONAS VULNERABLES A DESASTRES NATURALES MEDIANTE USO DE SENSOR LIDAR <b>SUJETADOR SISTEMA LIDAR</b>	ESCALA 1:1
20140959	AVALOS VILLA, JULIO PAUL RYAN	FECHA: 2021.08.25
		LÁMINA: D25-A4



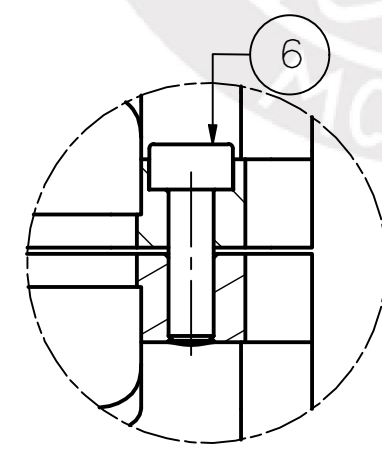


ESPESOR 2

ACABADO SUPERFICIAL N11 ✓	TOLERANCIA GENERAL $\pm 0.1\text{mm}$	MATERIAL FIBRA DE CARBONO
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	DRONE PARA MAPEO DE ZONAS VULNERABLES A DESASTRES NATURALES MEDIANTE USO DE SENSOR LIDAR	ESCALA 1:2
20140959	AVALOS VILLA, JULIO PAUL RYAN	FECHA: 2021.08.25
		LÁMINA: D26-A4



DETALLE C  
ESCALA 2:1

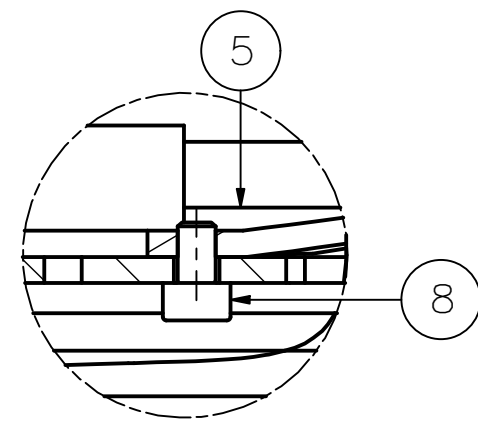


DETALLE D  
ESCALA 2:1

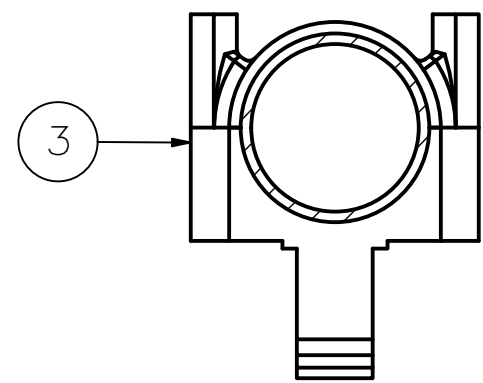
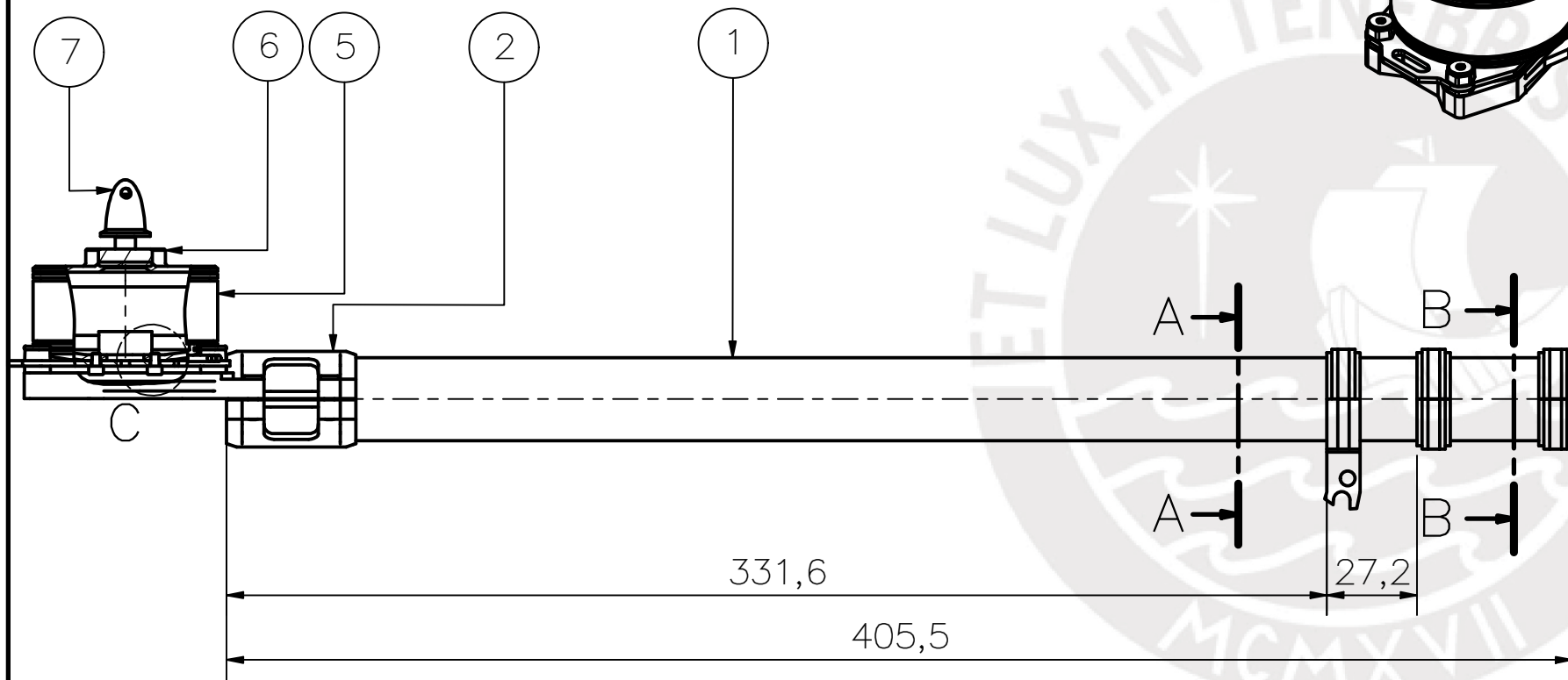
POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES
6	4	TORNILLO M3 x 10	ISO 4762	ACERO A304	
5	4	TORNILLO M3 x 10		ACERO A304	Incluido con la compra del conjunto
4	4	HEXAGONAL SHOCK RING		VARIOS	
3	1	SOPORTE DE MOTOR		FIBRA DE CARBONO	
2	1	METAL MOTOR FIXED XIAZUO		6061T6	
1	1	METAL MOTOR FIXED THERAVADA		6061T6	

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA

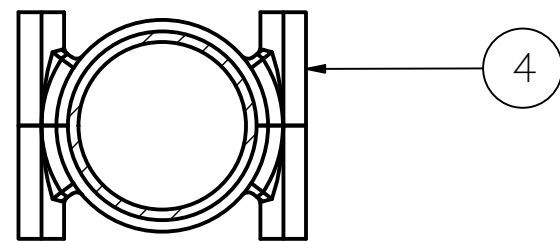
MÉTODO DE PROYECCIÓN	DRONE PARA MAPEO DE ZONAS VULNERABLES A DESASTRES NATURALES MEDIANTE USO DE SENSOR LIDAR	ESCALA
	TL96028/TL96029	1:1
20140959	AVALOS VILLA, JULIO PAUL RYAN	FECHA: 2021.08.25
		LÁMINA: S01-A3



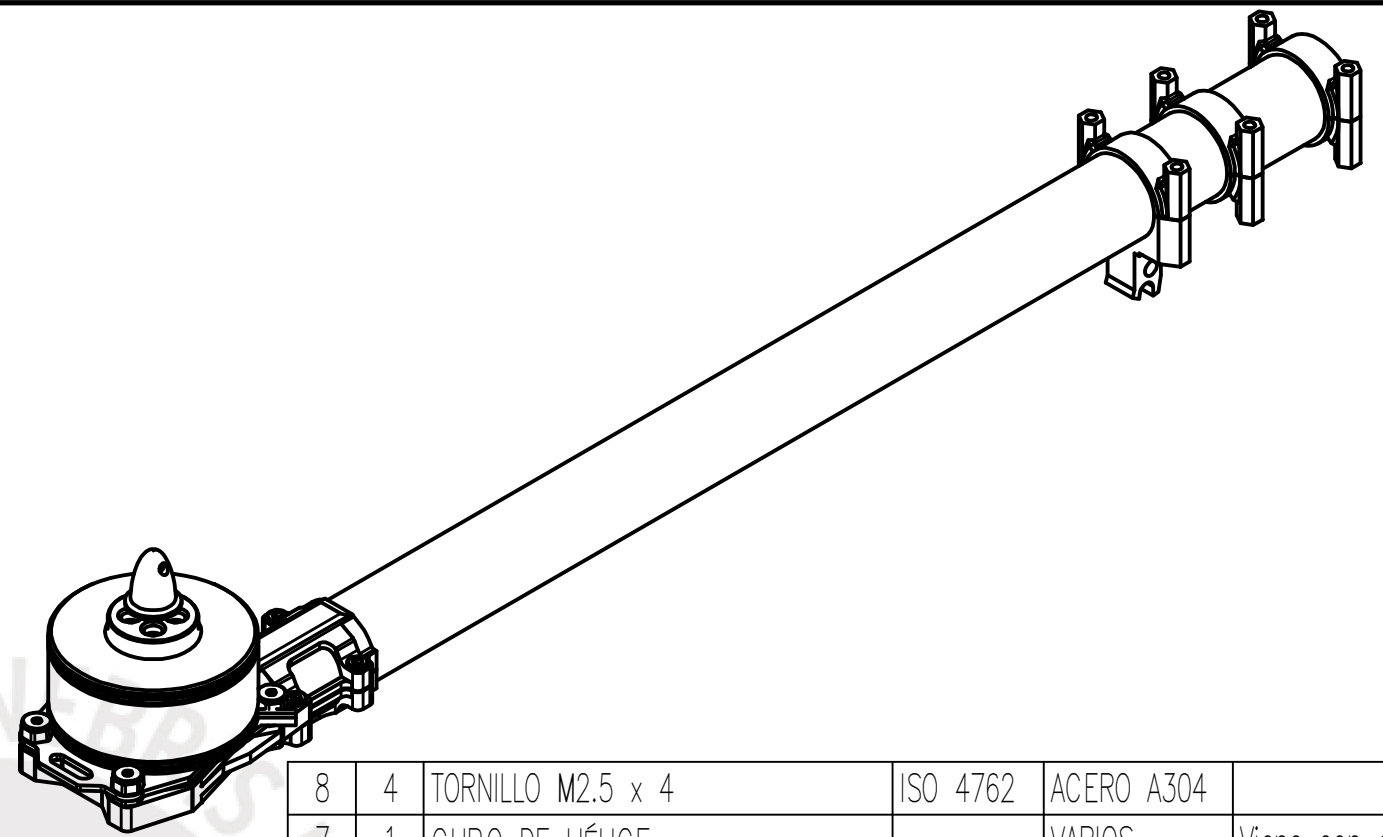
DETALLE C  
ESCALA 2:1



SECCIÓN A-A  
ESCALA 1:1



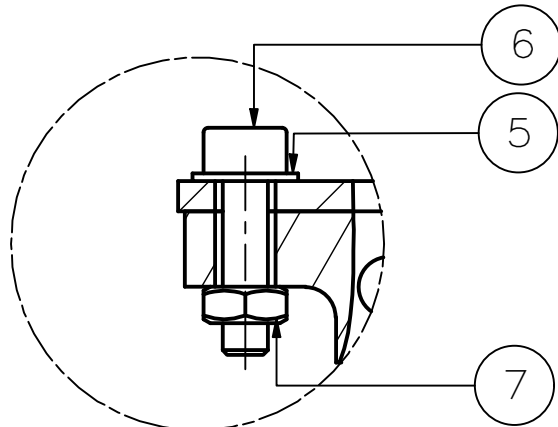
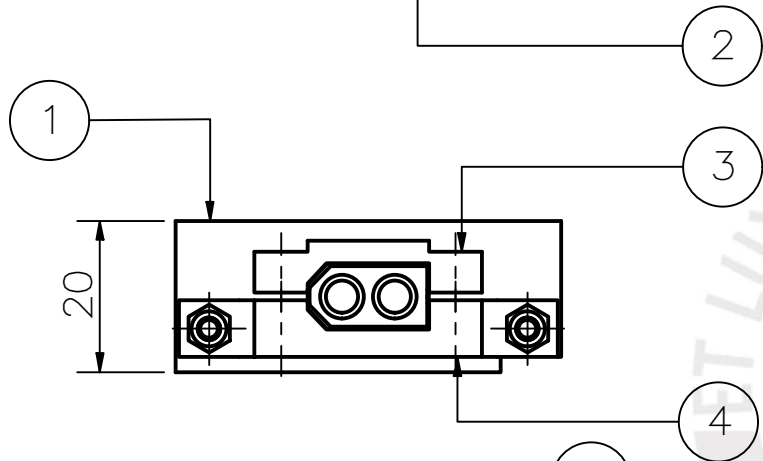
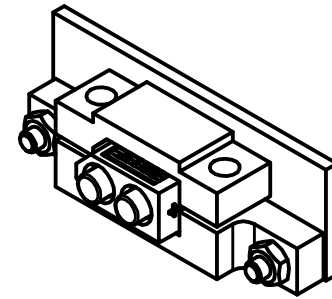
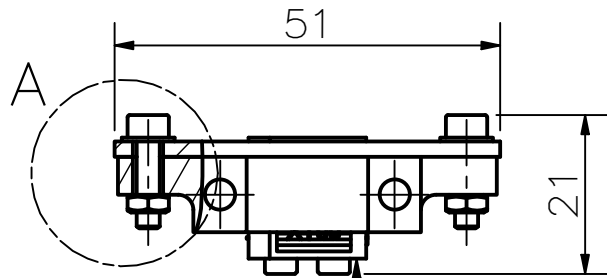
SECCIÓN B-B  
ESCALA 1:1



POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES
8	4	TORNILLO M2.5 x 4	ISO 4762	ACERO A304	
7	1	CUBO DE HÉLICE		VARIOS	Viene con el motor sin escobillas
6	1	ADAPTADOR DE HÉLICE		VARIOS	Viene con el motor sin escobillas
5	1	MOTOR SIN ESCOBILLAS MN501-S KV360		VARIOS	Marca T-Motor 1000 WATTS 6000 RPM
4	2	ABRAZADERA		VARIOS	Marca Tarot
3	1	ABRAZADERA CON PATA		VARIOS	Marca Tarot
2	1	TL96029		VARIOS	Marca Tarot Ver plano S01-A3
1	1	TUBO 25MM		FIBRA DE CARBONO	Ver plano D14-A4

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN	DRONE PARA MAPEO DE ZONAS VULNERABLES A DESASTRES NATURALES MEDIANTE USO DE SENSOR LIDAR	ESCALA
	BRAZO FIJO	1:2
20140959	AVALOS VILLA, JULIO PAUL RYAN	FECHA: 2021.08.25
		LÁMINA: A3

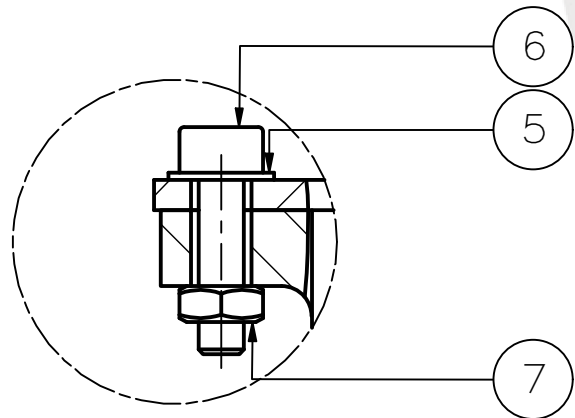
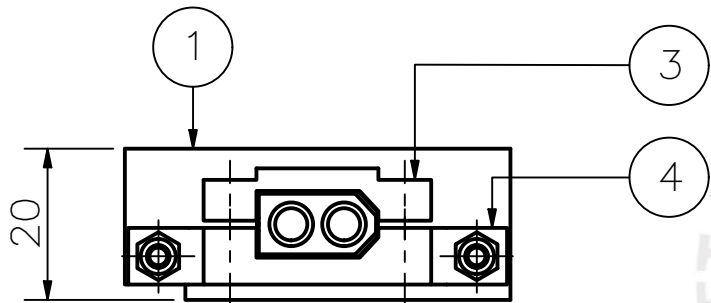
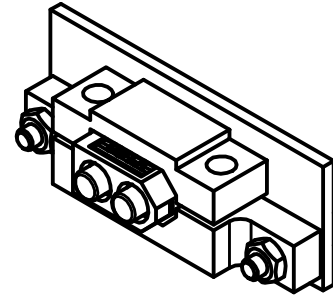
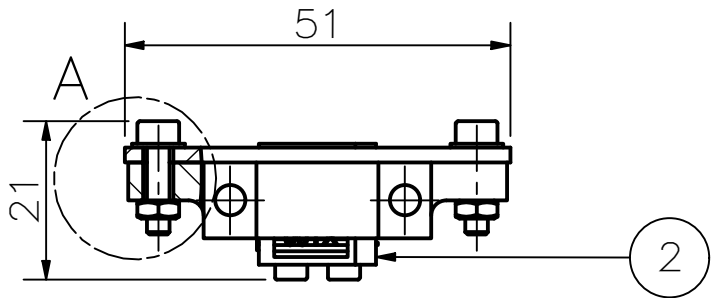


DETALLE A  
ESCALA 2:1

POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES
7	2	TUERCA M3	ISO 4032	ACERO A304	
6	2	TORNILLO M3 x 12	ISO 4762	ACERO A304	
5	2	ARANDELA PLANA 3	ISO 7089	ACERO A304	
4	1	SOPORTE INFERIOR XT60		PLA	Ver plano D03-A4
3	1	SOPORTE SUPERIOR XT60		PLA	Ver plano D02-A4
2	1	PDB XT60 PLUG		VARIOS	
1	1	PLACA CF PARA CONECTOR XT60		FIBRA DE CARBONO	Ver plano D01-A4

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN	DRONE PARA MAPEO DE ZONAS VULNERABLES A DESASTRES NATURALES MEDIANTE USO DE SENSOR LIDAR	ESCALA
	ACOPLE CONECTOR XT60	1:1
20140959	AVALOS VILLA, JULIO PAUL RYAN	FECHA: 2021.08.25
		LÁMINA: S03-A4

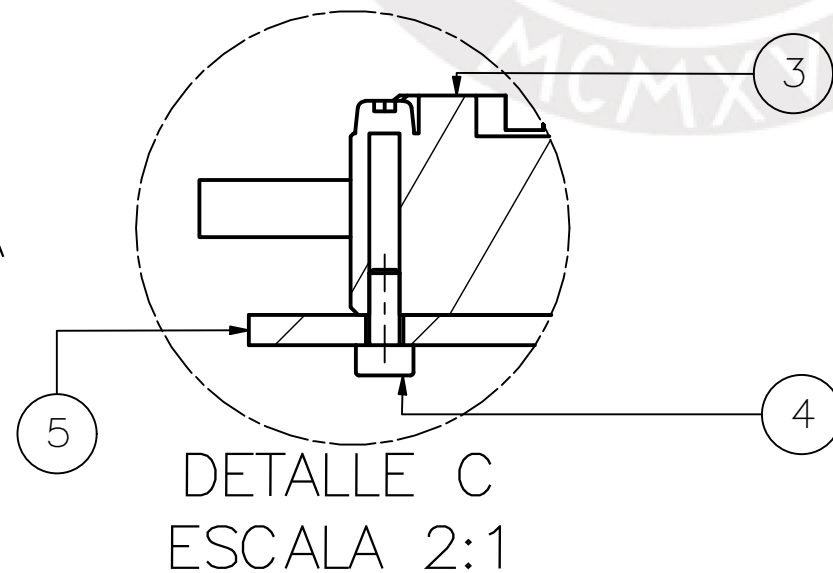
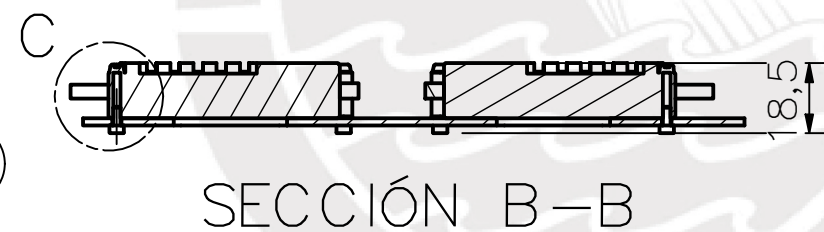
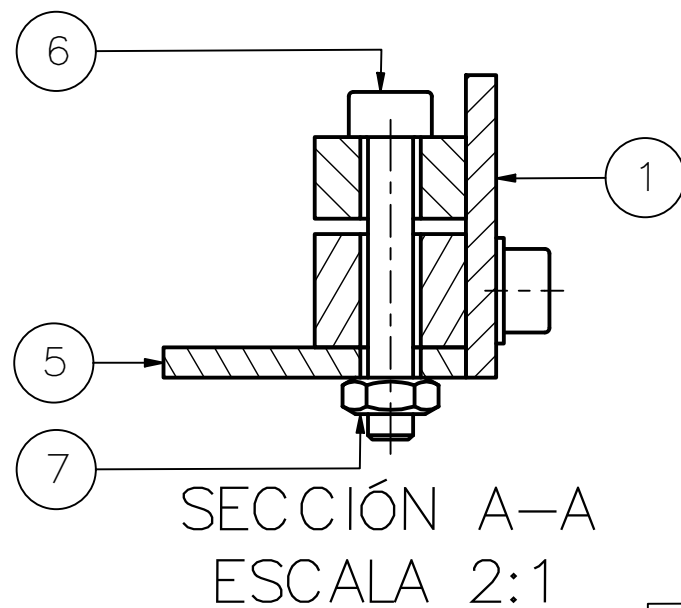
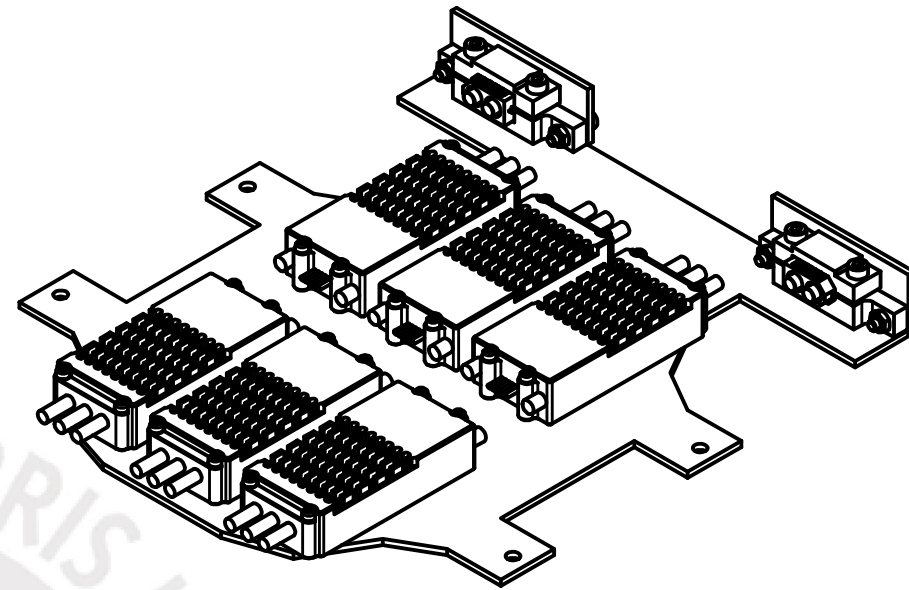
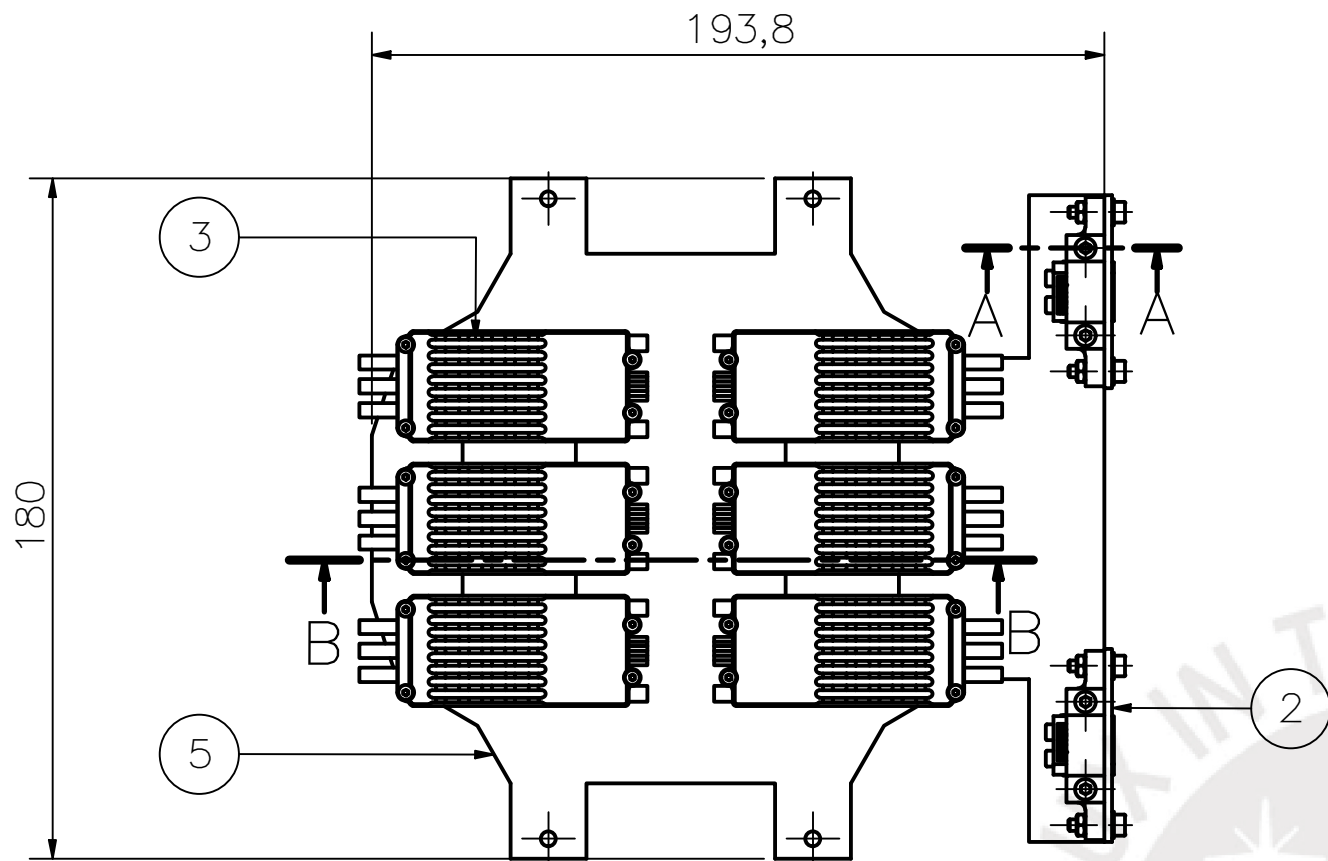


DETALLE A  
ESCALA 2:1

POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES
7	2	TUERCA M3	ISO 4032	ACERO A304	
6	2	TORNILLO M3 x 12	ISO 4762	ACERO A304	
5	2	ARANDELA PLANA 3	ISO 7089	ACERO A304	
4	1	SOPORTE INFERIOR XT60 MIR		PLA	Ver plano D04-A4
3	1	SOPORTE SUPERIOR XT60		PLA	Ver plano D02-A4
2	1	PDB XT60 PLUG		VARIOS	
1	1	PLACA CF PARA CONECTOR XT60		FIBRA DE CARBONO	Ver plano D01-A4

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN	DRONE PARA MAPEO DE ZONAS VULNERABLES A DESASTRES NATURALES MEDIANTE USO DE SENSOR LIDAR	ESCALA
	ACOPLE CONECTOR XT60 MIR	1:1
20140959	AVALOS VILLA, JULIO PAUL RYAN	FECHA: 2021.08.25
		LÁMINA: S04-A4

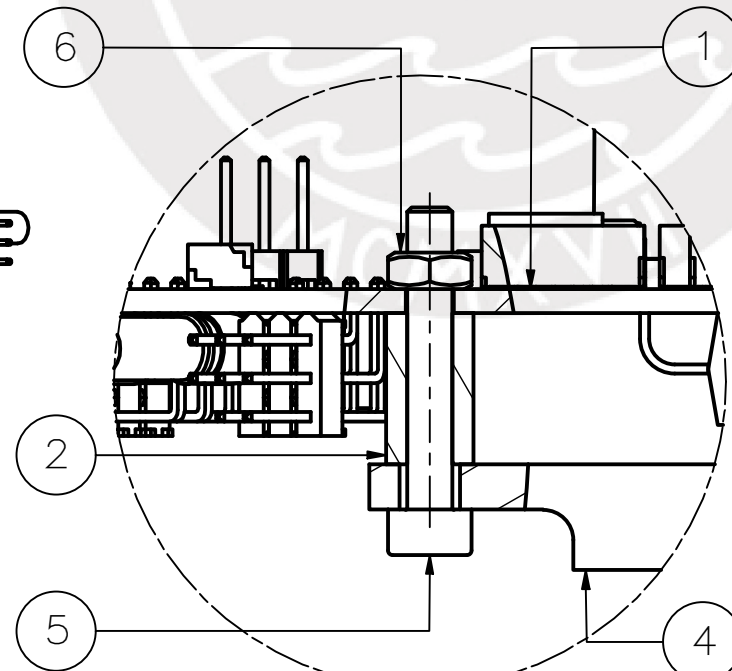
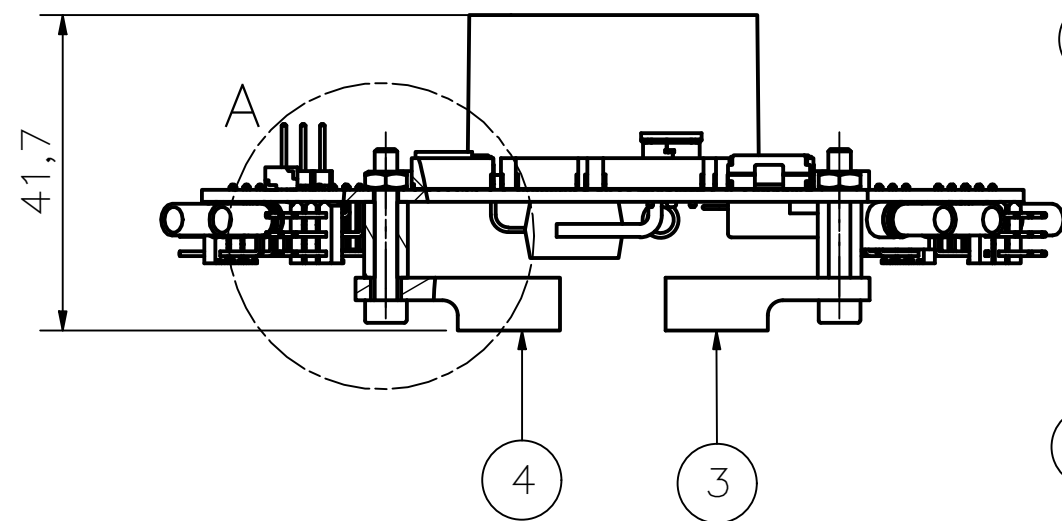
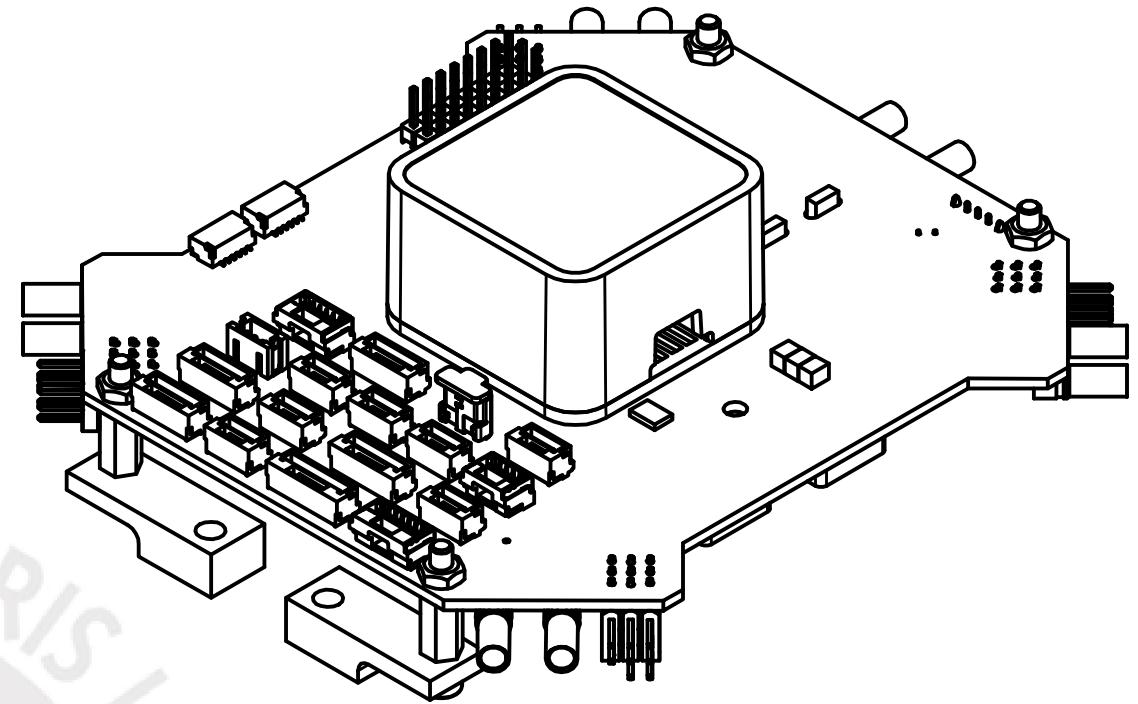
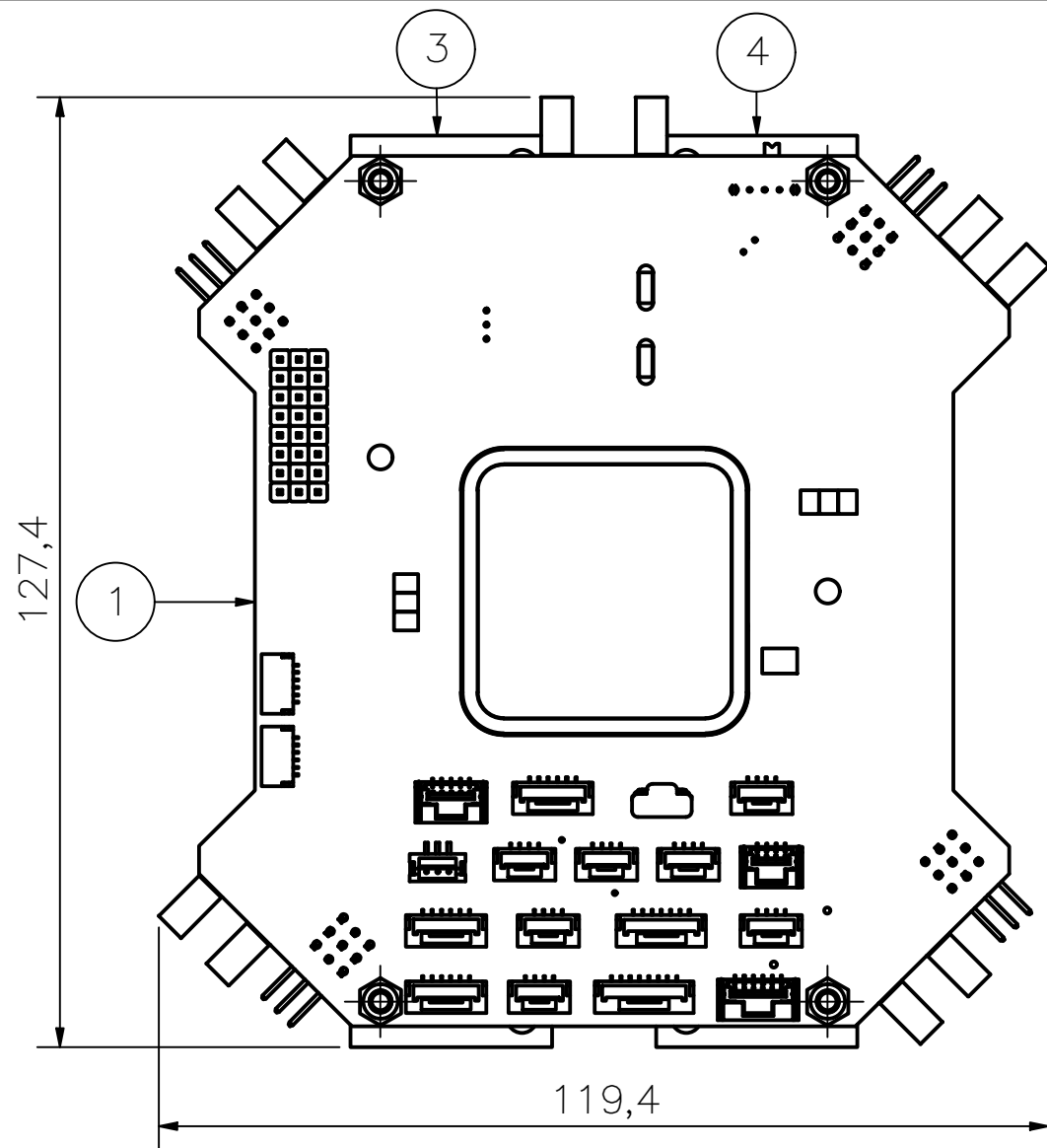


POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES
7	4	TUERCA M3	ISO 4032	ACERO A304	
6	4	TORNILLO M3 x 20	ISO 4762	ACERO A304	
5	1	PLACA ESCS		FIBRA DE CARBONO	Ver plano D05-A3
4	20	TORNILLO M2 x 5	ISO 4762	ACERO A304	
3	6	ESC ALPHA 40A LV		VARIOS	Marca T-Motor, para motores sin escobillas
2	1	ACOPLE CONECTOR XT60 MIR		VARIOS	Ver plano S04-A4
1	1	ACOPLE CONECTOR XT60		VARIOS	Ver plano S03-A4

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN	DRONE PARA MAPEO DE ZONAS VULNERABLES A DESASTRES NATURALES MEDIANTE USO DE SENSOR LIDAR	ESCALA
	<b>ENSAMBLE ESCS</b>	1:2
20140959	AVALOS VILLA, JULIO PAUL RYAN	FECHA: 2021.08.25
		LÁMINA: S05-A3



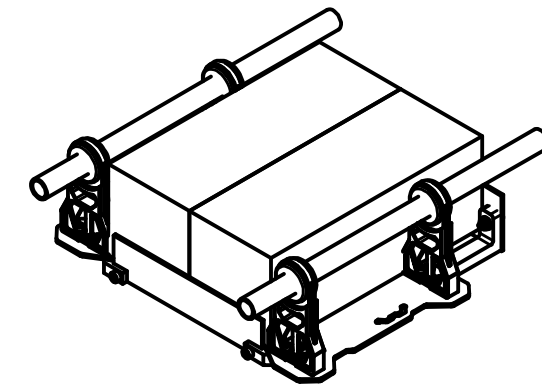
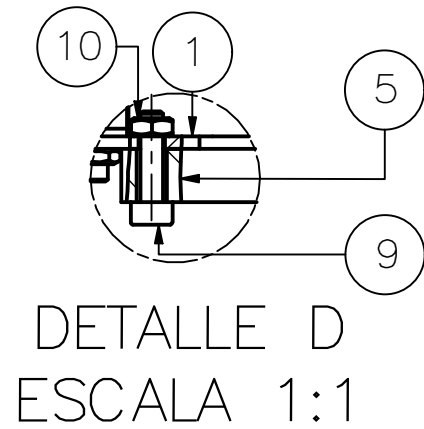
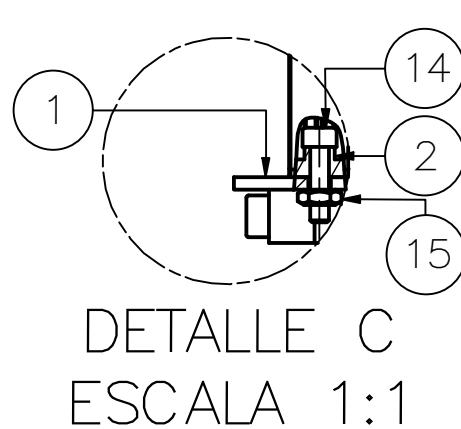
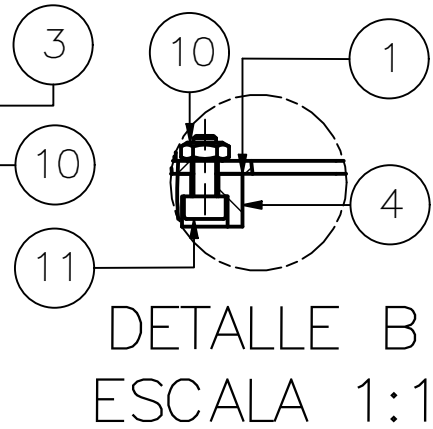
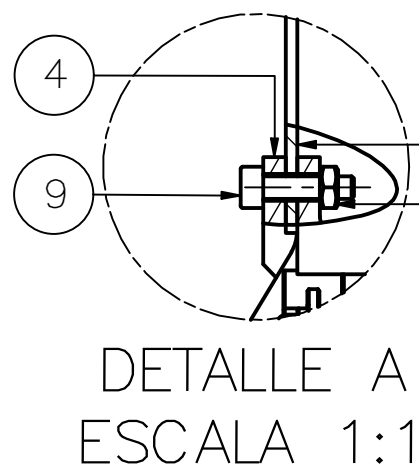
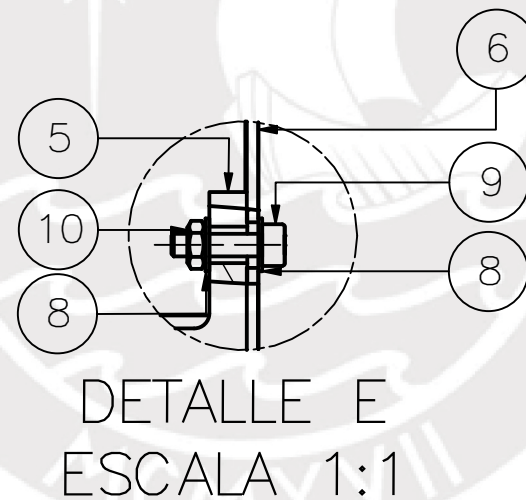
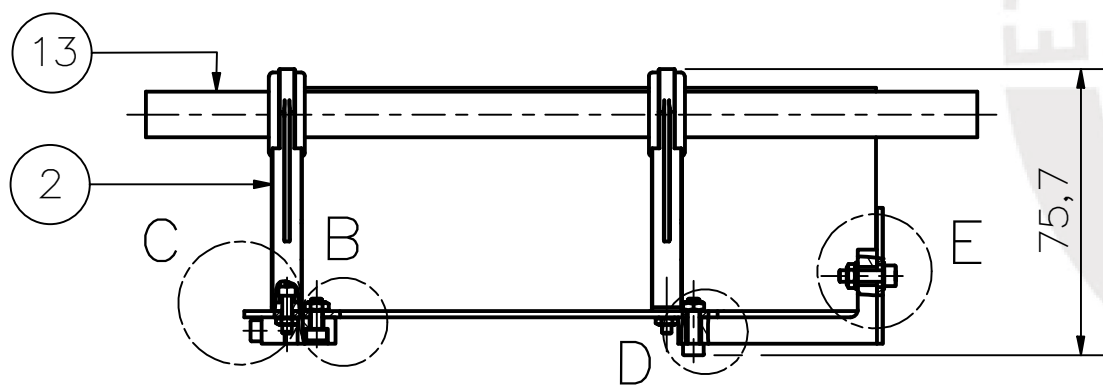
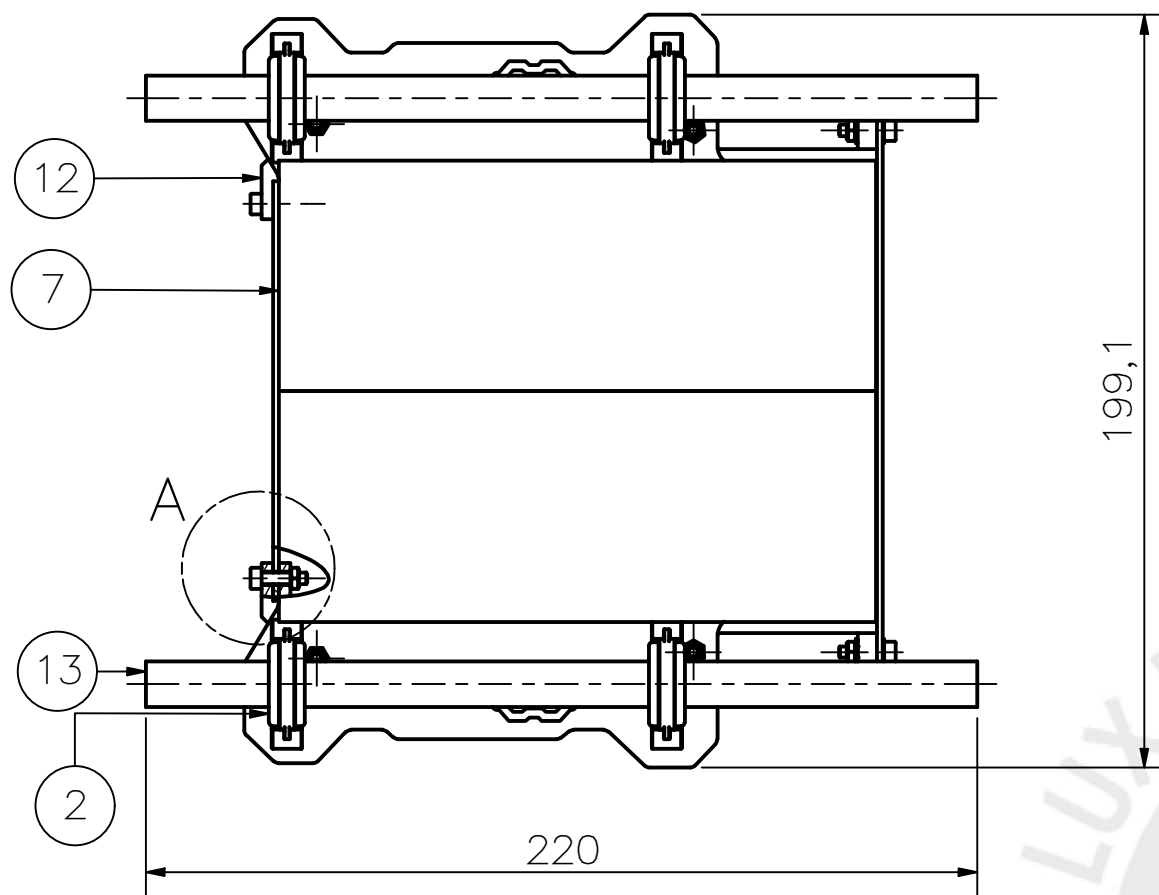


DETALLE A  
ESCALA 2:1

POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES
6	4	TUERCA M3	ISO 4032	ACERO A304	
5	4	TORNILLO M3 x 20	ISO 4762	ACERO A304	
4	2	ACOPLE PLACA KORE MIR		PLA	Ver plano D07-A4
3	2	ACOPLE PLACA KORE		PLA	Ver plano D06-A4
2	4	ESPACIADOR NYLON 10mm		NYLON 6/6	
1	1	KORE CUBE CARRIER BOARD			Placa Kore con pixhawk 2.1. the cube

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN	DRONE PARA MAPEO DE ZONAS VULNERABLES A DESASTRES NATURALES MEDIANTE USO DE SENSOR LIDAR	ESCALA
	<h2>ENSAMBLE PLACA KORE</h2>	1:1
20140959	AVALOS VILLA, JULIO PAUL RYAN	FECHA: 2021.08.25
		LÁMINA: S06-A3

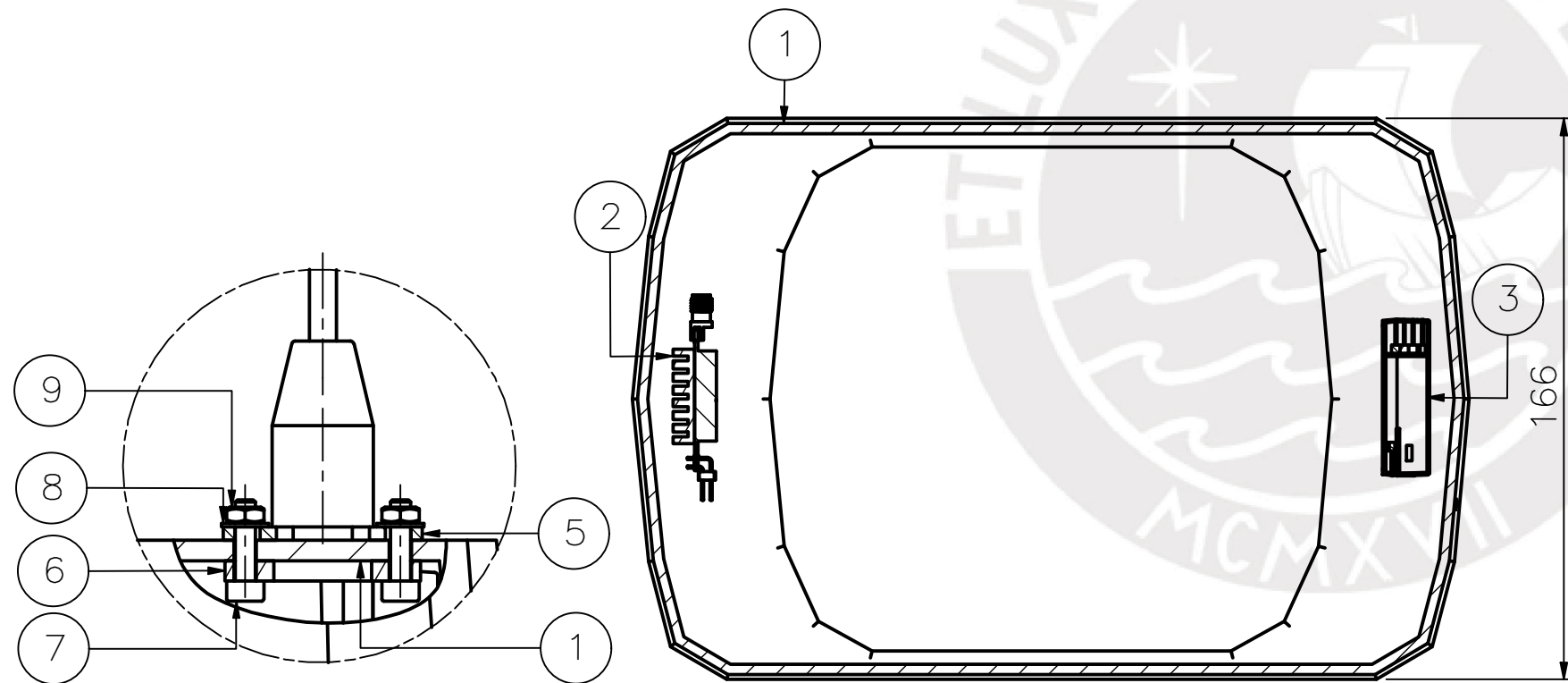
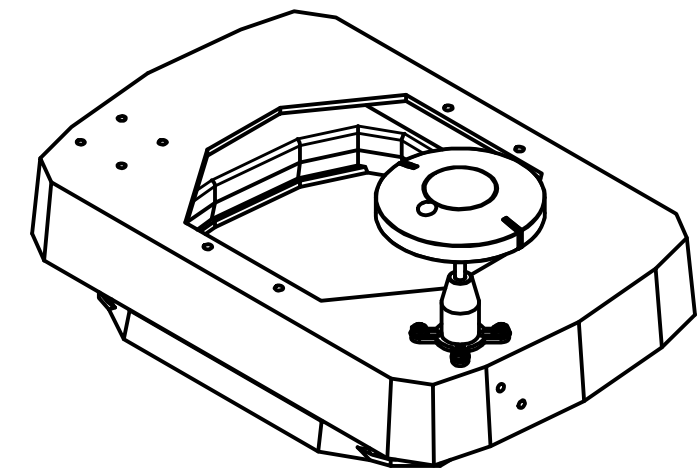
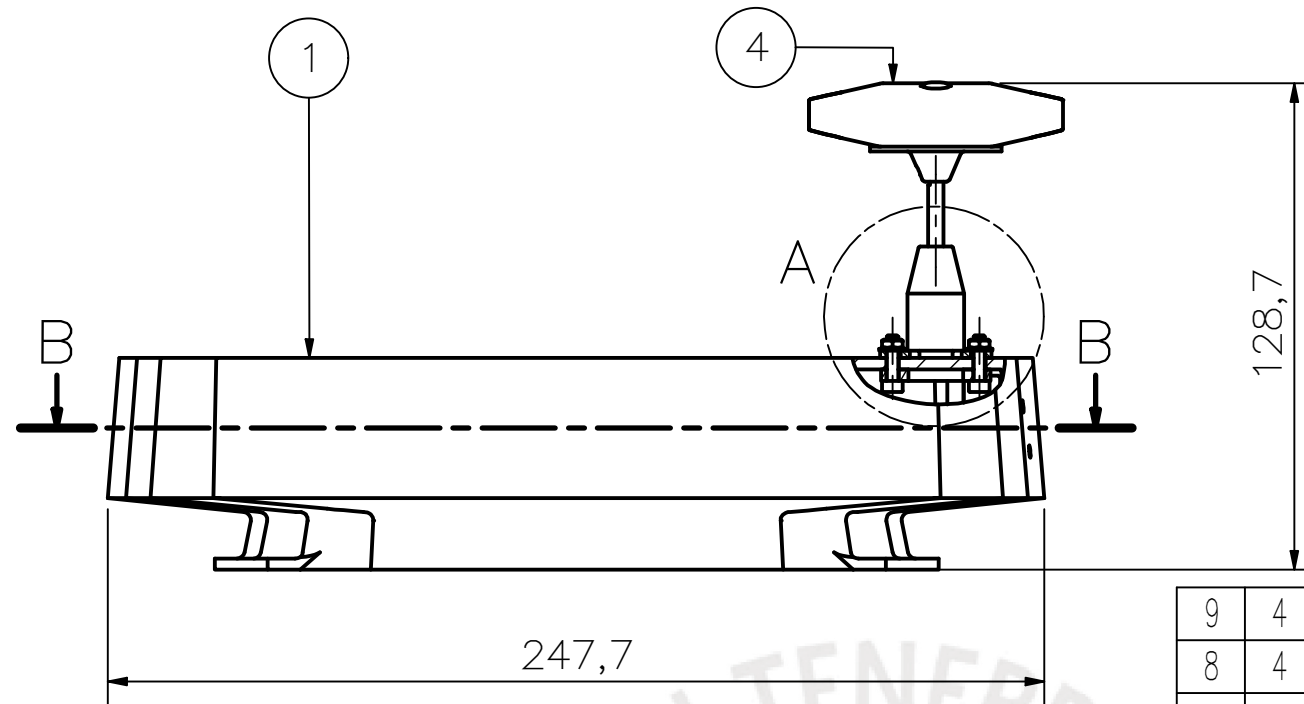


15	8	TUERCA M2.5	ISO 4032	ACERO A304	
14	8	TORNILLO M2.5 x 10	ISO 4762	ACERO A304	
13	2	TUBO 12MM		FIBRA DE CARBONO	Ver plano D13-A4
12	1	UNIÓN TOPE BATERÍAS MIR		PLA	Ver plano D11-A4
11	2	TORNILLO M3 x 8	ISO 4762	ACERO A304	
10	8	TUERCA M3	ISO 4032	ACERO A304	
9	6	TORNILLO M3 x 12	ISO 4762	ACERO A304	
8	4	ARANDELA PLANA 3	ISO 7089	ACERO A304	
7	2	BATERÍA LiPo 6S 11000 mAh		VARIOS	Marca MaxAmps
6	1	PUERTA DE BATERÍAS		FIBRA DE CARBONO	Ver plano D09-A4
5	2	UNIÓN PUERTA BATERÍAS		PLA	Ver plano D12-A4
4	1	UNIÓN TOPE BATERÍAS		PLA	Ver plano D10-A4
3	1	TOPE DE BATERÍAS		FIBRA DE CARBONO	Ver plano D08-A4
2	4	SOPORTE ANTIVIBRACIONAL		6061	Marca Tarot, modelo TL8X007
1	1	PLACA DE MONTAJE DE BATERÍA		FIBRA DE CARBONO	Marca Tarot, modelo TL8X017

POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES
------	-------	-------------	-------	----------	---------------

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN	DRONE PARA MAPEO DE ZONAS VULNERABLES A DESASTRES NATURALES MEDIANTE USO DE SENSOR LIDAR	ESCALA
	<b>ENSAMBLE PORTA BATERÍAS</b>	1:2
20140959	AVALOS VILLA, JULIO PAUL RYAN	FECHA: 2021.08.25
		LÁMINA: S07-A3



DETALLE A  
ESCALA 1:1

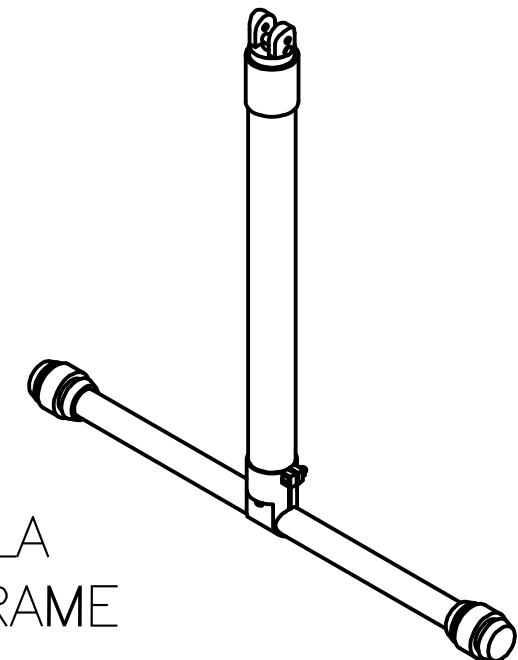
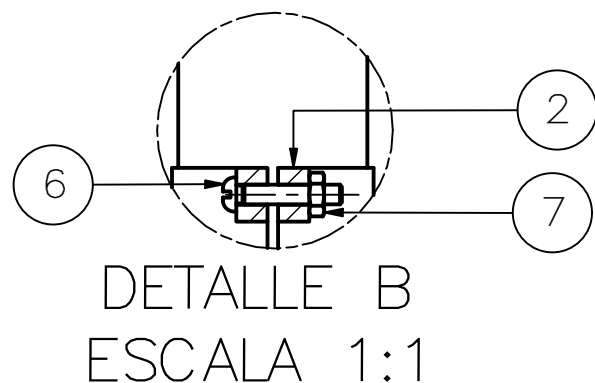
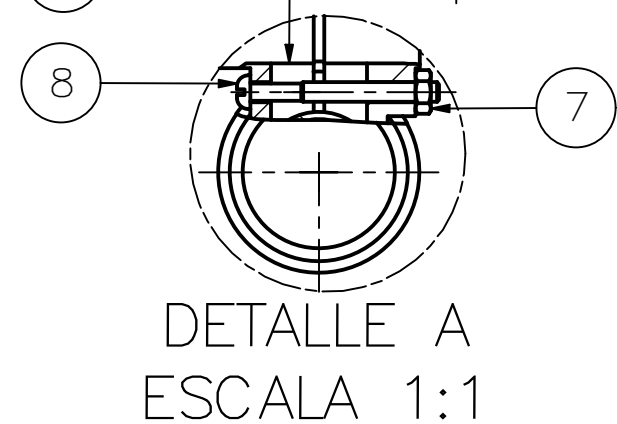
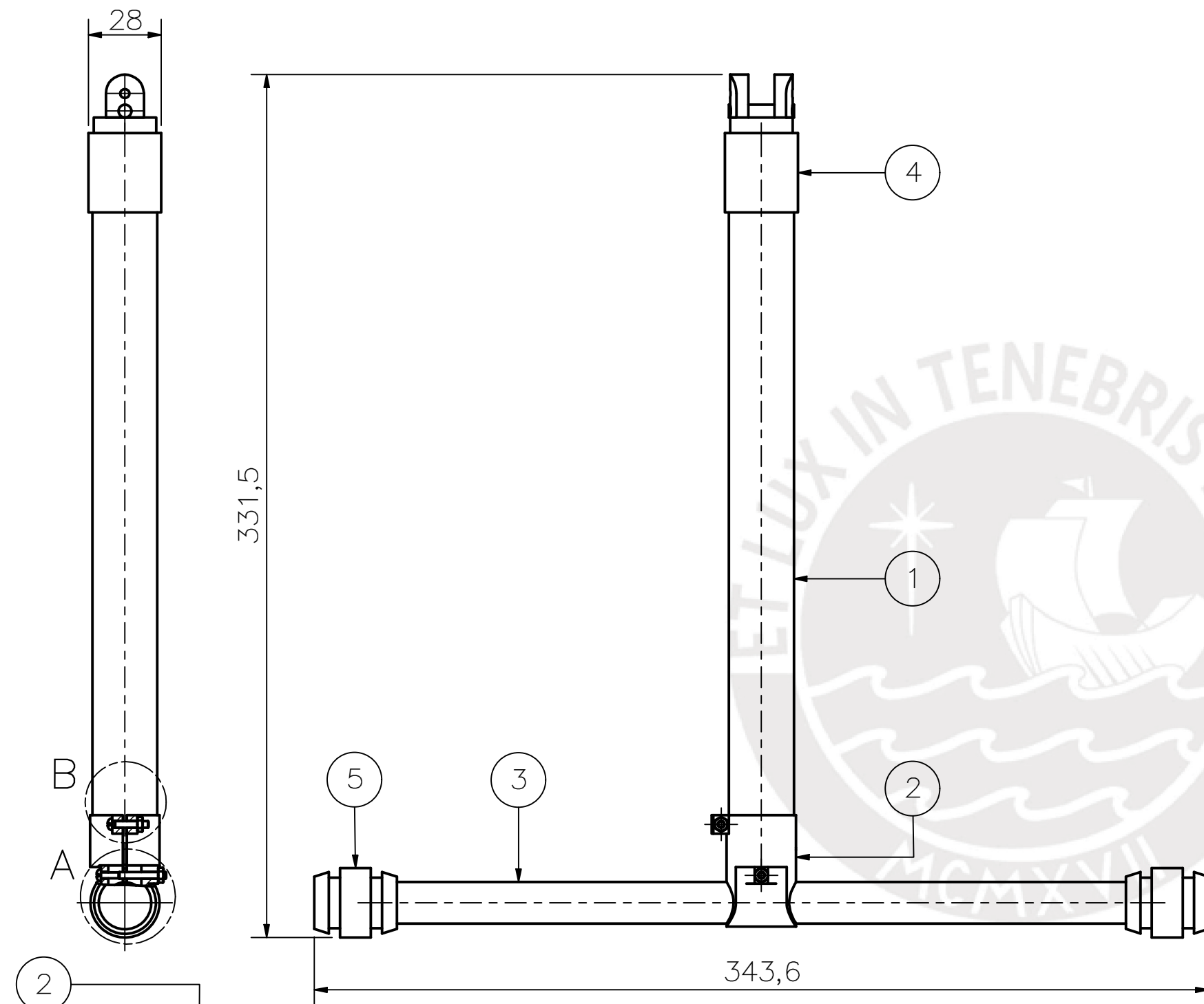
SECCIÓN B-B  
ESCALA 1:2

9	4	TUERCA M3	ISO 4032	ACERO A304	
8	4	ARANDELA PLANA 3	ISO 7089	ACERO A304	
7	4	TORNILLO M3 x 12	ISO 4762	ACERO A304	
6	1	SOPORTE INFERIOR DE GPS		PLA	
5	1	BASE PLEGABLE PARA ANTENA GPS		VARIOS	Marca HobbyKing
4	1	HERE 2 GNSS GPS		VARIOS	Marca ProfiCNC & Hex Industries Unión a base plegable con cinta de cobre contacto
3	1	X8R		VARIOS	Marca FrSky Unión al cover con cinta de doble contacto
2	1	RFD900X		VARIOS	Marca RFDesign Unión al cover con cinta de doble contacto
1	1	COVER		PLA	

POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES
------	-------	-------------	-------	----------	---------------

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN	DRONE PARA MAPEO DE ZONAS VULNERABLES A DESASTRES NATURALES MEDIANTE USO DE SENSOR LIDAR	ESCALA
	ENSAMBLE COVER	1:2
20140959	AVALOS VILLA, JULIO PAUL RYAN	FECHA: 2021.08.25
		LÁMINA: S08-A3



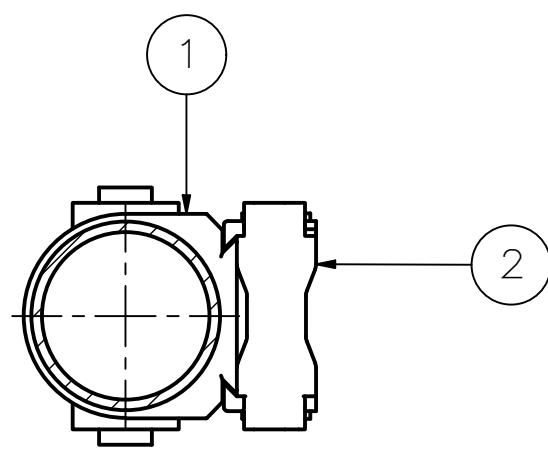
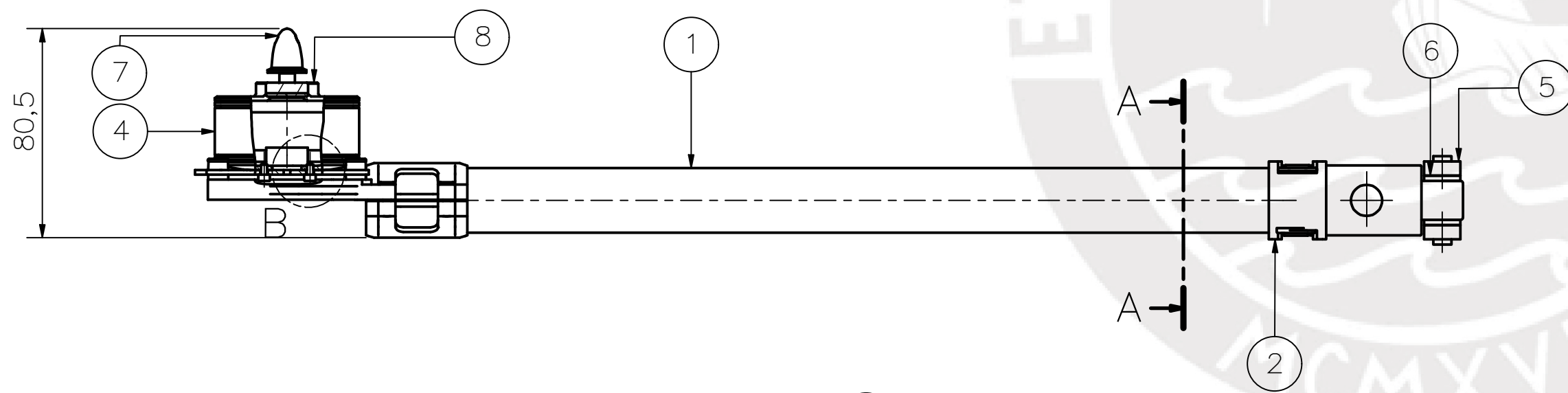
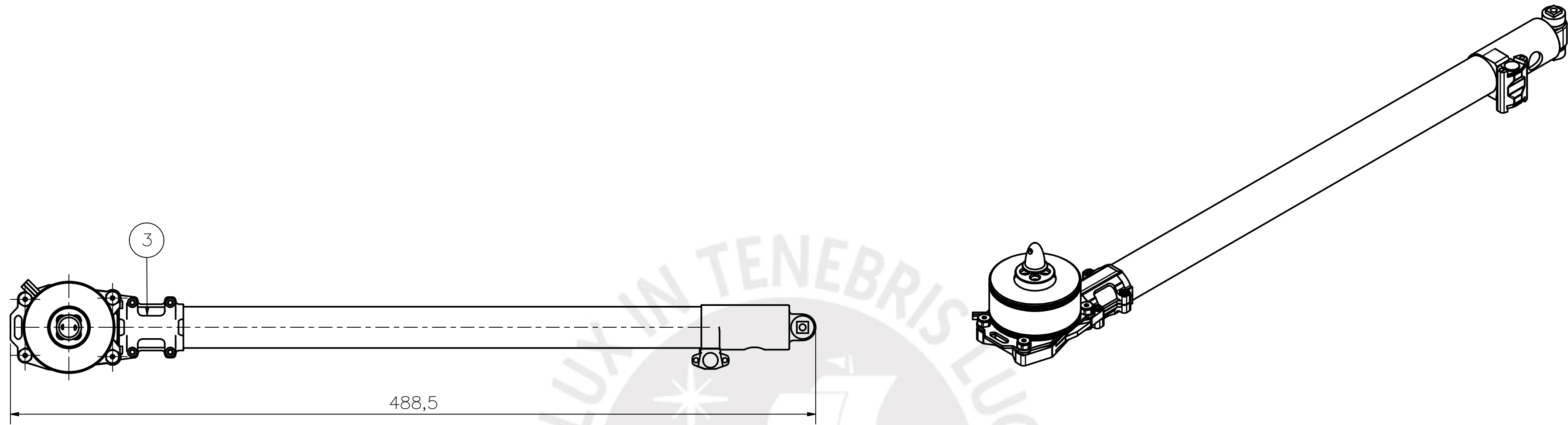
INCLUIDO CON LA  
COMPRA DEL FRAME  
TAROT T960

8	1	TORNILLO M2.6 x 25	CNS 9671	ACERO A36	
7	2	TUERCA M2.6	CNS 3128	ACERO A36	
6	1	TORNILLO M2.6 x 14	CNS 9671	ACERO A36	
5	2	AMORTIGUADOR TREN DE ATERRIZAJE		VARIOS	Marca Tarot modelo TL100B10
4	1	ACOPLE TUBO PATA VERTICAL		6061	
3	1	TUBO PATA HORIZONTAL		FIBRA DE CARBONO	Diámetro 16mm
2	1	JUNTA PARA TREN DE ATERRIZAJE		6061	Marca Tarot modelo TL96035 (no viene incluido con la compra del frame)
1	1	TUBO PATA VERTICAL		FIBRA DE CARBONO	Diámetro 25mm
POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES

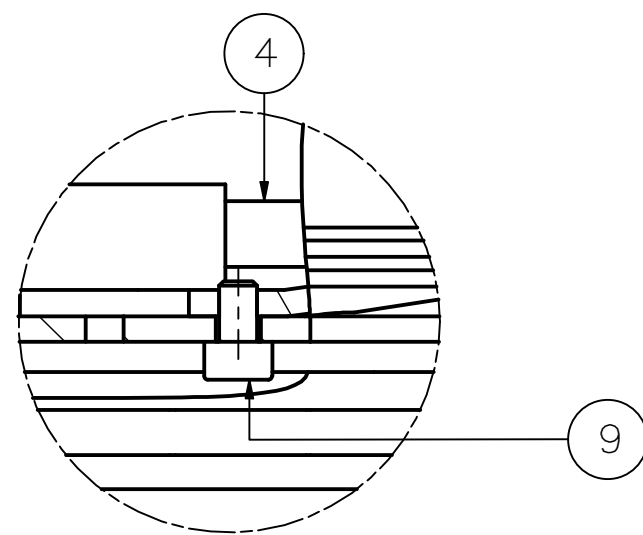
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN	DRONE PARA MAPEO DE ZONAS VULNERABLES A DESASTRES NATURALES MEDIANTE USO DE SENSOR LIDAR	ESCALA
	<b>ENSAMBLE PATA TREN ATERRIZAJE TL96013</b>	1:2
20140959	AVALOS VILLA, JULIO PAUL RYAN	FECHA: 2021.08.25
		LÁMINA: S09-A3





SECCIÓN A-A  
ESCALA 1:1

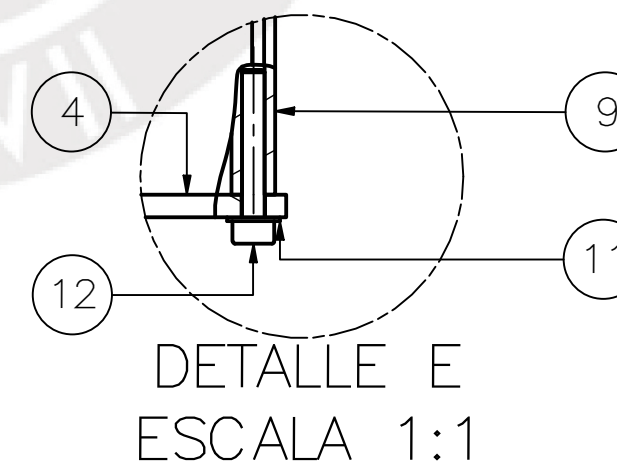
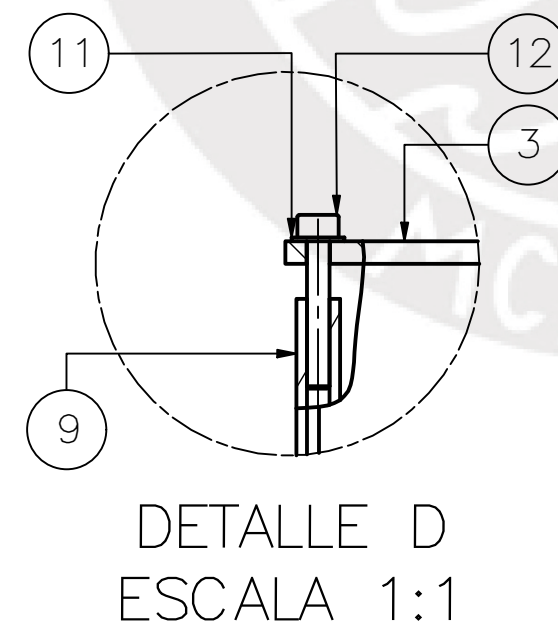
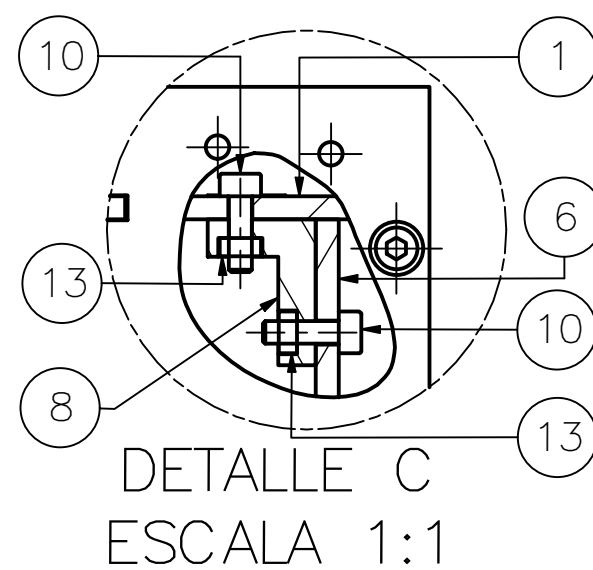
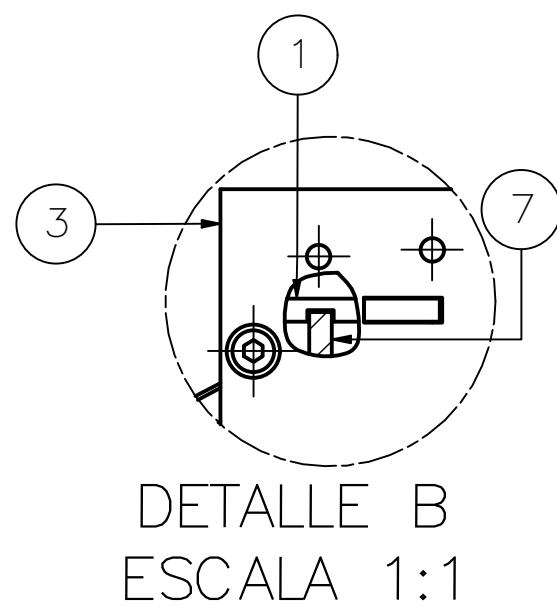
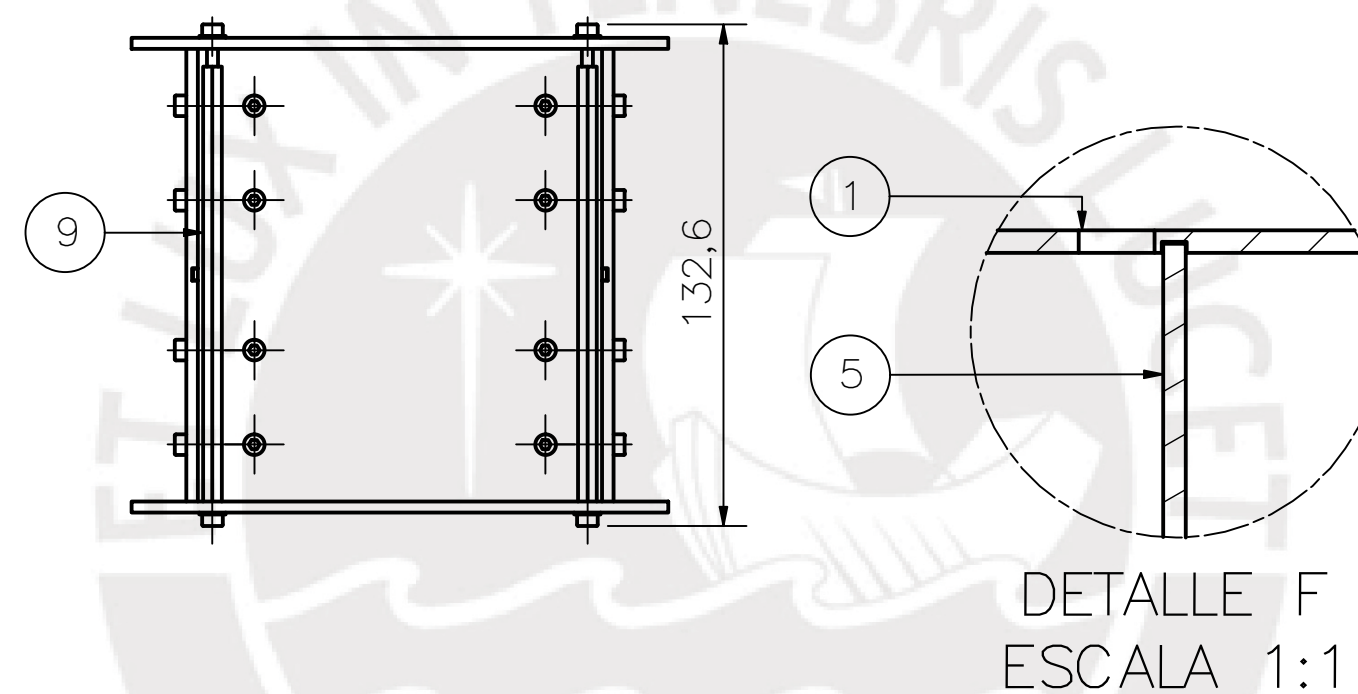
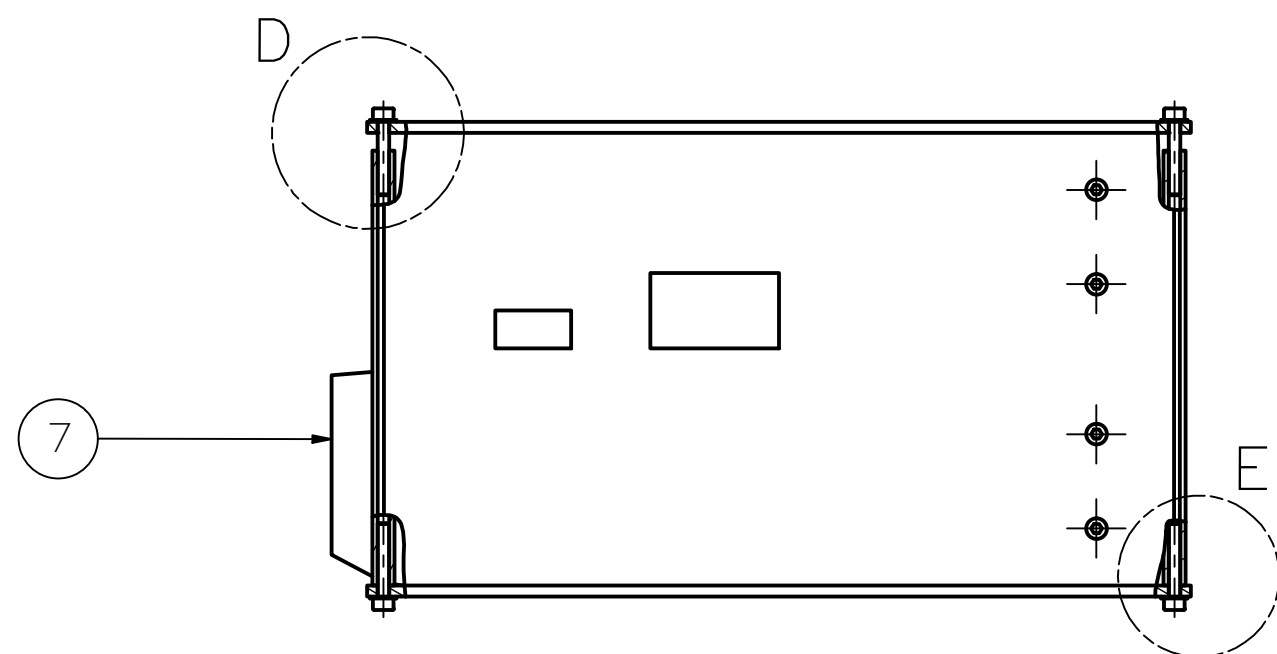
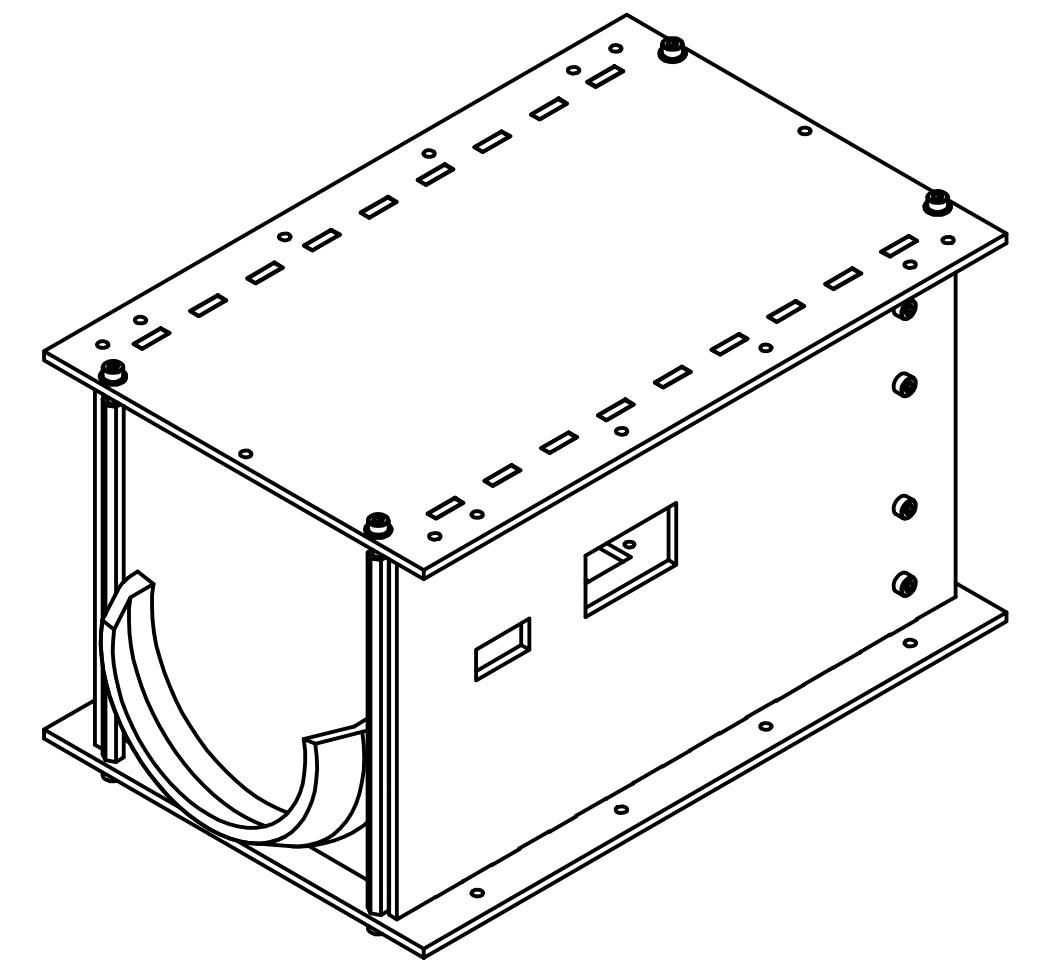
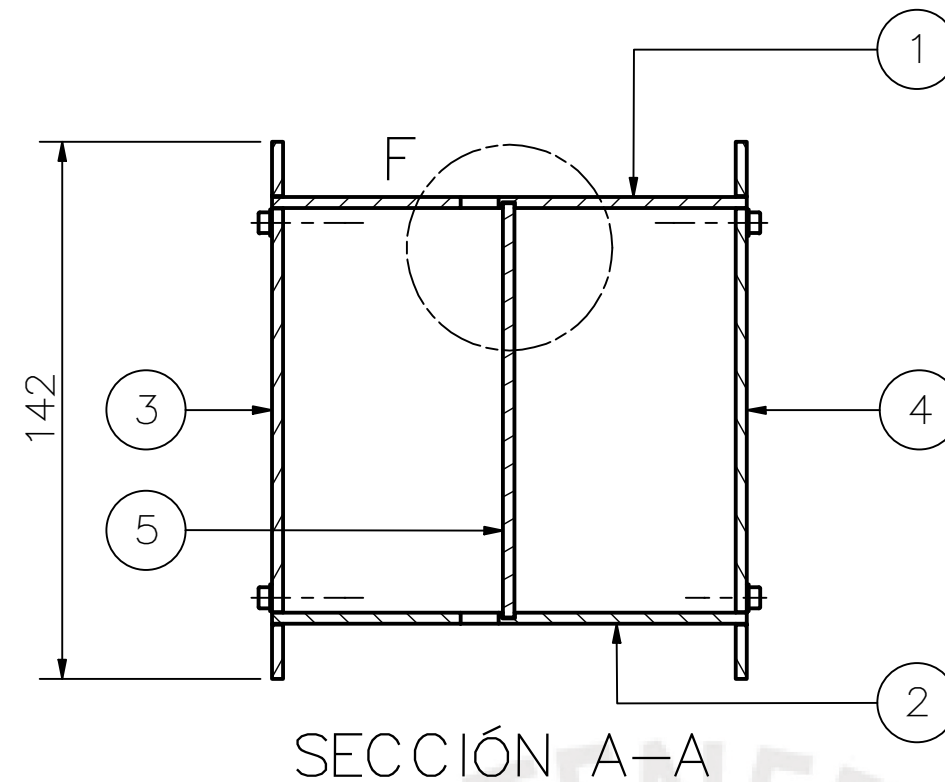
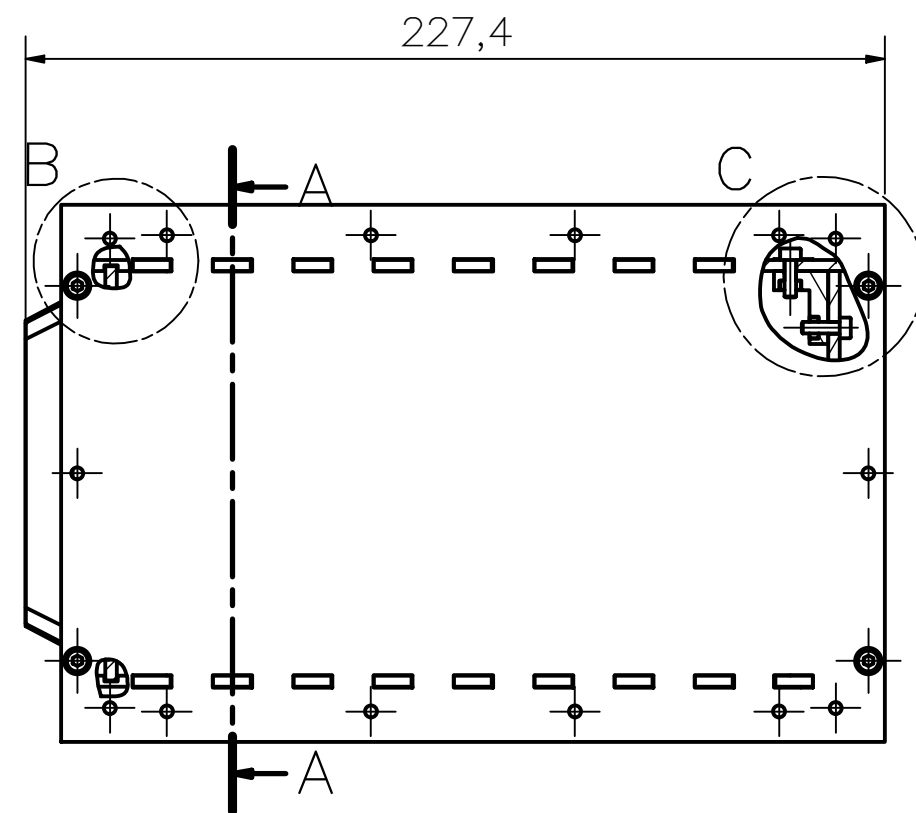


DETALLE B  
ESCALA 1:1

9	4	TORNILLO M2.5 x 4	ISO 4762	ACERO A304	
8	1	ADAPTADOR DE HÉLICE		VARIOS	Viene con el motor sin escobillas
7	1	CUBO DE HÉLICE		VARIOS	Viene con el motor sin escobillas
6	2	JUNTA		VARIOS	Viene con el frame
5	2	ACOPLE RODAMIENTO		VARIOS	Viene con el frame
4	1	MOTOR SIN ESCOBILLAS MN501-S KV360		VARIOS	Marca T-Motor 1000W 6000RPM
3	1	TL96029		VARIOS	Marca Tarot Ver plano S01-A3
2	1	SOPORTE-ABRAZADERA		6061	Marca Tarot modelo TL9605
1	1	TUBO 25MM		FIBRA DE CARBONO	Ver plano D14-A4
POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA - INGENIERÍA MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN	DRONE PARA MAPEO DE ZONAS VULNERABLES A DESASTRES NATURALES MEDIANTE USO DE SENSOR LIDAR	ESCALA
	<b>BRAZO PLEGABLE</b>	1:2
20140959	AVALOS VILLA, JULIO PAUL RYAN	FECHA: 2021.08.25
		LÁMINA: S10-A2

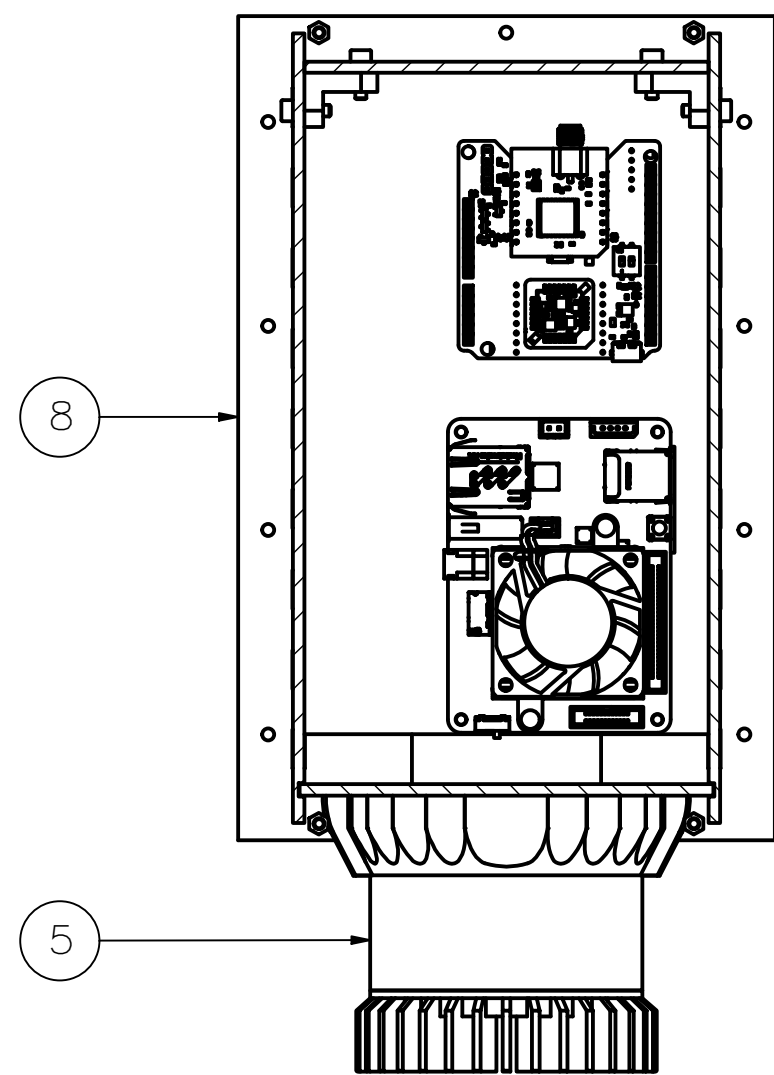


13	16	TUERCA M3	ISO 4032	ACERO A304	
12	8	TORNILLO M3 x 20	ISO 4762	ACERO A304	
11	8	ARANDELA PLANA 3	ISO 7089	ACERO A304	
10	16	TORNILLO M3 x 10	ISO 4762	ACERO A304	
9	4	ESPACIADOR M3x50		VARIOS	
8	8	UNIONES IMPRESAS		PLA	Ver plano D17-A4
7	1	TAPA FRONTAL		PLA	Ver plano D24-A3
6	1	TAPA TRASERA		PMMA - ACRÍLICO	Ver plano D23-A4
5	1	TAPA MEDIA		PMMA - ACRÍLICO	Ver plano D22-A3
4	1	TAPA INFERIOR		PMMA - ACRÍLICO	Ver plano D21-A3
3	1	TAPA SUPERIOR		PMMA - ACRÍLICO	Ver plano D20-A3
2	1	TAPA DERECHA		PMMA - ACRÍLICO	Ver plano D18-A3
1	1	TAPA IZQUIERDA		PMMA - ACRÍLICO	Ver plano D19-A3
POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES

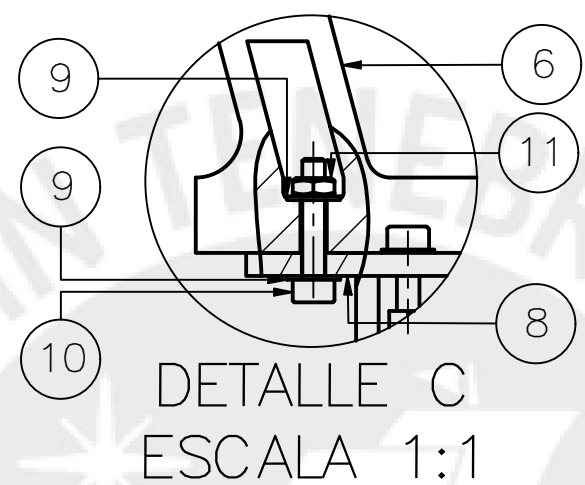
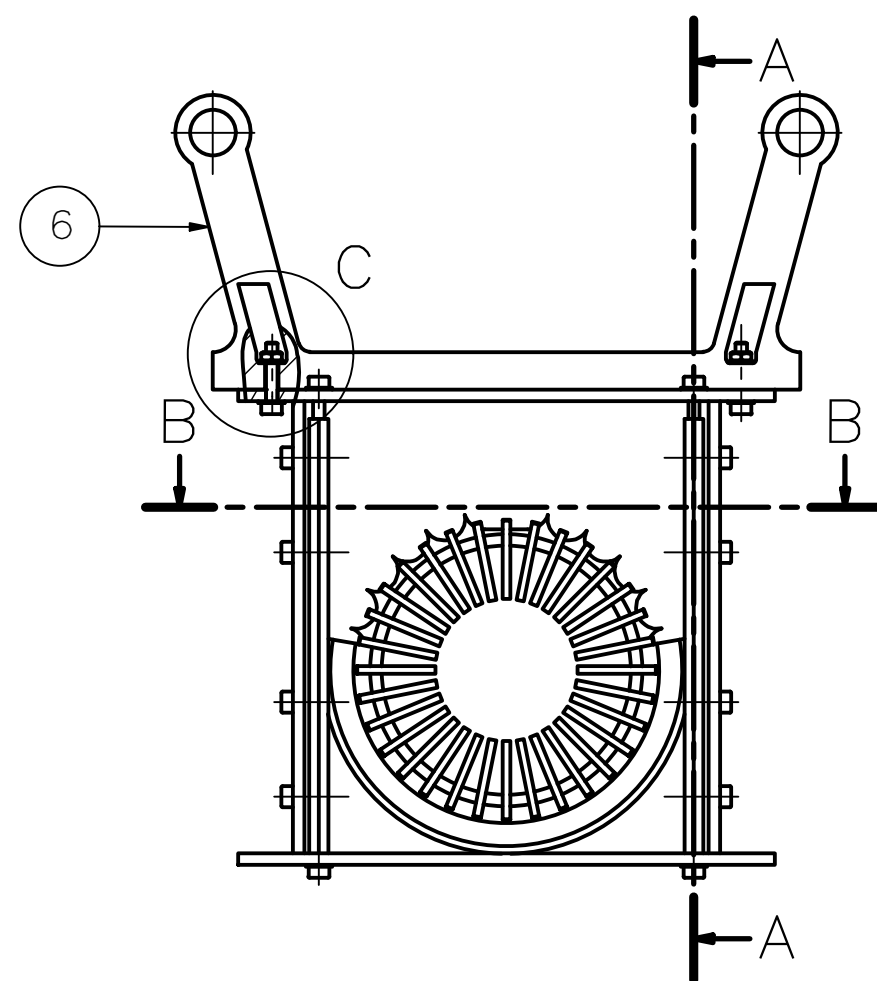
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA - INGENIERÍA MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN	DRONE PARA MAPEO DE ZONAS VULNERABLES A DESASTRES NATURALES MEDIANTE USO DE SENSOR LIDAR	ESCALA
	COVER SISTEMA LIDAR	1:2
20140959	AVALOS VILLA, JULIO PAUL RYAN	FECHA: 2021.08.25
		LÁMINA: S11-A2

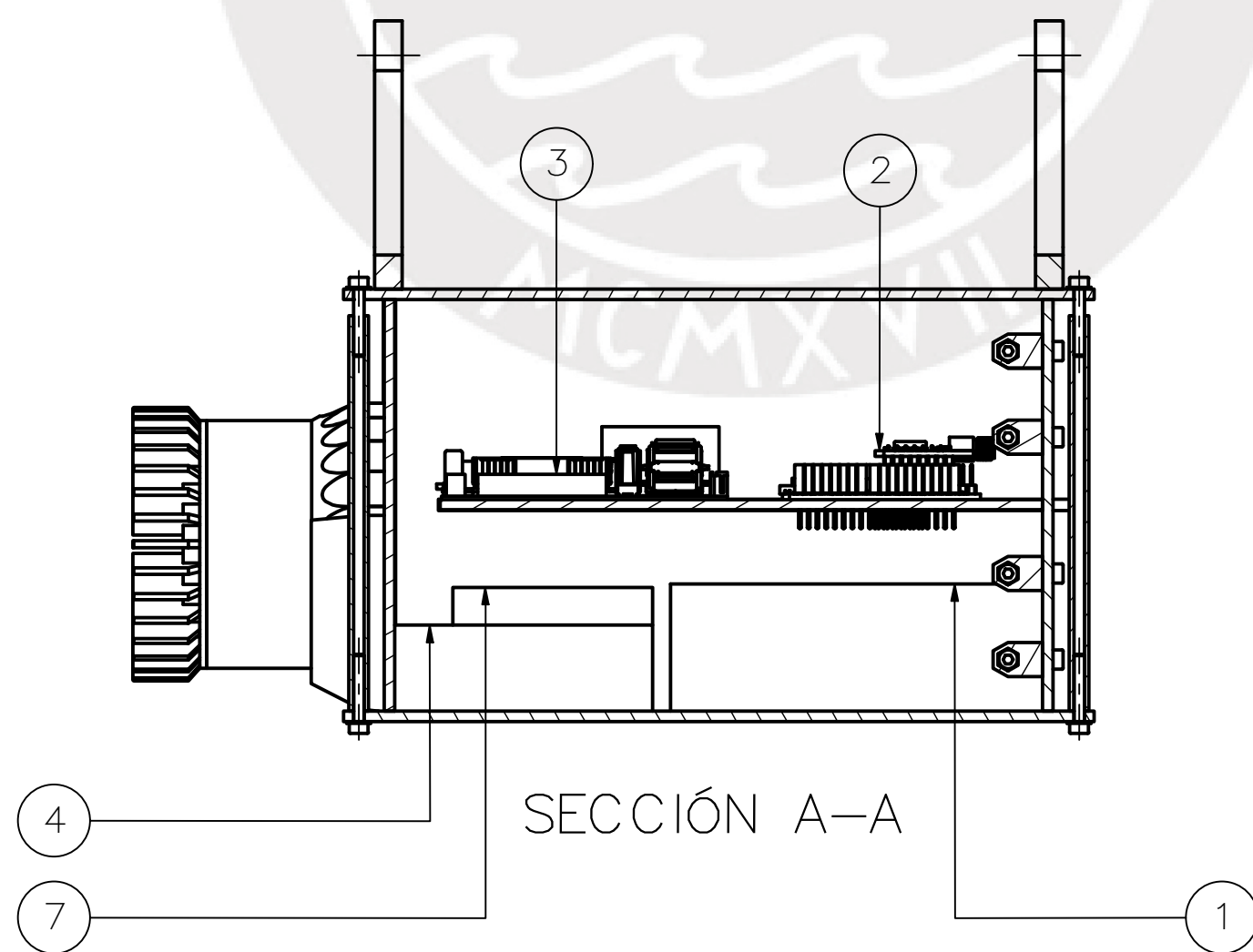




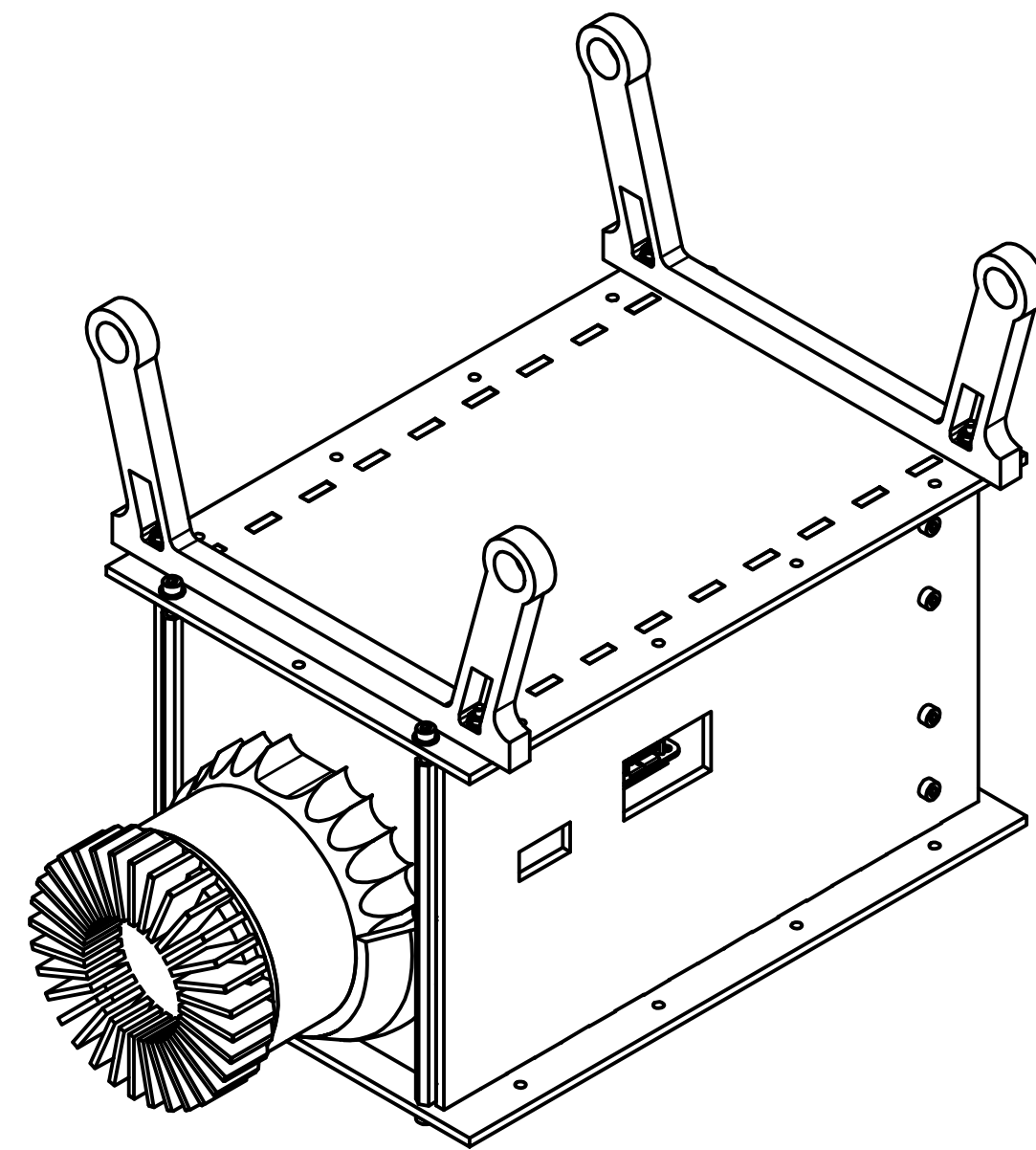
SECCIÓN B-B



DETALLE C  
ESCALA 1:1



SECCIÓN A-A

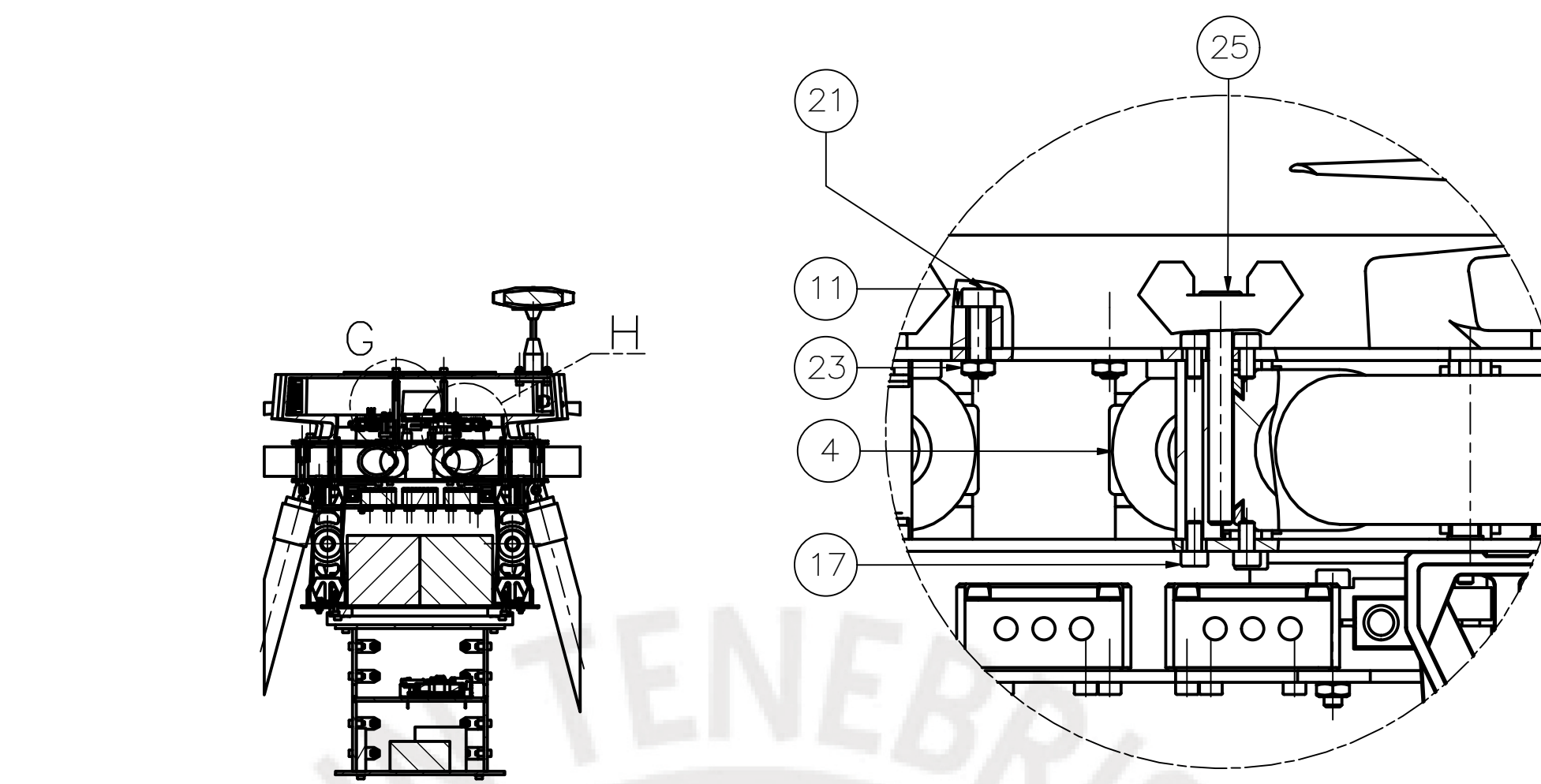
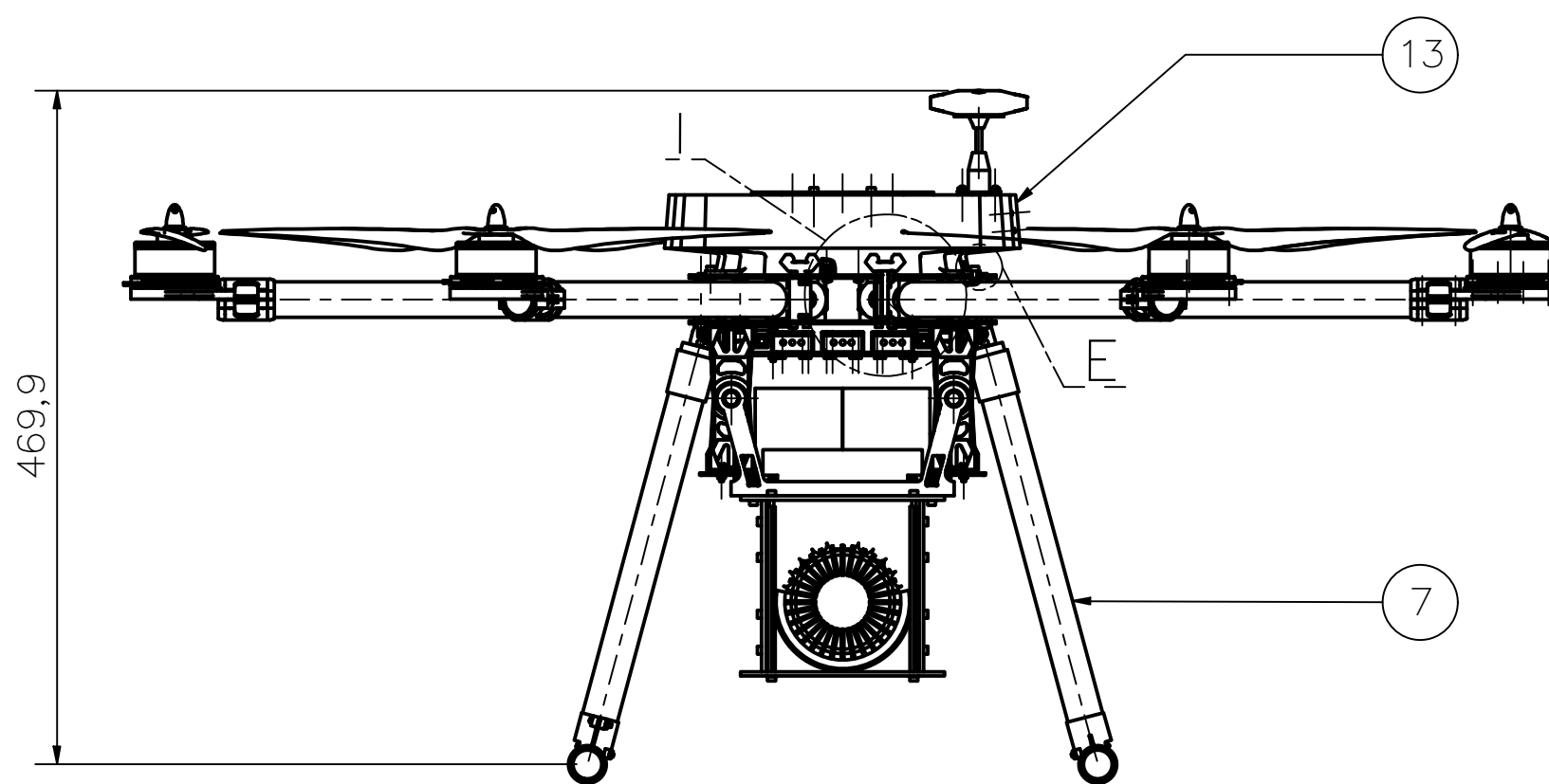
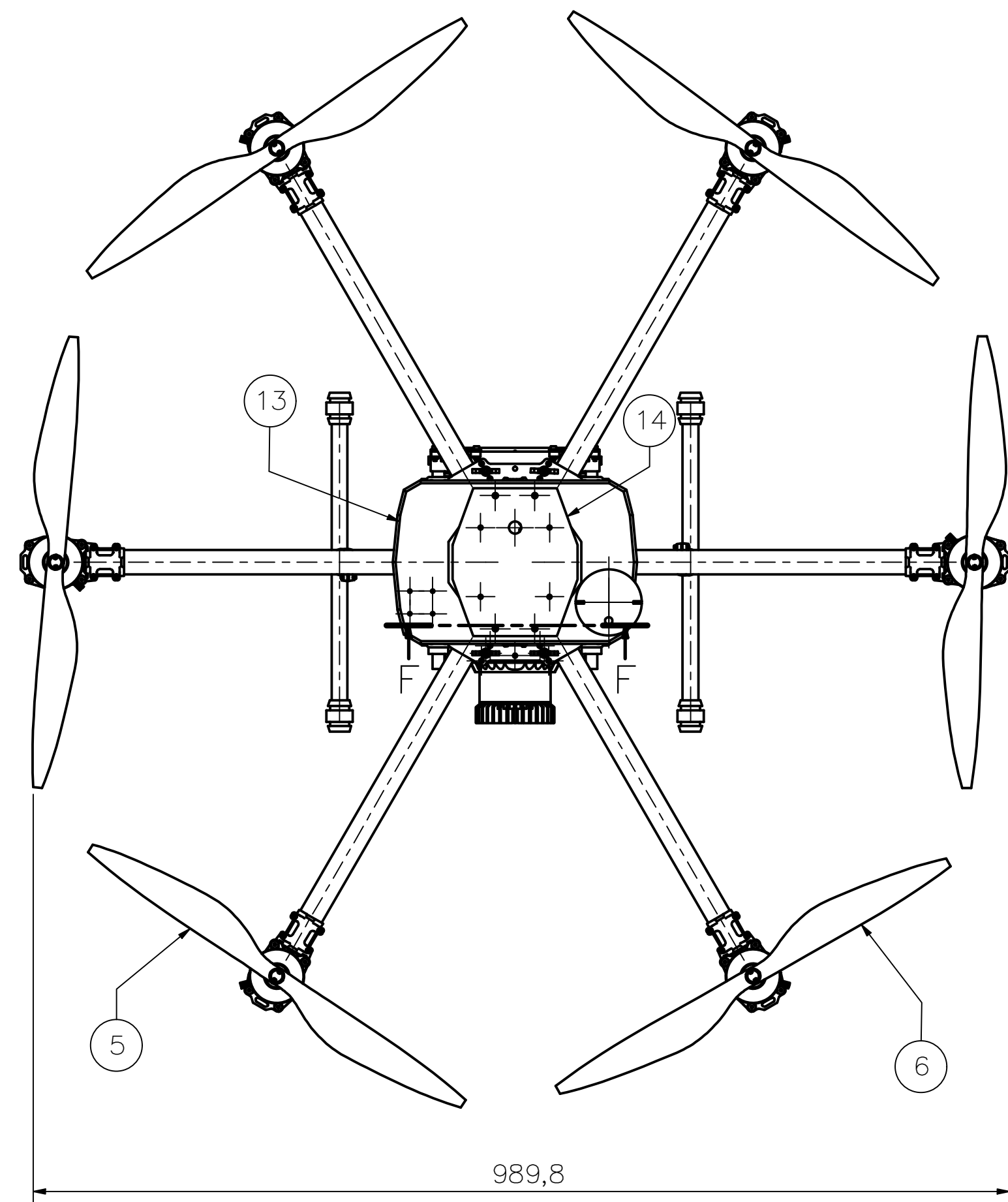


11	4	TUERCA M3	ISO 4032	ACERO A304	
10	4	TORNILLO M3 x 16	ISO 4762	ACERO A304	
9	8	ARANDELA PLANA 3	ISO 7089	ACERO A304	
8	1	COVER SISTEMA LIDAR		VARIOS	Ver plano S11-A2
7	1	REGULADOR DE VOLTAJE		VARIOS	Marca Matek Systems Modelo UBEC-DUO 12V/5V 4A
6	2	SUJETADOR SISTEMA LIDAR		POLICARBONATO	
5	1	SENSOR LIDAR		VARIOS	Marca Ouster Modelo OS-1 16 canales
4	1	CAJA DE INTERFAZ DE LIDAR		VARIOS	Viene con la compra del sensor LIDAR
3	1	Odroid-XU4		VARIOS	5V 4A
2	1	MÓDULO GPS		VARIOS	Marca Xsens Modelo MTi-7-DK
1	1	BATERÍA LiPo 6S 2800mAh		VARIOS	Marca MaxAmps
POS. CANT.		DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA - INGENIERÍA MECATRÓNICA

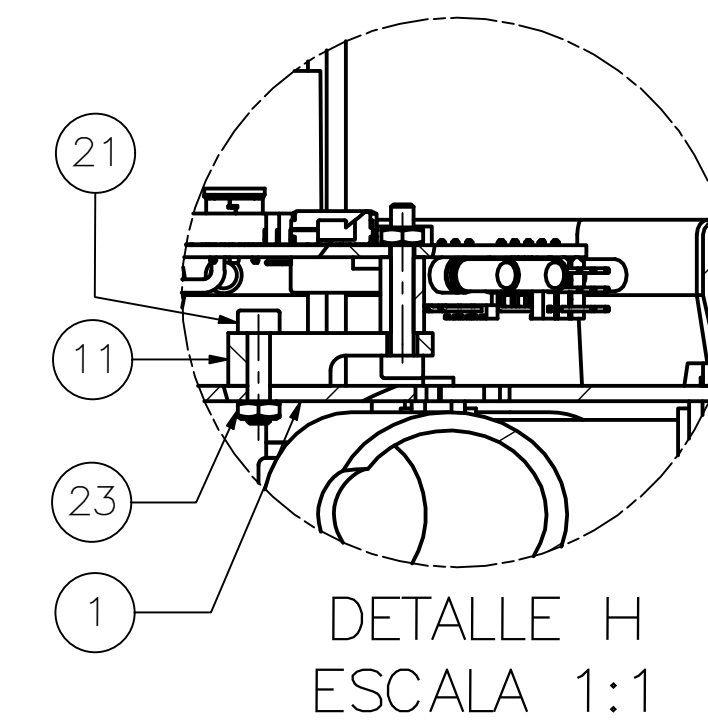
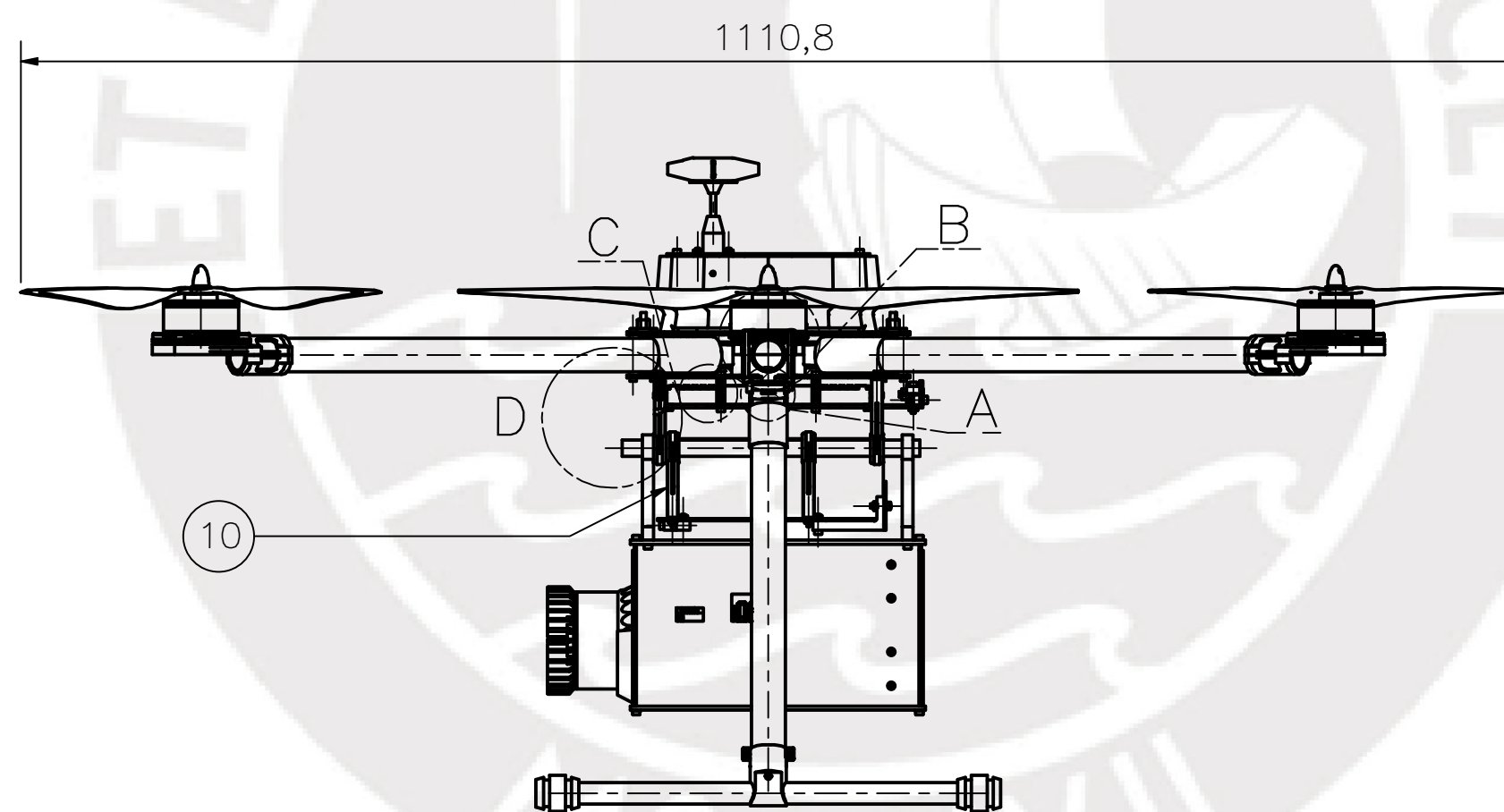
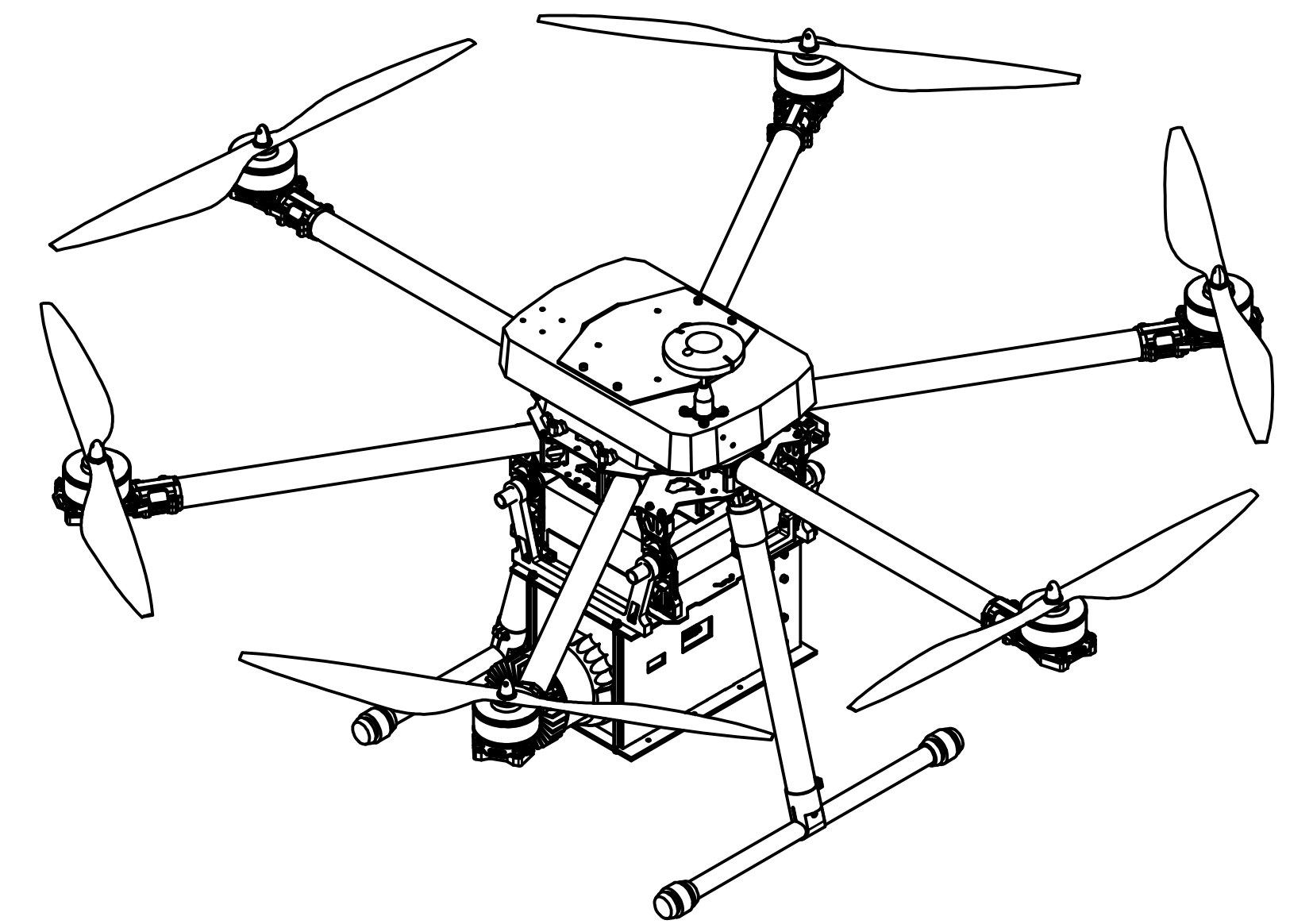
MÉTODO DE PROYECCIÓN	DRONE PARA MAPEO DE ZONAS VULNERABLES A DESASTRES NATURALES MEDIANTE USO DE SENSOR LIDAR	ESCALA
	<b>SISTEMA LIDAR</b>	1:2
20140959	AVALOS VILLA, JULIO PAUL RYAN	FECHA: 2021.08.25
		LÁMINA: S12-A2



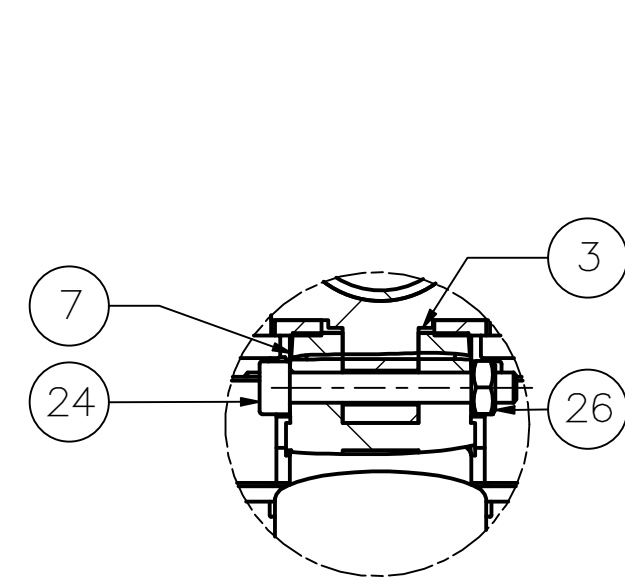


SECCIÓN F-F

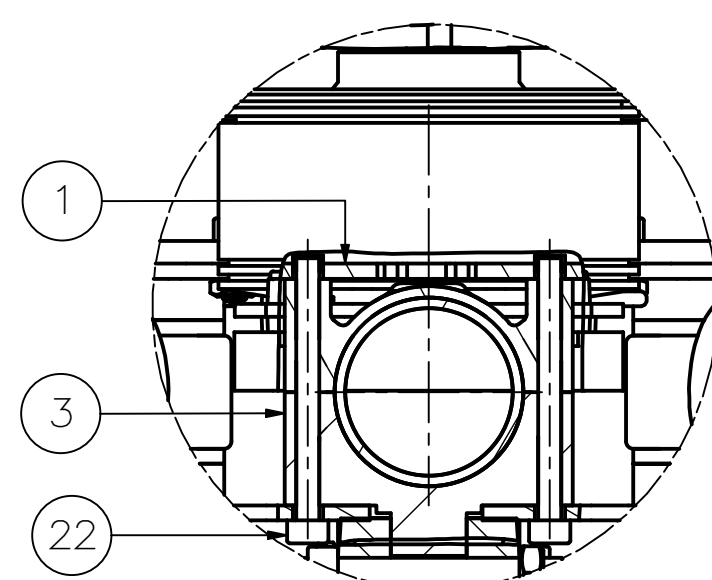
DETALLE I  
ESCALA 1:1



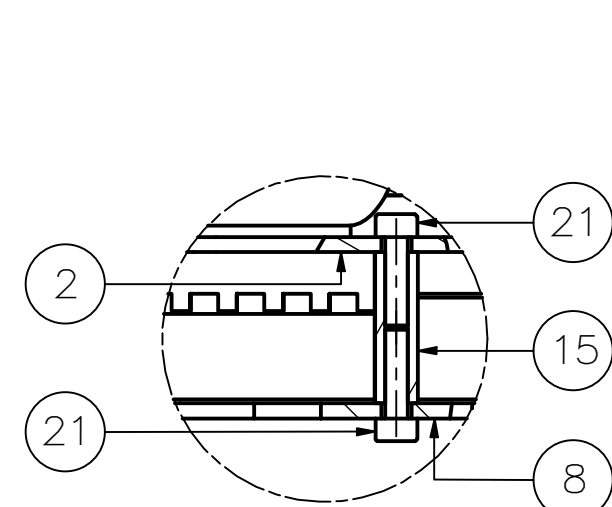
DETALLE H  
ESCALA 1:1



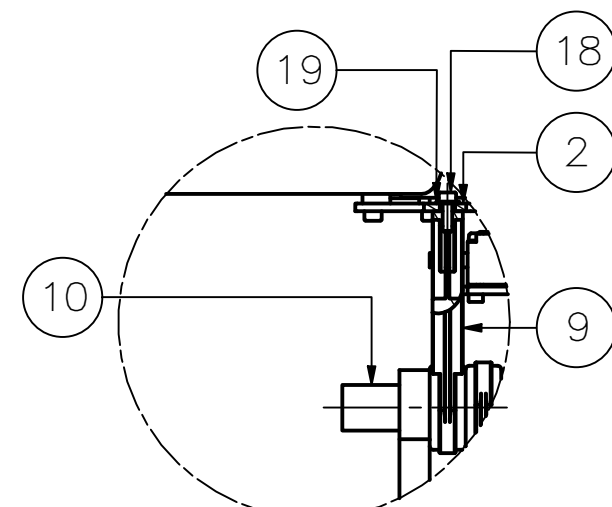
DETALLE A  
ESCALA 1:1



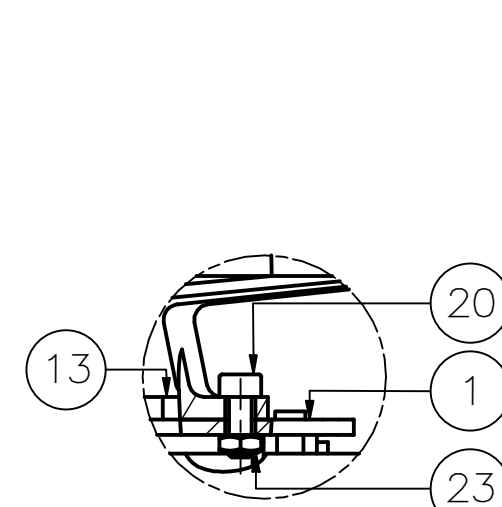
DETALLE B  
ESCALA 1:1



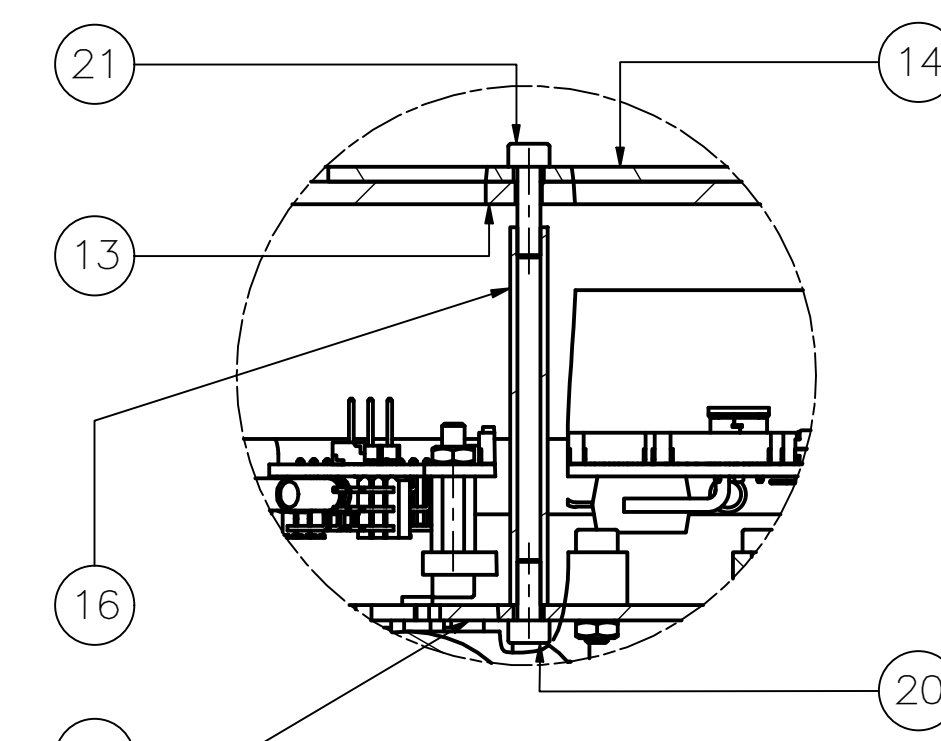
DETALLE C  
ESCALA 1:1



DETALLE D  
ESCALA 1:2



DETALLE E  
ESCALA 1:1

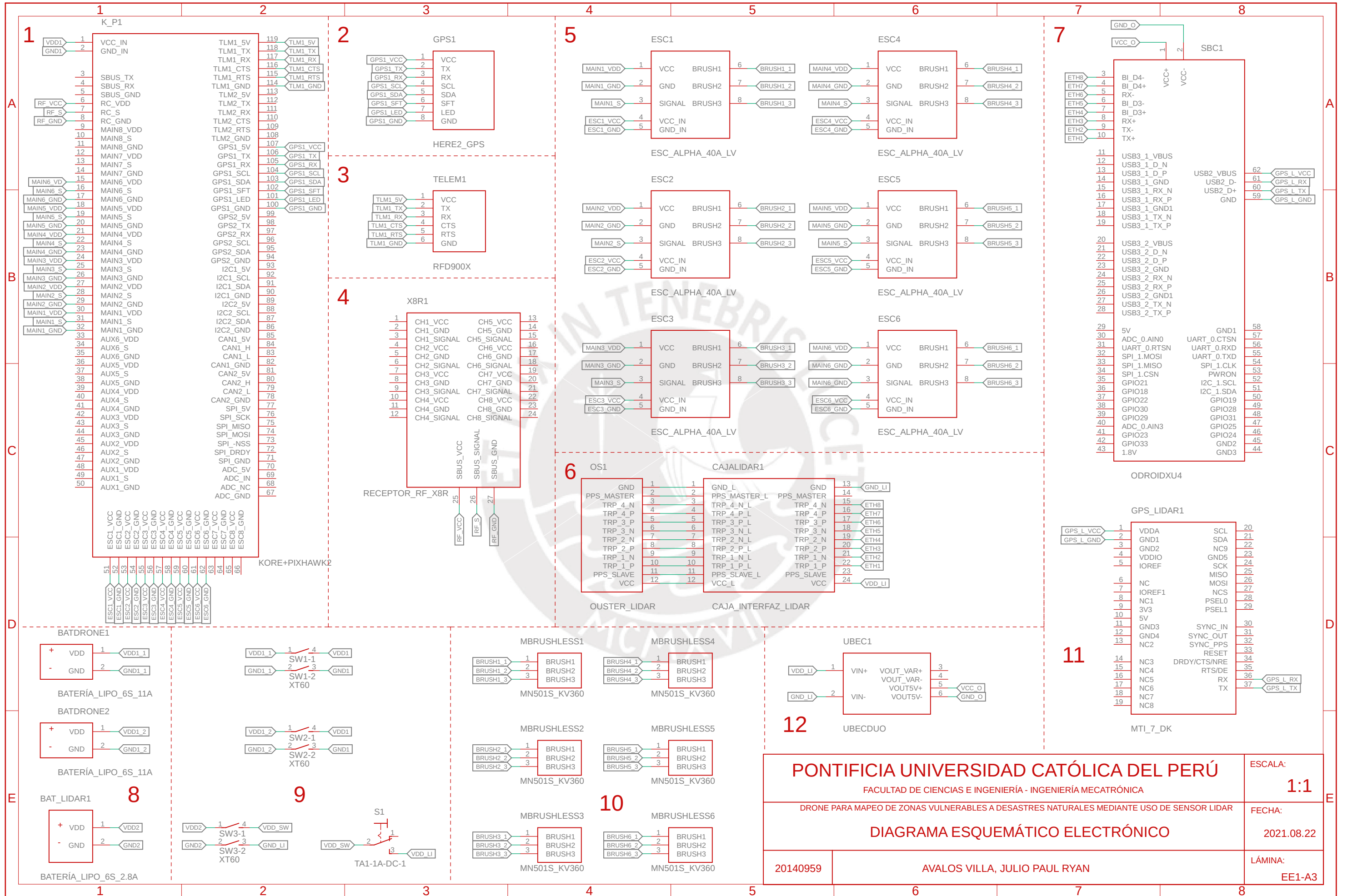


DETALLE G  
ESCALA 1:1

29	1	sistemaLiDAR			
26	2	TUERCA M4	ISO 4032	ACERO A304	
25	4	TORNILLO M4 x 35		ACERO A304	Marca Tarot modelo TL9606-01
24	2	TORNILLO M4 x 30	ISO 4762	ACERO A304	
23	8	TUERCA M3	ISO 4032	ACERO A304	
22	12	TORNILLO M3 x 35		ACERO A36	Incluido en el frame T960 de la marca Tarot
21	16	TORNILLO M3 x 12	ISO 4762	ACERO A304	
20	8	TORNILLO M3 x 8	ISO 4762	ACERO A304	
19	8	ARANDELA PLANA 2,5	ISO 7089	ACERO A304	
18	8	TORNILLO M2,5 x 8	ISO 4762	ACERO A304	
17	16	TORNILLO M2,5 x 5	ISO 4762	ACERO A304	
16	4	ESPACIADOR HEXAGONAL M3 x 50		BRONCE B505	
15	4	ESPACIADOR HEXAGONAL M3 x 20		BRONCE B505	
14	1	TAPA COVER		FIBRA DE CARBONO	Ver plano D26-A4
13	1	COVER SISTEMA LIDAR		VARIOS	Ver plano S11-A2
11	1	ENSAMBLE PLACA KORE		VARIOS	Ver plano S06-A3
10	1	ENSAMBLE PORTA BATERIAS		VARIOS	Ver plano S07-A3
9	4	SOPORTE ANTIVIBRACIONAL		6061	Marca Tarot modelo TL8X017
8	1	ENSAMBLE ESCS		VARIOS	Ver plano S05-A3
7	2	ENSAMBLE PATA TREN ATERRIZAJE TL96013		VARIOS	Ver plano S09-A3
6	3	HÉLICE 18.1 x 6.4 L		VARIOS	Marca T-Motor modelo MF1806 Giro horario
5	3	HÉLICE 18.1 x 6.4 R		VARIOS	Marca T-Motor modelo MF1806 Giro antihorario
4	4	BRAZO PLEGABLE		VARIOS	Ver plano S10-A2
3	2	BRAZO FIJO		VARIOS	Ver plano S02-A3
2	1	PLATO INFERIOR		FIBRA DE CARBONO	Incluido en el frame T960 de la marca Tarot
1	1	PLATO SUPERIOR		FIBRA DE CARBONO	Incluido en el frame T960 de la marca Tarot

POS. CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA				
MÉTODO DE PROYECCIÓN		DRONE PARA MAPEO DE ZONAS VULNERABLES A DESASTRES NATURALES MEDIANTE USO DE SENSOR LIDAR		ESCALA
		HEXATESIS		1:2
20140959	AVALOS VILLA, JULIO PAUL RYAN	FECHA: 2021.08.25	LÁMINA: EG1-A1	





<b>PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ</b>		ESCALA:
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA - INGENIERÍA MECATRÓNICA		<b>1:1</b>
DRONE PARA MAPEO DE ZONAS VULNERABLES A DESASTRES NATURALES MEDIANTE USO DE SENSOR LIDAR		FECHA:
<b>DIAGRAMA ESQUEMÁTICO ELECTRÓNICO</b>		2021.08.22
20140959	AVALOS VILLA, JULIO PAUL RYAN	LÁMINA:
		EE1-A3