

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

Facultad de Ciencias e Ingeniería



**PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ**

**VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO PARA VIGILANCIA EN
AMBIENTES CERRADOS CON DETECCIÓN DE PERSONAS Y
OBSTÁCULOS A SU ALREDEDOR**

**Tesis para optar el Título de Ingeniero Mecatrónico,
que presenta el bachiller:**

SERGIO RENATO POSTIGO HUANQUI

ASESORA: Ing. Mónica Lucía Abarca Abarca

Lima, diciembre del 2018



Dedicado a mis padres y hermano, MIGUEL, MARITZA y ANDRÉS cuyo cariño, sacrificio y apoyo incondicional han sido y serán fundamentales para todos mis proyectos de vida.

AGRADECIMIENTOS

A mi asesora Mónica Abarca, cuyo apoyo y confianza fueron fundamentales durante el desarrollo de esta tesis.

A mis compañeros de Universidad, que más que colegas son amigos para toda la vida.

Y en especial a mis amados padres por brindarme las mejores oportunidades y enseñarme a aprovecharlas.



RESUMEN

La presente tesis aborda dos problemáticas. La primera es que los diseños más convencionales de drones con aplicaciones específicas no están adaptados para volar en ambientes cerrados, pues no solo corren el riesgo de estrellar sus hélices contra paredes o techos, sino que también corresponderían un riesgo para las personas en su entorno. No obstante, hay tareas que podrían desarrollar en este tipo de espacios si se adaptara su diseño a uno más seguro. Por ejemplo, podrían ser utilizados para realizar rondas de vigilancia a través de cuartos y pasillos tal y como lo hace el personal de seguridad. La segunda problemática apunta precisamente a este sector, pues dispositivos como cámaras de vigilancia tienen algunas limitaciones como el hecho de no ser disuasivas por no estar a la vista o de no estar necesariamente en los lugares donde se les necesita. Se han venido utilizando robots terrestres para tareas de vigilancia en interiores pero que, sin embargo tienen la desventaja de tener trayectorias de movimiento fijas. Un VANT puede tener múltiples trayectorias de movimiento.

Se propuso realizar el diseño preliminar de un dron con características especiales para que realice rondas de vigilancia. La primera es que debe ser capaz de volar en ambientes cerrados y por lo tanto debe contar con un diseño tal que no genere ningún riesgo técnico para sí mismo ni un riesgo físico para las personas que se pudiesen encontrar en los espacios donde opere. Lo segundo es que debe contar con una cámara capaz de registrar con o sin luz lo que sucede en su entorno y transmitir el video en vivo hacia la laptop del operario en un ambiente específico, desde donde además se enviará la trayectoria de vuelo al VANT. La tercera es que debe poder detectar obstáculos o personas y mantener el vuelo en una posición fija de encontrar alguno.

La aeronave en cuestión funciona con un motor de contra-rotación también llamado de configuración coaxial y se traslada variando las posiciones de un juego de 4 alerones. Para aislar las hélices se ha utilizado una estructura geodésica conformada por varillas de fibra de carbono. Tiene un tiempo de vuelo efectivo de 10 minutos y es del tamaño de una esfera con un diámetro de aproximadamente 490 cm. El VANT será controlado desde una estación en tierra conformada por una laptop a la cual irá conectado el receptor de video. Desde aquí el operario enviará la trayectoria del vuelo al VANT podrá visualizar el video en vivo.

**TEMA DE TESIS PARA OPTAR
EL TÍTULO DE INGENIERO MECATRÓNICO**

Título : Vehículo aéreo no tripulado para vigilancia en ambientes cerrados con detección de personas y obstáculos a su alrededor

Asesor : Ing. Mónica Lucía Abarca Abarca

Co-asesor :

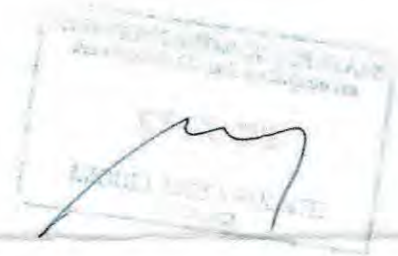
Propuesto por : Sergio Renato Postigo Huanqui

Alumno : Sergio Renato Postigo Huanqui

Código : 20122332

Tema N° : # 228

Fecha : 26/09/2018

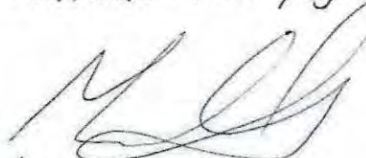


Descripción y Objetivos

Los vehículos aéreos no tripulados (VANT) o drones más comunes y comerciales están diseñados para aplicaciones al aire libre. Esto no significa, sin embargo, que un dron no sea útil para ser operado dentro de edificios. Por ejemplo, una aeronave no tripulada podría realizar rondas de vigilancia en lugares como fábricas y almacenes, registrando lo que sucede en su entorno. Precisamente, el sector de la seguridad presenta algunas falencias que este tipo de tecnología podría afrontar. Las cámaras de seguridad deben cumplir dos roles fundamentales: registrar datos que pueden servir como evidencia y ser disuasivas. Sin embargo, en muchas ocasiones los lugares y puntos que presentan las condiciones técnicas ideales para instalar cámaras no son necesariamente aquellos donde en realidad se necesita una. Por otro lado, en muchos lugares las cámaras de vigilancia no están a la vista y por lo tanto no cumplen realmente su rol disuasivo. Un VANT de vigilancia cumpliría este rol disuasivo a través de la presencia física y además podría filmar lo que sucede a su alrededor.

El objetivo principal de la presente tesis es diseñar un vehículo aéreo no tripulado enfocado a la vigilancia y seguridad en ambientes cerrados. Este dron cumplirá el rol de monitoreo de un guardia de seguridad en sus rondas de vigilancia diurnas y nocturnas dentro de edificios. Dado que esta aeronave operará en ambientes donde podría haber personas, su diseño debe ser tal que estas puedan acercarse a él e incluso tocarlo en pleno vuelo sin sufrir daños físicos. Adicionalmente, el dron deberá grabar lo que sucede a su alrededor y transmitirlo en vivo a una estación en tierra, desde donde será controlado por un usuario especializado.

Máximo : 100 páginas


Mónica Abarca






ÍNDICE DE CONTENIDO

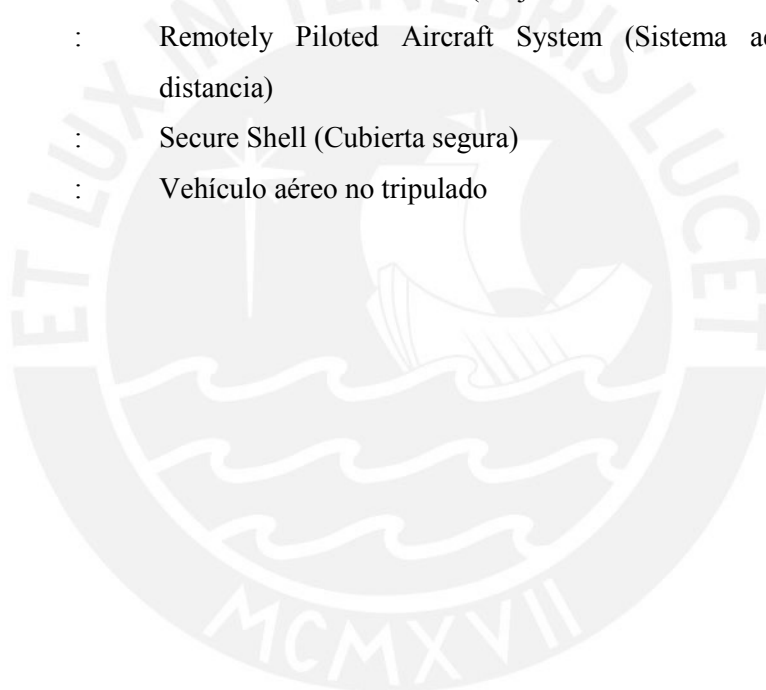
LISTADO DE ACRÓNIMOS	III
LISTADO DE FIGURAS	IV
LISTADO DE TABLAS	VI
RESUMEN	5
ÍNDICE DE CONTENIDO	I
INTRODUCCIÓN	1
1. ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE.....	3
1.1. Antecedentes.....	3
1.2. Estado del arte.....	8
1.2.1. Diseños de drones según el grado de exposición de sus hélices	10
1.2.2. Sistema de comunicación de datos.....	12
1.2.3. Sistemas de navegación y detección de obstáculos.....	14
1.2.4. Fuentes de energía.....	20
1.2.5. Control	21
1.2.6. Estructura del VANT	22
2. DISEÑO CONCEPTUAL.....	24
2.1. Requerimientos	24
2.2. Estructura de funciones.....	26
2.3. Matriz morfológica	27
2.4. Conceptos de solución	27
2.4.1. Solución 1	28
2.4.2. Evaluación técnico económica.....	31
3. DISEÑO MECÁNICO.....	34
3.1. Cálculos y selección.....	35
3.1.1. Estructura del VANT	38
3.1.2. Motor de contra-rotación (coaxial)	39
3.1.3. Alerones	40
3.1.4. Servomotores	43
3.1.5. Estructura de protección.....	46
3.2. Ensamble y dimensionamiento complementario	51
3.3. Procesos de fabricación.....	54
4. DISEÑO DEL CONTROL Y LA ELECTRÓNICA/ELÉCTRICA	56
4.1. Diseño del control	56
4.1.1. Controlador de vuelo.....	57
4.1.2. Software para la estación en tierra	58

4.1.3.	Computador de placa reducida.....	58
4.1.4.	Integración del sistema de control.....	59
4.1.5.	Diagramas de flujo.....	61
4.2.	Diseño electrónico/eléctrico.....	64
4.2.1.	Motor de contra - rotación (coaxial)	65
4.2.2.	Controlador electrónico de velocidad (ESC)	65
4.2.3.	Servomotores	66
4.2.4.	Transmisor y receptor de video (FPV).....	67
4.2.5.	Cámara	69
4.2.6.	Sensor de presencia.....	70
4.2.7.	Sensor de ultrasonido	70
4.2.8.	Tarjeta de distribución de potencia (PDB).....	71
4.2.9.	Módulo de potencia.....	72
4.2.10.	Sistema de suministro de energía.....	74
5.	PLANOS Y COSTOS.....	79
5.1.	Planos.....	79
5.1.1.	Planos electrónicos/eléctricos	79
5.1.2.	Planos mecánicos	81
5.2.	Costos.....	82
5.2.1.	Costos de diseño.....	83
5.2.2.	Costos de fabricación	84
	OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES.....	87
	CONCLUSIONES	88
	BIBLIOGRAFÍA	90
	ANEXO A: ESTRUCTURA DE FUNCIONES.....	
	ANEXO B: DETALLE DE FUNCIONES.....	
	ANEXO C: MATRIZ MORFOLÓGICA.....	
	ANEXO D: SOLUCIONES ADICIONALES.....	
	ANEXO E: CONFIGURACIÓN DE MISSION PLANNER.....	
	ANEXO F: HOJAS DE DATOS DE COMPONENTES ELECTRÓNICOS.....	
	ANEXO G: COTIZACIÓN DE COMPONENTES FABRICADOS EN ABS.....	

LISTADO DE ACRÓNIMOS

En orden alfabético:

BEC	:	Batery Eliminating Circuit (Circuito eliminador de batería)
ESC	:	Electronic Speed Controller (Controlador electrónico de velocidad)
FAA	:	Federal Aviation Administration (Administración Federal de Aviación de los Estados Unidos)
FPV	:	First Person View (Vista en primera persona)
GPS	:	Global Positioning System (Sistema de posicionamiento global)
IMU	:	Inertial Measurement Unit (Unidad de medición inercial)
IP	:	Ingress Protection (Protección contra ingresos)
PDB	:	Power Distribution Board (Tarjeta de distribución de potencia)
RPAS	:	Remotely Piloted Aircraft System (Sistema aéreo piloteado a distancia)
SSH	:	Secure Shell (Cubierta segura)
VANT	:	Vehículo aéreo no tripulado



LISTADO DE FIGURAS

Figura 1.1: Inversión estimada en hardware de drones a nivel mundial	4
Figura 1.2: RobotMan, el primer robot vigilante del país	5
Figura 1.3: Knightscope	6
Figura 1.4: Dron esférico del Ministerio de Defensa de Japón	7
Figura 1.5: Fleye Ducted	7
Figura 1.6: VANT de ala rotatoria	9
Figura 1.7: VANT de ala fija	9
Figura 1.8 VANT Phantom 4 de DJI	10
Figura 1.9: VANT Spreading Wings S900 de DJI	10
Figura 1.10: Hexacóptero Thyphoon H de Yuneec	10
Figura 1.11: VANT Sprite de Ascent AeroSystems	11
Figura 1.12: Diseño de cuadcóptero [COLIN, 2016]	12
Figura 1.13: VANT esférico [MALANDRAKIS, 2016]	12
Figura 1.14: Transmisor Taranis X9D Plus	13
Figura 1.15: Receptor RX8R	13
Figura 1.16: Esquema de triangulación del GPS	15
Figura 1.17: Esquema de medición del IMU	15
Figura 1.18: Cámara Gimbal	16
Figura 1.19: Transmisor y receptor Partom FPV de 1.2GHz 1500mw 8CH	17
Figura 1.20: Sensor Lidar	18
Figura 1.21: Magnetómetro de 3 ejes	18
Figura 1.22: Sensor de presión barométrica	19
Figura 1.23: Sensor de humedad/temperatura DHT11	19
Figura 1.24: VANT de Intelligent Energy	21
Figura 1.25: Perfiles de estructuras	22
Figura 2.1: Black Box del sistema general	26
Figura 2.2: Solución 1 - Vista interior	29
Figura 2.3: Solución 1 - Vista exterior	30
Figura 2.4: Evaluación técnico-económica	33
Figura 3.1: Diseño del VANT	34
Figura 3.2: Esquema del sistema de sustentación	35
Figura 3.3: Vista superior del sistema de alerones	35
Figura 3.4: Diagrama de cuerpo libre general	36
Figura 3.5: Estructura del VANT	38
Figura 3.6: Cabeceo del VANT	40

Figura 3.7: Guiñada del VANT.....	40
Figura 3.8: Alabeo del VANT.....	40
Figura 3.9: Volumen de aire generado por las hélices	41
Figura 3.10: Área a cubrir por el alerón.....	41
Figura 3.11: Alerones en forma de cuarto de circunferencia	42
Figura 3.12: Dimensiones de alerones	42
Figura 3.13: Fuerzas por cuadrante.....	43
Figura 3.14: Fuerza ejercida sobre el alerón	45
Figura 3.15: Armazón circular	46
Figura 3.16: Armazón circular señalado	47
Figura 3.17: Dodecaedro de Pentakis	48
Figura 3.18: Varillas y juntas.....	48
Figura 3.19: Ángulos de juntas	49
Figura 3.20: Estructura geodésica armada	50
Figura 3.21: Estructura de protección	50
Figura 3.22: Ensamble de la estructura	51
Figura 3.23: Ensamble del motor y la estructura	52
Figura 3.24: Ensamble de alerones a servomotores	52
Figura 3.25: Ensamble de los servomotores a la estructura	53
Figura 3.26: Ensamble del armazón en la estructura	53
Figura 3.27: Ensamble de estructura geodésica a armazón.....	54
Figura 4.1: Esquema de operación.....	56
Figura 4.2: Esquema de comunicación 4G	60
Figura 4.3: Diagrama de flujo del programa principal.....	62
Figura 4.4: Diagrama de flujo de la rutina de interrupción.....	63
Figura 4.5: Esquema referencial del circuito de potencia del VANT	73
Figura 4.6: Relación Peso vs Corriente para el motor HIMAX CR2816.....	77
Figura 5.1: Diagrama de bloques 1	79
Figura 5.2: Diagrama de bloques 2	80

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1.1: Comparación general entre un VANT para interiores y robots terrestres enfocados a la seguridad y vigilancia.....	8
Tabla 1.2: Bandas de frecuencia útiles para FPV	17
Tabla 1.3: Comparación Baterías Li-Po Y NiMH [VALAVANIS, 2015].....	20
Tabla 1.4: Comparación Pixhawk 2 Cube vs NAZA-M V2	21
Tabla 1.5: Comparación de materiales usualmente utilizados en drones.....	23
Tabla 2.1: Evaluación técnica	31
Tabla 2.2: Evaluación económica	32
Tabla 3.1: Medidas aproximadas de los elementos a utilizar en el VANT	37
Tabla 3.2: Motores de contra-rotación en el mercado.....	39
Tabla 3.3: Servomotores en el mercado.....	46
Tabla 3.4: Varillas de fibra de carbono de 3 mm disponibles en el mercado	49
Tabla 3.5: Procesos de fabricación y manufactura.....	55
Tabla 4.1: Controladores de vuelo más utilizados	57
Tabla 4.2: Computadores de placa reducida disponibles en el mercado.....	59
Tabla 4.3: Especificaciones de motor de contra-rotación Himax CR2816.....	65
Tabla 4.4: Consideraciones para la selección del ESC	65
Tabla 4.5: Bandas de frecuencia útiles para FPV	68
Tabla 4.6: Transmisores de video para 1.2GHz.....	68
Tabla 4.7: Receptores de video para 1.2GHz.....	68
Tabla 4.8: Cámaras analógicas para FPV	69
Tabla 4.9: Especificaciones electrónico/eléctricas de la cámara RunCam OWL	69
Tabla 4.10: Sensores de presencia disponibles en el mercado.....	70
Tabla 4.11: Especificaciones del sensor de ultrasonido HC-SR04	71
Tabla 4.12: Tarjetas de distribución de potencia disponibles en el mercado.....	71
Tabla 4.13: Módulos de potencia disponibles en el mercado	73
Tabla 4.14: Baterías de 500 mAh disponibles	75
Tabla 4.15: Especificaciones físicas de la batería Lumenier 500mAh	75
Tabla 4.16: Dimensiones y pesos finales de componentes	76
Tabla 4.17: Baterías Li-Po de 3S y 7600 mAh disponibles en el mercado.....	76
Tabla 5.1: Lista de planos mecánicos	82
Tabla 5.2: Costos totales	82
Tabla 5.3: Costos de diseño	83
Tabla 5.4: Costos de programación.....	83
Tabla 5.5: Costos de fabricación.....	84

Tabla 5.6: Costos de componentes estandarizados 85
Tabla 5.7: Costo de componentes no estandarizados (incluye servicio de fabricación) 86



INTRODUCCIÓN

El diseño de los vehículos aéreos no tripulados (VANT) o drones más comunes y comerciales no fue concebido para que éstos puedan volar en ambientes cerrados. Sería complicado pilotear, por ejemplo, un hexacóptero de filmación dentro de un almacén o a través de un pasillo. No solo se debería evitar que las hélices colisionen con las paredes o techo, sino que también se tendría que mantener alejado de las personas para no ponerlas en riesgo. Estos VANT fueron diseñados para volar al aire libre, donde tienen un número creciente de aplicaciones. Esto no significa, sin embargo, que un dron no sea útil para ser operado dentro de edificios. Por ejemplo, una aeronave no tripulada podría realizar rondas de vigilancia en lugares como fábricas y almacenes, registrando lo que sucede en su entorno. De hecho, el sector de la seguridad presenta algunas falencias que este tipo de tecnología podría afrontar. Resaltan, por ejemplo, las limitaciones que tienen las cámaras de seguridad convencionales. Según Noam López, docente del Departamento de Ciencias Sociales de la Pontificia Universidad Católica del Perú, las cámaras de seguridad deben cumplir dos roles fundamentales: registrar datos que pueden servir como evidencia y ser disuasivas [NAVARRO, 2015]. Un estudio realizado por este académico reveló que los lugares y puntos que presentan las condiciones técnicas ideales para instalar una cámara de vigilancia no son necesariamente aquellos donde en realidad se necesita una [NAVARRO, 2015]. Por otro lado, en muchos lugares las cámaras de vigilancia no están a la vista y por lo tanto no cumplen realmente su rol disuasivo. El famoso cartel “sonríe te estamos filmando” es una prueba de esto. Un VANT de vigilancia cumpliría este rol disuasivo a través de la presencia física y además podría filmar lo que sucede a su alrededor.

El objetivo principal de la presente tesis es realizar el diseño preliminar de un vehículo aéreo no tripulado enfocado a la vigilancia y seguridad en ambientes cerrados. Este dron cumplirá el rol de monitoreo de un guardia de seguridad en sus rondas de vigilancia diurnas y nocturnas dentro de edificios. A continuación se presentan los objetivos específicos que se deberán cumplir para alcanzar el objetivo principal de este trabajo:

- Realizar una investigación del estado del arte con el fin de analizar el estado actual de la tecnología relacionada a drones y seguridad.
- Definir los requerimientos específicos que debe cumplir el sistema para alcanzar el objetivo principal.
- Determinar el diseño conceptual del VANT siguiendo los lineamientos de la metodología de diseño de la norma VDI 221
- Realizar los cálculos correspondientes al subsistema mecánico y al electrónico/eléctrico del VANT.
- Definir las variables a ser controladas por el subsistema de control.
- Realizar la selección de componentes del sistema y determinar aquellos que serán fabricados y/o adquiridos.
- Elaborar los planos mecánicos y electrónicos/eléctricos del sistema.
- Hacer una estimación de los costos involucrados en el proyecto.

Se entiende por ambientes cerrados a entornos que tengan techo y paredes, tales como habitaciones, pasillos, pasajes, etc. Es decir, que el VANT deberá estar diseñado de tal manera que pueda volar a través de estas zonas y que al rozar o tocar las paredes o techo no se averíe y pueda continuar su operación. Por labores de vigilancia se entienden las actividades realizadas por el personal de seguridad de edificios, específicamente rondas de supervisión y control de actividad sospechosa. Por consiguiente, este dron deberá ser capaz de volar siguiendo la trayectoria que recorrería un vigilante en su ronda cotidiana y al mismo tiempo registrar mediante una cámara lo que sucede en su camino. El video será transmitido en vivo a una laptop o PC del personal de seguridad en un ambiente distinto desde donde también se controlará la navegación de la aeronave. Dado que este VANT volará a baja altitud a través de zonas que podrían estar siendo transitadas u ocupadas por personas y por lo tanto “convivirá” con ellas, su diseño será tal que no genere ningún riesgo para su integridad física. De hecho las personas podrán acercarse a la aeronave sin estar expuestas a cortes o golpes. Igualmente, este robot tendrá la capacidad de detectar personas u obstáculos para evitar colisiones.

Las características del entorno donde operará este VANT plantean desafíos de diseño diferentes al de los drones convencionales y que hasta el momento han sido poco explorados. Por lo tanto, esta tesis representará una propuesta de diseño de aeronaves no tripuladas para interiores y que podrá ser útil no solo para aplicaciones de seguridad y vigilancia, sino para otras más.

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE

En esta sección se realizará un estudio de los antecedentes generales con respecto al uso de vehículos aéreos no tripulados y la aplicación de tecnología avanzada para seguridad y vigilancia.

1.1. Antecedentes

En la última década el uso de vehículos aéreos no tripulados se ha expandido alrededor del mundo. Su empleo ya no se restringe únicamente al ámbito militar, de hecho, hoy se ve este tipo de aeronaves siendo utilizadas incluso para fines recreativos. Según Peter Diamandis, co-fundador de Singularity University, este crecimiento se debe principalmente al desarrollo tecnológico y optimización de elementos como GPS (Sistema de posicionamiento global), unidades de medición inercial, cámaras digitales, computadores y comunicación inalámbrica. Todo esto ha permitido que en la actualidad los VANT sean utilizados en industrias como la agricultura, energía, bienes raíces y construcción, servicios de emergencia, noticias, fotografía, investigación científica, entretenimiento, entre otras¹. La inversión realizada en este tipo de tecnologías solo ha aumentado en los últimos años y se estima que para el 2021 sea de más de 12 mil millones de dólares a nivel mundial como se muestra en la Figura 1.1.

¹ Top 10 reasons drones are disruptive, *Forbes*, 2014: <https://www.forbes.com/sites/peterdiamandis/2014/08/11/top-10-reasons-drones-are-disruptive/#2ab4fa2b6f1b>

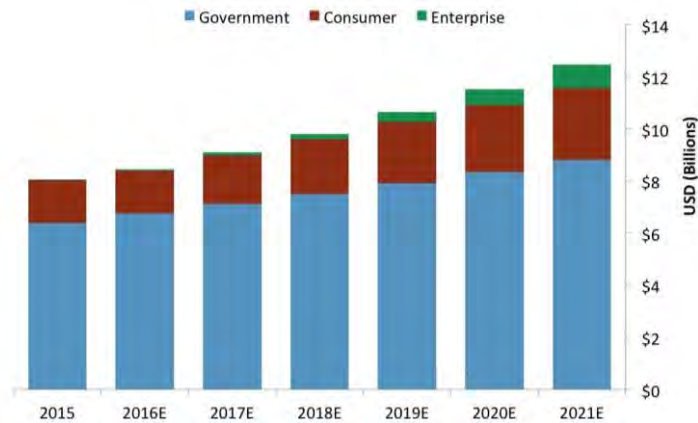


Figura 1.1: Inversión estimada en hardware de drones a nivel mundial²

La seguridad y la vigilancia son también un campo de aplicación interesante para los VANT. Por ejemplo, en la ciudad de Bogotá se implementará una red de drones de vigilancia para fortalecer la seguridad en sus calles, los cuales se encargarán de monitorear en tiempo real las zonas más propensas a crímenes³. De manera similar, la policía de Los Ángeles ha adquirido drones para utilizarlos en situaciones especiales como persecuciones⁴. Por otro lado, hoy en día existen compañías de seguridad brindando servicios que incluyen estas aeronaves. Por ejemplo, la empresa española Valchip ofrece drones para vigilancia perimetral⁵. En el Perú firmas de seguridad como Liderman trabajan con estos equipos en sus actividades⁶. Por otro lado, existen alianzas como la de la minera Antamina y la startup peruana de drones Qaira para que sus aeronaves realicen labores de monitoreo en la mina⁷.

Es fundamental señalar que hay un elemento en común en todos estos antecedentes: los drones utilizados son tetra, hexa, u octocópteros y por lo tanto, debido a su diseño no pueden ser utilizados en ambientes cerrados. El monitoreo que realizan se hace a gran altura y al aire libre. Como se mencionó en secciones previas, sería complicado utilizar un VANT de hélices expuestas para vigilancia a través de un pasillo o un cuarto. No solo se correría el riesgo de que alguna hélice colisione con una pared y se dañe, sino que también sería un peligro para las personas que se pudiesen encontrar en estas zonas. Este tipo de aeronaves fueron

² Exploring the latest drone technology for commercial, industrial and military drone uses, *Business Insider*, 2017: <http://www.businessinsider.com/drone-technology-uses-2017-7>

³ Vigilancia con drones para fortalecer la seguridad en Bogotá, *El Espectador*, 2016: <https://www.elespectador.com/noticias/bogota/vigilancia-drones-fortalecer-seguridad-bogota-articulo-661096>

⁴ Police the sheriff's drones, *Los Angeles Times*, 2017: <http://www.latimes.com/opinion/editorials/la-ed-sheriff-drones-20170125-story.html>

⁵ Valchip, s/f: <http://www.valchip.com/seguridad%20con%20drones.htm>

⁶ Liderman, la firma de seguridad que apuesta por los robots, *El Comercio*, 2016: <https://elcomercio.pe/economia/negocios/liderman-firma-seguridad-apuesta-robots-150315>

⁷ Los drones de Antamina van a la caza de la eficiencia, *Semana Económica*, 2017: <http://semanaeconomica.com/caso/los-drones-de-antamina-van-a-la-caza-de-la-eficiencia/>

diseñadas para que operen en la intemperie, en entornos libres de obstáculos. Sin embargo, hay otro tipo de tecnologías que se han venido utilizando para seguridad y vigilancia en interiores.

En el año 2016, empezó a operar RobotMan en el centro comercial La Rambla en Lima (Figura 1.2). Se trata de un robot humanoide terrestre con el cual se busca imitar los roles de un guardia de seguridad de este tipo de establecimientos: ser vigilante y anfitrión. Este fue diseñado e implementado en el Perú en un esfuerzo conjunto entre la academia, el sector privado y el gobierno. Por otro lado, este tipo de robots están siendo utilizados por las grandes empresas de tecnología en Silicon Valley. Por ejemplo, Microsoft y Uber están empleando el “Knightscope K5” (Figura 1.3) para la vigilancia en sus oficinas⁸. Como se explicó en secciones anteriores, este es un robot que realiza labores de monitoreo a través de pasillos, cuartos, zonas de parking, etc. Equipado con sensores de calidad de aire, térmicos, infrarrojos, ultrasónicos, además de sistemas de reconocimiento facial es sumamente útil para la detección de actividad sospechosa⁹.



Figura 1.2: RobotMan, el primer robot vigilante del país¹⁰

⁸ The tech giants of Silicon Valley are starting to rely on crime-fighting robots for security, *Business Insider*, 2017: <http://www.businessinsider.com/knightscope-security-robots-microsoft-uber-2017-5>

⁹ Knightscope, el sofisticado robot de seguridad que “se ahogó” en una fuente del edificio que cuidaba, *BBC*, 2017: <http://www.bbc.com/mundo/noticias-40649548>

¹⁰ RobotMan, el primer robot vigilante del país, *El Comercio*, 2016: <https://elcomercio.pe/tecnologia/robotica/robotman-primer-robot-vigilante-pais-264915>



Figura 1.3: Knightscope¹¹

Si bien el uso de este tipo de robots de vigilancia para interiores se ha empezado a extender no solo en países de primer mundo, sino incluso en un medio como el peruano, estos presentan una limitación que vale la pena abordar. Los robots mencionados están diseñados de tal manera que solo pueden trasladarse a través de superficies planas, es decir, no pueden subir y bajar gradas o desniveles que pudiera tener un piso. Esto restringe sus trayectorias de movimiento de manera considerable. Por lo tanto, el monitoreo que pueden realizar está limitado solo a ciertas zonas. Un VANT tendría una ventaja considerable en este aspecto, ya que podría trasladarse en cualquier trayectoria, sin embargo como ya vimos, los diseños de aeronaves de vigilancia más comunes y comerciales no están diseñados para operar en interiores. No obstante, hay una serie de ejemplos de drones con características poco convencionales que podrían ser utilizadas en este caso.

En el año 2011 el Ministerio de Defensa de Japón presentó el concepto de un VANT esférico¹². Su diseño tiene la particularidad de que opera con una sola hélice, la cual genera la fuerza de sustentación. El flujo de aire producido es redireccionado a través de cuatro alerones que le permiten trasladarse. Además, está recubierto por una estructura esférica, la cual encierra todos los mecanismos y la electrónica de la aeronave. De esta manera, el dron puede rozar o tocar paredes sin dañarse. Este concepto se muestra en la Figura 1.4.

¹¹ The tech giants of Silicon Valley are starting to rely on crime-fighting robots for security, *Business Insider*, 2017: <http://www.businessinsider.com/knightscope-security-robots-microsoft-uber-2017-5>

¹² Japan's Defense Ministry Develops Awesome Ball-Shaped Drone, *TechCrunch*, 2011: <https://techcrunch.com/2011/10/25/video-japans-defense-ministry-develops-awesome-ball-shaped-drone/>



Figura 1.4: Dron esférico del Ministerio de Defensa de Japón¹³

Más adelante en el año 2015 un proyecto en Kickstarter creado por la compañía belga Fleye, llamó mucho la atención, pues indicaban haber diseñado “el dron más seguro del mundo”¹⁴. Se trata de un VANT recreativo con un principio de funcionamiento semejante al del Ministerio de Defensa Japonés, aunque con un diseño más elegante y atractivo. Además esta aeronave cuenta con una cámara para filmaciones en vivo que pueden ser vistas desde un Smartphone, de donde además se controla el dron.



Figura 1.5: Fleye Ducted¹⁵

Como se ha podido analizar, en el mundo de la seguridad y vigilancia se ha empezado a utilizar tecnología avanzada como robots para que realicen actividades de monitoreo en ambientes cerrados. Estas máquinas no solo cumplen una labor de guardianía, sino que

¹³ Japan's Defense Ministry Develops Awesome Ball-Shaped Drone, *TechCrunch*, 2011: <https://techcrunch.com/2011/10/25/video-japans-defense-ministry-develops-awesome-ball-shaped-drone/>

¹⁴ Company believes it has created 'the world's safest drone', *Independent*, 2016: <https://www.independent.co.uk/life-style/gadgets-and-tech/company-believes-it-has-created-the-worlds-safest-drone-video-a6819836.html>

¹⁵ Fleye Drones, s/f: <https://www.gofleye.com/>

también “conviven” con las personas que puedan encontrarse en ese entorno. Sin embargo, como se ha visto, presentan algunas limitaciones que podrían ser perfectamente abordadas si se utilizaran drones en su lugar. Si bien los VANT más convencionales con las hélices expuestas no están hechos para operar en interiores, se han presentado conceptos y diseños que de adaptarse a ciertos requerimientos podrían empezar a utilizarse para vigilancia en ambientes cerrados.

Tabla 1.1: Comparación general entre un VANT para interiores y robots terrestres enfocados a la seguridad y vigilancia

	Vehículo aéreo no tripulado con un diseño apropiado para interiores	Robots terrestres utilizados para seguridad y vigilancia
Trayectorias de movimiento	Múltiples	Limitadas
Rol disuasivo	Cumple	Cumple
Capacidad de grabación	Cumple	Cumple
Niveles o pisos bajo su resguardo	Múltiples	1

La Tabla 1.1 resume las características mencionadas previamente y realiza una comparación general entre un VANT con un diseño para interiores y los robots terrestres utilizados para seguridad y vigilancia. Se distingue la superioridad que tendrían los drones en dichos aspectos y que está relacionada principalmente a su capacidad de vuelo. Como se señaló, la inversión en estas aeronaves solo va a crecer en los próximos años, por lo que innovar en nuevos diseños y aplicaciones podría ser muy beneficioso de cara al futuro.

1.2. Estado del arte

En esta sección se explorarán las distintas tecnologías referentes a drones. Un punto de partida apropiado para esto es buscar una tipología que nos permita organizar la información. Existen diferentes esquemas para clasificar los VANT. De acuerdo al Manual de vehículos aéreos no tripulados de Springer, es posible agruparlos de acuerdo a [VALAVANIS, 2015]:

- Peso medio de despegue y riesgo de impacto en tierra
- Altitud de operación y riesgo de colisión en el aire
- Autonomía
- Clasificaciones militares
- Por propiedad (públicos o estatales)

Estas clasificaciones están hechas de acuerdo a la aplicación y características técnicas puntuales de las aeronaves. Sin embargo hay una tipología mucho más general que utiliza la Asociación Española de RPAS (Sistema aéreo pilotado a distancia) que separa a los VANT en dos grandes grupos de acuerdo a su principio de vuelo [OÑATE, 2014]. Estos son de:

- Ala fija (Figura 1.6)
- Ala rotatoria (Figura 1.7)



Figura 1.6: VANT de ala rotatoria¹⁶



Figura 1.7: VANT de ala fija¹⁷

Para fines de este proyecto, se usará este esquema de clasificación como punto de partida. Sin embargo, dado que se busca encontrar un modelo de VANT ideal para vuelo en interiores, se estudiarán solamente los drones de ala rotatoria. Como es lógico, los VANT de ala fija están diseñados para operar en áreas extensas, libres de obstáculos y al aire libre.

Los drones de ala rotatoria están compuestos por uno o múltiples rotores, que a su vez están conformados por dos o tres álabes que giran alrededor de un eje. Estas aeronaves pueden tener configuraciones que normalmente varían de dos rotores (helicóptero) hasta 6 (hexacóptero) u 8 rotores (octocóptero). Una de sus características más importantes es que pueden aterrizar y despegar verticalmente, además de realizar movimientos y quiebres bruscos¹⁸. En las Figuras 1.8 y 1.9 se muestran el cuadróptero Phantom 4 y el hexacóptero Spreading Wings S900 respectivamente, ambos de la marca DJI. Las características técnicas más importantes de este tipo de aeronaves serán presentadas y analizadas en las siguientes subsecciones.

¹⁶ VANT Matrice 600 Pro, *DJI Store*, s/f: <https://store.dji.com/product/matrice-600-pro>

¹⁷ VANT Sirius Pro para vuelos aerofotográficos, *Geomat SAC*, s/f: <http://geomat.com.pe/equipos/>

¹⁸ Fixed wing vs rotary wing for UAV mapping applications, *Quest UAV*, s/f: <https://www.questuav.com/media/case-study/fixed-wing-versus-rotary-wing-for-uav-mapping-applications/>



Figura 1.8 VANT Phantom 4 de DJI¹⁹



Figura 1.9: VANT Spreading Wings S900 de DJI²⁰

1.2.1. Diseños de drones según el grado de exposición de sus hélices

Los drones de ala rotatoria presentan un número elevado de diseños y configuraciones, muchos de los cuales han sido llevados a escala comercial. Para fines de este proyecto es importante analizarlos desde el punto de vista de la seguridad y mucho de esto tiene que ver con el grado de exposición que tengan sus hélices. Tomando en cuenta esta consideración, a continuación se expondrán algunos productos, patentes y papers de estas aeronaves.

i. Hélices expuestas

En este apartado se explorarán algunos ejemplos de drones con hélices expuestas, es decir, sin ningún tipo de protección física para impactos con objetos/obstáculos.

Dentro de los drones de escala comercial más populares se encuentra el hexacóptero Thypoon H de la empresa china Yuneec²¹. Esta aeronave es utilizada para fotografía y filmación aérea.



Figura 1.10: Hexacóptero Thypoon H de Yuneec²²

¹⁹ Phantom 4, DJI, s/f: https://www.dji.com/phantom-4-adv?site=brandsite&from=landing_page

²⁰ Spreading Wings S900, DJI, s/f: <https://www.dji.com/spreading-wings-s900>

²¹ Andrew Meola, "Buy the best personal, comercial and military drones available on the market in 2017", Business Insider, 2017: <http://www.businessinsider.com/best-consumer-commercial-military-drones-2017-7>

²² Typhoon H, Yuneec, s/f:n <http://us.yuneec.com/typhoon-h-overview>

El interés por mostrar este diseño yace en que este VANT reúne características presentes en una gran cantidad de drones hoy disponibles en el mercado: de 4 a 6 rotores, cámaras con sistemas Gimball (se abordarán más adelante), video en vivo o hélices expuestas. No obstante, en este punto es preciso hacer una mención con respecto al sistema mecánico de la aeronave y señalar que en general representa un peligro para una persona que pudiese estar cerca. El manual de usuario indica que para su despegue el dron debe estar al menos a 8 metros de la persona que lo controla. Por otro lado, dicho documento explica que la aeronave está diseñada para operar en zonas abiertas libres de cualquier obstáculo [YUNEEC, 2017] .

Existen otros tipos de drones de hélices expuestas con diseños poco convencionales como el que se presenta en la Figura 1.11. Este VANT de filmación para áreas abiertas presenta un diseño poco convencional, ya que está compuesto por dos hélices alineadas en un mismo eje. Esta configuración recibe el nombre propulsión de contra-rotación; las hélices rotan en diferentes sentidos para eliminar el torque [SASAKI, 1996]. Aumentando o disminuyendo el ángulo de ataque de sus álabes puede generar movimientos horizontales y navegar.



Figura 1.11: VANT Sprite de Ascent AeroSystems ²³

ii. Hélices parcialmente cubiertas

Existen drones que incluyen consideraciones mecánicas en su diseño que permiten que sus hélices estén parcialmente protegidas de impactar contra obstáculos/objetos. La patente de diseño del cuadcóptero que se presenta en la Figura 1.12 posee estas características [COLIN, 2016]. Como es posible notar, en este caso las hélices ya no están expuestas en el sentido horizontal y esto le permite poder rozar o tocar levemente obstáculos como paredes.

²³ Sprite, *Ascent AeroSystems*, s/f: <https://www.ascentaerosystems.com/>

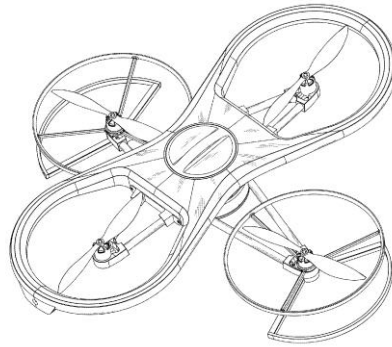


Figura 1.12: Diseño de cuadricóptero [COLIN, 2016]

iii. Hélices totalmente cubiertas

En este apartado se presenta el ejemplo de un VANT con las hélices totalmente protegidas y aisladas de impactos y contacto con objetos/obstáculos durante el vuelo. Se trata de un dron de dos hélices totalmente cubiertas presentado en el paper “Design and Development of a Novel VANT” [MALANDRAKIS, 2016]. En esta aeronave se utilizan dos rotores alineados verticalmente que giran en sentido opuesto para eliminar el torque [MALANDRAKIS, 2016]. Para trasladarse, este VANT utiliza cuatro alerones que se mueven redirigiendo el flujo de aire enviado por los rotores [MALANDRAKIS, 2016]. Todos los sistemas mecánicos y eléctricos que le permiten volar están cubiertos por una estructura esférica de madera [MALANDRAKIS, 2016]. En la Figura 1.13 se presenta este sistema implementado.



Figura 1.13: VANT esférico [MALANDRAKIS, 2016]

1.2.2. Sistema de comunicación de datos

Dentro de los VANT de ala rotatoria se ha identificado hasta tres formas de comunicación operativo – aeronave en los distintos modelos y diseños: El radio control, Wi-Fi y redes celulares.

i. Radio control

Mediante un transmisor de radio frecuencia se envían las señales de control desde tierra hacia un dispositivo receptor en la aeronave [KILBY, 2015]. El transmisor es comúnmente un control remoto que opera en la banda de 2.4 GHz de frecuencia [KILBY, 2015]. Esta banda es usada comúnmente para el pilotaje de la aeronave. No obstante, en la actualidad muchos fabricantes prefieren usar la banda de 5.8 GHz para el control y dejar la de 2.4 GHz para manejar otro tipo de señales como las de video [KILBY, 2015]. Uno de los transmisores más ampliamente utilizados es el Taranis X9D Plus de FrSKY²⁴. Este control remoto es compatible con receptores como el X8R de FrSKY²⁵. Estos dispositivos se muestran en las Figuras 1.14 y 1.15 respectivamente.



Figura 1.14: Transmisor Taranis X9D Plus²⁴



Figura 1.15: Receptor RX8R²⁵

ii. Wi - Fi

En la actualidad existen drones que pueden ser controlados a través de una conexión Wi-Fi. Por ejemplo, el Parrot Bebop 2 es un VANT que genera un punto de acceso Wi-Fi al cual el usuario puede conectarse con su smartphone [PARROT, 2017]. Esta red puede establecerse en las bandas de 2.4 o 5.8 GHz [PARROT, 2017]. De esta manera se realiza tanto el control como la transmisión en vivo de la filmación [PARROT, 2017].

iii. Red celular

El VANT GVANT7 de la marca Globe es capaz de conectarse a una red de 4G LTE para realizar la comunicación con tierra vía internet²⁶. Esto le brinda una versatilidad a la aeronave

²⁴ Transmisor Taranis X9D Plus, FrSKY, s/f: <https://www.frsky-rc.com/product/taranis-x9d-plus-2/>

²⁵ Receptor X8R, FrSKY, s/f: <https://www.frsky-rc.com/product/x8r/>

²⁶ 4G LTE solutions fo long distance flights, Globe UAV, s/f: <http://g-uav.com/en/index.html>

en cuanto su uso a distancia, ya que este tipo de red posee un rango mucho más grande que las redes convencionales de 2.4 o 5.8 GHz;**Error! Marcador no definido..**

1.2.3. Sistemas de navegación y detección de obstáculos

Se pueden diferenciar dos tipos de carga útil en un VANT. Por un lado están los elementos que sirven para la navegación de la aeronave y por el otro, aquellos que son utilizados para tareas específicas [VALAVANIS, 2015]. Esta conceptualización se puede extender a los sensores, donde se analizarán dos tipos: sensores de navegación y sensores de tareas específicas [VALAVANIS, 2015].

i. Sensores de navegación

Son aquellos dispositivos que realizan lecturas de magnitudes cuya información es fundamental para mantener el vuelo óptimo de la aeronave. Estos sensores se presentan a continuación.

- **Sistema de posicionamiento global (GPS)**

Permite conocer con alta precisión la posición de un objeto sobre la Tierra. Esto se logra a través de un receptor GPS, el cual recibe señales enviadas continuamente desde un grupo de 24 satélites estadounidenses distribuidos en órbita y calcula mediante triangulación su localización [EL-RABBANY, 2002]. Esto se esquematiza en la Figura 1.16. Existen distintas marcas y modelos de receptores GPS. Uno de los más utilizados en sistemas VANT es el Novatel OEMStar. Este receptor puede incluso trabajar con señales GLONASS, que vendría a ser la versión rusa del GPS²⁷.

²⁷ OEMStar, *Hexagon: Positioning Intelligence*, s/f: <https://www.novatel.com/products/gnss-receivers/oem-receiver-boards/oemstar-receivers/oemstar/>

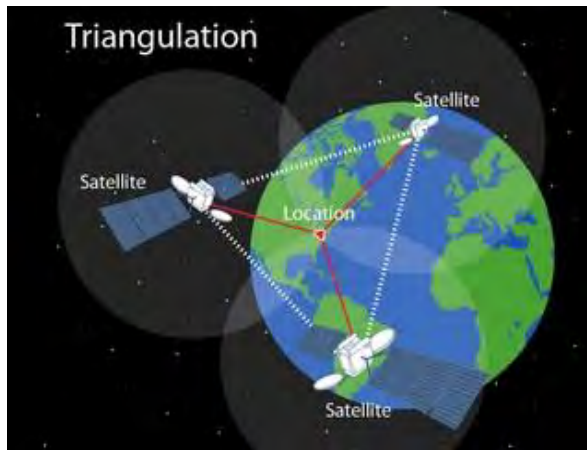


Figura 1.16: Esquema de triangulación del GPS²⁸

- **Sensor inercial (IMU)**

Se trata de un componente que permite conocer a través de acelerómetros y giroscopios la posición, velocidad y orientación de un objeto²⁹. El dispositivo opera utilizando un punto de referencia a partir del cual se calculan los cambios en los parámetros mencionados. Estos sistemas son ampliamente utilizados en drones debido a su capacidad de funcionar sin necesidad de señales externas y por complementar el trabajo de los demás dispositivos. En la Figura 1.17 se esquetizan los parámetros de movimiento medidos por este sensor.

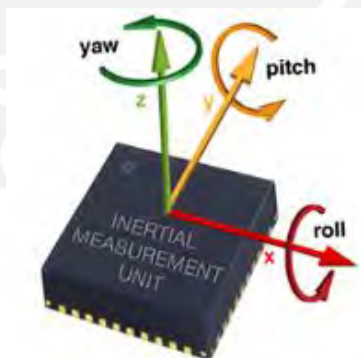


Figura 1.17: Esquema de medición del IMU³⁰

²⁸ Measurement using the GPS/APRS system, Masinki Yann, s/f: <http://www.vaucanson.org/php5/Accueil/index.php/comment-acceder-a-l-altitude-du-ballon-au-cours-du-vol/1175-mesure-a-l-aide-du-systeme-gps-aprs>

²⁹ Inertial Navigation Systems, UST, s/f: <http://www.unmannedsystemstechnology.com/category/supplier-directory/navigation-systems/inertial-navigation-systems/>

³⁰ Inertia – Another essential ingredient for driverless vehicles, *Self driving track days*, 2017: <https://selfdrivingtrackdays.com/inertia-another-essential-ingredient-for-driverless-vehicles/>

ii. Sensores de tareas específicas

Son aquellos dispositivos que realizan lecturas de magnitudes que están relacionados directamente a la aplicación de las aeronaves. Sin embargo, pueden ser relevantes para la navegación.

- **Cámaras**

En la actualidad la mayoría de los VANT comerciales tienen una cámara incorporada [VALAVANIS, 2015]. A la modalidad donde los drones transmiten el video en vivo al usuario se le denomina “Vista en primera persona” (FPV), pues el usuario puede controlar la nave como si estuviera en ella [VALAVANIS, 2015]. Los VANT de filmación más populares como el Phantom 4 de DJI tienen cámaras con resoluciones de hasta 4K para video³¹. Por otro lado, este tipo de aeronaves tienen configuraciones especiales para sus cámaras, como la “Gimbal” que permite que el sensor pueda moverse hasta 360 grados³². Este tipo de cámara se presenta en la Figura 1.18.



Figura 1.18: Cámara Gimbal³³

Para fines de este proyecto es fundamental profundizar en los métodos de transmisión inalámbrica de video desde un VANT. Los componentes básicos de un sistema de FPV son la cámara, el transmisor de video y el receptor de video³⁴. El transmisor conectado a la cámara en la aeronave envía el video a través de una señal de radiofrecuencia al receptor en tierra³⁴. En la Figura 1.19 se presenta un ejemplo de los dispositivos mencionados.

³¹ Buy the best personal, comercial, and military drones available on the market in 2017, *Business Insider*, 2017: [Buy the best personal: comercial: and military drones available on the market in 2017](#)

³² Buy the best personal, comercial, and military drones available on the market in 2017, *Business Insider*, 2017: [Buy the best personal: comercial: and military drones available on the market in 2017](#)

³³ CM100: Dual sensor gyro-stabilisedsystem , *UAV Vision*, s/f: <https://uavvision.com/product/cm100/>

³⁴ The Ultimate FPV System Guide, *Dronethusiast*, s/f: <https://www.dronethusiast.com/the-ultimate-fpv-system-guide/>



Figura 1.19: Transmisor y receptor Partom FPV de 1.2GHz 1500mw 8CH³⁴

Tanto el transmisor como el receptor deben operar en una misma banda de frecuencia. En el caso de los dispositivos presentados en la Figura 1.19, estos operan en la banda de 1.2GHz y tienen 8 canales, por lo que el usuario puede recibir hasta 8 señales diferentes³⁵. La elección de la banda a utilizar para la transmisión de video en un VANT depende directamente de la aplicación y las condiciones en las que operará. La Tabla 1.2 presenta una breve comparación entre las bandas de frecuencia más comúnmente utilizadas.

Tabla 1.2: Bandas de frecuencia útiles para FPV

Frecuencia	900MHz	1.2GHz	2.4GHz	5.8GHz
Rango	Excelente	Muy bueno	Bueno	Bueno
Penetración	Excelente	Muy bueno	Malo	Malo
Antena	Grande	Mediana	Pequeña	Pequeña
Legalidad	Uso restringido en algunos países	Uso restringido en algunos países	Libre uso	Libre uso

- **Sensor de presencia**

Estos sensores calculan la presencia y proximidad de obstáculos a través del envío y recepción de ondas electromagnéticas [MATHER, 2011]. Algunas marcas como Scanse comercializan sensores de proximidad Lidar con un rango de 360 grados de sensado³⁶. No obstante, este tipo de sensores suelen ser pesados y consumen mucha energía [VALAVANIS, 2015]. En la Figura 1.20 se muestra un ejemplo de este dispositivo.

³⁵ The Ultimate FPV System Guide, *Dronethusiast*, s/f: <https://www.dronethusiast.com/the-ultimate-fpv-system-guide/>

³⁶ Sweep, Scanning Lidar, *Kickstarter*, s/f: <https://www.kickstarter.com/projects/scanse/sweep-scanning-lidar>



Figura 1.20: Sensor Lidar ³⁶

- **Otros sensores**

Algunos tipos adicionales de sensores utilizados en estas aeronaves se muestran a continuación.

En la Figura 1.21 se presenta el esquema de un magnetómetro de 3 ejes. El campo magnético de la tierra influye en el flujo de los electrones en el sensor. Estos cambios en la corriente pueden ser medidos para determinar parámetros como inclinación y dirección³⁷.



Figura 1.21: Magnetómetro de 3 ejes³⁸

Otro sensor de uso recurrente en el diseño de drones es el barómetro, que permite medir la presión barométrica del entorno y la altitud del dron. Este dispositivo contiene una membrana sensible a presión que contiene un circuito eléctrico sometido a cierto voltaje. De acuerdo a la presión del entorno, la membrana se deforma causando que las resistencias del circuito se alteren. Midiendo estos cambios en la corriente se puede determinar la presión

³⁷ Triple Axis Magnetometer, Sparkfun, s/f: <https://www.sparkfun.com/tutorials/301>

³⁸ MagVector™ MV2 Magnetometer on a Chip, http://www.gmw.com/magnetic_sensors/Metrolab/MV2.html

GMW Associates, 2018:

barométrica a la que está sometido el VANT y la altura a la que se encuentra³⁹. La Figura 1.22 esquematiza dicha membrana sometida a presión y muestra el circuito mencionado.

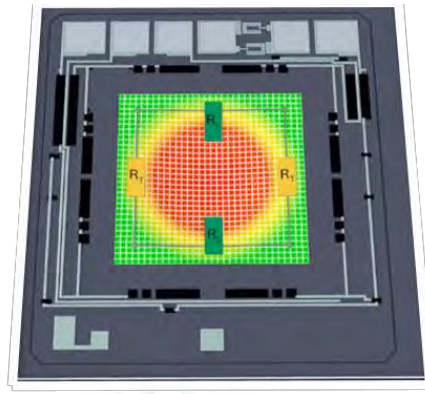


Figura 1.22: Sensor de presión barométrica⁴⁰

Finalmente, en la Figura 1.23 se presenta un sensor de humedad y temperatura, igualmente muy utilizado en el diseño de aeronaves no tripuladas. El componente de sensado de humedad está conformado por dos electrodos sometidos a voltaje conectados mediante un sustrato de retención de humedad. A medida que la humedad cambia, la conductividad del sustrato varía y por tanto, la corriente transmitida a través de él se altera. Esto puede ser medido para determinar la humedad correspondiente del ambiente. Por otro lado, este sensor cuenta con un termistor para el sensado de temperatura, el cual consiste en un resistor variable cuyo valor de resistencia varía de acuerdo a la temperatura a la que se le somete⁴¹.

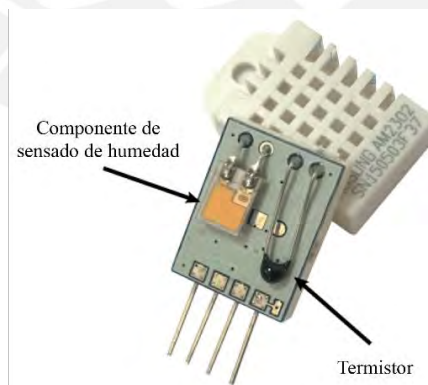


Figura 1.23: Sensor de humedad/temperatura DHT11⁴¹

³⁹ Bosch Working principle of a pressure sensor, *Youtube: Bosch Mobility Solutions*, s/f: https://www.youtube.com/watch?v=zXlqeT_FC8

⁴⁰ Bosch Working principle of a pressure sensor, *Youtube: Bosch Mobility Solutions*, s/f: https://www.youtube.com/watch?v=zXlqeT_FC8

⁴¹ DHT11 & DHT22 Sensors Temperature and Humidity Tutorial using Arduino, *How to mechatronics*, s/f: <https://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/dht11-dht22-sensors-temperature-and-humidity-tutorial-using-arduino/>

1.2.4. Fuentes de energía

Se han encontrado hasta dos fuentes de energía largamente utilizadas por este tipo de VANT: Baterías eléctricas y combustibles.

i. Baterías eléctricas

Aquí el uso más frecuente corresponde a las baterías níquel-metal hidruro (NiMH) y las de polímero de litio (Li-Po) [VALAVANIS, 2015]. La Tabla 1.3 es una comparación entre ambos tipos de baterías. Como es posible notar las Li-Po llevan una ventaja considerable con respecto a la velocidad de carga (8 Amps vs 1 Amps), tamaño y peso, sin embargo, su precio es elevado [VALAVANIS, 2015].

Tabla 1.3: Comparación Baterías Li-Po Y NiMH [VALAVANIS, 2015]

Criterio	NiMH	Li-Po
Costo	La mitad que la de Li-Po	Elevado
Recargable	Sí	Sí
Peso	Mayor	Menor
Volumen	Mayor	Menor
Velocidad de carga (Amps)	1	8

ii. Combustible

Aunque con menor frecuencia, algunos drones utilizan combustibles como fuente de energía. Se han reportado aeronaves alimentadas con hidrógeno gaseoso, hidrógeno criogenizado y propano [VALAVANIS, 2015]. La compañía Intelligent Energy ha creado un VANT multirrotor que funciona con hidrógeno comprimido⁴². Esto le da una autonomía de hasta dos horas, lo cual es hasta seis veces más capacidad que las baterías eléctricas convencionales⁴². En la Figura 1.24 puede distinguirse este VANT y el tanque de combustible que usa. Este tipo de aeronaves están concebidas para viajar largas distancias.

⁴² Hydrogen-powered drone takes flight, *BBC News*, 2016: <http://www.bbc.com/news/av/technology-35890486/hydrogen-powered-drone-takes-flight>



Figura 1.24: VANT de Intelligent Energy

1.2.5. Control

En esta sección analizaremos las tecnologías y estrategias utilizadas para el control de vuelo del VANT.

i. Controladores de vuelo

Los controladores de vuelo son utilizados para la estabilización y navegación automática del VANT [VALAVANIS, 2015]. En la Tabla 1.4 se muestran los controladores más utilizados en drones y se realiza una comparación general de los mismos.

Tabla 1.4: Comparación Pixhawk 2 Cube vs NAZA-M V2

Concepto	Pixhawk 2 Cube	NAZA-M V2
Tamaño	44.3mm x 94.5mm x 31.5mm	45.5mm x 32.5mm x 18.5mm
Peso	75 g	27 g
Código abierto	Sí	No
Capacidad I/O	Mayor	Menor
Precio	\$198.00	\$159.00
Fuentes de información	Múltiples	Limitadas
Actualizaciones	Sí	Sí

ii. Estrategias de control

Existen diferentes técnicas y diseños de algoritmos basados en control moderno útiles para la navegación de drones [KADA, 2011]. Algunos de estos incluyen sistemas no lineales, algoritmos evolucionarios o técnicas de optimización [KADA, 2011]. Sin embargo, las

estrategias de control PID son las más usadas y difundidas debido a su simple estructura, fácil implementación y gran performance. [KADA, 2011].

Por otro lado es importante comprender que en un VANT hay por lo menos dos niveles de control: El primero (inner loop) es el que se encarga la estabilización de la aeronave utilizando lectura de sensores que miden magnitudes “internas” del dron como el giroscopio y el acelerómetro; el segundo (outer loop) que se encarga de calcular el camino que recorrerá el dron, para lo cual hace uso de sensores de magnitudes “externas” como el GPS [VALAVANIS, 2015].

1.2.6. Estructura del VANT

La estructura es el esqueleto del dron y es donde se instalan todos los demás componentes de la aeronave. Para su selección es importante tomar en consideración la forma del perfil de sus brazos y el material que lo conforma.

i. Perfil de los brazos

La Figura 1.25 muestra algunos ejemplos de perfiles (sección transversal) de estructuras para drones. Según la tesis de Rubén Tabuchi, la forma del perfil determina la rigidez y aerodinámica del brazo. En dicho trabajo, el autor menciona que el perfil de menor coeficiente de arrastre aerodinámico es el redondo [TABUCHI, 2015].

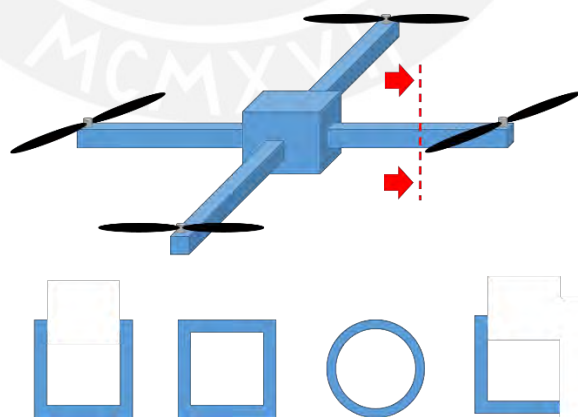


Figura 1.25: Perfiles de estructuras

ii. Materiales

Un punto delicado en el diseño de un dron es elegir el material adecuado para su estructura. En la Tabla 1.5 se muestran los materiales más comúnmente utilizados en este tipo de aeronaves y sus ventajas y desventajas más importantes.

Tabla 1.5: Comparación de materiales usualmente utilizados en drones⁴³

Material	Ventajas	Desventajas
Madera	Bajo precio. Facilidad de corte y otros proceso de manufactura.	Antiestético. Peso relativamente alto.
Plástico	Precio relativamente bajo. Estética.	Baja resistencia mecánica.
Aluminio	Buena durabilidad. Buena resistencia mecánica.	Precio relativamente alto.
G10 (Variación de fibra de vidrio)	Alternativa económica a la fibra de carbón.	No bloquea señales RF como la fibra de carbono
Fibra de carbono	Bajo peso. Alta resistencia mecánica. Bloquea señales RF.	Alto precio.

⁴³ UAV Frame types, *Robotshop* 2015: <https://www.robotshop.com/blog/en/make-uav-lesson-2-platform-14448>

CAPITULO 2

DISEÑO CONCEPTUAL

En esta sección se trabajarán los apartados esenciales para la formulación de un diseño preliminar del proyecto el cual será seleccionado en base a consideraciones técnicas y económicas.

2.1. Requerimientos

En las siguientes líneas se abordarán los requerimientos específicos que implica este proyecto.

La función principal del VANT es volar dentro de ambientes cerrados tales como pasillos, cuartos, escaleras. Además, debe tener la capacidad de detectar personas y obstáculos en su trayectoria de vuelo y detenerse al encontrarse con ellos.

En el diseño mecánico del VANT se debe tomar en cuenta que este no debe ocupar un volumen mayor a 50 x 50 x 50 cm, esto para que pueda trasladarse a través de pasajes estrechos como marcos de puertas. Por otro lado, para la cinemática del dron se requiere que su velocidad máxima de operación sea de 5 m/s, que es el promedio de los seres humanos al correr⁴⁴. Además, una vez en el aire la aeronave se podrá trasladar a través de cualquier trayectoria en los 3 ejes espaciales y deberá estar en la capacidad de realizar despegues y aterrizajes verticales. En lo que respecta a la fuerza, se exige que el dron tenga un peso máximo de 3 kg. Este peso se eligió en base a la energía de impacto en la cabeza que puede tolerar como máximo un ser humano, la cual es de 56 J⁴⁵. Tomando en cuenta dicha energía

⁴⁴ Livingit, *Average Human Running Speed: Broken Down Age-wise*, s/f: <https://www.iamlivingit.com/running/average-human-running-speed>

⁴⁵ Australian Government Civil Aviation Safety Authority, *Human injury model for small unmanned aircraft impact*, p.25, 2013: <https://www.casa.gov.au/sites/g/files/net351/f/assets/main/airworth/papers/human-injury-model-small-unmanned-aircraft-impacts.pdf>

(E), la velocidad máxima (v) del VANT y un factor de seguridad (FS) de 1.5, la masa (m) máxima del dron será:

$$E = \frac{1}{2} \times m \times v^2 \times FS \quad (2.1)$$

$$\frac{1}{2} \times m \times \left(5 \frac{m}{s}\right)^2 \times 1.5 = 56 J$$

$$m = 2.98 \text{ kg} \approx 3 \text{ kg}$$

En lo que respecta al dominio electrónico/eléctrico, el VANT debe contar con una fuente de energía recargable con una autonomía de 10 minutos, que es el tiempo promedio de los drones en el mercado⁴⁶. Además, su batería se deberá recargar con un suministro eléctrico de 220 V A/C y 60 Hz. Por otro lado, el dron contará con una cámara que filme su entorno tanto en la luz como en la oscuridad y el video deberá ser transmitido en vivo de manera inalámbrica al operario en una laptop o PC en un ambiente distinto. El sistema de video deberá garantizar al menos 45 minutos de filmación continua.

El sistema de control de navegación del dron incluirá las señales de entrada (input) de trayectoria, iniciar vuelo, pausar vuelo, continuar vuelo, rotación en guiñada y retorno a punto de partida. Las señales de salida (output), la velocidad de traslación del dron, la batería restante, el estado de vuelo, y el tiempo recorrido. Adicionalmente, se contará con una señal de video enviada por el VANT que conformará el sistema de control de seguridad del operario. Tanto las señales de entrada como las de salida serán ingresadas y visualizadas respectivamente en una laptop o PC que contará con una interfaz desde la cual un operario pueda ver el video en vivo y controlar la trayectoria de vuelo de la aeronave. El VANT tendrá instalado un controlador que deberá permitir que este se desplace en trayectorias de vuelo definidas por el operario.

Para garantizar la seguridad de su entorno y tomando en cuenta que volará en entornos cerrados, el VANT deberá contar con un diseño que no implique ningún riesgo para las personas que se puedan encontrar en los ambientes donde opere. Las personas podrán rozar el dron en pleno vuelo sin que se estrelle o les pueda causar algún daño. Además, deberá tener

⁴⁶ 3DInsider, *How long can a drone fly?*, 2017: <https://3dinsider.com/how-long-can-drones-fly/>

la capacidad de tocar y rozar paredes y techos en pleno vuelo sin averiarse y continuar con su actividad.

Los materiales y dispositivos a utilizar para este dron deberán ser comerciales y estandarizados para reemplazarlos sin mayores inconvenientes de ser necesario. Finalmente, para el mantenimiento se desea que esta aeronave sea fácilmente desarmable.

2.2. Estructura de funciones

En este apartado se expondrán las funciones generales y específicas que contendrá este proyecto. Como primer paso, se hará un esquema de las entradas y salidas que tendrá el sistema general, para lo cual haremos uso de la abstracción “Black box” o caja negra y a continuación se detallará cada una de ellas.

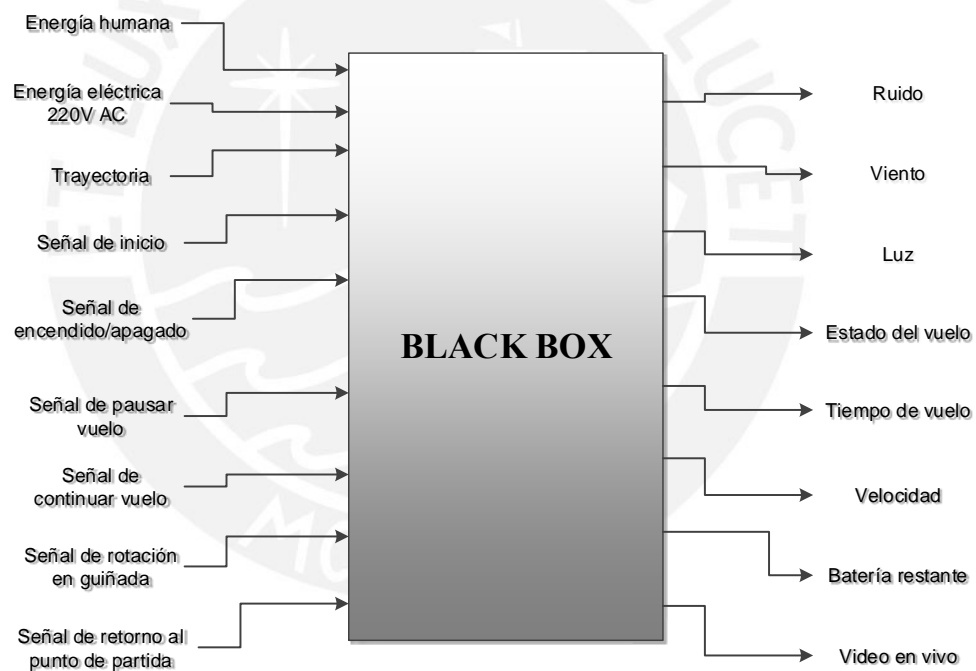


Figura 2.1: Black Box del sistema general

Entradas:

- a) Energía humana: Para conectar y desconectar el VANT al suministro eléctrico.
- b) Energía eléctrica 220V AC: Alimentación energética para la carga del VANT.
- c) Trayectoria: El camino que describirá el dron durante la ronda de vigilancia.
- d) Señal de encendido/apagado: Indicación para encender/ apagar el VANT (switch)

- e) Señal de pausar vuelo: Indicación para detener el VANT en vuelo y mantenerlo en una posición en el aire.
- f) Señal de rotación en guiñada: Indicación para que el VANT rote 360 grados sobre su eje vertical y realice un cameo panorámico.
- g) Señal de retorno al punto de partida: Indicación para que el VANT regrese al punto de partida.

Salidas:

- a) Ruido: Sonidos generados por el VANT.
- b) Viento: Flujo de aire que generado por los rotores.
- c) Luz: Señales luminosas del VANT.
- d) Estado del vuelo: Indicador del estado de vuelo del drone, ya sea “En movimiento”, “Detenido” o “Vuelo finalizado”.
- e) Tiempo de vuelo: Tiempo desde el despegue del VANT.
- f) Velocidad: Velocidad lineal del VANT.
- g) Batería restante: Carga restante del suministro energético.
- h) Video en vivo: Proyección en vivo de la filmación realizada por el VANT.

Asimismo, se presenta el diagrama de funciones en el ANEXO A. En este esquema se han distribuido las funciones de acuerdo al dominio al que pertenecen, ya sea mecánico, electrónico o control. Más allá de que en este proyecto no se realizará un procesamiento de imágenes, se buscó diferenciar las funciones de filmación en el diagrama y agruparlas bajo la denominación de “visión”. Por otro lado, se ha seccionado el diagrama de acuerdo a las funciones que se realizarán en tierra y aquellas que realizará el VANT durante su vuelo. Adicionalmente, el detalle de las funciones se presenta en el ANEXO B.

2.3. Matriz morfológica

En esta sección se presenta la matriz morfológica del proyecto, donde en base a la investigación del estado del arte se proponen las tecnologías, conceptos y diseños que podrían ser utilizados para las funciones del VANT. Ver la matriz en el ANEXO C.

2.4. Conceptos de solución

Las soluciones generadas por las distintas combinaciones de los elementos de la matriz morfológica se detallan en este apartado. A continuación se presentará la solución 1, que

como se verá más adelante, será la adoptada para la presente tesis. Los conceptos de solución adicionales se presentan en el ANEXO D.

2.4.1. Solución 1

En esta solución se utiliza una propulsión coaxial basada en dos rotores de contra rotación junto a un sistema de 4 alerones accionados por servomotores para controlar el cabeceo, guiñada y alabeo del VANT. Esto se muestra en la Figura 2.2. Por lo tanto el dron navega combinando distintos grados de rotación en los alerones.

Además, se hace uso de un controlador de vuelo para manejar la estabilización y navegación de la aeronave. Éste recibe las señales de control desde un computador de placa reducida, el cual se encarga de realizar la comunicación con tierra a través de la red celular. Para lograr esto, se hace uso de un módulo 4G conectado al computador.

Como se ve en la Figura 2.2, tanto los elementos de control como los electrónicos van fijos a lo que se ha denominado “estructura del VANT”. Por lo tanto, dispositivos como la batería y el transmisor de video están dentro de este compartimiento. Igualmente, los servomotores y el sistema de propulsión van fijos a él.

Asimismo, en la Figura 2.2 se puede ver una estructura esférica, la cual va unida a la estructura del VANT. Posteriormente, en la vista exterior, se aprecia una estructura geodésica esférica que va empotrada a la estructura esférica mencionada previamente. Barras de fibra de carbono y articulaciones componen a la esfera geodésica. Este conjunto ambas estructuras conforman la protección del VANT.

Por otra parte, en la Figura 2.3 se muestran los sensores como la cámara, el sensor de presencia y el sensor de ultrasonido, los cuales van fijos a la estructura esférica morada. Igualmente, se muestran los leds unidos a esta estructura.

Finalmente, se muestra una laptop conectada a un receptor de video. Desde ahí se enviarán las señales de control al computador de placa reducida del VANT y se proyectará el video en vivo que envíe la aeronave.

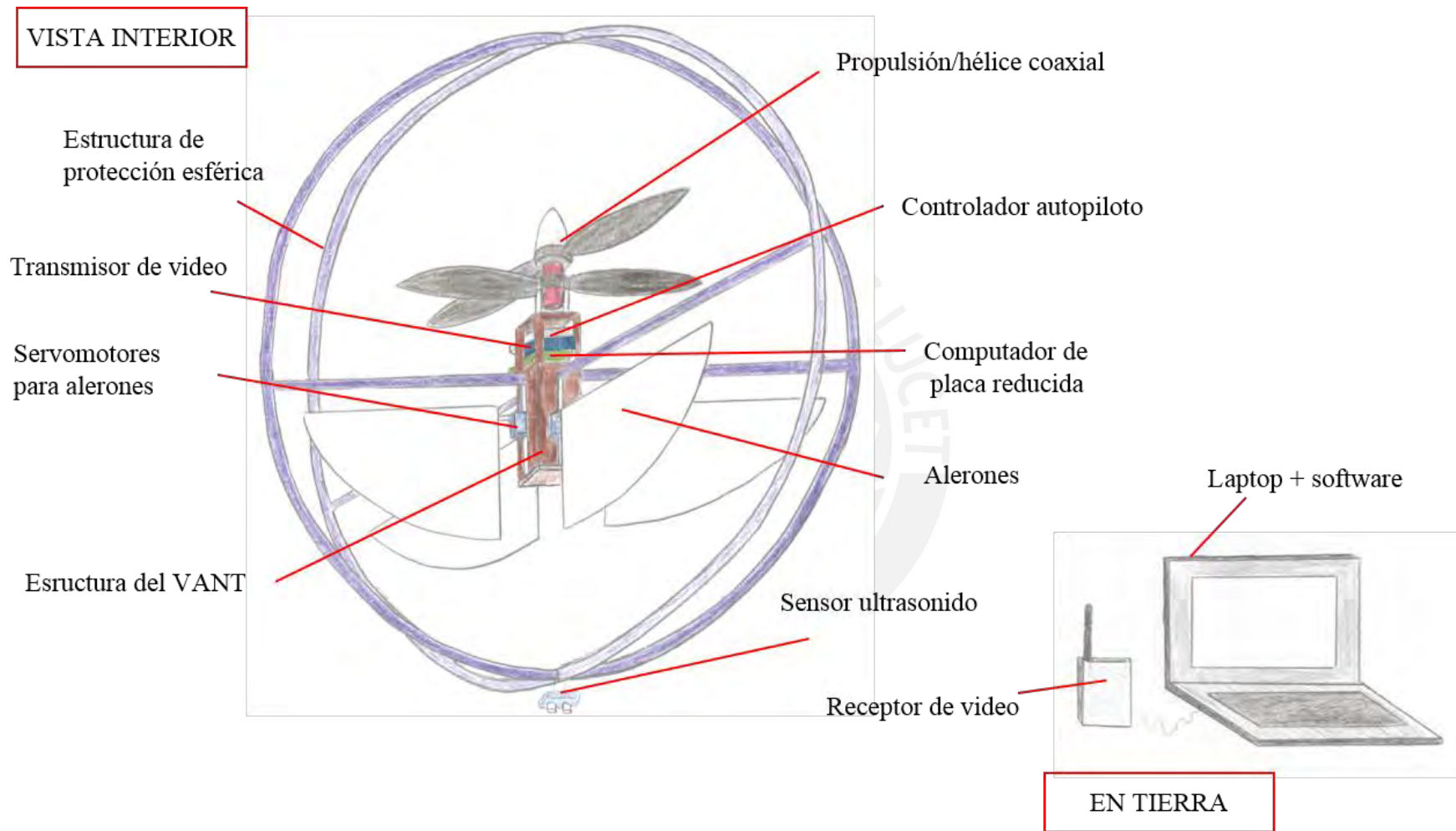


Figura 2.2: Solución 1 - Vista interior

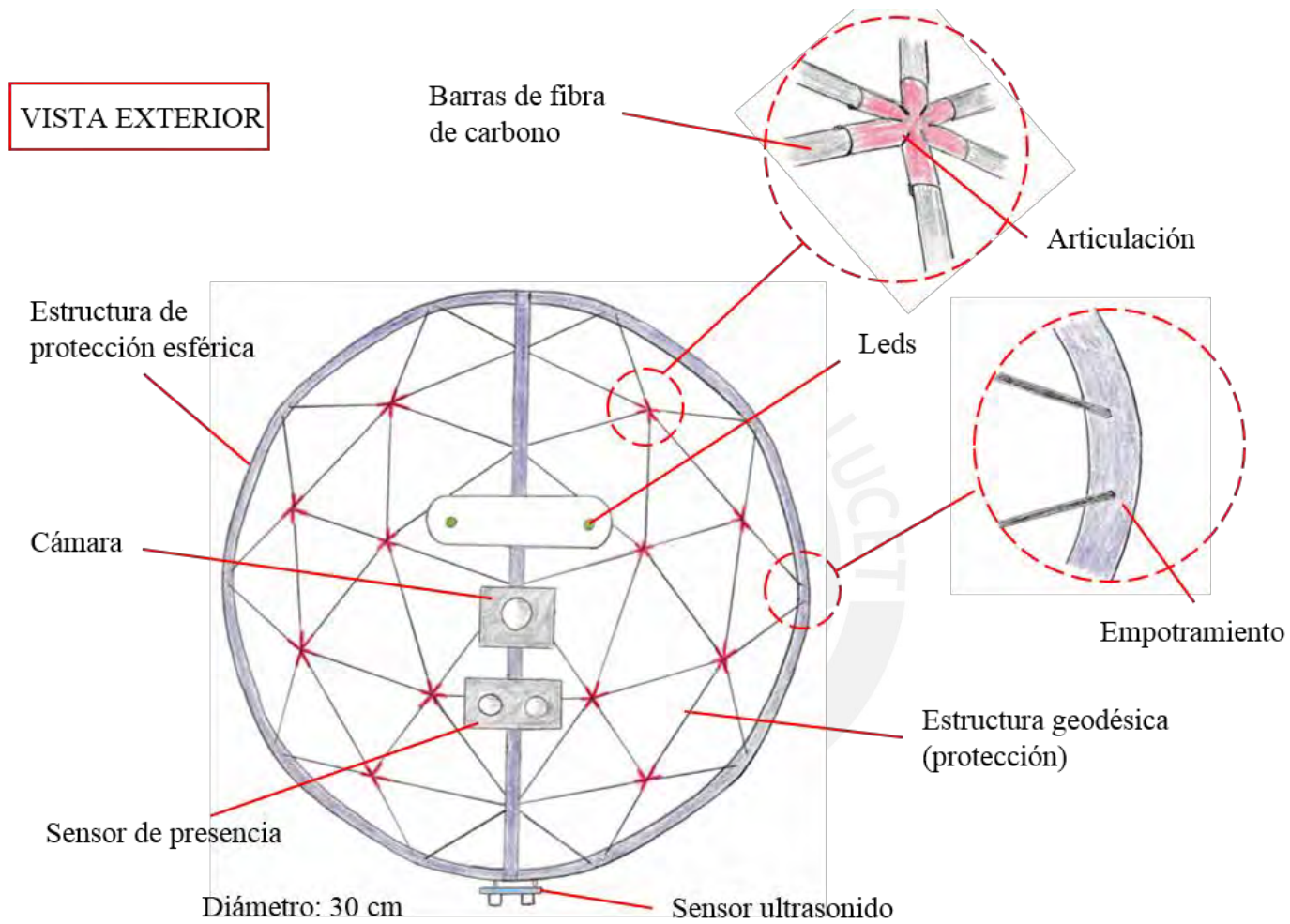


Figura 2.3: Solución 1 - Vista exterior

2.4.2. Evaluación técnico económica

En esta sección se realiza una evaluación de las soluciones de acuerdo a criterios técnicos y económicos relevantes para el proyecto.

Tabla 2.1: Evaluación técnica⁴⁷

VALOR TÉCNICO (x_i)											
Peso del criterio (g): 1-Bajo, 2-Medio, 3-Alto, 4-Muy alto Puntaje asignado (p): 1-Pobre, 2-Regular, 3-Muy bien, 4-Excelente											
Variante de concepto/ Proyecto			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	Volumen	3	3	9	2	6	2	6	4	12	
2	Fabricación	2	2	4	2	4	3	6	4	8	
3	Montaje	2	3	6	2	4	3	6	4	8	
4	Peso	3	3	9	1	3	2	6	4	12	
5	Uso	4	2	8	2	8	2	8	4	16	
6	Complejidad técnica	4	2	8	1	4	2	8	4	16	
7	Seguridad	4	3	12	2	8	2	8	4	16	
8	Lista de exigencias	4	3	12	2	8	3	12	4	16	
9	Uso de energía	3	2	6	2	6	2	6	4	12	
10	Estabilidad	3	3	9	3	9	3	9	4	12	
11	Rapidez	3	3	9	2	6	3	9	4	12	
12	Mantenimiento	3	3	9	2	6	3	9	4	12	
Puntaje máximo			32	101	23	72	30	93	48	152	
Valor técnico (x_i)			0.67	0.66	0.48	0.47	0.63	0.61			

⁴⁷ Métodos de diseño en ingeniería mecatrónica: Proyecto preliminar (norma VDI 221), Benjamín Barriga, Pontificia Universidad Católica del Perú, 2016.

Tabla 2.2: Evaluación económica⁴⁸

VALOR ECONÓMICO (y_i)										
Peso del criterio (g): 1-Bajo, 2-Medio, 3-Alto, 4-Muy alto Puntaje asignado (p): 1-Pobre, 2-Regular, 3-Muy bien, 4-Excelente										
Variante de concepto/ Proyecto			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	Número de piezas	2	3	6	2	4	3	6	4	8
2	Adquisición en el mercado local	4	3	12	2	8	2	8	4	16
3	Costo de materiales	4	3	12	3	12	2	8	4	16
4	Costo de la tecnología	3	3	9	2	6	3	9	4	12
5	Fácil mantenimiento	2	3	6	2	4	3	6	4	8
6	Costos de operación	2	2	4	2	4	2	4	4	8
7	Costo del montaje	2	3	6	3	6	3	6	4	8
8	Costos diversos	2	2	4	1	2	1	2	4	8
Puntaje máximo			22	59	17	46	19	49	32	84
Valor económico (y_i)			0.69	0.7	0.53	0.55	0.59	0.58		

En base a estas evaluaciones se construye una gráfica expuesta en la Figura 2.4, la cual compara los resultados obtenidos en las tablas. El eje horizontal corresponde al valor técnico x_i y el eje vertical al valor económico y_i . Adicionalmente se muestra una línea morada la cual representa la zona de balance entre lo técnico y lo económico.

⁴⁸ Métodos de diseño en ingeniería mecatrónica: Proyecto preliminar (norma VDI 221), Benjamín Barriga, Pontificia Universidad Católica del Perú, 2016

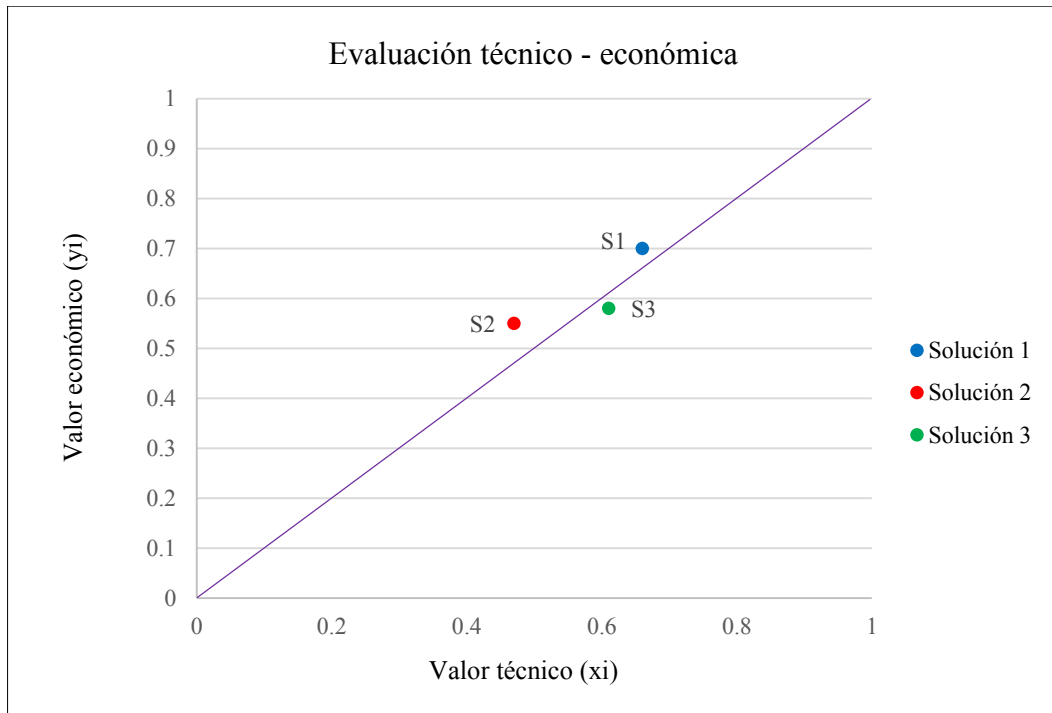


Figura 2.4: Evaluación técnico-económica⁴⁹

En la gráfica se puede distinguir una ventaja tanto en el aspecto técnico como económico de la Solución 1. En segundo lugar está la Solución 3 que si bien presenta una valoración técnica cercana a la Solución 1, presenta una desventaja económica. Finalmente está la Solución 2 que tiene una clara desventaja económica como técnica. Por lo tanto, se concluye que el concepto de solución óptimo este proyecto es el número 1. A partir de este punto se trabajará con él.

⁴⁹ Métodos de diseño en ingeniería mecatrónica: Proyecto preliminar (norma VDI 221), Benjamín Barriga, *Pontificia Universidad Católica del Perú*, 2016.

CAPÍTULO 3

DISEÑO MECÁNICO

En este capítulo se trabajará el diseño mecánico del concepto de solución seleccionado. La Figura 3.1 es una representación del VANT realizada en el software Inventor y muestra el ensamble completo de la aeronave. Con el fin de llegar a este diseño, a continuación se realizarán los cálculos necesarios para el dimensionamiento y selección de los materiales y componentes desde una perspectiva mecánica.

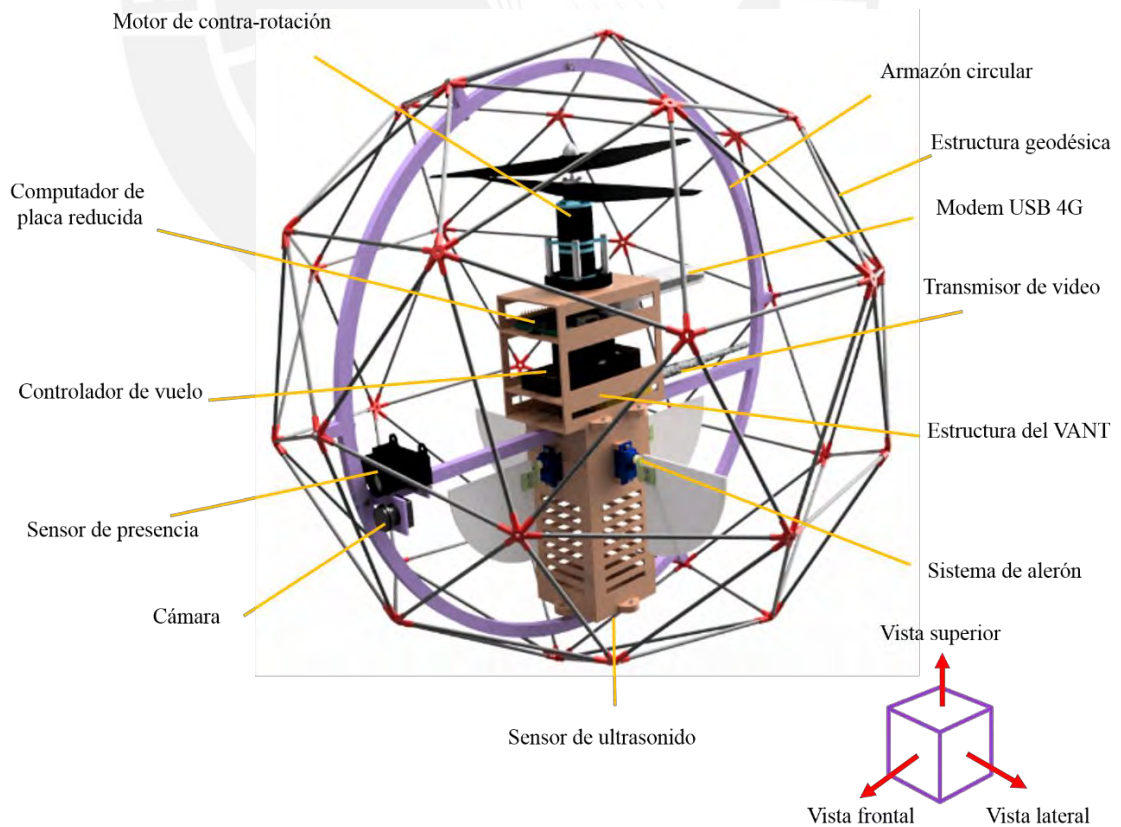


Figura 3.1: Diseño del VANT

3.1. Cálculos y selección

El sistema de sustentación del concepto de solución óptimo está compuesto por 2 hélices coaxiales y una configuración de 4 alerones. La Figura 3.2 esquematiza este sistema. Los 4 vectores celestes corresponden a la fuerza del flujo de aire generado por el giro de las hélices. A partir de este punto, el vector de fuerza total generado por la propulsión de las hélices se separará en esos cuatro vectores. La Figura 3.3 es una representación del sistema de alerones desde la vista superior con los vectores de flujo de aire entrantes.

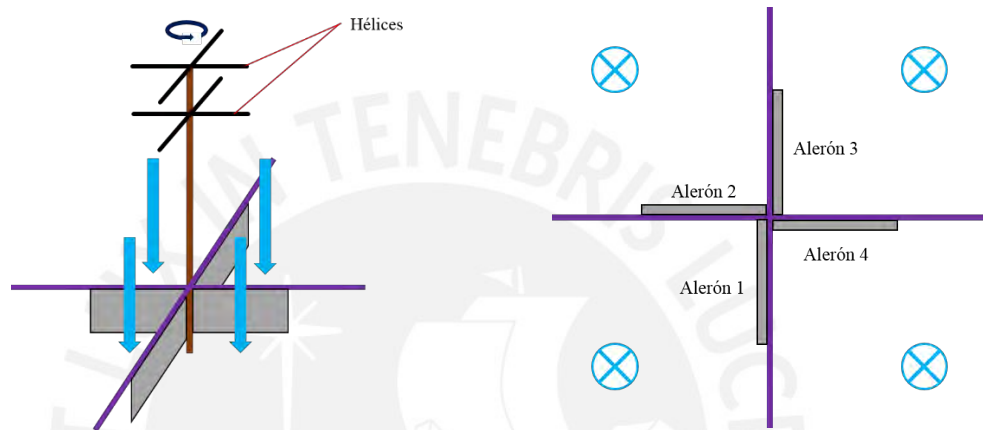
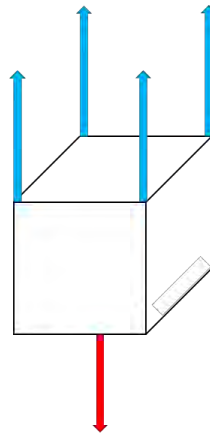


Figura 3.2: Esquema del sistema de sustentación Figura 3.3: Vista superior del sistema de alerones

Como se mencionó previamente, de acuerdo a su inclinación, cada alerón modificará la fuerza del vector de flujo correspondiente. Tomando esto en consideración, podemos representar al VANT como un cubo y armar un diagrama vectorial con las fuerzas correspondientes⁵⁰:

⁵⁰ La Figura 3.4 brinda una representación básica de las fuerzas principales que experimentará el VANT, no significa que estas estén en equilibrio estático.

Fuerza de sustentación (4 vectores)



Peso total del UAV

Figura 3.4: Diagrama de cuerpo libre general

El peso total del VANT es la sumatoria de los pesos de todos los dispositivos y materiales de la aeronave. Idealmente, el centro de gravedad del dron debería estar justo en el centro de las 4 fuerzas de sustentación. Con esta idea en mente se procederá a dimensionar y a distribuir los elementos en la aeronave.

De acuerdo a los requerimientos mecánicos, el VANT no debe superar un volumen de 50 cm x 50 cm x 50 cm y su peso no debe exceder los 3 kg. Por lo tanto, su carga debe estar dentro de estos rangos. Dado que hasta este punto no se tienen seleccionados materiales o componentes y, por lo tanto, se desconocen sus respectivos pesos, se realizará una estimación básica. A continuación se presenta un listado de los elementos que conformarán la carga del VANT con sus dimensiones y pesos promedio, de acuerdo a lo investigado en el estado del arte y al concepto de solución óptimo.

Tabla 3.1: Medidas aproximadas de los elementos a utilizar en el VANT

Elemento	Dimensiones aprox.	Peso aprox.
Batería Li-Po	90mm x 35mm x 30mm	300 g
Módulo de potencia (cable)	140 mm (flexible)	25 g
Módulo 4G	80mm x 20mm x 10mm	20 g
Cámara de visión nocturna/diurna	20mm x 20mm x 30mm	20 g
Transmisor de video	50mm x 50mm x 20mm	78 g
Tarjeta de distribución de potencia a rotores (PDB)	50mm x 35mm x 4mm	10 g
Controladores de velocidad (ESC) x2	40mm x 20mm x 11mm	40 g
Controlador de vuelo	90mm x 45mm x 32mm	80 g
Computador de placa reducida	80mm x 60mm x 20mm	42 g
Sensor de ultrasonido	45mm x 20mm x 15mm	10 g
Sensor de presencia	48mm x 40mm x 20mm	22 g
Motor coaxial (incluidas hélices)	Variable	150 g
Estructura del VANT	Variable	400 g
Estructura de protección	Variable	200 g
Sistema de alerones (con servomotores)	Variable	200 g
Otros (cables, leds, cintillos, tornillos, etc)	Variable	+10% total
	TOTAL	1756.7 g

De esta tabla se puede concluir que, a priori, ninguno de los elementos excede las dimensiones máximas del VANT. Por otro lado, se obtiene que el peso promedio total de los elementos será de 1756.7 g. Por practicidad, se redondeará esta magnitud a 1800 g, es decir 17.694 N (asumiendo una gravedad de $9.83 \frac{m}{s^2}$).

Si bien tenemos un peso máximo de 3 kg definido en los requerimientos, los cálculos mecánicos se realizarán estableciendo un peso máximo deseado y adecuando la carga del VANT para que se dimensione alrededor de ese límite. De esta manera, se asegurará una holgura con respecto al peso máximo de los requerimientos evitando sobrepasarlo. Sabemos que el peso promedio total de los elementos es de 1800 g, por lo tanto, se fija esta medida como el peso máximo deseado. De acuerdo a estas consideraciones, se procede al cálculo y selección de cada uno de elementos del proyecto. Adicionalmente se presentará un apartado que detalle el ensamblaje y dimensionamiento final de estos componentes.

3.1.1. Estructura del VANT

La estructura será el elemento principal del dron y es donde se colocarán e instalarán los demás componentes. Dadas las características particulares de este proyecto, las estructuras comerciales y estandarizadas que están enfocadas a multicopteros no se ajustan a los requerimientos. Es por esto que se propone el diseño de la Figura 3.5, el cual está compuesto por tres piezas:



Figura 3.5: Estructura del VANT

En la “pieza superior” se colocarán el controlador de vuelo y el computador de placa reducida. Por otro lado, se ha adicionado una plataforma a donde irá sujeta la base del motor que se vaya a seleccionar. La parte inferior de esta pieza tendrá un agujero cuadrado, de tal manera que haya una conexión con la “pieza intermedia” para el paso de cables.

La “pieza intermedia” contendrá tanto la batería como los demás componentes electrónicos. Además, será aquí donde se instalen los servomotores que accionarán los alerones. Esta pieza irá sujeta a la superior a través de cuatro tornillos en los pliegues señalados en la figura.

Finalmente, la “pieza inferior” será la tapa de la “pieza intermedia” e irá sujeta a esta mediante uniones atornilladas. Dada la forma de estos sólidos, se ha decidido que el material sea plástico ABS, de tal forma que puedan ser fabricados fácilmente en una impresora 3D. Las medidas finales serán detalladas cuando se definan los demás componentes.

3.1.2. Motor de contra-rotación (coaxial)

La selección del motor es un punto clave. De esto dependerán otros elementos mecánicos como los alerones, cuyas dimensiones deberán ser proporcionales a la envergadura total de las hélices⁵¹. Por otro lado, la estructura de protección deberá diseñarse adecuando sus dimensiones de tal manera que no toque las hélices⁵². Como se dijo antes, este motor consiste en una combinación de dos rotores alineados en un mismo eje y cuyas hélices giran en sentidos opuestos. Su selección se dará en base a dos consideraciones: El empuje máximo y sus dimensiones.

El empuje es la fuerza generada por los dos motores, la cual permite la sustentación de la aeronave en el aire. Dado que el peso máximo deseado del VANT será de 17.694 N que corresponde a los 1800 g de carga, se debe buscar un motor con un empuje mayor o igual a dicha medida⁵³. Por otro lado, las dimensiones máximas de sus hélices, no deben exceder los 50 cm x 50 cm x 50 cm especificados en la lista de exigencias. La Tabla 5.2 muestra motores de contra-rotación disponibles en el mercado.

Tabla 3.2: Motores de contra-rotación en el mercado

Marca	Modelo	Hélices ⁵⁴	Empuje máximo ⁵⁵	Largo de hélices
AEO - RC	CR28M	10x6	1610 g (15.826 N)	25.4 cm
AEO - RC	CRM2212	9x5	1642 g (16.141 N)	22.86 cm
HIMAX	CR2816	10x5	2267 g (22.284 N)	25.4 cm

⁵¹ Los fabricantes de motores aseguran el desempeño de sus dispositivos con hélices de materiales y dimensiones específicas. Por lo tanto, idealmente la selección del motor debe realizarse con las hélices recomendadas por el fabricante.

⁵² Normalmente, en el diseño mecánico se suele seleccionar el motor al final. No obstante, en este proyecto hay componentes cuyo diseño depende directamente del motor. Para el caso de los alerones, estos no se podrían diseñar antes de la selección del motor, pues eso forzaría a utilizar hélices de ciertas dimensiones y un motor con características específicas cuya fuerza de empuje no necesariamente será suficiente para levantar toda la carga.

⁵³ Tomar en cuenta que el peso máximo deseado (1.8 kg) no es lo mismo que el peso máximo requerido (3 kg).

⁵⁴ Las hélices se definen por longitud de punta a punta y paso. Por ejemplo, las hélices 10x6 tienen 10 pulgadas de punta a punta y 6 pulgadas de paso. El paso es el avance teórico por revolución.

⁵⁵ Fuerza obtenida experimentalmente por el proveedor utilizando la medida de hélice indicada.

De acuerdo a la tabla, el motor más conveniente es el HIMAX CR2816, pues presenta el mayor empuje de las tres opciones y es el único capaz de trabajar con el peso definido previamente. Por lo tanto, se elige este motor para el proyecto. Las hélices a utilizar serán las de medida 10x5.

3.1.3. Alerones

En este tipo de diseño de VANT, los alerones son utilizados para generar el cabeceo y alabeo de la aeronave. Esto se complementa con la guiñada generada por la diferencia de velocidades de los rotores. Los alerones en lados opuestos de la aeronave deberán moverse juntos hacia los mismos ángulos en todo momento⁵⁶. Las siguientes figuras esquematizan lo mencionado.

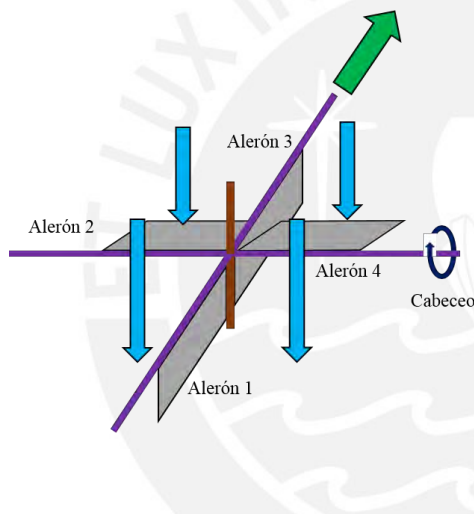


Figura 3.6: Cabeceo del VANT

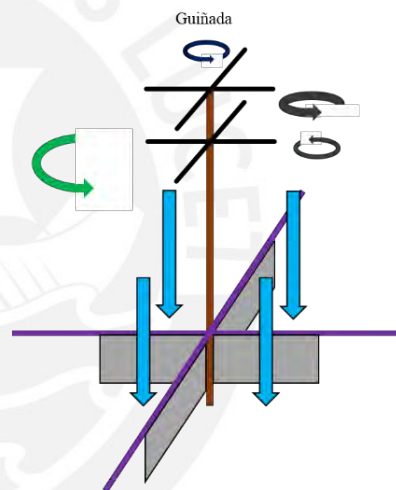


Figura 3.7: Guiñada del VANT

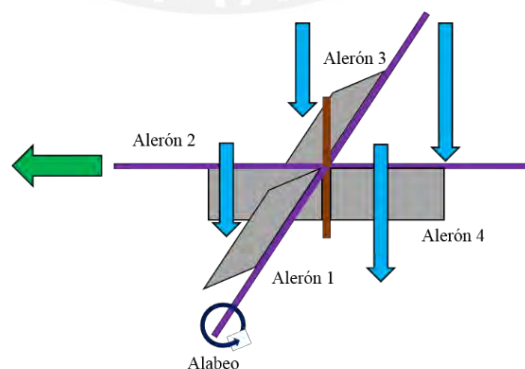


Figura 3.8: Alabeo del VANT

⁵⁶ SingleCopter and CoaxCopter, *ArduPilot*, 2016: <http://ardupilot.org/copter/docs/singlecopter-and-coaxcopter.html>

Las flechas verdes indican el sentido de movimiento y rotación del VANT según la velocidad de los rotores y ángulo de giro de los alerones. Por ejemplo, en la Figura 3.6, se asume que los rotores giran a una misma velocidad y que los alerones 2 y 4 se mueven cierto ángulo. Esto genera un cabeceo en la aeronave y los vectores de sustentación ya no son completamente verticales, sino que tienen componentes horizontales, lográndose la traslación en el sentido indicado. Se puede combinar la guiñada con el cabeceo o alabeo para la traslación en cualquier sentido.

La forma de los alerones debe ser tal que cubran parcialmente el flujo de aire de las hélices si se encuentran paralelos al plano horizontal. La Figura 3.9 esquematiza el volumen de aire generado por las hélices, mientras que la Figura 3.10 muestra la vista superior de la anterior, donde además indica el área que deberá abarcar el alerón en el cuadrante especificado.

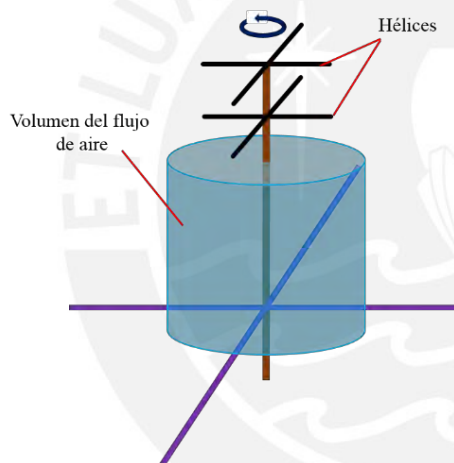


Figura 3.9: Volumen de aire generado por las hélices

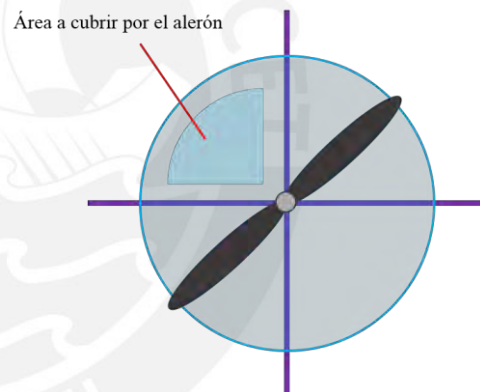


Figura 3.10: Área a cubrir por el alerón

Por lo tanto de manera ideal, los alerones deberían tener la forma de un cuarto de circunferencia. No hay una referencia fija acerca la medida del área que deben tener los alerones, en algunos diseños estos cubren parcial o totalmente el flujo del aire en el cuadrante respectivo, obteniéndose los mismos resultados. Para este VANT se cubrirán parcialmente. Por lo tanto, el diseño de los alerones queda como se muestra en la Figura 3.11.

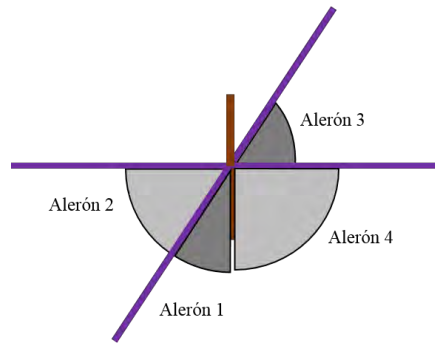


Figura 3.11: Alerones en forma de cuarto de circunferencia

Las dimensiones de los alerones deben ser menores o iguales al diámetro que ocupan las hélices de la aeronave. En la Figura 3.12 se esquematiza esta relación y se proponen las medidas.

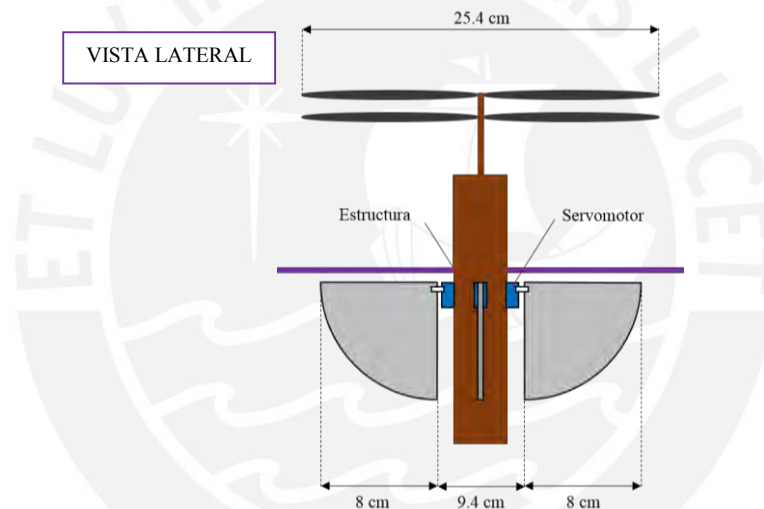


Figura 3.12: Dimensiones de alerones

Como se observa en la Figura 3.12, los servomotores que accionarán los alerones irán sujetos en la estructura del VANT. La forma en que los alerones estarán articulados se tocará a detalle más adelante, cuando los servomotores sean seleccionados. En la imagen se propone que los alerones sean cuartos de circunferencia de 8 cm de radio. Esto deja un espacio de 9.4 cm para la estructura y los servomotores. El material de estos será ABS, de tal manera que puedan ser fácilmente fabricados en una impresora 3D. Además, su espesor será de 2 mm para aliviar su peso. La densidad promedio del plástico ABS es de $1.04 \frac{g}{cm^3}$ ⁵⁷ y se asume una gravedad (g) de $9.83 \frac{m}{s^2}$. Por tanto la masa del alerón es:

⁵⁷ ABS Material Datasheet, *Test Standard Labs*, 2014: http://www.teststandard.com/data_sheets/ABS_Data_sheet.pdf

$$M_{ALERON} = \frac{\pi r^2}{4} \times e \times \delta \quad (3.2)$$

$$\frac{\pi \times 8^2}{4} \times 0.2 \times 1.04 = 10.45 \text{ g} = 0.01045 \text{ kg}$$

- r : radio de los alerones
- e : espesor de los alerones
- δ : densidad promedio del ABS

Finalmente se obtiene su peso:

$$P_{ALERON} = M_{ALERON} \times g \quad (3.3)$$

$$0.01045 \text{ kg} \times 9.83 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 0.10 \text{ N}$$

3.1.4. Servomotores

Los servomotores serán utilizados para accionar los alerones del VANT. Estos deben ser seleccionados en base a la fuerza que deban ejercer. Como se mencionó previamente, el motor de contra-rotación es capaz de generar una fuerza de sustentación máxima de 22.284 N. Esta magnitud se divide entre los 4 cuadrantes de la aeronave, donde irán colocados los alerones. La Figura 3.13 esquematiza esta idea.

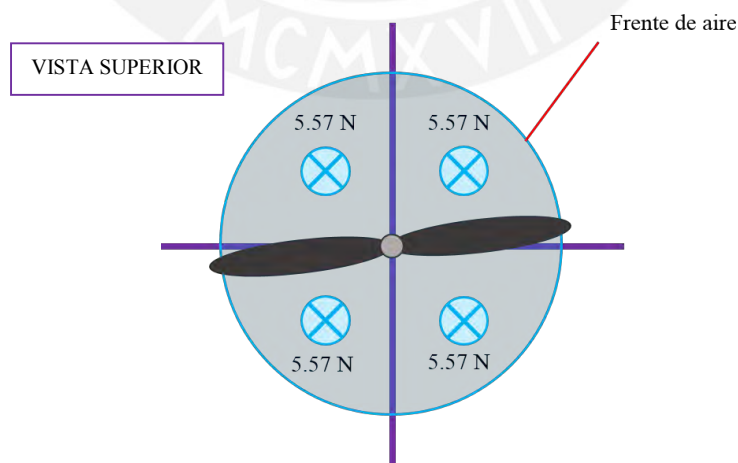


Figura 3.13: Fuerzas por cuadrante

Como se observa, cada cuadrante estará soportando uno de los vectores de fuerza del motor equivalentes a 5.57 N ($22.248 \text{ N} \div 4 \text{ cuadrantes} = 5.57 \text{ N/cuadrante}$). El diámetro (D) de las hélices seleccionadas es de 25.4 cm. Por lo tanto, el frente de aire tendrá un área de:

$$A_{TOTAL} = \pi \times \frac{D^2}{4} \quad (3.4)$$

$$A_{TOTAL} = \pi \times \frac{25.4^2}{4} = 506.71 \text{ cm}^2$$

Entonces, la presión en cada uno de los cuadrantes será de:

$$P_{CUADRANTE} = \frac{F_{CUADRANTE}}{\frac{A_{TOTAL}}{4}} \quad (3.5)$$

$$P_{CUADRANTE} = \frac{5.57 \text{ N}}{\frac{506.71 \text{ cm}^2}{4}} = 4.39 \times 10^{-2} \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$$

Esta presión será ejercida en los alerones, generándose la máxima fuerza cuando estos estén perpendiculares al flujo de aire. En el apartado anterior se definió que cada alerón será un cuarto de circunferencia de 8 cm de radio. Por tanto su área lateral será de:

$$A_{ALERÓN} = \frac{\pi \times r^2}{4} \quad (3.6)$$

$$A_{ALERÓN} = \frac{\pi \times 8^2}{4} = 50.27 \text{ cm}^2$$

Por lo tanto, la fuerza máxima generada sobre el alerón es:

$$F_{MAX} = P_{CUADRANTE} \times A_{ALERÓN} \quad (3.7)$$

$$F_{MAX} = 4.39 \times 10^{-2} \frac{\text{N}}{\text{cm}^2} \times 50.27 \text{ cm}^2 = 2.2 \text{ N}$$

La Figura 3.14 esquematiza la aplicación de esta fuerza máxima en el alerón, la cual se representa como un vector entrante en su centroide. La distancia “a” es el brazo de palanca que experimentará el servomotor cuando se ejerza esta fuerza.

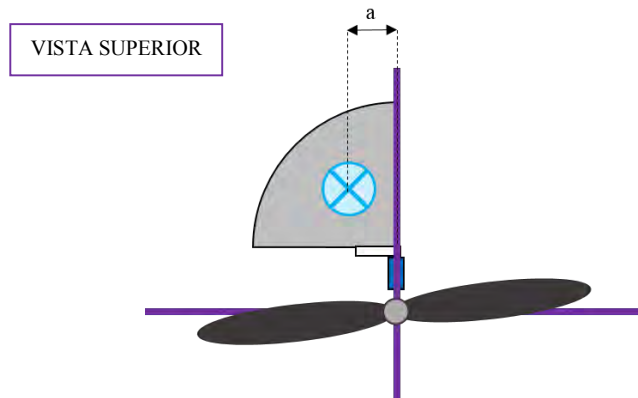


Figura 3.14: Fuerza ejercida sobre el alerón

Entonces se calcula la distancia “a” con la siguiente fórmula [HIBBELER, 2006]:

$$a = \frac{4R}{3\pi} \quad (3.8)$$

$$a = \frac{4 \times 8}{3 \times \pi} = 3.395 \text{ cm}$$

Finalmente se calcula el torque máximo que experimentará el servomotor a seleccionar, donde también se incluirá el peso del alerón previamente hallado:

$$T_{MAX} = (F_{MAX} + P_{ALERON}) \times a \quad (3.9)$$

$$T_{MAX} = (2.2 \text{ N} + 0.1 \text{ N}) \times 3.395 \text{ cm} = 7.81 \text{ N} \cdot \text{cm}$$

$$T_{MAX} = 0.79 \text{ kg} \cdot \text{f} \cdot \text{cm}$$

Si se toma en cuenta un factor de seguridad de 2, el torque necesario pasaría a ser $1.58 \text{ kg} \cdot \text{f} \cdot \text{cm}$. Con este dato se pasa a determinar la marca de servomotor a utilizar para el proyecto, el cual debe tener un torque máximo mayor al obtenido. Igualmente se tomará como criterio de elección al peso del dispositivo, ya que es importante para este trabajo seleccionar elementos livianos. A continuación se presentan algunas opciones disponibles en el mercado:

Tabla 3.3: Servomotores en el mercado

Marca	Modelo	Torque máximo ($kg \cdot F \cdot cm$)	Peso (g)
Turnigy	TG9E	1.5	9
Tower-Pro	SG90	1.8	9
Tower-Pro	MSG90	1.8	13.4

La mejor opción en cuanto a torque y peso es la del Tower-Pro SG90, por lo que se elige este servomotor.

3.1.5. Estructura de protección

Para proteger al VANT y a su entorno de posibles colisiones con las hélices y un consecuente daño material o físico, se ha dispuesto crear un recubrimiento de protección para el dron utilizando una esfera geodésica. Esta estructura está compuesta por dos partes. La primera es un armazón circular que irá sujetado al VANT y que servirá como sostén para la segunda estructura que es un dodecaedro de Pentakis.

i. Armazón circular

El armazón deberá ir unido a la estructura del VANT, por lo tanto, se debe optar por un diseño capaz de ser ensamblado fácilmente a esta. Se propone la configuración de la Figura 3.15 que consiste en un armazón conformado por dos medias circunferencias, una de ellas con una barra adicional para posicionar la estructura.

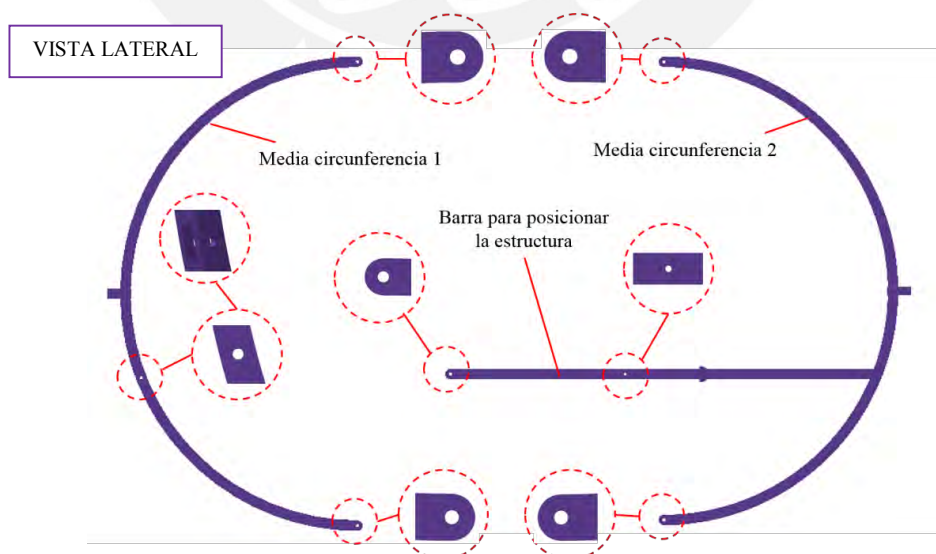


Figura 3.15: Armazón circular

Ambas están unidas por medio de uniones atornilladas en 3 puntos. La Figura 3.16 muestra el armazón ensamblado haciendo énfasis en los detalles más importantes.

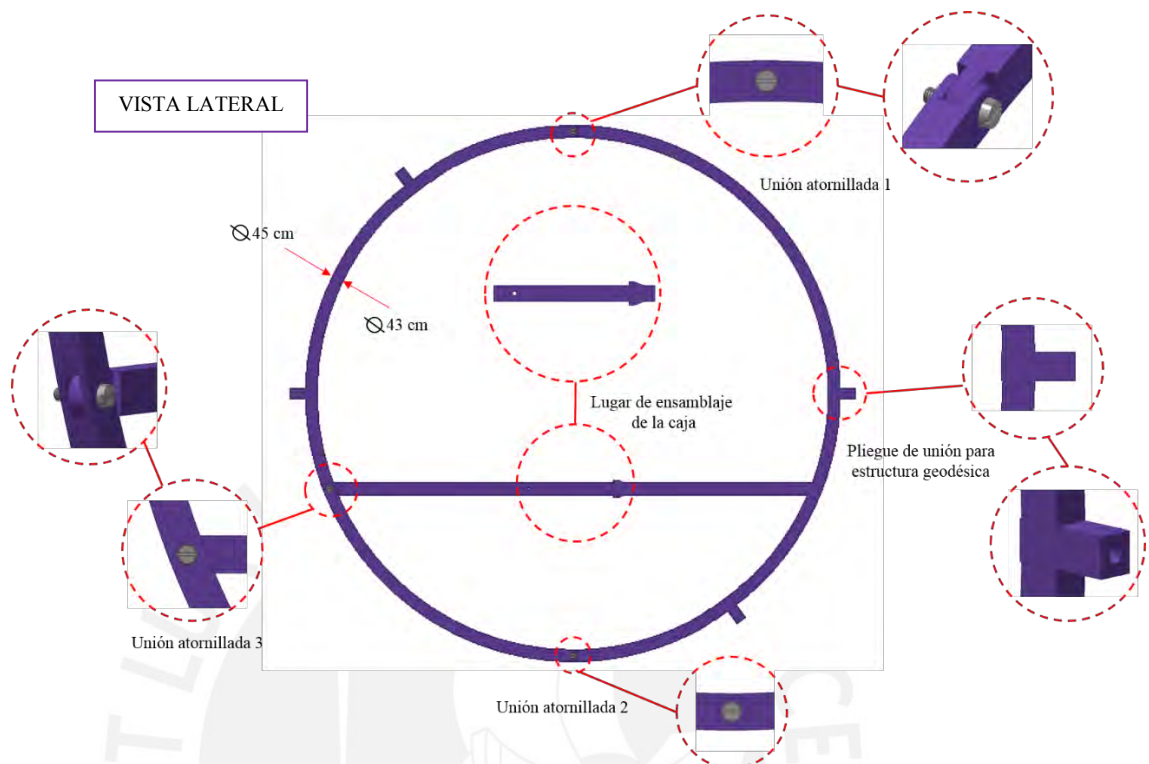


Figura 3.16: Armazón circular señalado

El diámetro del armazón debe ser mayor a la envergadura de las hélices (25.4 cm) y menor a las dimensiones máximas permitidas del dron (50 x 50 x 50 cm) Considerando que este armazón servirá como articulación para la estructura geodésica, se selecciona un diámetro de 45 cm, dejando 5 cm con respecto a las dimensiones máximas permitidas para adaptarla. La estructura geodésica irá unida a este armazón por medio de uniones atornilladas en los pliegues que se muestran en la imagen. Se ha dispuesto que el material del armazón sea plástico ABS, por su facilidad de fabricación en una impresora 3D. Además tendrá 8 mm de espesor.

ii. Estructura geodésica: Dodecaedro de Pentakis

El dodecaedro de Pentakis es una estructura matemática de 3 dimensiones compuesta por 60 caras de triángulos isósceles, las cuales forman ángulos de aproximadamente 156° entre sí⁵⁸.

⁵⁸ Pentakis dodecahedron, *Revolvy*, 2017: <https://www.revolvy.com/page/Pentakis-dodecahedron>



Figura 3.17: Dodecaedro de Pentakis⁵²

En la Figura 3.19 se puede observar esta estructura. Posee 90 aristas dos tipos (los cuales se denominarán A y B), unidos en 32 vértices en total. Las aristas A son 12.7% más largas que las B⁵⁹. Además, hay vértices que unen 6 y otros que unen 5 aristas.

La esfera geodésica irá articulada al armazón propuesto en el apartado previo, por lo que su dimensionamiento deberá realizarse de acuerdo al diámetro definido para aquella pieza (45 cm). Para las aristas de la esfera se utilizarán varillas de fibra de carbono de 3 mm, material comercial y que permitirá que el ensamble de esta estructura sea muy liviano, flexible y altamente resistente. Estas varillas irán unidas a mediante juntas. El número de elementos y sus medidas se detallan en la Figura 3.19. Las dimensiones a mostrar a continuación permitirán armar una estructura que se ajuste a las medidas del armazón previamente definidas.



Figura 3.18: Varillas y juntas

⁵⁹ Geodesic Polyhedra: Geodesic Pentakis Dodecahedron, *Simply Differently*, 2012: https://simplydifferently.org/Geodesic_Polyhedra?page=18

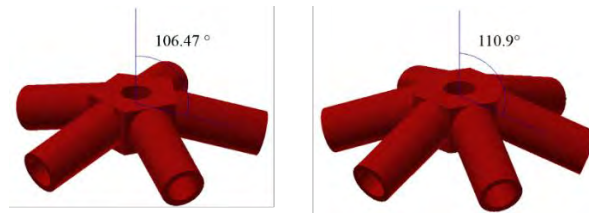


Figura 3.19: Ángulos de juntas

Por lo tanto serán necesarios 5832 mm de varilla de fibra de carbono. Dichos elementos son comercializados en tamaños estandarizados, por lo tanto será necesario realizarles un proceso de corte, como se describirá más adelante. La siguiente tabla muestra algunas opciones de varillas de 3 mm de diámetro en el mercado:

Tabla 3.4: Varillas de fibra de carbono de 3 mm disponibles en el mercado

Marca	Largo	Volumen
RMRC	1000 mm	Sólido
HobbyKing	750 mm	Hueco (Ø 2mm)
EasyComposites	1000 mm	Sólido

Según la tabla, las varillas de HobbyKing tienen la ventaja de ser huecas y por lo tanto, de pesar menos. Como se ha mencionado previamente, elegir los elementos con el menor peso posible repercutirá en un mayor tiempo de vuelo del VANT. Por lo tanto, seleccionamos esta marca.

Las juntas no son estandarizadas, por lo que se deberán fabricar en material ABS y en una impresora 3D considerando los ángulos de la Figura 3.20 (cada junta tendrá un peso muy cercano a 1 g). Cada triángulo deberá estar conformado por dos varillas tipo B, 1 varilla tipo A, dos juntas de 6 y una junta de 5. Siguiendo este patrón se forma la estructura geodésica de la Figura 3.21. Con las medidas presentadas se generará un dodecaedro de 48.4 cm de diámetro, lo suficiente para cubrir todo el VANT. El peso total de la estructura se calcula a continuación (se considera una densidad de $1.7 \frac{g}{cm^3}$ para la fibra de carbono⁶⁰):

$$P_{estructura} = 30 \times P_{varilla A} + 60 \times P_{varilla B} + 32 \times P_{juntas} \quad (3.10)$$

⁶⁰ Properties of Carbon Fiber, Clearwater Composites LLC, s/f: <https://www.clearwatercomposites.com/resources/properties-of-carbon-fiber/>

$$P_{\text{varilla}_A} = \pi \times 16.5 \text{ cm} \times (0.15^2 \text{ cm}^2 - 0.1^2 \text{ cm}^2) \times 1.7 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 1.10 \text{ g}$$

$$P_{\text{varilla}_B} = \pi \times 14.7 \text{ cm} \times (0.15^2 \text{ cm}^2 - 0.1^2 \text{ cm}^2) \times 1.7 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 0.98 \text{ g}$$

$$P_{\text{juntas}} = 1 \text{ g}$$

$$P_{\text{estructura}} = 123.8 \text{ g}$$

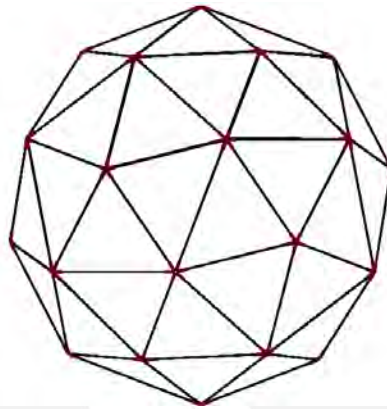


Figura 3.20: Estructura geodésica armada

Esta estructura irá ensamblada al armazón circular por medio de 4 uniones atornilladas como la que se observa en la Figura 3.22.

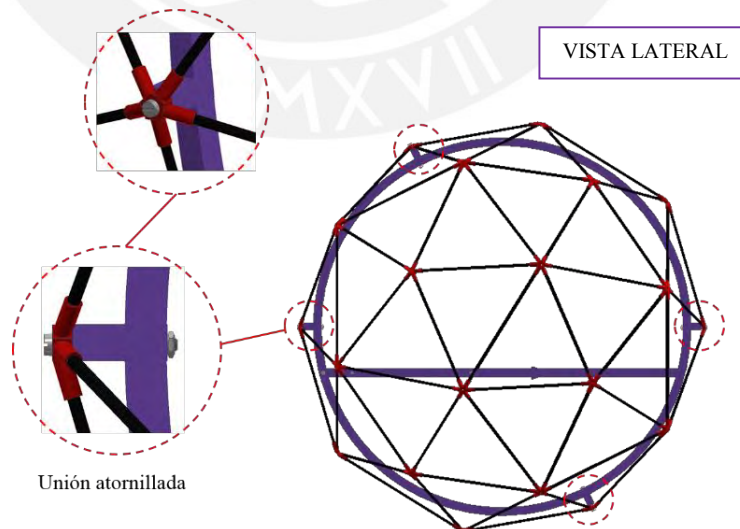


Figura 3.21: Estructura de protección

3.2. Ensamble y dimensionamiento complementario

En este apartado se trabajará el ensamble de los componentes mecánicos diseñados y seleccionados. Además, se realizará el dimensionamiento complementario de estas piezas.

El primer elemento a ensamblar es la estructura que, como se mencionó antes, está conformada por tres piezas que irán unidas por uniones atornilladas, como se observa en la Figura 3.23.

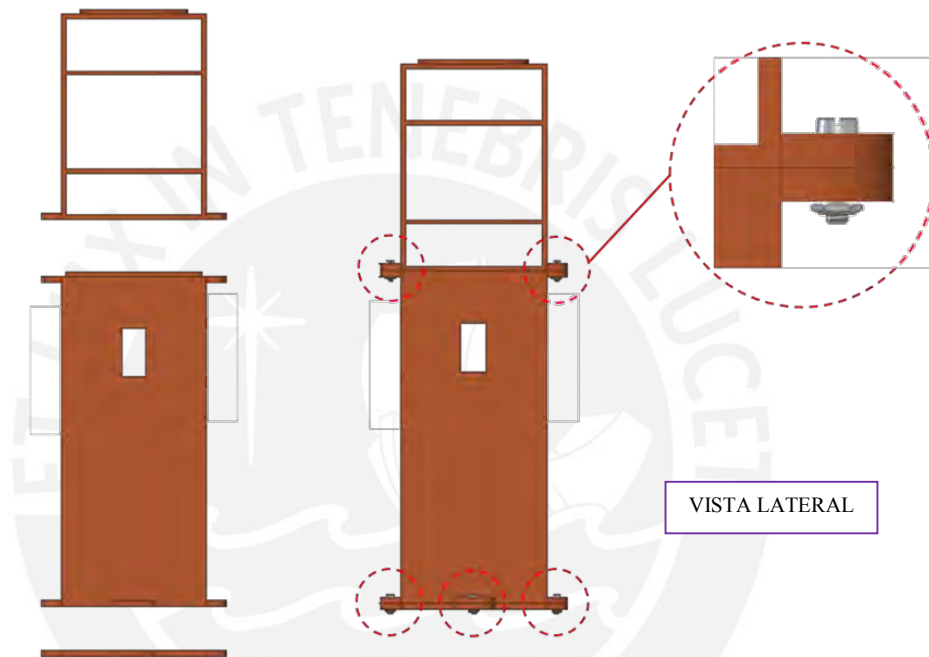


Figura 3.22: Ensamble de la estructura

Luego, se presenta el ensamble del motor. Para ello, se ha adaptado un pliegue circular de 2 mm de espesor sobre la pieza superior de la estructura con las mismas medidas de la base del motor, lo cual permitirá instalarlo.

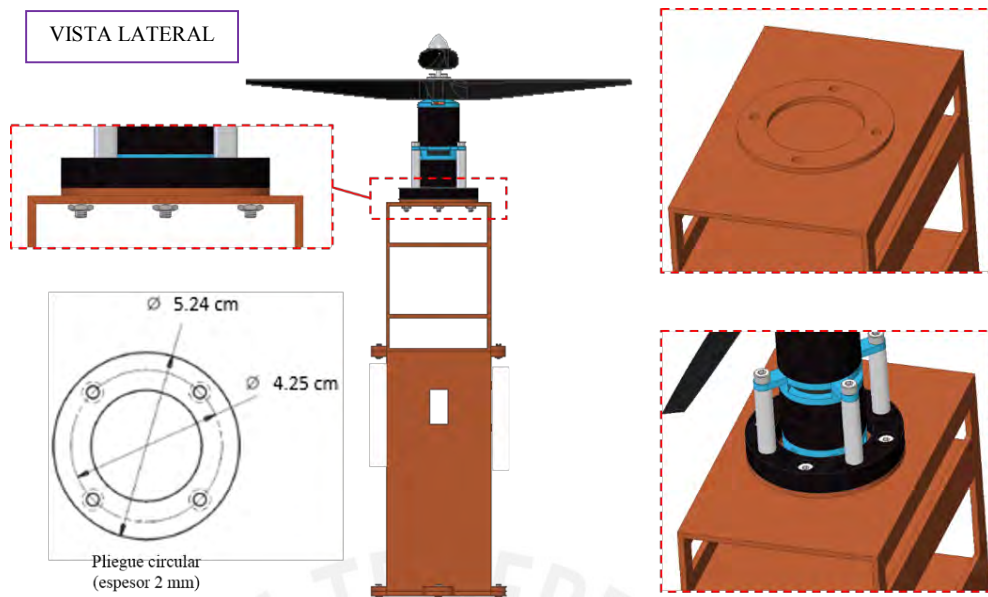


Figura 3.23: Ensamble del motor y la estructura

Por otra parte, es importante mostrar como irán ensamblados los alerones a los servomotores. Para ello, se realizará una modificación a los alerones que consistirá en agregarles un pliegue con dos agujeros, tal y como se ve en la Figura 3.25. Igualmente, se incluirán acoples de material ABS para poder articular los alerones a los servomotores y que serán fabricados en una impresora 3D.

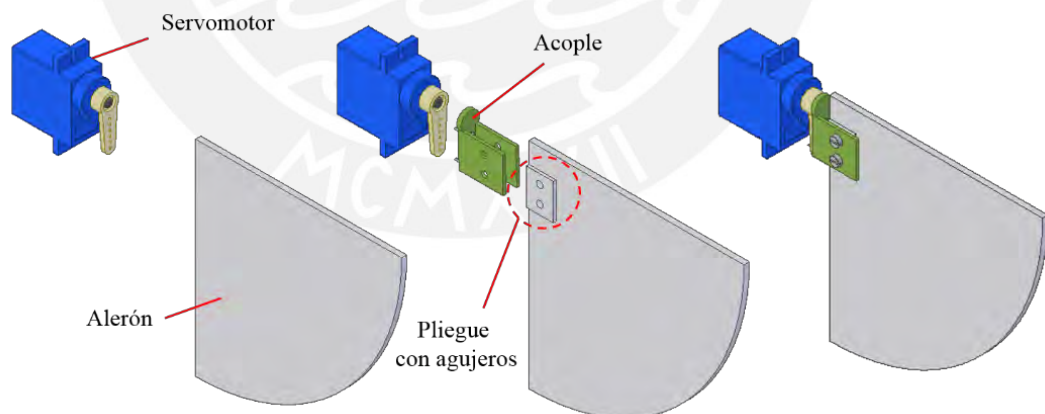


Figura 3.24: Ensamble de alerones a servomotores

De manera similar, se debe definir el ensamble de los servomotores a la estructura, a cuyo diseño se le agregará unos pliegues con agujeros tal y como se observa en la Figura 3.26.

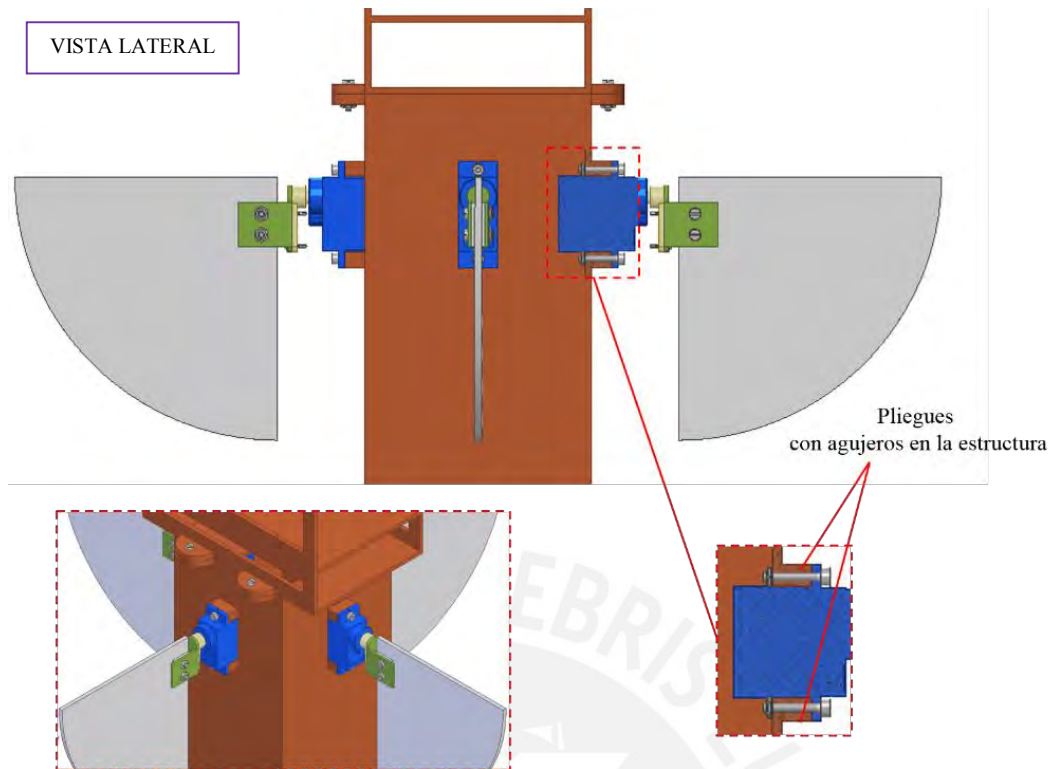


Figura 3.25: Ensamble de los servomotores a la estructura

Por otra parte, para ensamblar el armazón de protección a la estructura, se realiza una pequeña modificación en la segunda, tal y como se observa en la Figura 3.17.

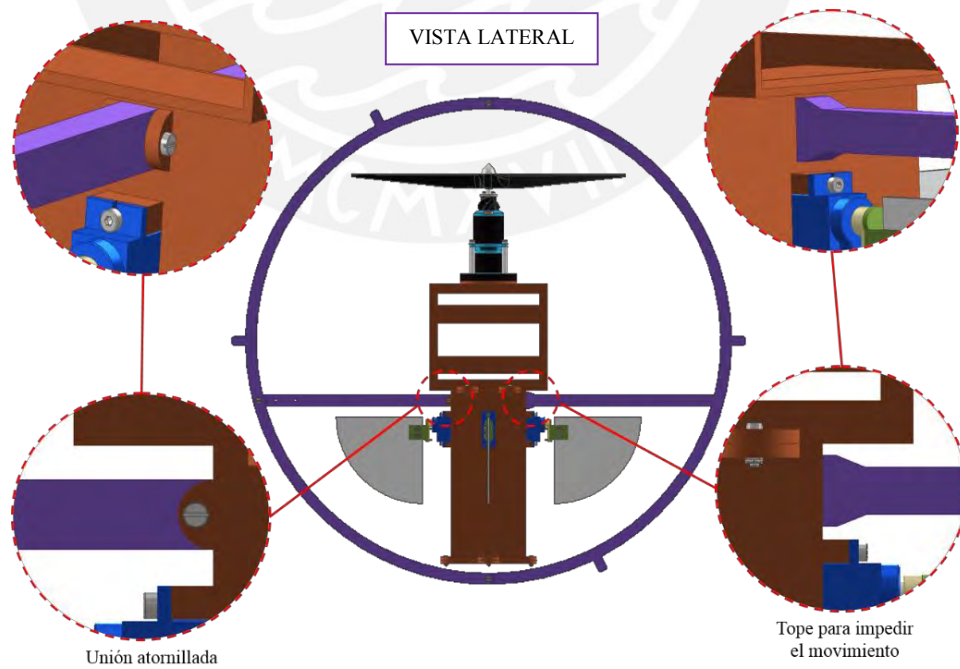


Figura 3.26: Ensamble del armazón en la estructura

Finalmente, se presenta el ensamble de la estructura geodésica, tal y como se explicó en el apartado previo. Esta se sostiene por medio de uniones atornilladas al armazón.

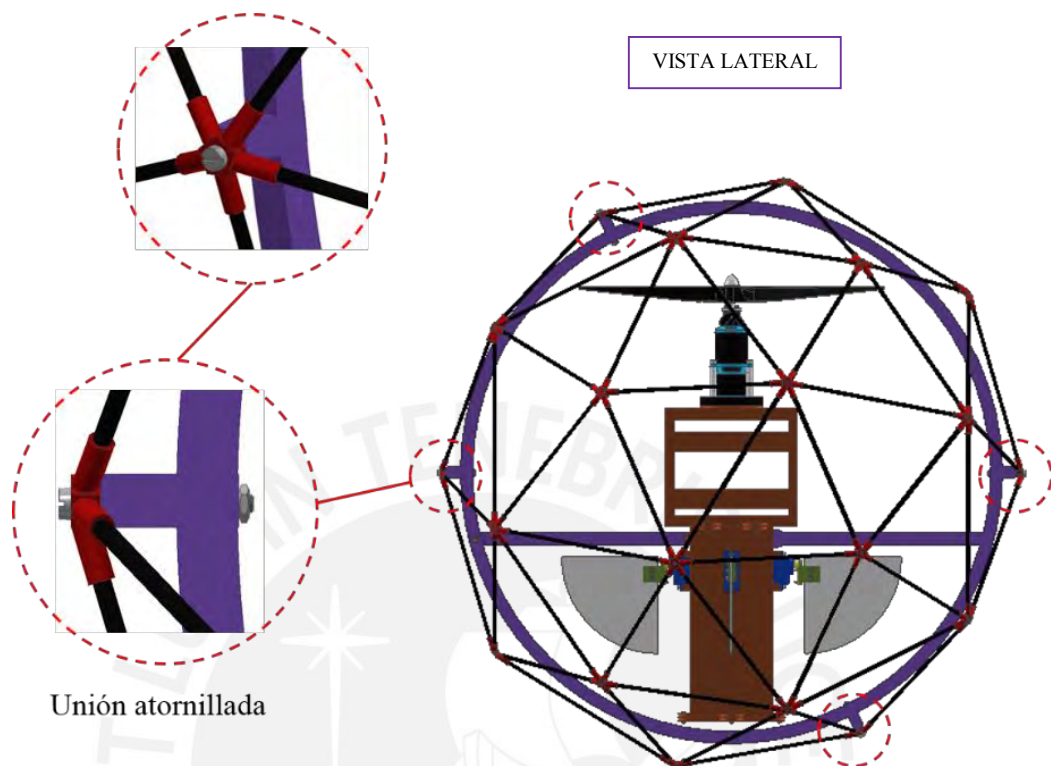


Figura 3.27: Ensamble de estructura geodésica a armazón

Hasta este punto se tienen las características geométricas y físicas generales de los componentes mecánicos y como es la interacción entre ellos. No obstante, cuando se seleccionen los componentes electrónico/eléctricos y de control, algunas piezas estructurales tendrán ciertas variaciones, por lo cual, las dimensiones detalladas de los componentes mecánicos se presentarán más adelante en los planos.

3.3. Procesos de fabricación

Como se vio previamente, muchas de las partes del VANT son no estandarizadas. A continuación se presenta una lista de los elementos fabricar y/o manufacturar para su implementación:

Tabla 3.5: Procesos de fabricación y manufactura

Nombre de parte	Proceso de fabricación	Proceso de manufactura
Sujeción de alerón	Impresión 3D	-
Alerón	Impresión 3D	-
Armazón 1	Impresión 3D	-
Armazón 2	Impresión 3D	-
Acoplamiento para sensores 1	Impresión 3D	-
Acoplamiento para sensores 2	Impresión 3D	-
Pieza intermedia	Impresión 3D	-
Pieza superior	Impresión 3D	-
Pieza inferior	Impresión 3D	-
Junta de 5 varillas	Impresión 3D	-
Junta de 6 varillas	Impresión 3D	-
Varilla A	-	Corte
Varilla B	-	Corte

Las varillas a utilizar vienen en unidades de 750 mm. Para el proyecto se necesitan 30 de 165 mm y 60 de 147 mm. La opción óptima es cortar 12 varillas de 750 mm en cinco partes de 147 mm cada una, lo que nos daría las 60 varillas tipo B. Luego se deberá cortar 8 varillas de 750 mm en 4 partes de 165 mm cada una. Dado que la sección transversal de estas varillas es muy pequeña, los cortes se podrán realizar fácilmente con una amoladora. Adicionalmente, será necesario cambiar los conectores de ambas baterías por un “plugs” del tipo XT60 para poder conectarlas a los demás dispositivos.

CAPÍTULO 4

DISEÑO DEL CONTROL Y LA ELECTRÓNICA/ELECTRICA

En este capítulo se elegirán los dispositivos para el control de la aeronave, los componentes electrónicos a utilizar y se realizarán los cálculos respectivos. La Figura 4.1 corresponde a un esquema de operación del VANT, la selección de los componentes y dispositivos en esta sección permitirán llegar a esto.

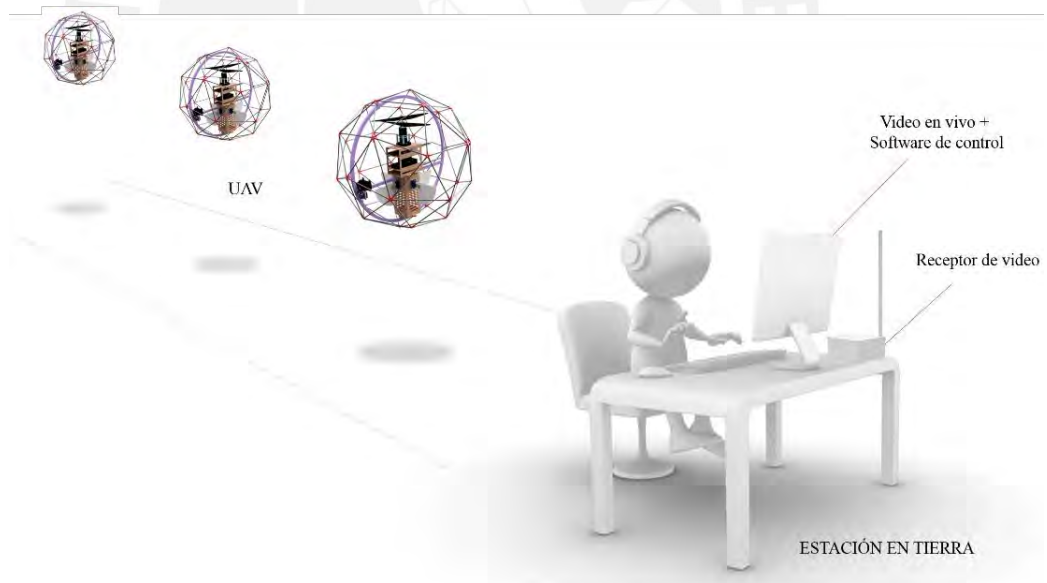


Figura 4.1: Esquema de operación

4.1. Diseño del control

En las siguientes líneas se determinará el hardware y software necesarios para el control del VANT. Para ello, será necesario establecer las variables a ser controladas en la aeronave.

En el diseño mecánico se estableció que la traslación del dron se realizaría de acuerdo a velocidad del motor de contra rotación y la posición de los alerones, los cuales son accionados por los servomotores. Por lo tanto, el sistema control del VANT debe tener la capacidad de manipular las variables de velocidad de motor y posición de servomotores y así controlar la variable de trayectoria de vuelo de la aeronave. A continuación se seleccionarán los dispositivos necesarios para lograrlo.

4.1.1. Controlador de vuelo

La estabilización de la aeronave y el accionamiento tanto los rotores como de los servomotores se logrará mediante el uso de un controlador de vuelo. Este dispositivo programable especializado para aeronaves, permitirá regular las variables de velocidad y posición del motor y los servomotores respectivamente. En la sección del estado del arte se muestra una tabla con las marcas de controladores que tienen mayor aceptación para aeromodelistas. Esta tabla se muestra a continuación:

Tabla 4.1: Controladores de vuelo más utilizados

Concepto	Pixhawk 2 Cube	NAZA-M V2
Tamaño	44.3 x 94.5 x 31.5 mm	45.5 x 32.5 x 18.5mm
Peso	75 g	27 g
Código abierto	Sí	No
Capacidad I/O	Mayor	Menor
Fuentes de información y documentación	Múltiples	Limitadas

En general, la capacidad y características técnicas de ambos controladores son parecidas, sin embargo hay consideraciones decisivas que deben ser tomadas en cuenta para la selección final. Lo primero es comprender que el desarrollo de drones implica muchas operaciones de prueba y error hasta conseguir el objetivo deseado. Dicho esto, es fundamental que el controlador a utilizar tenga la mayor documentación y recursos en línea disponibles, pues es ahí donde se pueden recoger aplicaciones y experiencias de otros usuarios. El controlador Pixhawk tiene miles de recursos y documentación en internet, muchas más que el Naza.

Por otro lado, dado que en este proyecto se utilizará una configuración de rotores coaxiales, es necesario contar con un controlador que se pueda adecuar a este modo de operación. Una de las características del Pixhawk es que es de código abierto (open source), por lo que presenta mucha flexibilidad y versatilidad para distintas aplicaciones. El Naza, por

el contrario, no es de código abierto, por lo que solo acepta configuraciones determinadas en las que no está incluida la que se propone en este trabajo (configuración de hélices coaxiales).

Finalmente se selecciona el Pixhawk 2 para utilizar en este proyecto. Según sus especificaciones electrónico/eléctricas, el voltaje de alimentación de este dispositivo deberá ser de 5.3 V y su corriente máxima no deberá exceder los 2.5 mA⁶¹.

4.1.2. Software para la estación en tierra

El controlador Pixhawk es compatible con múltiples softwares de estación en tierra, desde donde se programa y configura remotamente el vuelo del VANT. Para la selección del programa se tomará en cuenta una característica fundamental de este proyecto: la disposición coaxial de sus hélices. Esto es muy importante pues no todos los softwares están adaptados para este tipo de configuración⁶². Dentro de las opciones compatibles con Pixhawk, aquella que se adapta perfectamente a la configuración de las hélices del dron es el software Mission Planner. Este programa permite monitorear el estado del VANT durante su operación y tiene una interfaz para PC donde muestra los parámetros de vuelo de la aeronave tales como, velocidad, inclinación, posición, batería restante, etc. Además el programa posee una ventana que permite visualizar en vivo la señal de video captada por la cámara instalada en el dron. Puede ser utilizado desde los sistemas operativos Windows o Mac OS⁶³. Por lo tanto, se selecciona este software para la presente tesis.

4.1.3. Computador de placa reducida

La comunicación del controlador con el software de estación en tierra requiere de un dispositivo adicional. En este caso, se desea que la comunicación sea a través de una red celular y por lo tanto, se usará un computador de placa reducida. Este se encargará del intercambio de información de telemetría y control entre el Pixhawk y la estación en tierra. Para su selección es importante analizar si existe en la documentación de Mission Planner una configuración para la comunicación tierra - VANT que incluya al computador. Además se estudiará el consumo de energía de los computadores disponibles, eligiendo preferentemente el de menor consumo. En la siguiente tabla se muestran algunas opciones del mercado:

⁶¹ Máxima corriente que puede circular por el controlador. 250mA para la operación del controlador y hasta 2.5 A para los periféricos.

⁶² La mayoría de softwares están adaptados para trabajar con configuraciones de multicopteros.

⁶³ Mission Planner Overview, *Mission Planner*, 2016: <http://ardupilot.org/planner/docs/mission-planner-overview.html>

Tabla 4.2: Computadores de placa reducida disponibles en el mercado

Especificación	Marca/Modelo		
	Raspberry Pi 3 B	Odroid-XU4	NVIDIA TX1
Configuración en Mission Planner	Si	Si	Si
Dimensiones	85.60 x 56 x 21mm	83 x 58 x 20 mm	50 x 110 x 16 mm
Peso	45 g	38 g	75 g
Consumo de voltaje	5 V	5V	12 V
Corriente de fuente ⁶⁴	2.5 A	4 A	3 A

Se observa que la mejor opción en cuanto a consumo de energía es la del Raspberry Pi 3 B. En cuanto al peso, si bien el Raspberry Pi es más pesado que el Odroid, la diferencia es muy pequeña. En cuanto a dimensiones, el NVIDIA es más grande que las otras dos opciones, cuyos tamaños son similares. Por lo expuesto, el mejor computador de placa reducida para el proyecto es el Raspberry Pi 3 B y, por lo tanto, es el que se selecciona.

4.1.4. Integración del sistema de control

Conocidos los dispositivos y software de control de la aeronave, será necesario realizar una descripción de su integración. El VANT será controlado desde una estación en tierra que consistirá de una laptop o PC, a la cual estará conectado un receptor de video. Como se mencionó previamente, el software a utilizar será Mission Planner. A continuación se describirá detalladamente su configuración y los métodos de comunicación necesarios para el control desde tierra.

Mission Planner cuenta con una configuración especial para el tipo de VANT que se propone en este proyecto, la cual es semejante a la de un cuadcóptero, aunque con ciertas modificaciones⁶⁵. Los pasos para la configuración se encuentran detallados en el ANEXO E.

La comunicación de la estación en tierra al VANT para el intercambio de comandos e información de control y telemetría está dividida en dos etapas y sujeta a diferentes protocolos. La siguiente imagen esquematiza esto:

⁶⁴ Recomendado por fabricante.

⁶⁵ SingleCopter and CoaxCopter, *Ardupilot Dev. Team*, 2016: <http://ardupilot.org/copter/docs/singlecopter-and-coaxcopter.html>

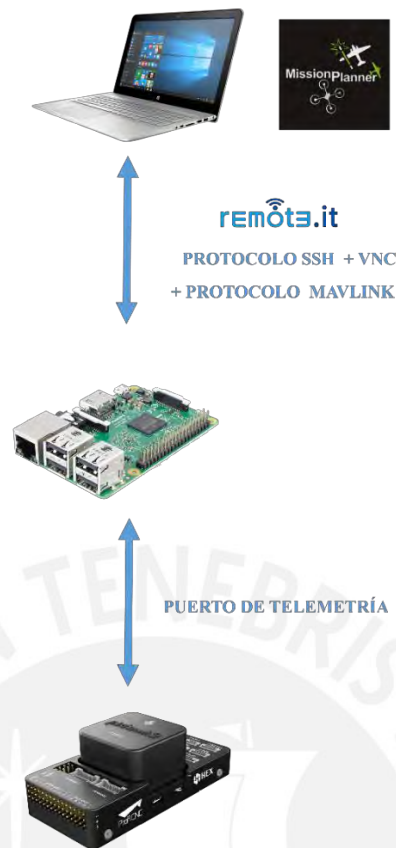


Figura 4.2: Esquema de comunicación 4G

En la comunicación entre el Raspberry Pi y la laptop se utiliza el protocolo SSH (Secure Shell), el cual permite acceder a la ventana de comandos del computador de placa reducida directamente desde el ordenador y sin la necesidad de conectarle una pantalla o un teclado. Sin embargo, dado que el Raspberry Pi estará conectado a una red diferente a la de la laptop (4G y Wi-Fi respectivamente), será necesario crear un puente, para lo cual utilizaremos el servicio de la web Remot3⁶⁶. Por otro lado, para poder visualizar la interfaz gráfica de la placa en la laptop, se utilizará el programa VNC, para lo cual habrá que crear nuevamente un puente con Remot3. Finalmente, para utilizar el Raspberry Pi como vía de comunicación entre el Pixhawk y el software en tierra, se deberá utilizar el protocolo Mavlink, el cual permitirá enviar y recibir los comandos de telemetría y control de tierra – VANT. Igualmente, será necesario crear un puente desde la web Remot3.

La segunda etapa corresponde a la comunicación entre el Raspberry Pi y el Pixhawk. Para ello se conectan los puertos de transmisión y recepción (TX y RX) de la placa a uno de los

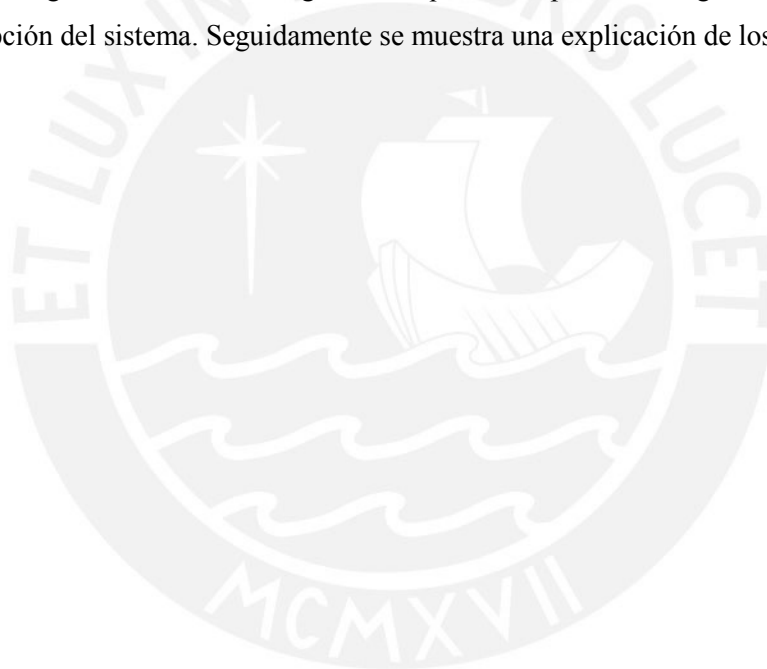
⁶⁶ Remote3.it for Raspberry Pi, *Remot3.it*, 2017: <https://www.remot3.it/web/remot3-it-connect-for-raspberry-pi.html>

puertos de telemetría del controlador de vuelo. A través de esta conexión es que se enviarán y recibirán los comandos Mavlink.

4.1.5. Diagramas de flujo

La representación gráfica de la estrategia de control del VANT o simplemente diagrama de flujo se presenta en este apartado. Este está compuesto por un programa principal y una rutina de interrupción. Estos diagramas deberán ser utilizados como pauta para programar la secuencia de control de la aeronave en Mission Planner.

El diagrama de la Figura 4.3 corresponde al programa de control principal de la aeronave. Este será el algoritmo central y al cual el sistema accederá primero para realizar cualquier rutina. Luego se muestra la Figura 4.4 que corresponde al algoritmo de la rutina de interrupción del sistema. Seguidamente se muestra una explicación de los diagramas.



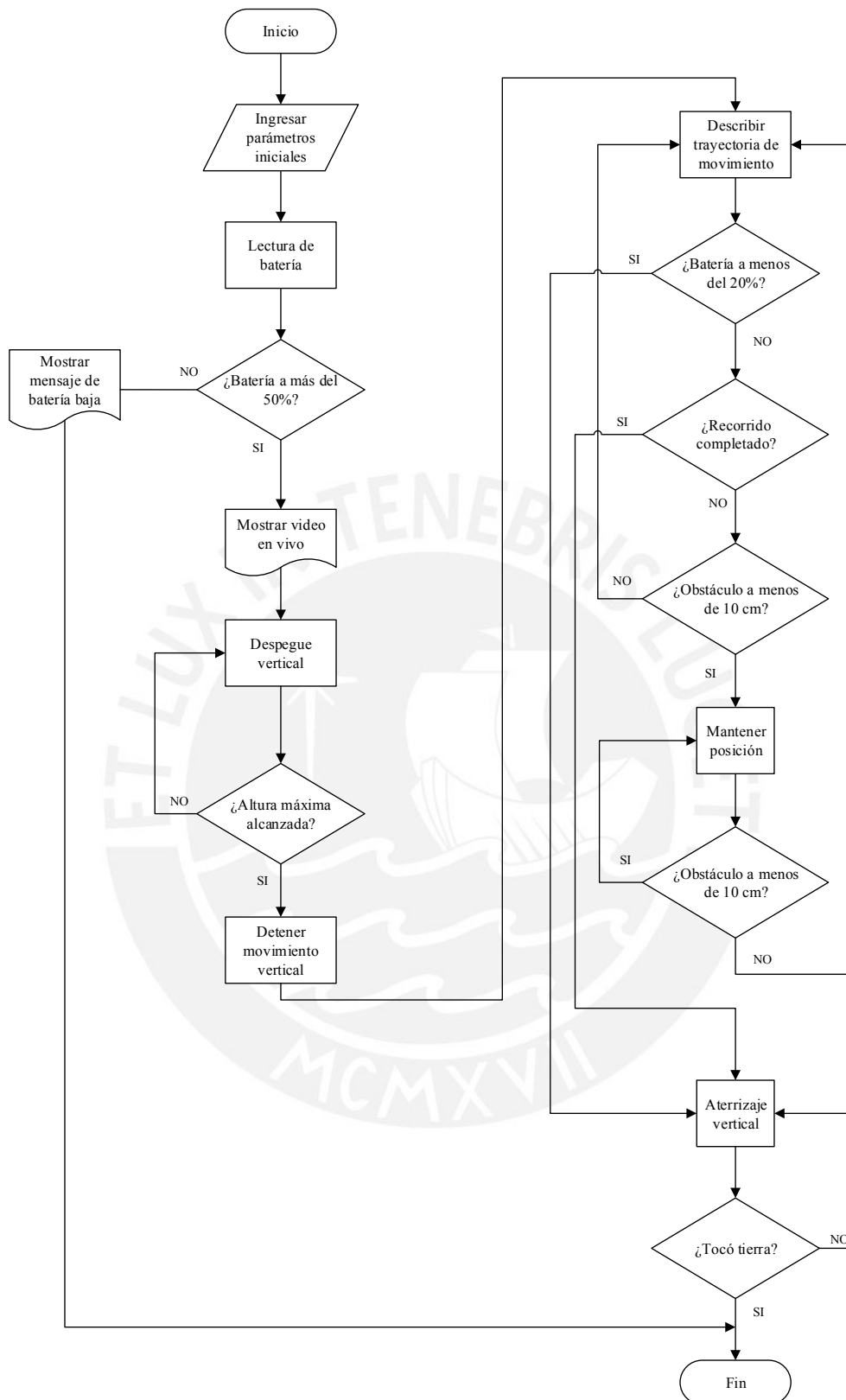


Figura 4.3: Diagrama de flujo del programa principal

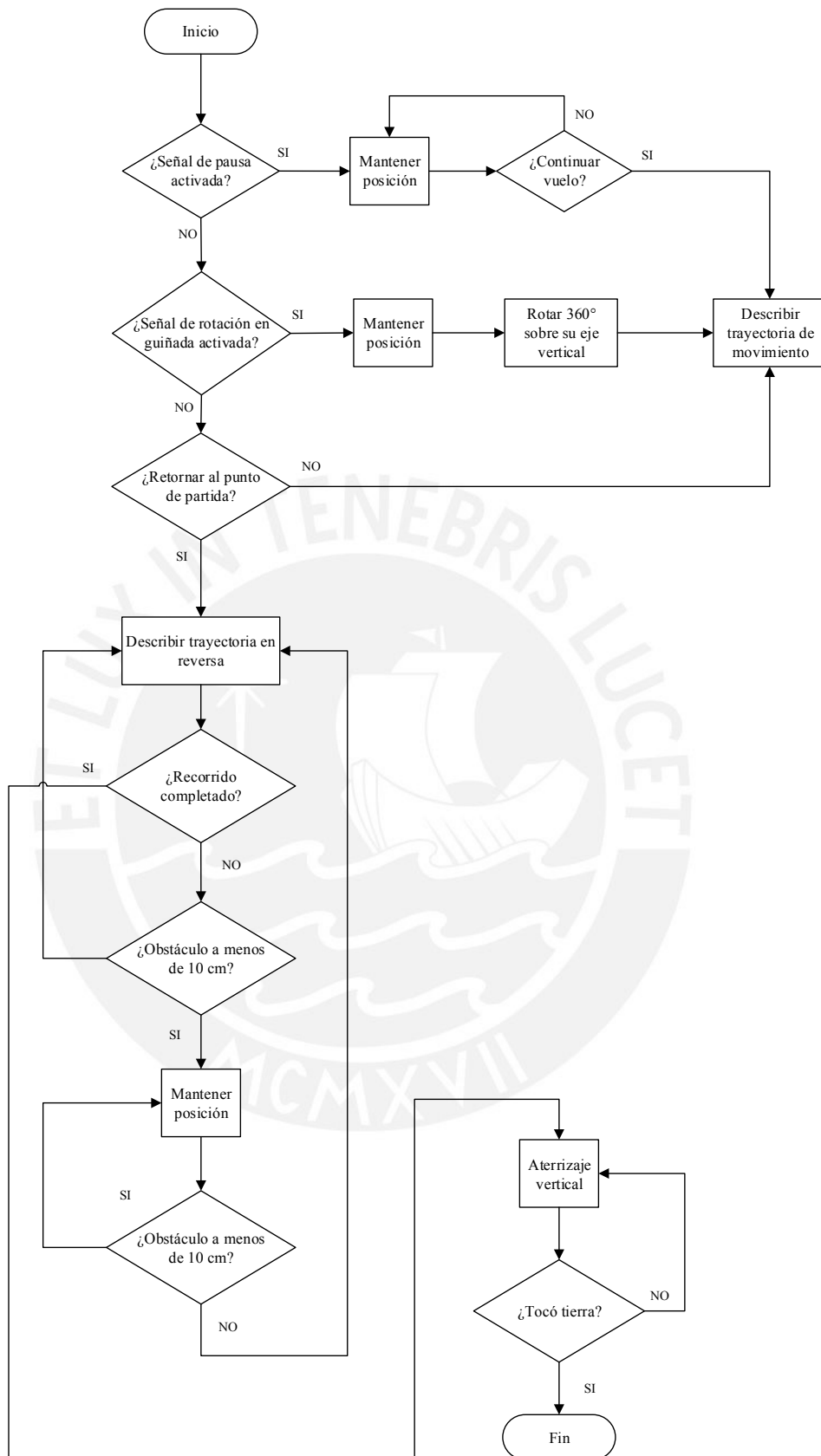


Figura 4.4: Diagrama de flujo de la rutina de interrupción

Lo primero que debe recibir el sistema para iniciar el vuelo del VANT son los parámetros iniciales tales como la trayectoria y la señal de inicio de vuelo (el encendido se realiza manualmente mediante un switch). En seguida se realizará la función de lectura de batería y se entrará a un bloque condicional en el que, si la batería está por debajo del 50%, el VANT no podrá iniciar vuelo. En este caso, el operario deberá cargar el dron y reiniciar el sistema. Si la batería está por encima del 50% la rutina continua y se empieza a mostrar el video en vivo en la interfaz de usuario. A continuación, se realiza la función de despegue vertical, en la que el VANT empezará a trasladarse verticalmente hacia arriba. Luego el sistema entra a una estructura iterativa cuya condición de salida será que el VANT haya alcanzado su altura máxima o de operación y de ser así, se detiene el movimiento vertical. Más adelante, el sistema realiza la función de describir la trayectoria de vuelo, es decir, trasladarse por el camino indicado por el operario. Inmediatamente ingresa a una secuencia de “loops” anidados cuyas condicionales serán si la batería del VANT está por debajo del 20% (para entonces realizar un aterrizaje inmediato), si el recorrido finalizó (para realizar el aterrizaje), o si hay un obstáculo a menos de 10 cm detectado por el sensor de presencia (para detenerse y mantener el vuelo). La rutina termina cuando en el descenso vertical (aterrizaje) el VANT, el sensor de ultrasonido detecta que se ha tocado tierra.

La secuencia de interrupción se inicia cuando el usuario activa una de las señales secundarias de pausa, rotación en guiñada o retorno al punto de partida. La señal de pausa indica que el VANT debe detenerse durante el vuelo y mantener una posición en el aire hasta que el usuario envíe una señal de continuar vuelo. La señal de rotación en guiñada hace que el VANT se detenga y gire 360° sobre su eje vertical, realizando un cameo panorámico, luego continúa su vuelo. La señal de retornar al punto de partida, como lo dice su nombre, hace que el dron regrese al lugar de donde despegó describiendo la trayectoria que realizó en dirección inversa.

4.2. Diseño electrónico/eléctrico

En base a los componentes mecánicos y de control seleccionados, a continuación se realizarán los cálculos necesarios y la elección de los dispositivos electrónicos y eléctricos para la aeronave.

4.2.1. Motor de contra - rotación (coaxial)

Si bien el motor ya fue seleccionado desde el punto de vista mecánico en base a su empuje, es preciso analizar sus características desde una perspectiva electrónica/eléctrica. La Tabla 4.3 se preparó en base a la hoja de datos del motor Himax CR2816 (Anexo F: página 11).

Tabla 4.3: Especificaciones de motor de contra-rotación Himax CR2816

Especificación	Medida
Corriente de operación (recomendada)	6 – 16 A por rotor
Corriente máxima	20 A por rotor (hasta 15 segundos)
Batería	Li-Po 3S (35-40 A demanda continua)
IP (Protección contra ingresos)	No especificado ⁶⁷

Con esta información en cuenta se pasará a calcular y dimensionar los dispositivos relacionados.

4.2.2. Controlador electrónico de velocidad (ESC)

El controlador de vuelo enviará las señales de control para aumentar o reducir la velocidad de los motores. Sin embargo, será necesario un dispositivo que reciba esa señal de control y regule la corriente que ingrese al motor: un ESC. Dado que el sistema de propulsión está compuesto por dos motores, se necesitarán dos ESC. Para seleccionar estos dispositivos, se tomarán en cuenta tres de sus características, los cuales deberán cubrir los requerimientos detallados en la Tabla 4.4.

Tabla 4.4: Consideraciones para la selección del ESC

Característica del ESC a elegir	Requerimiento para el proyecto
Máxima corriente	10-20% mayor que la corriente máxima del motor, de tal manera que el ESC no se caliente mucho cuando el motor funcione cercano a su límite.
Voltaje	El ESC debe ser capaz de trabajar con el mismo número de celdas requeridas por el motor
Voltaje de corte (Cut-off)	Deberá incluir un sistema de corte de energía para no drenar en exceso las baterías

⁶⁷ El fabricante no especifica el valor de IP del motor, por lo tanto, preliminarmente se asume que los ambientes donde opere deberán estar libres de polvo y gotas de agua.

El motor seleccionado tiene un límite de corriente de 20 A por rotor. Si se decide que el ESC tendrá un pico 20% mayor se tiene:

$$I_{ESC} = I_{motor} \times 1.20 \quad (4.1)$$

$$I_{ESC} = 20 \times 1.20 = 25 A$$

Por otro lado, el ESC debe poder operar con las 3 celdas requeridas por el motor, es decir a un voltaje pico de 11.1 V.

La marca de ESC recomendada por el fabricante para una buena performance del motor es la Phoenix de Castle Creations (Anexo F, página 11). Por lo tanto seleccionaremos el ESC Phoenix 25, que cumple con todas las características necesarias. Dado que son dos rotores, se necesitarán dos de estos dispositivos. Sus dimensiones son de 40 x 20 x 11 cm y su peso es de 20g.

4.2.3. Servomotores

Habiendo seleccionado los servomotores desde una perspectiva mecánica se procederá analizarlos con un enfoque electrónico/eléctrico. El modelo Tower-Pro SG90 presenta las siguientes especificaciones (Anexo F: página 12): Voltaje de operación de 4.8 V y velocidad de operación de $0.1\text{sec}/60^\circ(4.8\text{V}) \rightarrow 10.47 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$.

Es importante determinar cuál será la corriente máxima que experimentarán los servomotores. Se sabe que el máximo torque (T) al que serán sometidos es de $6.79 N \cdot cm$. Con este dato y con la velocidad angular del servomotor (ω) podemos determinar la potencia mecánica:

$$P_{mecanica} = T \times \omega \quad (4.2)$$

$$P_{mecanica} = 6.79 N \cdot cm \times \frac{m}{100 cm} \times 10.47 \frac{\text{rad}}{\text{s}} = 0.71 W$$

La potencia mecánica hallada debe ser igual a la potencia eléctrica del servomotor multiplicada por un factor de eficiencia “ ε ”:

$$P_{\text{electrica}} = V_{\text{operacion}} \times I_{\text{max}} \quad (4.3)$$

$$P_{\text{electrica}} = 4.8 \text{ V} \times I_{\text{max}}$$

$$\varepsilon \times P_{\text{electrica}} = P_{\text{mecanica}} \quad (4.4)$$

$$I_{\text{max}} = \frac{P_{\text{mecanica}}}{\varepsilon \times V_{\text{operacion}}} = \frac{0.71 \text{ W}}{\varepsilon \times 4.8 \text{ V}} = \frac{0.148}{\varepsilon}$$

Como es lógico, a menor eficiencia mayor será la corriente máxima que experimentará el servomotor. Si bien la hoja de datos no presenta el valor de eficiencia ε , se sabe que la mayoría de servomotores presenta una eficiencia entre el 50 y 60%⁶⁸. Entonces si fijamos ε al 50%:

$$I_{\text{max}} = \frac{0.148}{\varepsilon} = \frac{0.148}{0.5} = 0.3 \text{ A}$$

Por lo tanto, será necesaria una fuente capaz de entregar hasta 0.3 A de corriente para cada servomotor. Esto corresponde a un total de 1.2 A para los alerones. Finalmente, se calcula la potencia eléctrica máxima que experimentará el servomotor.

$$P_{\text{electrica}} = 4.8 \text{ V} \times 0.3 \text{ A}$$

$$P_{\text{electrica}} = 1.44 \text{ W}$$

4.2.4. Transmisor y receptor de video (FPV)

Con el fin de que el operario pueda ver en vivo lo que sucede alrededor del VANT, se hará uso de una cámara cuyo video será enviado a través de un transmisor de video y recibido en tierra por medio de un receptor. Es importante considerar para la selección de estos dispositivos que el VANT se encontrará en ambientes cerrados, por lo que la señal de video deberá tener buena penetración (a través de las paredes), un rango de alcance mediano y una antena que se adecúe a las dimensiones del dron. En la sección del estado de la tecnología se analizó esto a través de una tabla. Por facilidad, se volverá a mostrar a continuación.

⁶⁸ Efficiency in Coreless Servomotors, *Power Electronics*, 2016: <https://www.powerelectronics.com/motion-systems/automotive-power-integrated-module-solution-next-generation-automotive-blde-systems>

Tabla 4.5: Bandas de frecuencia útiles para FPV

Frecuencia	900MHz	1.2GHz	2.4GHz	5.8GHz
Rango	Excelente	Muy bueno	Bueno	Bueno
Penetración	Excelente	Muy bueno	Malo	Malo
Antena	Grande	Mediana	Pequeña	Pequeña
Legalidad	Uso restringido en algunos países	Uso restringido en algunos países	Libre uso	Libre uso

Como se puede notar, lo más conveniente será usar la banda de frecuencia de 1.2 GHz⁶⁹. Por lo tanto, se debe buscar transmisores y receptores en el mercado que trabajen con esta frecuencia. En la Tabla 4.6 se muestran los transmisores que cumplen con el requerimiento y que son comúnmente usados por aeromodelistas. Sus respectivos receptores están en la Tabla 4.7.

Tabla 4.6: Transmisores de video para 1.2GHz

Marca	Modelo	Voltaje de operación	Corriente de operación	Alcance	Peso
Ripafire	FPV 1.2 GHz 1500mW	DC 12 V	400 mA	1000-2000 m	80 g
Partom	FPV 1.2 GHz 800mW	DC 12 V	280 mA	800 -1000 m	78 g

Tabla 4.7: Receptores de video para 1.2GHz

Marca	Modelo	Voltaje de operación	Corriente de operación
Ripafire	FPV 1.2 GHz 1500mW	DC 12 V	260 mA
Partom	FPV 1.2 GHz 800mW	DC 12 V	280 mA

La mejor opción en cuanto a consumo de energía y peso será la del transmisor de la marca Partom. Si bien tiene un alcance menor, considerando que el receptor estará en el mismo edificio que el transmisor, un kilómetro de rango es suficiente. Como se puede notar, en la Tabla 4.7 no se muestra el peso de los receptores y es que estos se encontrarán en tierra, por lo que esta característica es irrelevante. Por otro lado, el consumo de energía de ambos

⁶⁹ En el Perú esta frecuencia está limitada a radionavegación aeronáutica, por lo que se ajusta a la aplicación del VANT.

receptores es muy cercano. Finalmente, se elige el transmisor y receptor de la marca Partom FPV 1.2 GHz.

4.2.5. Cámara

La selección de la cámara debe realizarse en base a cuatro criterios fundamentales: su peso, tamaño, la opción de visión nocturna y su resolución. En el mercado existen diversas opciones de cámaras analógicas y digitales para drones. No obstante, las analógicas son mucho más utilizadas por aeromodelistas, especialmente por su bajo costo en comparación con las digitales. En cuanto a cámaras de seguridad analógicas estáticas, lo recomendable es que éstas tengan una resolución de como mínimo 600 TVL⁷⁰ ⁷¹. Siguiendo estas consideraciones, se procede a analizar cámaras disponibles en el mercado:

Tabla 4.8: Cámaras analógicas para FPV

Marca	Modelo	Peso	Tamaño	Resolución	Visión nocturna
RunCam	OWL	11 g	25x19x19mm	700 TVL	Si
Wight	MB001	4 g	10x10x9mm	600 TVL	Si
Genérico	XL-L1521	28 g	10x10x10mm	600TVL	Si

Se observa que en general los pesos son muy bajos al igual que los tamaños, por lo que se tomará a la resolución como métrica para la selección final. En este último parámetro, la mejor opción es la de la cámara RunCam OWL y por lo tanto, esa será la que se utilizará en el proyecto. A continuación se presentan algunas especificaciones electrónico/eléctricas de este producto (Anexo F: página 17):

Tabla 4.9: Especificaciones electrónico/eléctricas de la cámara RunCam OWL

Voltaje de entrada	Corriente de operación	Cambio a visión nocturna
5-24 VDC	0.3 A	Automático

⁷⁰ TVL: Líneas de televisión. Corresponde a la magnitud de medición para resolución en cámaras analógicas.

⁷¹ ¿Qué son las VTL?, *Telefonía total*, 2014: <http://telefoniatotal.com/que-son-las-tvl/>

4.2.6. Sensor de presencia

Como se mencionó en secciones anteriores, el sensor de presencia servirá para detectar personas y obstáculos frente al VANT. De manera similar a la selección de la cámara, se determinará el sensor a utilizar considerando el peso y el tamaño del dispositivo. Adicionalmente se tomará en cuenta el rango de distancias en el que puede medir así como su precisión. En la Tabla 4.10 se presentan algunas opciones de sensores de proximidad Lidar disponibles en el mercado.

Tabla 4.10: Sensores de presencia disponibles en el mercado

Marca	Modelo	Peso	Tamaño	Rango	Precisión
Garmin	Lite V3	22 g	40x48x20mm	5 cm a 40 m	+/- 2.5 cm
Lightware	SF20	20 g	20x30x32mm	hasta 100 m ⁷²	+/- 10 cm
LeddarTech	One	14 g	51x51x30.6mm	0 a 40 m	+/- 5 cm

Se observa que los pesos son bajos en todas las opciones, por lo que no es un factor tan relevante en este caso. Un punto delicado aquí es la precisión, ya que si se busca que el VANT opere en lugares cerrados, se necesitan que las medidas sean lo más acertadas posibles para evitar impactos indeseados. En este sentido, la mejor opción es la de la marca Garmin. El rango es también un factor sumamente importante, especialmente el límite inferior. Para este proyecto sería ideal que el sensor pueda medir por lo menos a partir de los 10 cm, lo cual sería una distancia prudente a tomar si se encuentra frente a un obstáculo. Si bien hay una opción cuyo rango parte desde los 0 cm, se opta por elegir la del Garmin debido a su nivel de precisión, donde supera a las demás marcas. Las dimensiones de este sensor son igualmente las adecuadas tomando en cuenta el tamaño del VANT. Finalmente, se presentan algunas especificaciones electrónico/eléctricas del sensor Garmin Lite V3 (Anexo F: página 22): Voltaje de entrada de 5V y corriente de operación de 130 mA.

4.2.7. Sensor de ultrasonido

La medición de la distancia del VANT a tierra se logrará mediante el uso de un sensor ultrasonido. Dentro de las opciones disponibles en el mercado, el sensor más ampliamente utilizado en proyectos de electrónica es el HC-SR04. Este será el sensor a utilizar en el

⁷² Mínimo no especificado

proyecto. A continuación se presentan algunas características físicas y electrónico/eléctricas del dispositivo (Anexo F: página 18):

Tabla 4.11: Especificaciones del sensor de ultrasonido HC-SR04

Marca	Modelo	Dimensiones	Peso	Voltaje de operación	Corriente de operación	Rango
Genérico	HC-SR04	40x20x15mm	10 g	5 V	15 mA	2-400cm

4.2.8. Tarjeta de distribución de potencia (PDB)

La distribución de la potencia de la batería se realizará mediante una PDB. Usualmente es en esta tarjeta donde se conectan los ESC y reciben la alimentación que finalmente llegará a los motores. Además, algunas PDB cuentan con circuitos de eliminación de batería (BEC), que permiten conectar otros dispositivos a la tarjeta proporcionándoles una tensión constante de 5 o 12V además de un pico máximo de corriente.

El VANT requerirá un PDB que reciba un voltaje equivalente a 3S (11.1 V) de la batería y que lo distribuya entre los dos ESC Phoenix, a los cuales deberá ser capaz de entregar hasta 25 A ⁷³. Además, ya que se utilizarán 4 servomotores para el accionamiento de los alerones, sería ideal que esta tarjeta tenga una salida adicional (BEC) de 5 V y al menos 1.2 A para alimentarlos. Igualmente, se podría emplear esta salida de 5 V para la alimentación del sensor Lidar, que además requiere una corriente de 0.13 A y del sensor de ultrasonido que exigirá 15mA. Por lo tanto, se debe seleccionar un PDB con un BEC que tenga una salida de 5V y al menos 1.65 A. A continuación se presentan algunas opciones en el mercado:

Tabla 4.12: Tarjetas de distribución de potencia disponibles en el mercado

Marca	Modelo	Voltaje de entrada	ESC V/I	BEC V/I
Matek	XT60	3S-4S	3S-4S/25A	5V/2A
Lantian	-	2S-6S	2S-6S/20A	5V/3A
Diatone	V8.3	3S-6S	3S-6S/20A	5V/2A

Claramente se observa que la mejor opción es la del Matek XT60, ya que cumple con el requerimiento de 25 A mientras que los demás no. Por lo tanto se selecciona ese PDB.

⁷³ En un caso extremo, el motor podría llegar a exigir 20 A como máximo y dado que los ESC podrían calentarse mucho, se eligió que tuvieran una capacidad de 25 A. Esta misma lógica es utilizada para dimensionar el PDB.

Como es posible notar, no se ha tomado en cuenta aquí la alimentación de la cámara, y es que lo recomendable es que el sistema de video, incluido el transmisor tengan un circuito de potencia dedicado. Por tanto, se necesitará una batería adicional y por lo tanto un PDB extra. Dado que la alimentación del transmisor de video es de 12 V y 0.28 A será necesaria una batería de por lo menos 4S (14.8 V). Además, la cámara requerirá una alimentación de al menos 5 V y 0.3A. Entonces, se requiere un PDB que tenga dos salidas BEC reguladas a 12 V y por lo menos 0.28 A y 5 V y 0.3 A. El PDB seleccionado previamente tiene además de la salida BEC de 5V/2A otra de 12V/0.5A⁷⁴. Por lo tanto, se selecciona una tarjeta exactamente igual para esto. Finalmente, se utilizarán dos PDB Matek XT60. Adicionalmente se presentan sus características físicas en la siguiente tabla (Anexo F: página 4): Dimensiones de 36 x 50 x 4 mm y un peso de 11 g.

4.2.9. Módulo de potencia

Como se indicó previamente, se utilizará una batería dedicada para el sistema de video (batería 1) y otra para la alimentación de los demás dispositivos del VANT (batería 2).

La batería 2 debe alimentar tanto controlador de vuelo Pixhawk como al PDB. Por lo tanto es necesario un circuito intermedio que distribuya la energía: el módulo de potencia. La siguiente figura esquematiza las conexiones de potencia que tendrá en el VANT donde se indica tanto el voltaje como la corriente máxima (asumiendo casos extremos⁷⁵) requeridos por los distintos dispositivos:

⁷⁴ Si se alimenta con al menos 4S (14.8 V).

⁷⁵ Los valores de corriente presentados en el esquema no necesariamente son los de operación. Un diagrama de bloques más detallado se mostrará más adelante, cuando se hayan seleccionado todos los dispositivos.

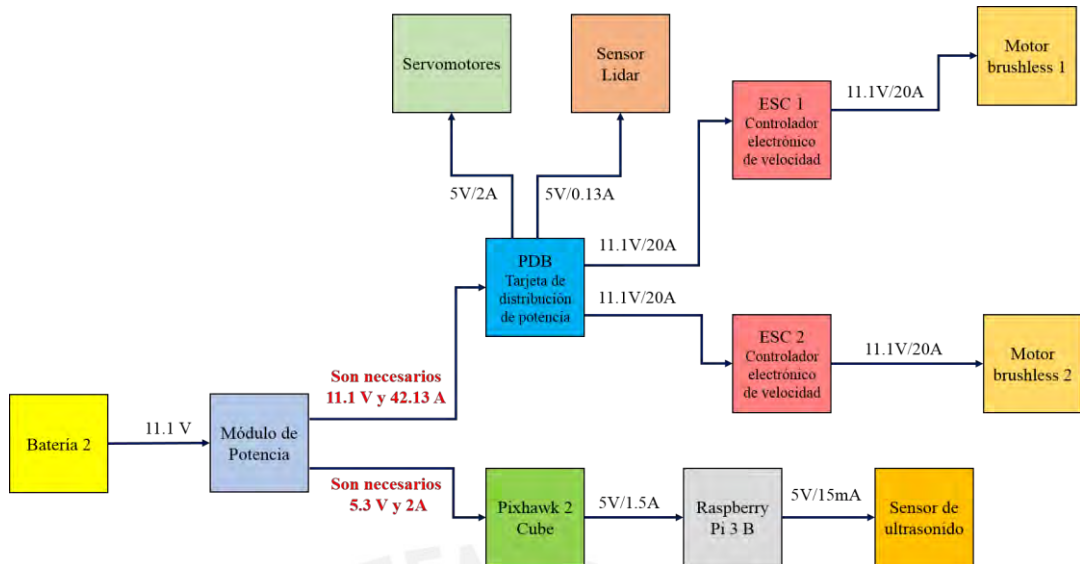


Figura 4.5: Esquema referencial del circuito de potencia del VANT

Como se expone en la Figura 5-23, es necesario que el módulo de potencia sea capaz de trabajar con 11.1 V (3S) y sea capaz de entregarle 11.1 V y 42.13 A al PDB y 5.3 V y 2 A al Pixhawk. En la siguiente tabla se muestran opciones de estos dispositivos que cumplen los requerimientos mencionados:

Tabla 4.13: Módulos de potencia disponibles en el mercado

Marca/Modelo ⁷⁶	Máximo voltaje de entrada	Máxima corriente en sensor	Voltaje regulado	Corriente regulada
HKPilot Mega	45 V	90 A	5.3 V	2.25 A
Genérico (Alliant)	14.8 V	60 A	5.3 V	2.25 A
Genérico (Altigator)	18 V	90 A	5.3 V	2.25 A

Dado que el voltaje de entrada será de 11.1V, todas las opciones son adecuadas. En cuanto a la máxima corriente a circular por el dispositivo (máxima corriente en sensor), esta será 42.13 A. Lo ideal es trabajar muy por debajo del límite de corriente, por lo que las opciones de 90 A son las más adecuadas. En cuanto a voltaje regulado y corriente regulada, las tres alternativas son iguales. Dado que el módulo HKPilot presenta el voltaje de entrada máximo más alto, resulta siendo el más conveniente para el proyecto y por lo tanto es el que se selecciona.

⁷⁶ De ser genérico se indica el proveedor.

4.2.10. Sistema de suministro de energía

En esta sección se dimensionarán y seleccionarán las baterías a utilizar. Como se apuntó líneas atrás, la primera batería servirá para la alimentación de la cámara y el transmisor de video y la segunda para los demás dispositivos. Se ha optado utilizar baterías tipo Li-Po por sus ventajas en cuanto a velocidad de carga, tamaño y peso.

i. Batería 1: Alimentación del sistema de video

El consumo de energía de la cámara y el transmisor tienen un consumo de corriente de 300 y 280 mA respectivamente, es decir, 580 mA en total. Como se mencionó previamente, dado que el transmisor funciona a 12 V será necesaria una batería de al menos 4 celdas (14.8 V). En los requerimientos se determinó que el sistema de video debería tener una capacidad de grabación de, por lo menos, 45 minutos. Tomando esto en consideración se procede a calcular la capacidad (C) que deberá tener como mínimo la batería:

$$t_{duración} = \frac{C [mAh]}{Corriente de operación [A]} \quad (4.5)$$

$$45 \text{ min} = \frac{C}{580 \text{ mA}}$$

$$C = 435 \text{ mAh}$$

Por lo tanto, se necesitará al menos una batería de 435 mAh. Dentro de las baterías ofrecidas en el mercado, las que mejor se adecúan al requerimiento son las de 500 mAh⁷⁷, Utilizando esta capacidad, el tiempo de filmación será de:

$$\frac{500 \text{ mAh}}{580 \text{ mA}} = 51 \text{ min}$$

La siguiente tabla muestra algunas opciones con baterías de 500 mAh y 4 celdas (4S) disponibles en el mercado:

⁷⁷ La capacidad de la batería es proporcional a su tamaño y a su peso. Por lo tanto, será mejor elegir aquella con la menor capacidad posible pero que a la vez, cumpla el requerimiento.

Tabla 4.14: Baterías de 500 mAh disponibles

Marca	Capacidad	Celdas (S)	Descarga continua (C)
Lumenier	500 mAh	4 ⁷⁸	80
Turnigy	500 mAh	4	65
Dinogy	500 mAh	4	65

La mejor opción es la de la marca Lumenier, pues con una capacidad de descarga continua de 80 C (400 A) supera a las demás. En la siguiente tabla se muestran sus especificaciones físicas:

Tabla 4.15: Especificaciones físicas de la batería Lumenier 500mAh

Dimensiones	Peso
60 x 30 x 19 mm	65 g

Adicionalmente se incluirá un switch genérico con bornes de tipo XT-60 especial para baterías Li-Po, cuyo peso es de aproximadamente 27 g.

ii. **Batería 2: Alimentación del dron**

Para la selección y dimensionamiento final de la batería 2 se debe realizar un recuento final del peso y analizar los voltajes y corrientes de operación que tendrá el VANT.

Previamente se presentó una tabla con los pesos promedio y las dimensiones de cada uno de los dispositivos a utilizar. Se determinó que el peso máximo deseado era de 1800 g y con esto se realizó el cálculo y selección de los distintos dispositivos, tanto mecánicos como electrónicos. Ahora que ya se tiene los pesos y dimensiones finales, se pasará a detallarlos a continuación.

⁷⁸ Batería de alto voltaje: cada celda brinda 4.35V.

Tabla 4.16: Dimensiones y pesos finales de componentes

Elemento	Dimensiones	Peso
Batería Li-Po + switch (1)	60 x 30 x 19 mm -	92 g
Módulo de potencia (cable)	25 x 21 x 9 mm (flexible)	17 g
USB Modem 4G	80 x 20 x 10 mm	20 g
Cámara de visión nocturna/diurna	25 x 19 x 19 mm	11 g
Transmisor de video	62 x 45 x 18 mm	78 g
Tarjeta de distribución de potencia (PDB)	36 x 50 x 4 mm	22 g
Controladores de velocidad (ESC) x 2	40 x 20 x 11 mm	40 g
Controlador de vuelo	44.3 x 94.5 x 31.5	75 g
Computador de placa reducida	85.60 x 56 x 21 mm	45 g
Sensor de ultrasonido	40 x 20 x 15 mm	10 g
Sensor Lidar	40 x 48 x 20 mm	22 g
Motor coaxial (incluidas hélices)	111 x 254 x 254 mm	164 g
Estructura del VANT ⁷⁹ + estructura de protección	485 x 485 x 485 mm	444 g
Sistema de alerones (con servomotores)	120 x 100 x 12 mm	78 g
Otros (cables, cintillos, etc.)	Variable	+10% total
	TOTAL	1229.8 g

Por lo tanto, el peso efectivo de la aeronave sin la batería 2 es de 1229.8 g. Como se definió previamente, esta batería deberá proporcionar un voltaje equivalente a 11.1 V, es decir, 3 celdas (3S). Las baterías de 3S con la mayor capacidad del mercado y que se ajustan a las dimensiones y peso requeridos por el VANT son las de 7600 mAh. En la siguiente tabla se presentan algunas opciones con sus características más importantes:

Tabla 4.17: Baterías Li-Po de 3S y 7600 mAh disponibles en el mercado

Marca	Descarga continua (C)	Dimensiones	Peso ⁸⁰
HobbyStar	75	138 x 46 x 33 mm	475 g
Powerhobby	75	138 x 45 x 35 mm	445 g
Vant	75	138 x 46 x 36 mm	475 g

⁷⁹ Las dimensiones finales de la estructura del VANT son presentadas más adelante en los planos mecánicos. El peso final de dicho ensamblaje será de 166 g.

⁸⁰ Incluidos cables y conectores.

Sin duda, la opción más apropiada es la de la marca Powerhobby. Con 75C de descarga continua puede entregar hasta 570 A continuamente, lo cual es suficiente para lo que se necesita en el proyecto. Adicionalmente se incluye un switch semejante al seleccionado para la batería anterior. Si se suman los 472 g de la batería y el switch, el VANT pesará en total 1701.8 g. Esto es menos que el peso máximo deseado que se definió previamente (1800 g), lo cual es adecuado.

Para calcular el tiempo de duración de esta batería, será necesario conocer las corrientes de operación efectivas de los motores. La siguiente figura muestra una gráfica que relaciona el peso y la corriente en cada motor:

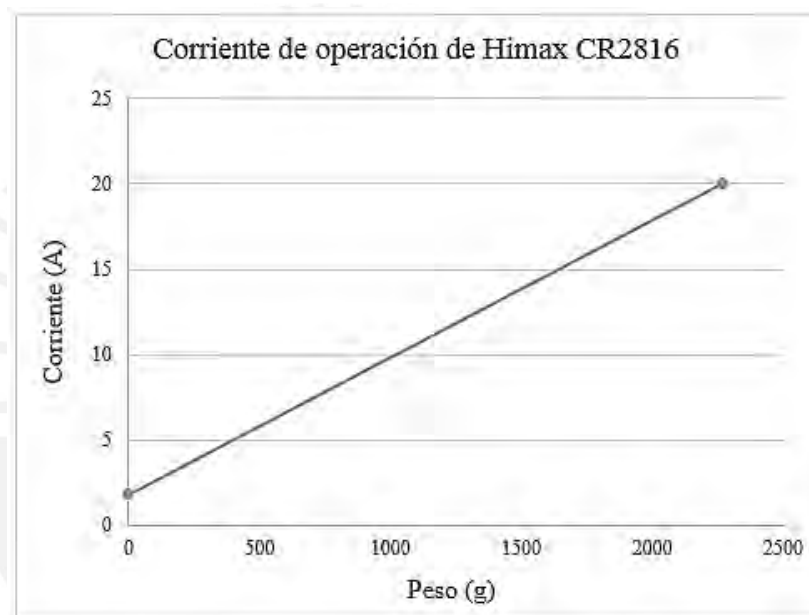


Figura 4.6: Relación Peso vs Corriente para el motor HIMAX CR2816

La fórmula que relaciona a la corriente de operación de cada motor (I_{op}) con el peso (w) es entonces:

$$I_{op} = 8.028 \times 10^{-3}w + 1.8 \quad (4.6)$$

Dado que el peso del VANT será de 1701.8 g, se tiene:

$$I_{op} = 8.028 \times 10^{-3}(1701.8 \text{ g}) + 1.8$$

$$I_{op} = 15.46 \text{ A}$$

Lo cual está dentro de la corriente de operación sugerida por el fabricante. Si se hace un recuento de todas las corrientes de operación de los dispositivos:

$$I_{total} = 2 \times I_{motor} + I_{pixhawk+raspberrypi+ultrasonido} + I_{lidar} + 4 \times I_{servomotor} \quad (4.7)$$

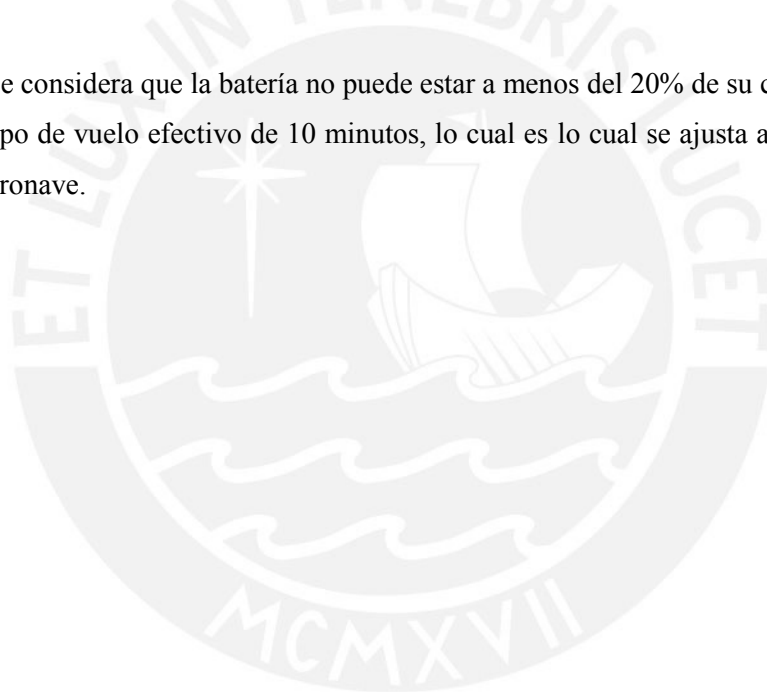
$$I_{total} = 2 \times 15.46 A + 2 A + 0.13 A + 4 \times 0.5 A$$

$$I_{total} = 35.055 A$$

Finalmente, analizamos el tiempo de duración que tendrá la batería de 7600 mAh:

$$t_{duración} = \frac{\text{Capacidad de batería [mAh]}}{\text{Corriente de operación [A]}} = \frac{7600 \text{ mAh}}{35055 \text{ mA}} = 0.217 \text{ h} = 13 \text{ min}$$

Si se considera que la batería no puede estar a menos del 20% de su capacidad, se tendrá un tiempo de vuelo efectivo de 10 minutos, lo cual es lo cual se ajusta a los requerimientos de la aeronave.



CAPÍTULO 5

PLANOS Y COSTOS

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

5.1. Planos

El diseño mecánico y electrónico/eléctrico del VANT incluye la elaboración planos que se presentarán en este apartado.

5.1.1. Planos electrónicos/eléctricos

A continuación se encuentran los diagramas de bloques que muestran las conexiones de potencia y control alimentadas por las baterías 1 y 2 del VANT. Esos gráficos servirán de referencia para luego generar el plano esquemático. Primero se muestra el diagrama de bloques con las conexiones alimentadas por la batería 1.

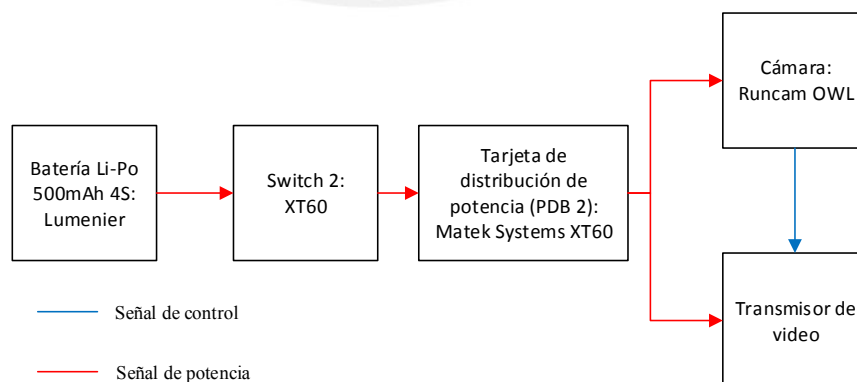


Figura 5.1: Diagrama de bloques 1

La batería se conecta inicialmente a un switch para controlar el paso de energía y por lo tanto el encendido/apagado del sistema de video en vivo. Luego, se conecta el switch por sus otros bornes a la Tarjeta de Distribución de Potencia la cual proporcionará voltajes regulados de 5V y 12V a la cámara y al transmisor de video respectivamente. Finalmente se conecta la salida de video de la cámara al transmisor.

La siguiente figura corresponde al diagrama de bloques con las conexiones alimentadas por la batería 2.

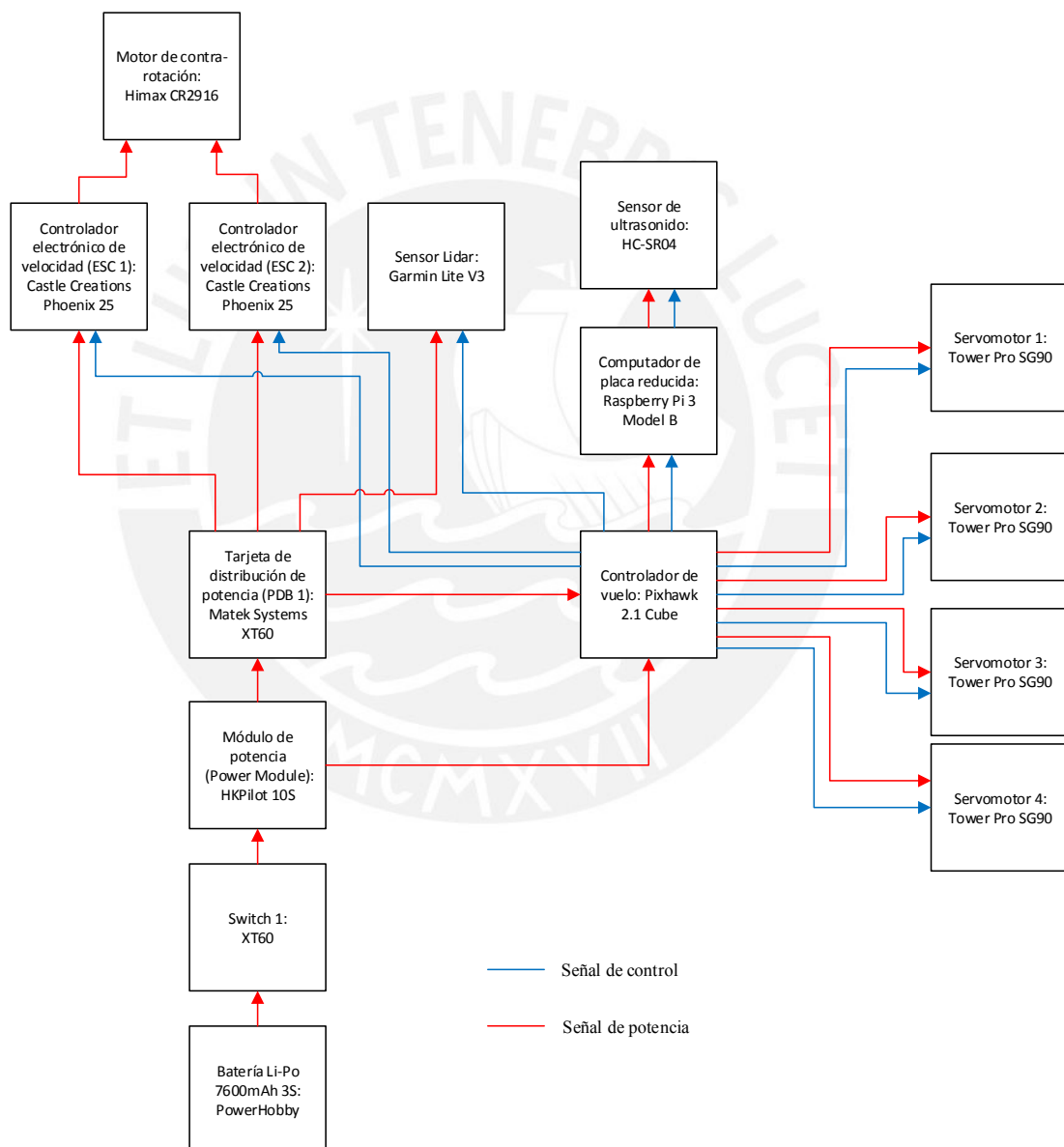


Figura 5.2: Diagrama de bloques 2

La batería se conecta a un switch para controlar el encendido/apagado del sistema. Luego, el switch se conecta por sus otros bornes al Módulo de Potencia, el cual proporcionará un voltaje regulado de 5.3V/2.25A a donde se conectará el controlador de vuelo Pixhawk. Adicionalmente, dicho módulo irá conectado a una Tarjeta de Distribución de Potencia por su salida de 11.1V (voltaje no regulado de la batería). El Pixhawk alimentará y controlará los cuatro servomotores para lo cual requiere que la Tarjeta de Distribución de Potencia energice los pines correspondientes⁸¹. Esto se logra conectando la salida de tensión regulada (BEC) de 5V/2A de la tarjeta al riel de pines para servomotores del Pixhawk. El computador de placa reducida Raspberry Pi 3 se conecta a un puerto de telemetría del Pixhawk, el cual lo alimentará y controlará. Por otro lado, el sensor de ultrasonido se conecta al Raspberry Pi 3 en sus salidas de 5V y GND (alimentación) y en sus puertos de propósito general (control). Asimismo, el sensor Lidar será controlado mediante una conexión al puerto I2C Pixhawk y alimentado la salida de tensión regulada (BEC) de 5V/2A de la Tarjeta de Distribución de Potencia. De manera similar, los Controladores Electrónicos de Velocidad (ESC) son alimentados por dicha tarjeta a través de su salidas de 11.1V (3S – 3celdas) y controlados por el Pixhawk. Finalmente, el motor de contra-rotación (compuesto por dos motores) es alimentado por ambos Controladores Electrónicos de Velocidad.

Finalmente, se representa mediante un diagrama esquemático las conexiones electrónico/eléctricas del VANT. Asimismo se incluye la lista de componentes y dispositivos que conforman los circuitos. Esto es presentado en el archivo de planos electrónico/eléctricos (P1-A2) adjunto a este documento.

En tierra se tendrán dos dispositivos: una laptop o computadora y el receptor de video. La conexión de estos elementos será por medio de un cable USB. La simpleza de esta configuración electrónico/eléctrica no amerita el diseño de otro diagrama.

5.1.2. Planos mecánicos

El diseño mecánico del VANT requiere una serie de planos de fabricación y ensamblaje. Estos son listados en la siguiente tabla y se encuentran en el archivo de planos mecánicos adjunto a este documento.

⁸¹ El Pixhawk requiere de una fuente externa que energice sus pines para servomotores si se desea utilizarlos.

Tabla 5.1: Lista de planos mecánicos

N°	Detalle	Tipo	Plano
1	VANT con protección	Ensamble	P1 – A1
2	Ensamblaje de dispositivos	Ensamble	P2 – A0
3	Estructura geodésica	Ensamble	P3 – A2
4	VANT sin protección	Ensamble	P4 – A1
5	Armazón circular	Ensamble	P5 – A2
6	Estructura del VANT	Ensamble	P6 – A3
7	Sistema de alerón	Ensamble	P7 – A3
8	Servomotor ensamblado	Ensamble	P8 – A3
9	Sujeción de alerón	Fabricación	P9 – A4
10	Alerón	Fabricación	P10 – A3
11	Armazón 1	Fabricación	P11 – A1
12	Armazón 2	Fabricación	P12 – A1
13	Acoplamiento para sensores 1	Fabricación	P13 – A4
14	Acoplamiento para sensores 2	Fabricación	P14 – A3
15	Pieza intermedia	Fabricación	P15 – A1
16	Pieza superior	Fabricación	P16 – A2
17	Pieza inferior	Fabricación	P17 – A4
18	Junta de 5 varillas	Fabricación	P18 – A4
19	Junta de 6 varillas	Fabricación	P19 – A4
20	Varilla A	Fabricación	P20 – A4
21	Varilla B	Fabricación	P21 – A4

5.2. Costos

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

Tabla 5.2: Costos totales

Concepto	Costo (S/.)
Costos de diseño	4920.00
Costos de fabricación	4913.00
Total	9833.00

5.2.1. Costos de diseño

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

Tabla 5.3: Costos de diseño

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

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

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

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

Tabla 5.4: Costos de programación

Tarea	Tiempo (horas)	Costo (S/.)
Configuración de software	3	120.00
Configuración para la comunicación 4G	10	400.00
Programación y configuración para vuelo autónomo	20	800.00
Total		1320.00

5.2.2. Costos de fabricación

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

Tabla 5.5: Costos de fabricación

Detalle	Costo (S/.)
Costos por componentes estandarizados	2848.00
Costos por componentes no estandarizados	804.00
Costos de ensamblaje	200.00
Costos de importación	242.00
Imprevistos	819.00
Total	4913.00

El diseño del VANT incluyó la selección de componentes y dispositivos estandarizados. A continuación se presenta un resumen económico de estos elementos con sus respectivos costos y proveedores.

Tabla 5.6: Costos de componentes estandarizados

Componente	Marca y modelo	Proveedor	Cantidad	Precio unitario (S/.)	Subtotal (S/.)
Batería Li-Po	Lumenier (500 mAh 4S 80C)	Getfpv	1	62.00	62.00
Batería Li-Po	PowerHobby (7600 mAh 3S 75C)	PowerHobby ⁸²	1	270.00	270.00
Módulo de potencia (Power Module)	HKPilot (10S XT60)	HobbyKing	1	79.00	79.00
USB Modem 4G	Huawei (E3276)	Ebay	1	95.00	95.00
Cámara de visión nocturna/diurna	Runcam (OWL)	Runcam	1	147.00	147.00
Transmisor y receptor de video	Partom (FPV 1.2 GHz)	AliExpress	1	179.00	179.00
Tarjeta de distribución de potencia (PDB)	Matek Systems (XT60)	Amazon	2	21.00	42.00
Controlador electrónico de velocidad (ESC)	Castle Creations (Phoenix 25)	Amazon	2	147.00	294.00
Controlador de vuelo	Pixhawk (2.1 Cube)	Amazon	1	706.00	706.00
Computador de placa reducida	Raspberry Pi (3 Model B)	Amazon	1	113.00	113.00
Sensor de ultrasonido	HC-SR04	Naylamp Mechatronics	1	8.00	8.00
Sensor Lidar	Garmin (Lite V3)	Sparkfun	1	488.00	488.00
Motor de contrarrotación (coaxial)	Himax (CR-2816)	Himax	1	501.00	501.00
Servomotor	Tower Pro (SG90)	Naylamp Mechatronics	4	11.00	44.00
Switch	Genérico (XT60)	HobbyKing	2	14.00	28.00
Varilla de fibra de carbono (hueca)	Genérico (Ø interno 3mm, Ø externo 2 mm)	HobbyKing	20	7.00	140.00
Total					2848.00

⁸² El paquete incluye 2 baterías.

De manera similar, se presenta la Tabla 5.7 que contiene todas las piezas no estandarizadas y que serán fabricadas mediante una impresora 3D. El costo unitario incluye el servicio de impresión y el material.

Tabla 5.7: Costo de componentes no estandarizados (incluye servicio de fabricación)

Nombre de parte	Proceso de fabricación ⁸³	Cantidad	Costo unitario (S/.)	Subtotal (S/.)
Sujeción de alerón	Impresión 3D	4	2.00	8.00
Alerón	Impresión 3D	4	24.00	96.00
Armazón 1	Impresión 3D	1	87.00	87.00
Armazón 2	Impresión 3D	1	81.00	81.00
Acoplamiento para sensores 1	Impresión 3D	1	5.00	5.00
Acoplamiento para sensores 2	Impresión 3D	1	19.00	19.00
Pieza intermedia	Impresión 3D	1	134.00	134.00
Pieza superior	Impresión 3D	1	160.00	160.00
Pieza inferior	Impresión 3D	1	27.00	27.00
Junta de 5 varillas	Impresión 3D	12	2.00	24.00
Junta de 6 varillas	Impresión 3D	20	2.00	40.00
Total sin impuestos				681.00
IGV (18%)				122.58
Total				804.00

Adicionalmente, se ha estimado que el ensamblaje del VANT una vez se cuente con todas las piezas tomará aproximadamente 5 horas. Considerando un costo de S/.40.00 por la mano de obra de una persona (que será suficiente para armar la aeronave), se tendrá un monto total de S/.200.00 por este concepto. Por otra parte, se han estimado gastos de importación, los cuales corresponderán a un 30% del total de los componentes estandarizados. Finalmente, se ha designado un monto a imprevistos que corresponderá al 20% de la suma total.

⁸³ El servicio de impresión 3D fue cotizado en la empresa Desarrollo 3D (Ver ANEXO G)

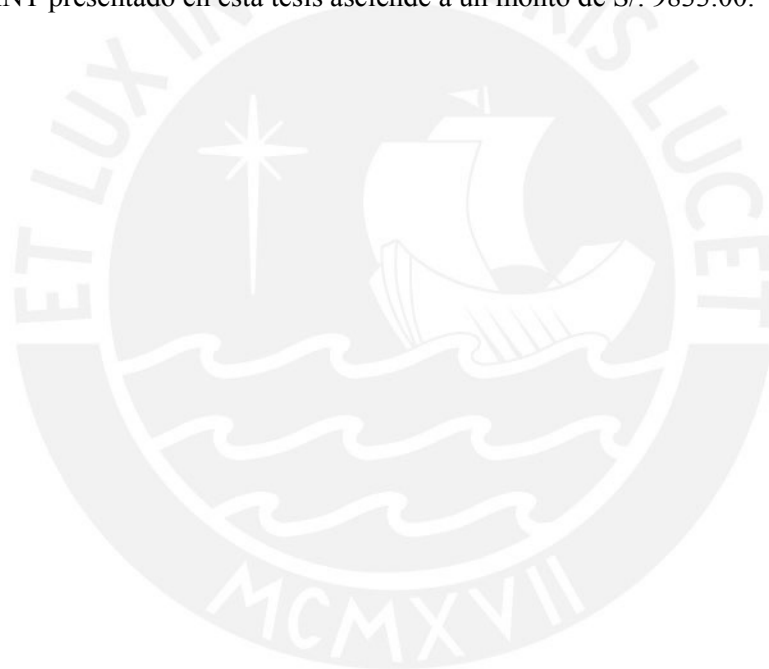
OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

1. En los últimos años la tecnología de drones se ha vuelto cada vez más cotidiana para las personas. Se usan estas aeronaves en periodismo, deportes, agricultura, minería, seguridad y en muchos más sectores. Esta diversificación de su uso está ligada a que se han vuelto máquinas cada vez más sencillas de utilizar: es el diseño moderno del dron lo que lo ha acercado a la gente. Por lo tanto, el VANT que se propone en este trabajo encaja perfectamente en esa tendencia incluso a un nivel mucho más personal pues operará al lado de las personas.
2. Sería interesante explorar algunas otras aplicaciones que por su diseño, podría tener el dron que se propone en este proyecto. Por ejemplo, en las labores de búsqueda y rescate muchas veces es necesario que personas ingresen a edificaciones colapsadas o sumamente dañadas para verificar si es que hay heridos y sobrevivientes, por lo tanto ponen su vida en riesgo sin tener la certeza de si habrá alguien adentro. Muchas veces es necesario abrirse camino lo cual además toma un tiempo considerable. El VANT propuesto en este proyecto podría ser útil en estos casos para ingresar rápidamente a los edificios para determinar dónde es que realmente se encuentran las personas y enfocar mejor los esfuerzos de los rescatistas. Gracias a su diseño, rozar con las paredes o incluso acercarse a las personas que pudiesen encontrarse adentro no sería un problema.
3. Otra posible aplicación podría ser la del vuelo a bajas alturas de bosques o parques naturales, ya sea para la adquisición de parámetros ambientales (agregando algunos sensores) o para la grabación de flora y fauna. Nuevamente, su diseño lo protegería al rozar obstáculos como árboles. La siguiente imagen escenifica esta aplicación:
4. Su uso como una herramienta para casa es otra posible aplicación. Cosas tan cotidianas como vigilar a una mascota o verificar si el gas está correctamente cerrado podría ser realizado desde cualquier lugar del mundo utilizando este VANT.

CONCLUSIONES

1. Utilizando la metodología de diseño VDI 221 se obtuvo el diseño preliminar de un vehículo aéreo no tripulado enfocado a la vigilancia y seguridad en ambientes cerrados, lo cual constituía el objetivo principal de la presente tesis. Esta aeronave es capaz de cumplir la labor disuasiva y de registro de un guardia de seguridad en sus rondas de vigilancia diurnas y nocturnas dentro de edificios. Se han incluido e integrado todos los componentes, dispositivos y tecnologías para que pueda operar como se desea.
2. El dispositivo y el estudio desarrollado cumplen con los objetivos específicos de la presente tesis. Se realizó una investigación del estado del arte, donde se analizó a fondo la tecnología actual de aeronaves no tripuladas. Los requerimientos específicos fueron propuestos y se desarrolló el diseño del dron siguiendo la metodología del diseño de la norma VDI 221. Posteriormente, se realizaron los cálculos correspondientes al dominio mecánico y electrónico eléctrico, se definieron las variables a ser controladas y manipuladas y, de acuerdo a esto, se seleccionaron componentes y dispositivos estandarizados y no estandarizados que conformarán el dron. Finalmente, se elaboraron los planos correspondientes y se detallaron los costos del proyecto.
3. El VANT está protegido por una estructura geodésica esférica con un diámetro máximo de 496.3 mm, lo cual cumple con el deseo de que la aeronave ocupe un volumen no mayor a 50x50x50 cm. Además, con 1.7 kg el dron cumple con el deseo de pesar menos de 3 kg.
4. Mediante un motor de contra-rotación o de configuración coaxial y un juego de 4 alerones para redirigir el flujo de aire, el VANT es capaz de despegar y aterrizar verticalmente y trasladarse en los 3 ejes espaciales, lo cual correspondía a exigencias del proyecto. Por otro lado, la fuerza del motor le permite alcanzar las magnitudes mínimas de velocidad y aceleración propuestas en la lista de exigencias (5 m/s y 5 m/s²).
5. El dron cuenta con una fuente de energía recargable como lo son las baterías de Li-Po, las cuales se pueden realimentar con un cargador conectado al suministro eléctrico. Por lo tanto, se cumplen las exigencias de energía del proyecto.
6. Dado que el VANT debía realizar el trabajo de un guardia de seguridad en sus rondas de vigilancia, era necesario que cuente con una cámara que grabase su entorno y envíe el video en vivo a una estación en tierra controlada y monitoreada por un operario. Esto se logró agregando al VANT un sistema de video a bordo conformado por una cámara de visión nocturna y un transmisor de video que funciona a una frecuencia tal que su señal puede viajar sin problemas a través de paredes y pisos. El operario puede ver el video en vivo desde otro ambiente en una interfaz especial de una laptop y enviar las señales de control al VANT por medio de comunicación 4G. Por lo tanto se cumplen los requerimientos de grabación, control, comunicación y software del proyecto.

7. Era primordial que la aeronave tenga la capacidad de tocar o rozar paredes, obstáculos e incluso personas sin averiarse ni generar un riesgo para su entorno, por lo cual se utilizó una estructura de protección geodésica conformada por varillas de fibra de carbono, la cual aislaba sus hélices del exterior. Otro requerimiento importante en cuanto a seguridad era que el VANT no inicie su vuelo si contaba con menos del 50% de su batería lo cual se consideró durante el desarrollo de su algoritmo de control. Además, se indicó que el dron no debía consumir su batería a menos del 20% durante el vuelo. Teóricamente la aeronave puede volar 13 minutos, pero ya que se tomó en cuenta esta exigencia, su tiempo de vuelo efectivo se redujo a 10 minutos.
8. Se ha empleado una combinación de materiales estandarizados con no estandarizados aunque el proceso de fabricación de estos últimos es mediante impresión 3D, lo cual evita el uso de procesos de manufactura complejos. El costo total del diseño y fabricación del VANT presentado en esta tesis asciende a un monto de S/. 9833.00.



BIBLIOGRAFÍA

COLIN, Youenn

2016 *Quadcopter*. Patente de diseño de Los Estados Unidos de América. [US D747,775 S]. pp.1-5. Consulta 3 de agosto de 2017.

<https://patents.google.com/patent/USD747775S1/en>

EL-RABBANY, Ahmed El-Rabbany

2002 *Introduction to The Global Positioning System*. En LIBRARY OF CONGRESS CATALOGING -IN- PUBLICATION DATA. Londres: Artech House. pp. 1-10. Consulta: 10 de agosto de 2017.

http://w3.uch.edu.tw/ccchang50/ebook_introduction_to_gps.pdf

HIBBELER, R. C

2006 *Mecánica de Materiales*. Sexta Edición. México, Pearson Education

KADA, B.

2011 *Robust PID controller design for an UAV flight control system*. San Francisco: World Congress on Engineering and Computer Science. Consulta: 9 de agosto de 2017.

http://www.iaeng.org/publication/WCECS2011/WCECS2011_pp945-950.pdf

KILBY, Terry

2015 *Make : Getting Started with Drones*. San Francisco: Maker Media. pp. 107 - 113. Consulta: 5 de agosto de 2017.

<http://oreilly.com/catalog/errata.csp?isbn=9781457183300>

MALANDRAKIS, K

2016 *Design and Development of a Novel Spherical UAV*. Elsevier, pp. 320–325. Consulta: 1 de agosto de 2017.

<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.09.055>

MATHER, Paul M

2011 *Computer Processing of Remotely-Sensed Images: An Introduction*. Cuarta Edición. John Wiley & Sons. Consulta: 5 de agosto de 2017.

<https://tinyurl.com/ybznemk3>

NAVARRO, Susana

2015 "¿Sirven las cámaras de vigilancia urbana?". *Punto Edu*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú. Consulta: 11 de agosto de 2017.

<https://puntoedu.pucp.edu.pe/noticias/sirven-las-camaras-de-vigilancia-urbana/>

OÑATE, Manuel

2014 *Tipología de los RPAS* [diapositiva]. Consulta: 11 de agosto de 2017.

<http://www.aerpas.es/wp-content/uploads/2015/08/20140630-AERPAS-Tipología-de-RPAS.pdf>

PARROT

2017 *Parrot BEBOP 2 Drone User Guide*. Paris. Consulta: 6 de agosto de 2017.

<https://images-eu.ssl-images-amazon.com/images/I/B1e6c3sOF3S.pdf>

SASAKI, Noriyuki

1996 *Design System for Optimum Contra-Rotating Propellers*. Journal of Marine Science of Technology. pp. 1-3. Consulta 3 de agosto de 2017.

https://doi.org/10.2534/jjasnaoe1968.1996.180_81

TABUCHI, Rubén

2015 *Diseño de un Vehículo Aéreo no Tripulado de cuatro rotores para una carga útil de 1 kg*. Pontificia Universidad Católica del Perú. pp. 34-35. Consulta 2 de diciembre de 2018.

<http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/6105>

VALAVANIS, Kimon P

2015 *Handbook of Unmanned Aerial Vehicles*. En LIBRARY OF CONGRESS. Denver: Springer. Consulta: 6 de agosto de 2017.

https://doi.org/10.1007/978-90-481-9707-1_47

YUNEEC

2017 *Typhoon H User Manual*. Jiangsu. Consulta: 5 de agosto de 2017.

<http://us.yuneeec.com/files/downloads/typhoon-h/Typhoon H User Manual-V1.2.pdf>

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

Facultad de Ciencias e Ingeniería



**PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ**

ANEXOS

**VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO PARA VIGILANCIA EN
AMBIENTES CERRADOS CON DETECCIÓN DE PERSONAS Y
OBSTÁCULOS A SU ALREDEDOR**

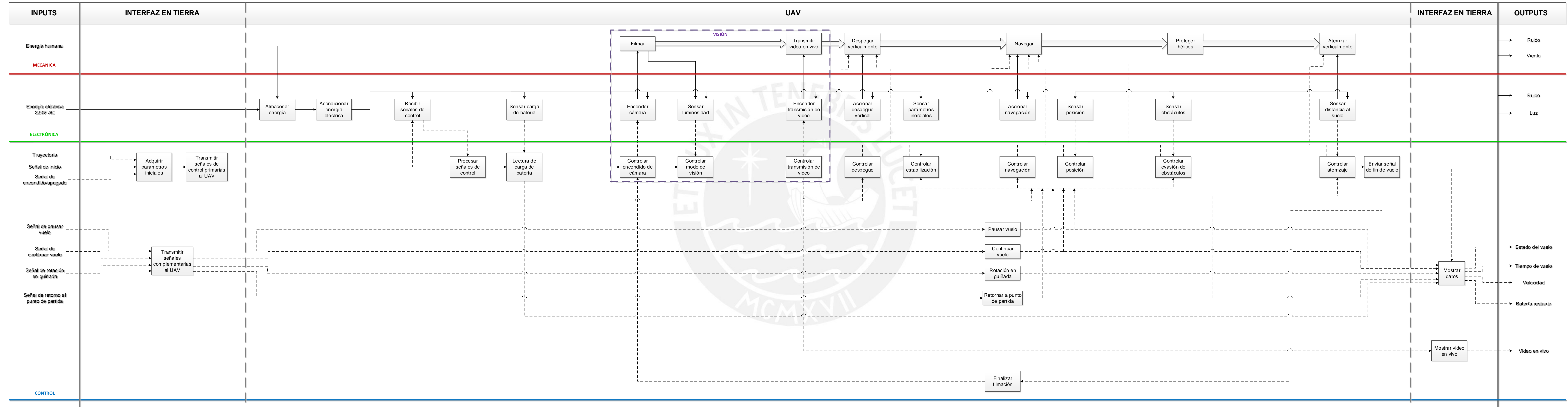
**Tesis para optar el Título de Ingeniero Mecatrónico,
que presenta el bachiller:**

SERGIO RENATO POSTIGO HUANQUI

ASESORA: Ing. Mónica Lucía Abarca Abarca

Lima, diciembre del 2018

ANEXO A: ESTRUCTURA DE FUNCIONES



ANEXO B: DETALLE DE FUNCIONES




Explicación de funciones correspondientes al Anexo 1. Ordenadas en orden alfabético:

1. *Accionar despegue del UAV*: Iniciar despegue vertical del UAV.
2. *Accionar navegación*: Iniciar los mecanismos y dispositivos para la traslación de la aeronave.
3. *Acondicionar energía eléctrica*: Adaptar la energía de la fuente eléctrica del drone para sus distintos dispositivos eléctricos/electrónicos.
4. *Adquirir parámetros iniciales*: El operario indica al sistema de control la señal de encendido/apagado, señal de inicio de vuelo y la trayectoria de vuelo del UAV.
5. *Almacenar energía*: Acumular la energía eléctrica necesaria para el vuelo del UAV.
6. *Controlar aterrizaje*: Procesar las instrucciones para aterrizar la aeronave.
7. *Controlar despegue*: Procesar las instrucciones para el despegue vertical del UAV.
8. *Controlar el modo de visión*: Procesar las instrucciones para fijar la visión nocturna/diurna.
9. *Controlar encendido de cámara*: Procesar las instrucciones de encendido de la cámara de video del UAV.
10. *Controlar estabilización*: Procesar las instrucciones para estabilizar el vuelo de la aeronave.
11. *Controlar evasión de obstáculos*: Procesar las instrucciones que permitan evitar que la aeronave se estrelle contra obstáculos.
12. *Controlar navegación*: Procesar las instrucciones para la traslación de la aeronave.
13. *Controlar posición*: Procesar las instrucciones que permitan que la aeronave se mueva a posiciones determinadas.
14. *Controlar transmisión de video*: Procesar las instrucciones para enviar la señal de video en vivo a tierra.
15. *Encender cámara*: Encendido de cámara de video del UAV.
16. *Encender transmisión de video*: Iniciar el envío de la señal de video a tierra.
17. *Enviar señal de fin de vuelo*: Envío de señal del UAV que indique que este ha aterrizado.
18. *Finalizar filmación*: Concluir grabación de video en vivo.
19. *Lectura de carga de batería*: Obtener la cantidad de energía restante.
20. *Mostrar datos*: Mostrar magnitudes y parámetros del vuelo al operario en tierra.
21. *Mostrar video en vivo*: Proyección del video en vivo al operario en tierra.
22. *Pausar vuelo*: El UAV detiene su navegación y mantiene una posición fija en el aire.
23. *Procesar señales de control*: Procesamiento digital de las señales de control enviadas por el operario en tierra.

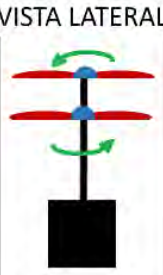

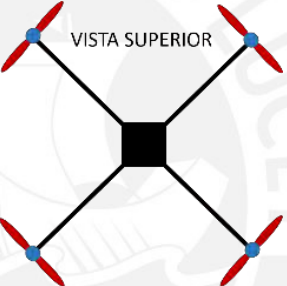

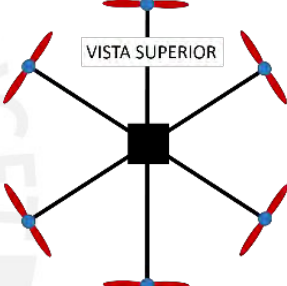
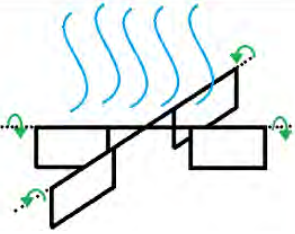



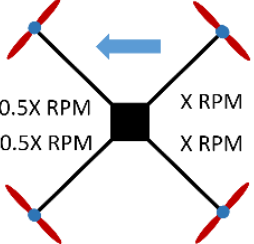

24. *Recibir señales de control*: Recibir las señales de control enviadas desde tierra al dron.
25. *Sensar carga de la batería*: Medir una magnitud relacionada a la carga de batería.
26. *Sensar distancia al suelo*: Medir una magnitud relacionada a la distancia del UAV al suelo.
27. *Sensar luminosidad*: Medir una magnitud relacionada a la luminosidad del entorno del UAV.
28. *Sensar obstáculos*: Medir una magnitud relacionada a la proximidad de obstáculos.
29. *Sensar parámetros inerciales*: Medir magnitudes cinemáticas del vuelo de la aeronave.
30. *Sensar posición*: Medir una magnitud relacionada a la posición instantánea del UAV con respecto a un marco referencial.
31. *Transmitir señales complementarias al UAV*: Las señales complementarias son aquellas útiles para tareas de vuelo específicas del UAV cuando ya está en vuelo. En esta función se transmiten estas señales desde tierra hacia el dron.
32. *Transmitir señales de control primarias al UAV*: Las señales de control primarias son aquellas esenciales para iniciar el vuelo de dron. En esta función se transmiten las señales desde tierra hacia el UAV.
33. *Rotación en guiñada*: El UAV realiza un giro de 360 grados sobre su eje vertical para realizar un cameo panorámico.
34. *Continuar vuelo*: Regresar a la navegación luego de estar pausado.
35. *Retornar a punto de partida*: Anular el resto de navegación y regresar al punto de partida por la trayectoria que recorrió en la ida.

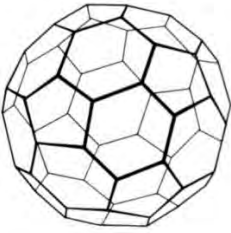

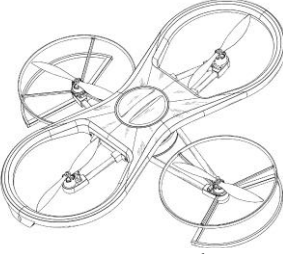

ANEXO C: MATRÍZ MORFOLÓGICA

De manera similar a la estructura de funciones, se propone una matriz separada para cada dominio. Las distintas combinaciones y soluciones que surjan de ellas se conformarán incluyendo los siguientes recuadros en las alternativas de la matriz:











Solución 1 
 Solución 2 
 Solución 3 








1. DOMINIO MECÁNICO


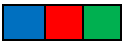














Función	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Despegar y aterrizar verticalmente	<p>VISTA LATERAL</p>  <p>Configuración de 2 rotores (coaxial)</p> 	<p>VISTA SUPERIOR</p>  <p>Configuración de 4 rotores</p> 	<p>VISTA SUPERIOR</p>  <p>Configuración de 6 rotores</p>
Navegar	<p>FLUJO DE AIRE DEL ROTOR</p>  <p>Alerones</p> 	<p>VISTA LATERAL</p>  <p>Álabes regulables</p> 	 <p>0.5X RPM X RPM 0.5X RPM X RPM</p> <p>Diferencia de velocidad en rotores</p> 

Proteger hélices	 <p>Estructura geodésica de fibra de carbono</p> 	 <p>Estructura de recubrimiento plana</p> 	
------------------	---	---	--

















2. DOMINIO ELECTRÓNICO






Función	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Almacenar energía	 <p>Batería Li-Po + Cargador</p> 	 <p>Batería NiMH + Cargador</p> 	
Acondicionar energía eléctrica	 <p>Módulo de potencia</p> 		
Recibir señales del operario	 <p>Telemetría Wi-Fi</p> 	 <p>Telemetría 4G</p> 	

<p>Sensar carga de batería</p>	 <p>Sensor de voltaje en módulo de potencia</p> 	 <p>Sensor de voltaje externo</p> 	
<p>Sensar luminosidad</p>	 <p>Fotorresistencia</p> 	 <p>Sensor integrado en la cámara</p> 	
<p>Filmar</p>	 <p>Cámara de visión nocturna/diurna</p> 	 <p>Cámara térmica</p>	 <p>Cámara multispectral</p>
<p>Transmitir video en vivo</p>	 <p>Transmisor y receptor RF</p> 	 <p>Transmisión 4G con computador de placa reducida</p>	 <p>Transmisión Wi-Fi con computador de placa reducida</p> 
<p>Accionar despegue y aterrizaje verticales y navegación</p>	 <p>Tarjeta de distribución de potencia a rotores</p> 		

<p>Sensar parámetros inerciales</p>	 <p>Sistema de medición inercial en controlador de vuelo</p> 	 <p>Unidad de medición inercial externa</p>	
<p>Sensar distancia al suelo</p>	 <p>Sensor ultrasónico</p> 	 <p>Barómetro</p>	
<p>Sensar posición</p>	 <p>Módulo GPS</p> 	 <p>Sistema de medición inercial en controlador de vuelo</p> 	
<p>Sensar obstáculos</p>	 <p>Sensor Lidar</p> 	 <p>Sensor ultrasónico</p>	 <p>Cámara</p>
<p>Encender luces</p>	 <p>Iluminación led</p> 		

3. DOMINIO DE CONTROL

Función	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Adquirir parámetros iniciales, mostrar datos y mostrar video en vivo.	 <p>Interfaz en laptop</p> 	 <p>Interfaz en 5tablet</p> 	
Transmitir señales de control primarias y secundarias	 <p>Red 4G</p> 	 <p>Red Wi-Fi</p> 	
Procesar señales de control primarias y secundarias	 <p>Computador de placa reducida</p> 	 <p>Microcontrolador</p> 	 <p>Controlador de vuelo</p>
Controlar despegue y aterrizaje verticales, estabilización, navegación y evasión de obstáculos	 <p>+</p>  <p>Controlador de vuelo y controlador de velocidad electrónico (ESC)</p> 		

<p>Controlar encendido de cámara, modo de visión y transmisión de video y luces</p>	 <p>Computador de placa reducida</p> 	 <p>Microcontrolador</p> 	 <p>Microprocesador</p>
---	---	--	--



ANEXO D: SOLUCIONES ADICIONALES

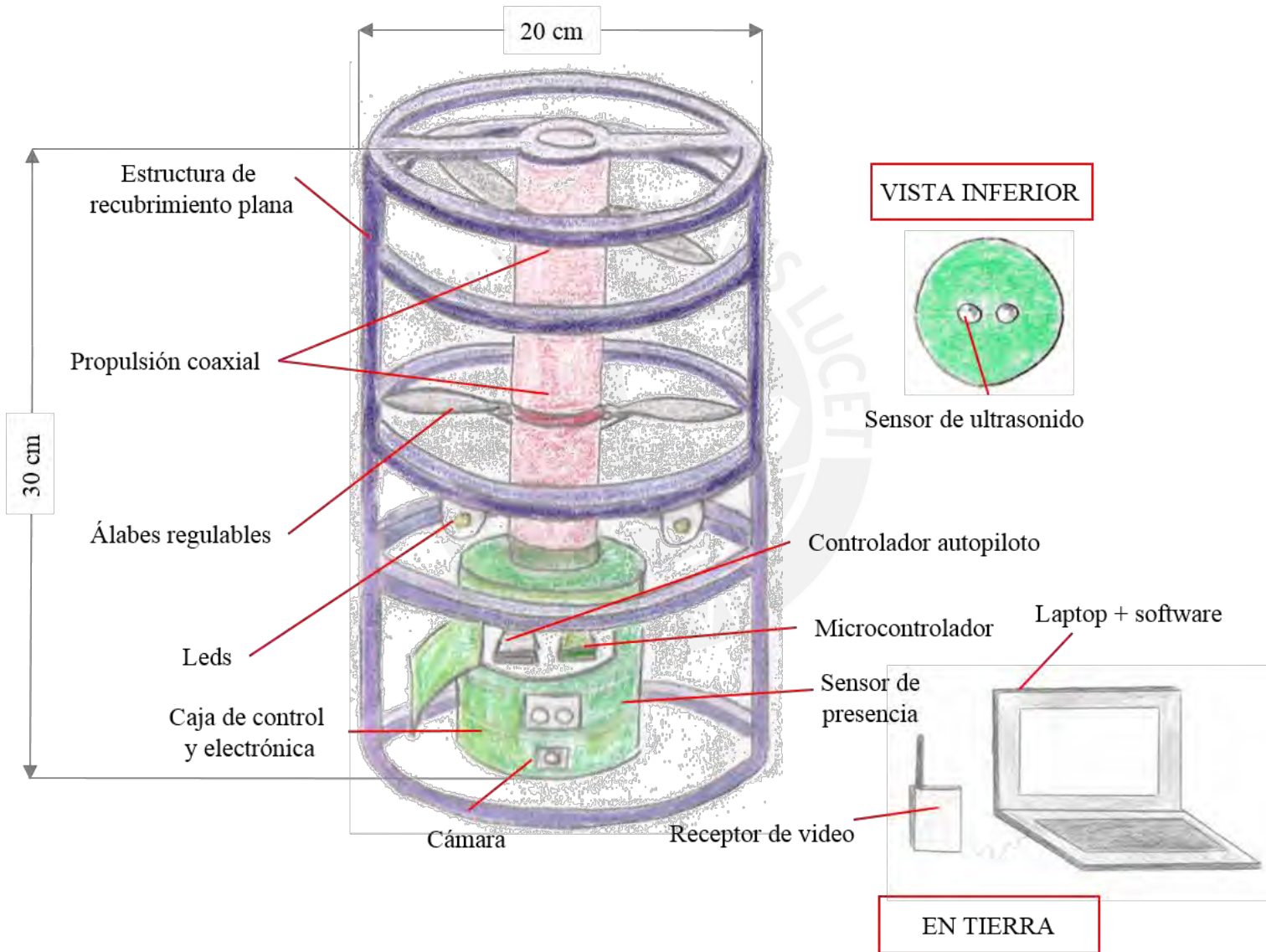
En esta sección se muestran los conceptos de solución 2 y 3 de esta tesis. Se presenta una descripción general e imágenes referenciales de cada propuesta.

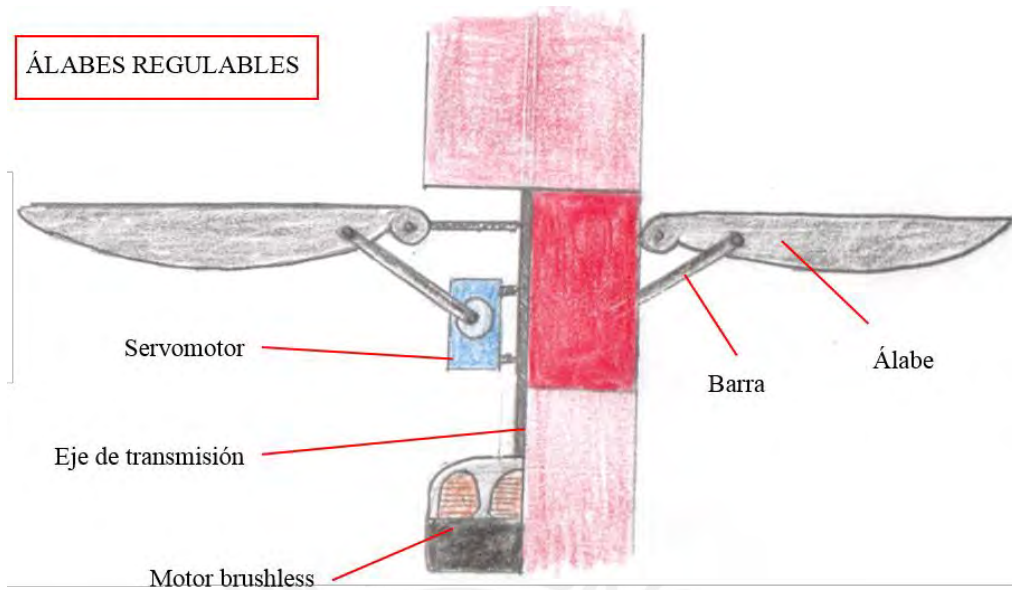
1. Solución 2

En esta solución la propulsión está basada en un sistema coaxial de rotores, uno de ellos con álabes regulables. En el segundo boceto se muestra el principio de funcionamiento de este tipo de propulsión. Los álabes van articulados a barras que a su vez están conectadas a servomotores. De acuerdo a la rotación de los servos, los álabes tendrán una inclinación respectiva. Finalmente, este conjunto gira en torno al eje de un motor brushless. Esto genera que el impulso no se de en sentido vertical sino con una inclinación y esto le permite trasladarse.

Además se utiliza un controlador de vuelo para manejar la estabilización y navegación de la aeronave, el cual recibe las señales de control desde un microcontrolador con un módulo Wi-Fi encargado de realizar la comunicación con una laptop en tierra, donde además se proyecta el video en vivo.

Para proteger las hélices y su entorno, se hace uso de una estructura cilíndrica (morada), que impide los choques horizontales. Esta va unida a una estructura tubular (roja) donde se coloca el sistema de propulsión, la cual a su vez está acoplada a la caja de control y electrónica (verde). Esta última contiene los controladores batería y transmisor de video y tiene fijos a ella los sensores lidar, cámara y ultrasonido.





2. Solución 3

En esta solución se utiliza una propulsión basada 4 rotores cuya configuración recibe el nombre de cuacóptero. Por lo tanto el drone navega combinando distintas velocidades de los rotores

Aquí se usa un controlador de vuelo para manejar la estabilización y navegación de la aeronave. Éste recibe las señales de control desde un computador de placa reducida, el cual se encarga de realizar la comunicación con tierra a través de la red Wi-Fi. Por este medio también envía el video en vivo.

Como se ve en la vista interior de esta solución, tanto los elementos de control como los electrónicos van fijos a la estructura principal del cuacóptero.

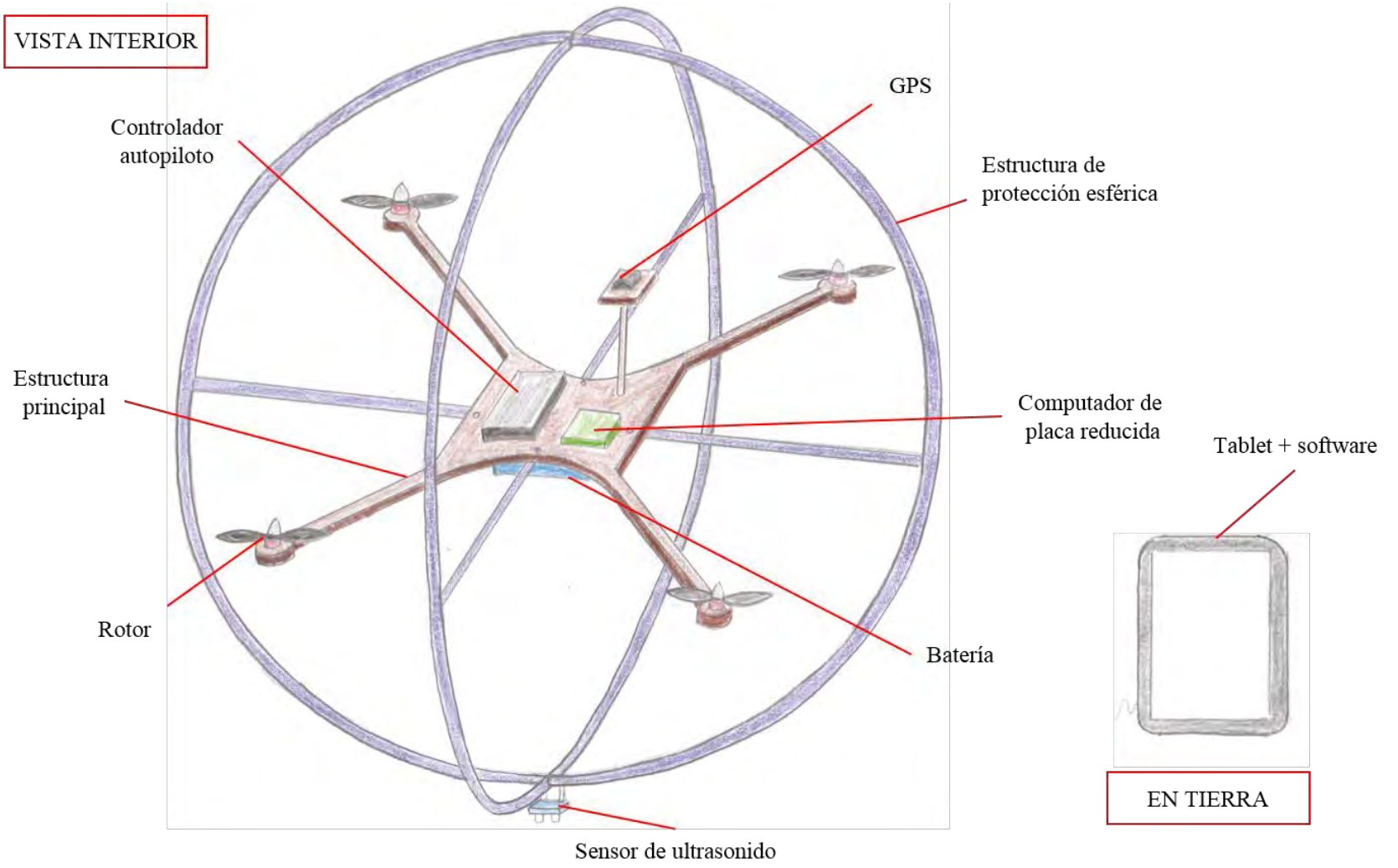
Asimismo, en la vista interior se puede ver una estructura esférica, la cual va unida a la estructura principal. Posteriormente, en la vista exterior, se aprecia una estructura geodésica esférica que va empotrada a la estructura esférica mencionada previamente. Barras de fibra de carbono y articulaciones componen a la esfera geodésica. Este conjunto ambas estructuras conforman la protección del VANT.

Por otra parte, en la vista exterior se muestran los sensores como la cámara, el sensor de presencia y el sensor de ultrasonido, los cuales van fijos a la estructura esférica morada. Igualmente, se muestran los leds unidos a esta estructura.

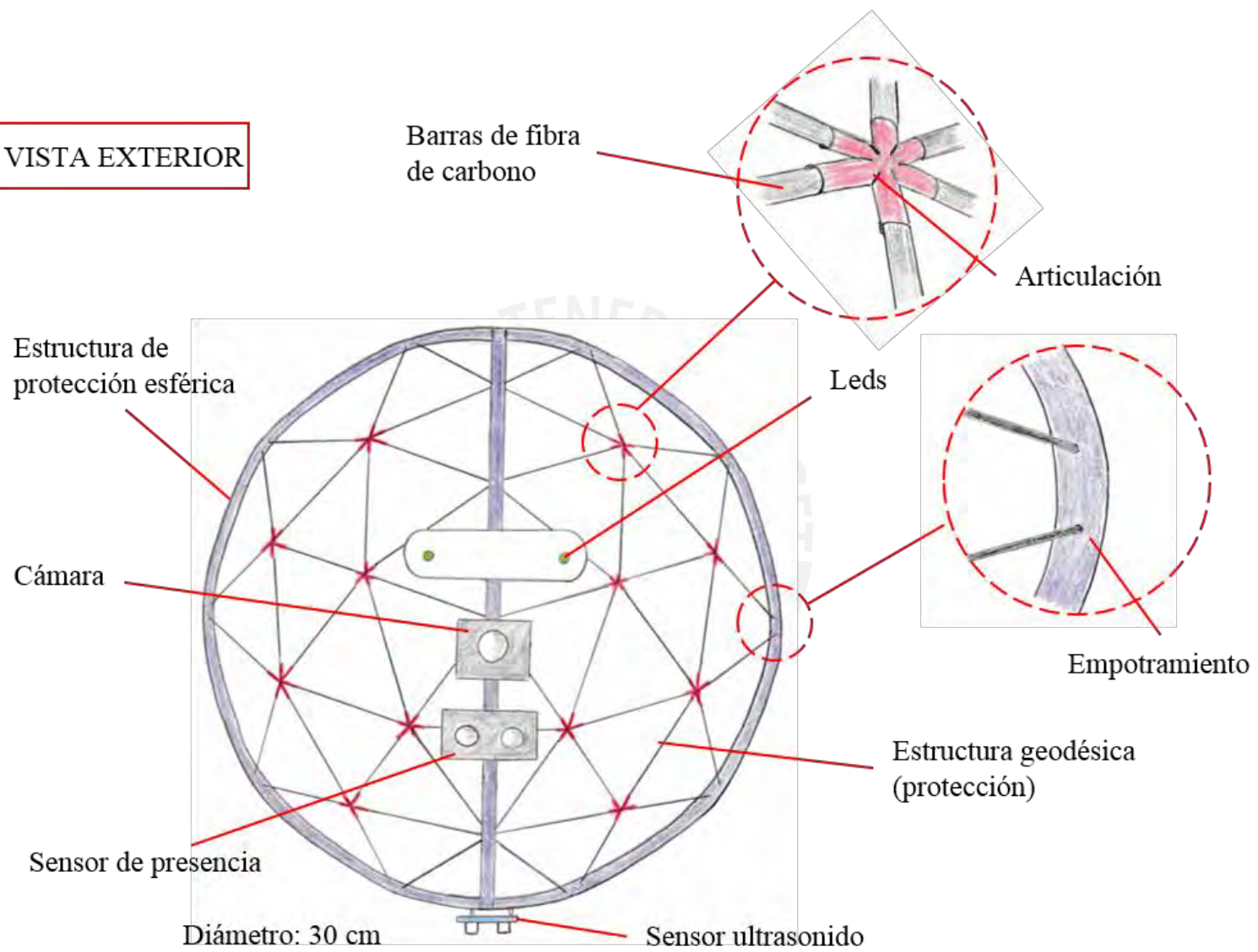
Finalmente, se muestra la tablet desde donde se envían las señales de control al computador de placa reducida del VANT y donde se proyecta el video en vivo que envía la aeronave.



VISTA INTERIOR



VISTA EXTERIOR



ANEXO E: CONFIGURACIÓN DE MISSION PLANNER

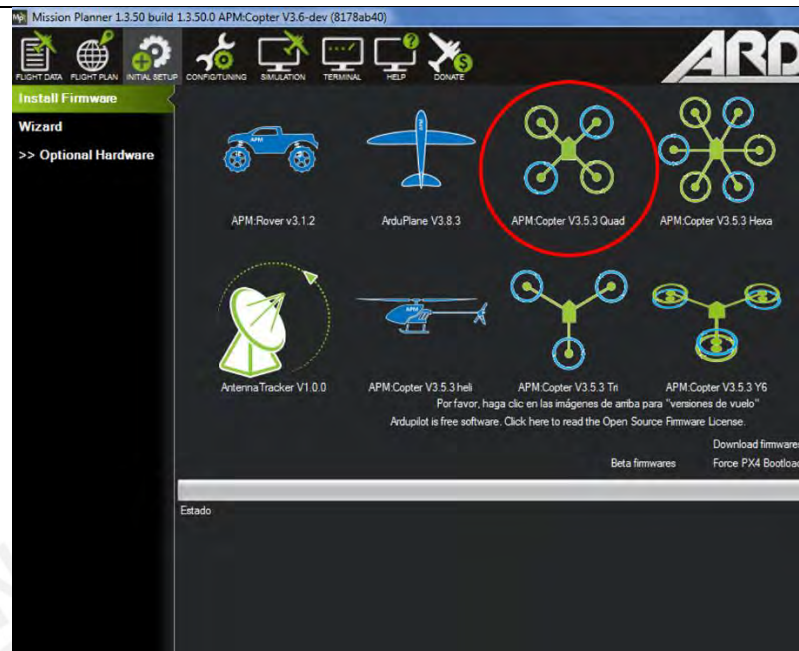
Mission Planner cuenta con una configuración especial para el tipo de UAV que se propone en este proyecto la cual es semejante a la de un cuadcóptero, aunque con ciertas modificaciones. Los pasos para la configuración se encuentran detallados a continuación¹:

Una vez abierto el programa se deberá instalar el firmware en el controlador de vuelo. Para esto se conecta el Pixhawk 2 mediante un cable USB a la laptop y se siguen los siguientes pasos:

Tabla 1: Instalación del firmware en el controlador de vuelo


<p>PASO 1:</p> <p>En la ventana principal, seleccionar la opción “Initial Setup”</p>	 <p>The screenshot shows the Mission Planner 1.3.50.0 interface. The top menu bar includes 'FLIGHT DATA', 'FLIGHT PLAN', 'INITIAL SETUP' (highlighted with a red circle), 'CONFIGURING', 'SIMULATION', 'TERMINAL', 'HELP', and 'DONATE'. The main display area shows a 'DISARMED' status, a 3D view of a quadcopter, and various flight parameters. A table of parameters is visible at the bottom left:</p> <table border="1"><thead><tr><th>Altitude (m)</th><th>GroundSpeed (m/s)</th></tr></thead><tbody><tr><td>0.00</td><td>0.00</td></tr><tr><th>Dist to WP (m)</th><th>Yaw (deg)</th></tr><tr><td>0.00</td><td>0.00</td></tr><tr><th>Vertical Speed (m/s)</th><th>DistToMAV</th></tr><tr><td>0.00</td><td>0.00</td></tr></tbody></table> <p>Other visible data includes 'EKF Vibe', 'GPS: No GPS', 'hdop: 0.0', 'Sats: 0', and 'Current Heading: Direct to current WP'. The bottom status bar shows 'GEO' and '0.000000 0.000000 0.00m'.</p>	Altitude (m)	GroundSpeed (m/s)	0.00	0.00	Dist to WP (m)	Yaw (deg)	0.00	0.00	Vertical Speed (m/s)	DistToMAV	0.00	0.00
Altitude (m)	GroundSpeed (m/s)												
0.00	0.00												
Dist to WP (m)	Yaw (deg)												
0.00	0.00												
Vertical Speed (m/s)	DistToMAV												
0.00	0.00												

¹ La siguiente documentación fue adaptada de la web de Ardupilot (<http://ardupilot.org/copter/>)

<p>PASO 2:</p> <p>En la pestaña “Install Firmware” seleccionar la opción “APM: Copter V3.5.3 Quad”². Esperar unos segundos a que se instale el firmware en el controlador. Seguir las instrucciones que se indiquen.</p>	 <p>Mission Planner 1.3.50 build 1.3.50.0 APM:Copter V3.6-dev (8178ab40)</p> <p>FLIGHT DATA FLIGHT PLAN INITIAL SETUP CONFIGURING SIMULATION TERMINAL HELP DONATE</p> <p>Install Firmware</p> <p>Wizard</p> <p>>> Optional Hardware</p> <p>APM Rover v3.1.2 ArduPlane V3.8.3 APM:Copter V3.5.3 Quad APM:Copter V3.5.3 Hexa</p> <p>Antenna Tracker V1.0.0 APM:Copter V3.5.3 heli APM:Copter V3.5.3 Tri APM:Copter V3.5.3 Y6</p> <p>Por favor, haga clic en las imágenes de arriba para "versiones de vuelo"</p> <p>ArduPilot is free software. Click here to read the Open Source Firmware License.</p> <p>Download firmware Beta firmwares Force PX4 Bootload</p> <p>Estado</p>
---	---

Ahora será necesario configurar el programa para adaptarlo al tipo de UAV que se usará. Para ello seguir los pasos indicados a continuación:

Tabla 2: Configuración del software

<p>PASO 1:</p> <p>En la opción “Initial Setup” seleccionar la pestaña “Wizard”. Inmediatamente se abrirá la ventana de la derecha. Elegir el tipo de vehículo “Multirotor”</p>	 <p>Wizard</p> <p>MissionPlanner</p> <p>WELCOME TO THE MISSION PLANNER SETUP WIZARD.</p> <p>This wizard will guide you through the setup process of your autopilot in readiness for your first flight.</p> <p>Please ensure you have assembled your vehicle as per the instructions provided by the manufacturer.</p> <p>SELECT YOUR VEHICLE TO BEGIN</p> <p>Plane Rover Multirotor Helicopter</p> <p>Progress... 1 of 16</p>
<p>PASO 2:</p>	

² La versión del firmware puede actualizarse y por lo tanto no será necesariamente la misma.

Elegir el tipo de estructura de un cuadcóptero



PASO 3:

Seleccionar el puerto COM a donde está conectado el controlador de vuelo.



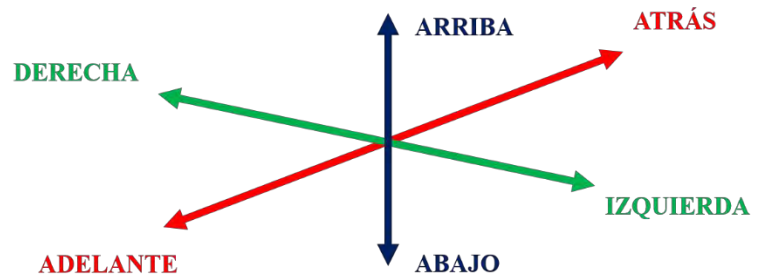
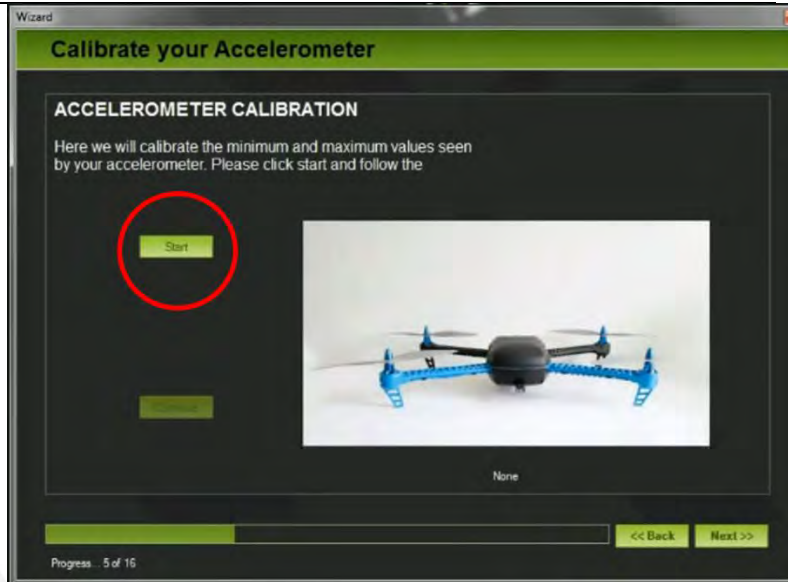
PASO 4:

Seleccionar nuevamente el tipo de estructura de un cuadcóptero.



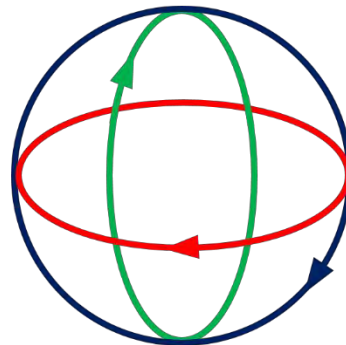
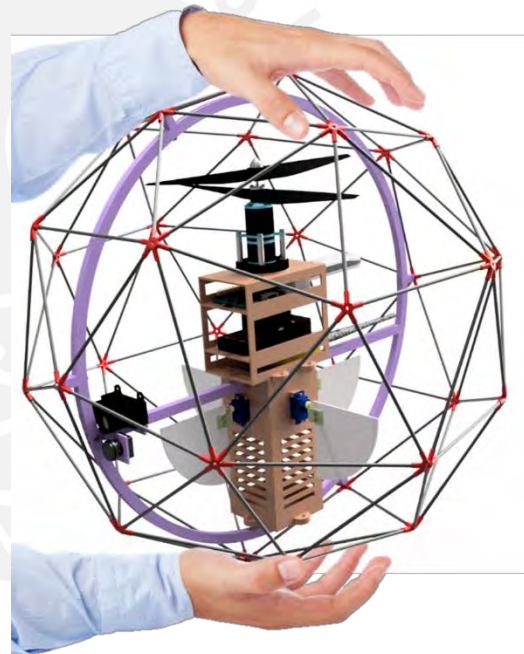
PASO 5:

Aquí se calibrará el acelerómetro del controlador de vuelo. Para ello, se deberá realizar una serie de movimientos manuales al UAV tomando en cuenta las direcciones presentadas en la imagen del lado derecho. Realizar cada uno de los movimientos indicados en el programa.



PASO 6:

Para la calibración de la brújula (compass) será necesario realizar una serie de movimientos rotatorios al UAV alrededor de su centro. Para ello seleccionar el botón “Live calibration” y seguir las indicaciones



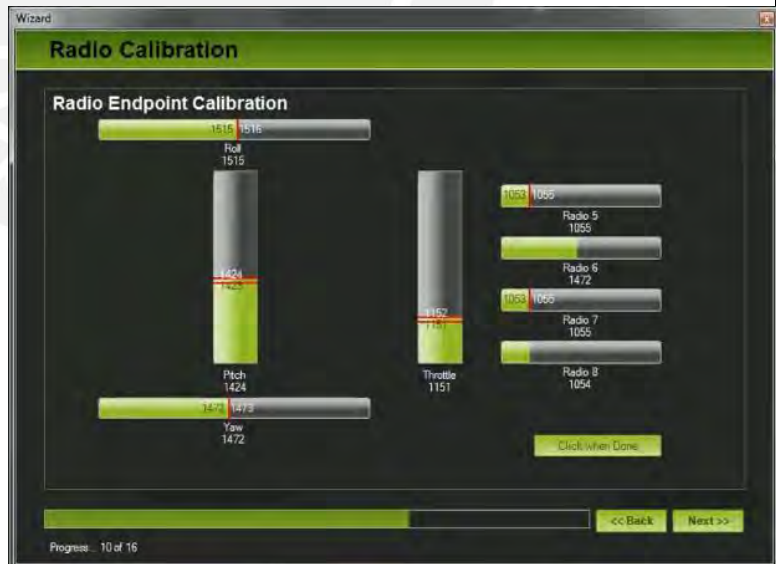
PASO 7:

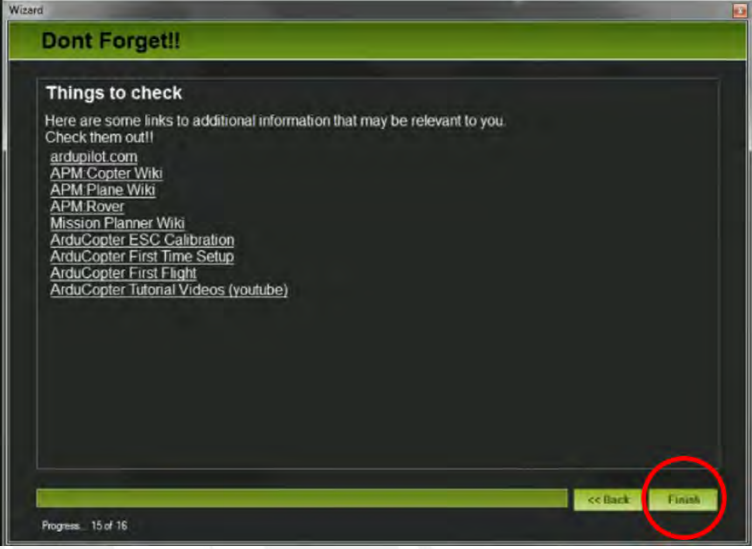
En este punto se realiza la configuración de la batería. En la versión del autopiloto seleccionar la opción “Pixhawk”. Luego, indicar el módulo de potencia a utilizar seleccionando la opción “3DR Power Module”. Finalmente indicar la capacidad de la batería, es decir, 7600 mAh.



PASO 8:

Si bien en este proyecto no se usara un transmisor y un receptor RC para el control desde tierra, es necesario utilizarlos para la calibración de la aceleración, cabeceo, alabeo y guiñada de la aeronave. Conectar el receptor al Pixhawk en el riel de pines RC y simplemente mover los joysticks del transmisor, el sistema hará automáticamente la calibración. Una vez



<p>finalizado este proceso (el programa lo indicará), desconectar el receptor.</p>	
<p>PASO 9:</p> <p>A partir del paso 8 mantener todas las opciones tal y como están hasta llegar a la ventana final. Presionar “Finish” y el proceso de configuración habrá finalizado</p>	 <p>The screenshot shows a window titled 'Wizard' with a green header 'Dont Forget!'. Below the header, it says 'Things to check' and 'Here are some links to additional information that may be relevant to you. Check them out!'. A list of links follows: ardupilot.com, APM Copter Wiki, APM Plane Wiki, APM Rover, Mission Planner Wiki, ArduCopter ESC Calibration, ArduCopter First Time Setup, ArduCopter First Flight, and ArduCopter Tutorial Videos (youtube). At the bottom, there are two buttons: '<< Back' and 'Finish'. The 'Finish' button is circled in red. A progress bar at the bottom left indicates 'Progress: 15 of 16'.</p>

Hasta el momento, el software está configurado para controlar un cuadróptero, por lo tanto es necesario realizar una última modificación. Para ello en la opción “Initial Setup” seguir la ruta MANDATORY HARDWARE > FRAME TYPE > FRAME_CLASS y fijar el valor 8, correspondiente a la opción COAXCOPTER. Automáticamente se establecerán las pines de los servomotores y de los motores brushless. Cabe resaltar que las conexiones del plano esquemático fueron realizadas teniendo en cuenta esta configuración del software.

Adicionalmente se deberán calibrar las posiciones de los servomotores, los controladores de velocidad (ESC) y el sensor lidar. Dado que estas configuraciones son comunes para distintos tipos de drones, tienen mucha información en internet incluyendo la documentación oficial de Mission Planner en la web Ardupilot, por lo tanto se incluirán solamente sus fuentes en este trabajo³.

³ Documentación online disponible en la web de Ardupilot (<http://ardupilot.org/copter/>)

ANEXO F: HOJAS DE DATOS DE COMPONENTES ELECTRÓNICOS

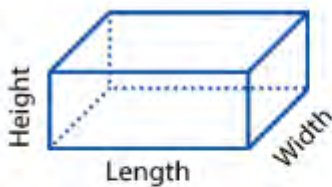


Lumenier 500mAh 4s 15.2v High Voltage 80c Lipo Battery



SKU	6115
Manufacturer	Lumenier
Discharge Plug	XT-30
Voltage / Cell Count	15.2 Volt (4 Cell HV)
Battery Capacity (mAh)	500
C-Rating	80

Specs



Length	60 mm
Width	30 mm
Height	19 mm
Weight	65g
C-Rating	80c - Burst 160c

Powerhobby 3S 11.1V 7600mAh 75C Lipo Battery

ITEM DESCRIPTION

Item #: PH 3S 7600 75C Soft Case Traxxas x2 - A **Item Condition:** Brand New in Factory Packaging
Manufacturer: PowerHobby **Warranty:** Full Manufacturer Warranty
UPC Code: Does Not Apply **Shipping Time:** In Stock Ships Within 24hrs

Powerhobby 3S 11.1V 7600mAh 75C Soft Case Lipo Battery Pack w Traxxas Plugs

75C Continuous / 150C Burst

Designed for guys who want to push their brushless 1/10 & 1/8 scale vehicles to the limit, this 3S battery lets you take full advantage of your power system. Features a huge capacity for extended runtimes, and a 75C rating for lots of power.

Specs:

Application(s): 1/10 / 1/8 scale cars, trucks, and buggies
Discharge Connector: Traxxas
Balance Connector: JST-XH
Length: 138mm
Width: 45mm
Height: 35mm
Weight: 445g
Suggested Charge Rate 2C

Includes : 2 Batteries

Fits But not Limited to :

Traxxas Slash VXL
Slash 4x4 VXL
Rustler VXL
Stampede VXL
Stampede 4x4 VXL
E-Maxx Brushless
X-Maxx
Funny Car
XO-1
Spartan
M-41 Boat

(Extended Battery Strap may be required as this is a taller battery due to the extended run-time

t

Warranty:

- This LiPo Battery Pack is guaranteed, under warranty, against defects in materials and workmanship upto 6 Months from the day of purchase
- This warranty does not cover physical damage to the battery pack as the result of a crash, hard landing, improper mounting or any deformity caused by the user.
- This warranty does not cover internal damage to the battery pack due to overcharging, deep discharging, or excessive discharge current.

HKPilot – Power Module Mega 10S



The HKPilot HV Power Module incorporates both a way to power your HKPilot and accessories as well as report battery voltage and current back to the HKPilot for logging and telemetry data. This can be viewed in the HKPilot's stored logs or live with a telemetry radio connection. All thru a single and tightly included 6-pin cable that directly matches the HKPilot's/APM/PX4 connector. The on-board switching regulator outputs 5.3V at a maximum of 2.25A, and can be used up to 45Volts (10S LiPo) and at a maximum of 90 amps. The Power Module is ready to use with XT60 connectors pre-fitted, and shrink wrapped for protection.

Note: The Power Module is rated at 2.25 Amps to power the HKPilot, receiver and peripherals (GPS and Telemetry radio) ONLY. To power servos use an ESC with an adequate BEC or a standalone BEC plugged into the output bus, and remove jumper 1 to isolate the two power lines.

Specifications:

Max input voltage: 45V

Max current sensing: 90A

Switching regulator outputs: 5.3V at 2.25A max

Connector: 6-pos Molex cable plugs directly to HKPilot/APM/PX4 'PM' connector

Voltage and current measurement configured for: 5V ADC

Includes:

DF13 6 Position Connector 150mm long

HKPilot Power Module with XT60 Connectors

***Note:** The reference to APM refers to the ArduPilot project, a family of open source autopilots based on the Arduino open source computing platform, developed by 3DR and the open source community. It consists of a choice of ArduPilot Mega (APM) electronics and a range of free software versions for different vehicles and is governed by an open source creative commons license.

***Note:** This is not an original Arduino brand product.

Weight(g)	30.00	Length	90.00
Width:	20.00	Height:	50.00

PDB-XT60

w/ BEC 5V & 12V

SKU: PDB-XT60

The PDB-XT60 has been engineered to provide the highest possible performance and reliability in a 36*50mm & 4 layers PCB. It distributes power from a LiPo pack to 6 ESCs, as well as providing synchronised & regulated DC 5V outputs & linear regulated DC 12V for powering Cameras, Servos, RC receiver, Flight Controllers, Video Transmitters, LEDs, etc. It offers a XT60 socket to connect the LiPo pack conveniently.

Features

- 2oz copper, 4-layers & 1.6mm PCB.
- Built-in XT60 Socket
- Total 6 pairs ESC solder tabs are fit for H or X type frame
- 5V & 12V Output LED indicators & Short circuit tolerant

Specifications

General:

- Input voltage range (3S-4S LiPo operation): 9 - 18V DC
- Regulated 5V and 12V outputs
- LED power indicators (5V & 12V outputs)
- 6 ESC outputs & 1 pair VCC/GND pads

ESC outputs:

- Continuous current: 25A*4 or 15A*6
- Peak current (10 seconds/minute): 30A*4 or 20A*6

BEC 5V output:

- Designed for RC Receivers, Flight controllers, OSD, and Servos.
- DC/DC synchronous buck regulator.
- Voltage: 5.0 +/- 0.1VDC
- Continuous current: 2 Amps (Max.2.5A 10s/minute)
- Output Ripple: 40mV (VIN=16V, VOUT=5V@2A load)
- Short-circuit tolerant (5 seconds/minute)

BEC 12V output:

- Designed for Video TX or FPV camera with linear regulator.
- The battery should be 4S LiPo (13-18V DC)
- Voltage: 12.0 +/- 0.3VDC
- Continuous current: 500mA (Max.0.8A 5s/minute)
- Short-circuit tolerant (2 seconds/minute)

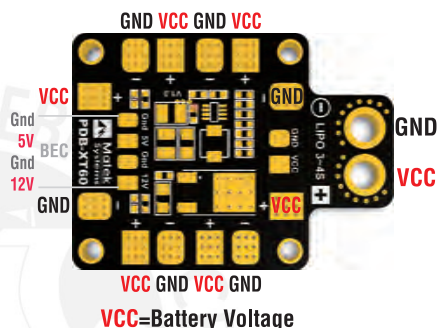
BEC 12V @ 3S LiPo

- Output voltage= 3S LiPo voltage -1V

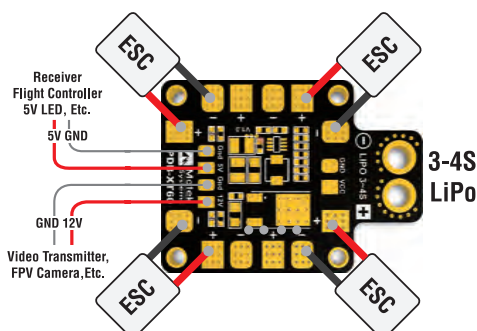
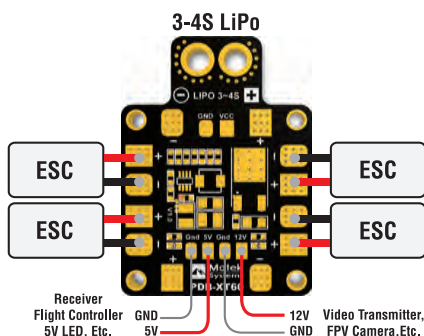
Physical:

- Dimensions: 36 x 50 x 4 mm (without XT60)
- Mounting: 30.5 x 30.5mm, Φ3mm
- Weight: 7.5g(w/o XT60), 11g(w/ XT60)

Layout



Connections



PHOENIX-25™

By **Castle Creations**

25 Amp Brushless Sensorless Speed Control

Warning! High power motor systems can be very dangerous! High currents can heat wires and batteries, causing fires and burning skin. Follow the wiring directions carefully! Model aircraft equipped with high power motors can kill. Always fly at a sanctioned field. Never fly over or near spectators. Even though this controller is equipped with a safety arming program, you should still use caution when connecting the main battery.

1.0 Features of the Phoenix-25™:

- Extremely Low Resistance (.013 ohms)
- High rate (11 KHz) switching (PWM)
- Up to 25 Amps continuous current with proper air flow, 35 amps surge
- Five to eight cells with four micro servos
- Up to ten cells with three micro servos
- Sixteen cells MAX (with BEC disabled)
- Dynamic braking ensures folding props fold promptly
- BEC (1.5A) provides power to receiver and servos - eliminates separate receiver battery
- User Programmable Features:
 - Low-voltage cutoff
 - Over-current Protection
 - Brake Type
 - Throttle Range – fixed/self-adjusting/governor
 - Timing Advance
 - Cutoff Type
 - Soft Start ramp up
- Runs motor in forward OR reverse
- Auto Motor Cutoff with Reset
- Safe “power on” arming program ensures motor will not accidentally turn on
- Low torque “soft start” prevents damage to fragile gearboxes
- Auto shut down when signal is lost or radio interference becomes severe

2.0 Wiring Your Phoenix-25™:

Tools required:

Wire cutters Wire strippers (optional) Soldering Iron (25-40)

Parts required:

Solder (rosin core “electronic” solder) Battery connector

2.1 Servo Ratings with BEC Enabled

Servo Type	5-6 cells	7-8 cells	9-10 cells
Standard (micro) servos	4	4	3
High Torque servos	4	3	2

2.2 Adding the Battery Connector

The battery connector is attached to the side of the controller that has only two power wires, and also has the radio connector. Cut the wires to the length you require on the battery side. Strip off of the wire insulation to expose just enough wire to attach the battery connector. (Note: if you do not have a pair of wire strippers, you can use a modeling knife to carefully cut through the insulation around the wire. Then the insulation should easily pull off the wire.) Attach the battery connector to the wires ENSURING THAT THE POLARITY (red wire to battery red wire, black wire to battery black wire) IS CORRECT, following the instructions for the battery connector.

IMPORTANT NOTE: YOU *MUST* BE SURE THAT THE POLARITY IS CORRECT WHEN CONNECTING THE SPEED CONTROLLER. Incorrect polarity could permanently damage the controller.

2.3 Connecting the Motor

The motor is connected to the side of the controller that has THREE power wires. Cut the wires to the length you require on the motor side. DO NOT CUT the wires leading from the motor. Strip the wire insulation to expose just enough wire to solder the wires to the motor terminals. There should be three wires extending from the motor. Connect the three speed control wires to the three motor wires. Align the wires carefully and solder to the motor wires. Ensure that all connections (battery and motor) are correctly polarized.

2.4 Reversing Rotation

Bench test the motor connections noting the rotation of the motor. To change the rotation of the motor, swap ANY two motor wire connections.

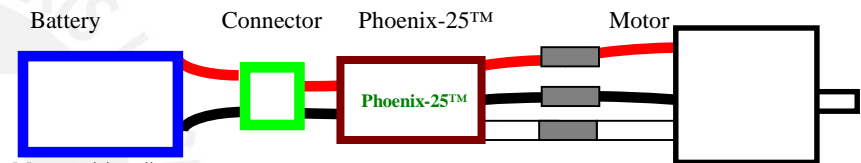


Fig 1: Motor wiring diagram

2.5 Connecting the Receiver

Connect the receiver lead (the three color twisted wires with a connector on the end) to the throttle channel on your receiver (usually channel 3). Do not connect a battery to the receiver, as the Phoenix-25™ will supply power to the receiver and servos through the receiver connector. If you are using more than ten cells, you must use a separate receiver battery. See the section 4.0 (under the heading BEC) for instructions on disabling the BEC to use a separate receiver battery.

Older AirTronics systems require a minor change to the wiring in the receiver connector supplied with the speed controller. Reverse the red (power) and brown (ground) wires in the connector plug so that the plug is orange/brown/red. Use a knife blade to lift the retention tabs on the connector plug to remove the red and brown wires. Insert the wires back into the plug and press down the retention tab.

3.0 Flying with Your Phoenix-25™:

ALWAYS PERFORM A RANGE CHECK BEFORE FLYING WITH ANY NEW SPEED CONTROLLER! PERFORM YOUR RANGE CHECK AT FULL THROTTLE, HALF THROTTLE AND NO THROTTLE.

Initialization sequence:

1. Connect the speed controller receiver connector to the proper channel on your receiver (usually channel 3)
2. Turn on your transmitter.
3. Connect the main power battery to the speed controller.
4. The speed controller will remain disarmed (will not operate) until it sees more than four seconds of “brake” throttle. Move the throttle arm to the lowest position on your transmitter, wait at least four seconds, and then test the controller to make sure that the throttle operates.
5. Go fly!
6. If the BEC cutoff occurs before you land, you may restart the motor and use low throttle if necessary by moving the throttle stick all the way down (to the brake position) and then throttling back up. BEC cutoff will occur again if the voltage drops too low.

PHOENIX-25™

By **Castle Creations**

25 Amp Brushless Sensorless Speed Control

Warning! High power motor systems can be very dangerous! High currents can heat wires and batteries, causing fires and burning skin. Follow the wiring directions carefully! Model aircraft equipped with high power motors can kill. Always fly at a sanctioned field. Never fly over or near spectators. Even though this controller is equipped with a safety arming program, you should still use caution when connecting the main battery.

4.0 Using the Features of Your Phoenix-25™

BEC - The BEC power is supplied to the receiver and servos through the receiver connector wires. If you wish to disable the BEC and use a separate receiver battery (required for the use of more than ten cells), you must first cut the red wire in the trio of receiver wires. Simply use a pair of wire cutters to remove a short section of the red wire near the receiver connector, and be sure to insulate the cut wire with a bit of electrical tape. Then you may safely use a battery with your receiver.

Brake - moving the transmitter throttle stick to the bottom position enables the prop brake.

Cutoff - The motor cutoff will occur when the input battery voltage drops below the programmed cutoff voltage (factory preset at 5.0V) for more than one half second. Once motor cutoff has occurred, moving the throttle to the braking position (full off) can re-arm the controller. This will allow restart of the motor at low throttle after cutoff has occurred. **WARNING: Repeated restarting of the motor may drain the battery to a point where the radio receiver will stop operating, resulting in a loss of control of the model.**

Loss of Transmitter Signal, or excessive radio noise cutoff - Motor cutoff will also occur if the signal from the transmitter is lost, or if the radio noise becomes excessive. After radio connection has been reestablished, moving the throttle to the braking position (full off) for four seconds can restart the motor.

Safe Power Up - The Safe Power up feature is a “finger saver”, designed to prevent the motor from starting accidentally on power up. To arm the controller, the transmitter stick must be held in the “Brake” position (all the way down) for at least four seconds. **Until the controller is armed, it will not provide any power to the motor, regardless of where the throttle stick on your transmitter is positioned.** Before flying your model, be sure to “blip” the throttle to ensure that the controller is armed.

LED - The LED is used for programming the features on the Phoenix-25™. Once armed, the LED also provides an indication that the controller has reached full throttle by lighting solid when full throttle is reached. If the unit is in Auto-Calibrating Throttle mode (program setting 4-1) then you may see full throttle LED indication before the stick is in the full up position. Simply continue moving the stick to full up. The controller will detect the high stick travel and adjust full throttle accordingly.

5.0 Troubleshooting

Everything is hooked up correctly, the BEC (receiver and servos) works, but the throttle does not work.

The controller is not seeing the four seconds of “dead space” (low throttle) and is not arming. Try moving your throttle stick all the way down, and moving the trim all the way down. Wait for four seconds and try the throttle again. If it still does not arm, you may need to reverse the throttle control on your transmitter (see your radio documentation). You may also check to make sure that your endpoint adjustments on your radio (if it has them) are set all the way open.

Every time I throttle all the way up, the controller “cuts off” after a few seconds, even with fresh charged batteries.

The controller will automatically shut down the motor if the battery voltage falls below the programmed voltage cutoff (factory preset at 5.0V) for more than half a second. This is to protect your airplane from a loss of control caused by too low a voltage at the receiver. If the cutoff is kicking in with fresh charged batteries, it means that the voltage is dropping very quickly. This is usually an indication of a motor that is drawing too much current for the batteries to handle. Try using a smaller prop on the motor, or using batteries with a higher rating (for example, if you are using 800AR cells, you might try going to 1000SCR cells.)

The LED comes on when I throttle up.

This is normal. The LED comes on when full throttle has been reached. If the unit is in Auto-Calibrating Throttle mode (program setting 4-1) then you may see full throttle LED indication before the stick is in the full up position. Simply continue moving the stick to full up. The controller will detect the high stick travel and adjust full throttle accordingly.

Nothing seems to work, receiver and servos are dead, and the throttle is dead.

Check all connections to ensure that they are correct, and that the polarity (+/-) connections are correct. If everything is correctly connected, and the receiver and servos still do not work, contact the dealer where you purchased your Phoenix-25™ or Contact **Castle Creations** directly. (See info below)

6.0 Contact / Warranty Information

Your Phoenix-25™ is warranted for *one*(1) year from date of purchase to be free from manufacturing and component defects. This warranty does not cover abuse, neglect, or damage due to incorrect wiring, over voltage, or overloading. If you have any questions, comments, or wish to return your Phoenix-25™ for warranty or non-warranty repair/replacement contact **Castle Creations** at:

Castle Creations Email: info@castlecreations.com
402 E. Pendleton Ave. Fax: (785) 883-4571
Wellsville, KS 66092 Website: http://www.castlecreations.com
Tel: (785) 883-4519

7.0 Phoenix-25™ Programming Features

Programming the Phoenix-25™

Programming the Phoenix-25™ is as simple as answering a few questions. The Phoenix-25™ asks questions by flashing a setting number, followed by the possible setting values. There are seven settings that can be programmed in the Phoenix-25™: 1) Cutoff voltage, 2) Current Limiting, 3) Brake Type, 4) Throttle Type, 5) Timing Advance, 6) Cutoff Type, and 7) Soft Start.

As the programmer, you must answer “yes” or “no” to the setting values as they are presented by the Phoenix-25™. The setting values are “flashed” out by the LED. Answering “no” to a setting value will cause the Phoenix-25™ to ask for the next value. Answering “yes” to a setting value will store that setting in the Phoenix-25™s permanent memory. After a setting is stored, the Phoenix-25™ will continue to ask about other settings until all settings have been stored. **NOTE:** If you answer “no” to all values for a particular setting, the Phoenix-25™ will keep whatever value had been previously programmed. Only by answering “yes” to a value will the Phoenix-25™ store/change that value.

When answering a question, you will need to move the transmitter stick to the yes (full on throttle) position or the no (full off throttle) position and keep it there for about 5 seconds. When the Phoenix-25™ has accepted your answer, it will flash the LED rapidly. After the LED starts its rapid flashing, move the throttle stick to the middle position to confirm that you are ready for the Phoenix-25™ to ask the next question.

You are not required to continue through all seven programming options. For example, if you wish only to change the Cutoff Voltage (option 1) then after programming that setting you can disconnect power from the Phoenix-25™ and proceed to the arming sequence (see Section 3.0). Disconnecting the controller in the middle of programming simply retains the values for the remaining programming options that were previously set up.

PHOENIX-25™

By **Castle Creations**

25 Amp Brushless Sensorless Speed Control

Warning! High power motor systems can be very dangerous! High currents can heat wires and batteries, causing fires and burning skin. Follow the wiring directions carefully! Model aircraft equipped with high power motors can kill. Always fly at a sanctioned field. Never fly over or near spectators. Even though this controller is equipped with a safety arming program, you should still use caution when connecting the main battery.

8.0 Entering Programming Mode

The Phoenix-25™ software is designed to make it difficult to *accidentally* enter programming mode, therefore it may seem like a long process to enter programming mode. This is to prevent entering programming mode while preparing to fly or while in flight. To enter programming mode, follow the steps below:

8.1 Verify Normal Operation

If this is the first time the Phoenix-25™ has been used, it is important to verify that the Phoenix-25™ operates normally with your transmitter otherwise programming may not function properly. Follow the instructions in section 3.0 Initialization Sequence (steps 1-4). Once you have verified that the Phoenix-25™ operates normally, proceed to 8.2 below. If the Phoenix-25™ does not operate properly, see section 5.0, Troubleshooting.

8.2 Enter Programming Mode

8.2.1 Remove battery power from the Phoenix-25™.

8.2.2 Move the transmitter stick to the **top** position (normally full “On”).

8.2.3 Reconnect battery power to the Phoenix-25™.

8.2.4 After approximately 2 seconds, the Phoenix-25™ will emit a short tone, and the LED on the Phoenix-25™ should flash a short, single flash followed by a pause.

Phoenix-25™ responds: flash – pause

8.2.5 Move your transmitter stick to the **middle** position.

8.2.6 After approximately 2 seconds, the Phoenix-25™ will emit a short tone, and the LED on the Phoenix-25™ should flash a short, double flash followed by a pause.

Phoenix-25™ responds: flash – flash – pause

8.2.7 Move your transmitter stick to the **top** position again.

8.2.8 After approximately 2 seconds, the Phoenix-25™ will emit a short tone, and the LED on the Phoenix-25™ should flash a short, triple flash followed by a pause.

Phoenix-25™ responds: flash – flash – flash – pause

8.2.9 Move your transmitter stick back to the **middle** position again.

8.2.10 After approximately 2 seconds, the Phoenix-25™ will emit four short tones, and the LED on the Phoenix-25™ will start a flash sequence of a single flash followed by another single flash, followed by a long pause.

Phoenix-25™ responds: flash – flash – pause

8.2.11 The Phoenix-25™ is now in programming mode.

8.2.12 Proceed to Section 9.0 – Programming the Phoenix-25™

9.0 Programming the Phoenix-25™

Important Note: When answering a question, you will need to move the transmitter stick to the yes (full “On” throttle) position or the no (full “Off” throttle) position and keep it there for about 2 seconds. When the Phoenix-25™ has accepted your answer, it will flash the LED rapidly. After the LED starts its rapid flashing, move the throttle stick to the middle position to confirm that you are ready for the Phoenix-25™ to ask the next question.

If you wish to re-program only some of the features you do not need to continue through the programming steps for the remaining settings. Once you have programmed each of the features you wish to change and the Phoenix-25™ has confirmed the selection, instead of returning to mid-throttle for the next question, disconnect battery power, re-connect power, and arm the speed control as normal (see Section 3.0).

*Factory default settings are indicated by an asterisk in the option listings below.

9.1 Programming Setting 1 –Cutoff Voltage

Setting	Recommended for use with:	Setting	Recommended for use with:
Option 1: 4.0V cutoff voltage	5 cell NiCad or NiMH packs	Option 4: 7.2V cutoff voltage	9-12 cell NiCad or NiMH packs, or 3 cell Lithium packs
Option 2: 5.0V cutoff voltage*	6-8 cell NiCad or NiMH packs, or 2 cell Lithium packs	Option 5: 9.0V cutoff voltage	12-14 cell NiCad, 12-16 cell NiMH, or 4 cell Lithium packs
Option 3: 6.0V cutoff voltage	7-10 cell NiCad or NiMH packs	Option 6: 12.0V cutoff voltage	16 cell Nicad packs, or 4 cell Lithium packs

Phoenix-25™ Displays:	Programming Question Asked:	Your Response:	Phoenix-25™ Action:	Your Action:
1 flash – short pause – 1 flash – long pause	Setting 1 (cutoff voltage), Option 1 (4.0V)?	Yes – Throttle stick in up position	Stores selection. Flashes rapidly to confirm receipt of your response.	Return Tx stick to center and proceed to next setting–Current Limiting (9.2 below)
		No – Throttle stick in off position	Flashes rapidly to confirm receipt of your response.	Return Tx stick to center and proceed to next option for this setting
1 flash – short pause – 2 flashes – long pause	Setting 1 (cutoff voltage), Option 2 (5.0V)?	Yes – Throttle stick in up position	Stores selection. Flashes rapidly to confirm receipt of your response.	Return Tx stick to center and proceed to next setting–Current Limiting (9.2 below)
		No – Throttle stick in off position	Flashes rapidly to confirm receipt of your response.	Return Tx stick to center and proceed to next option for this setting
1 flash – short pause – 3 flashes – long pause	Setting 1 (cutoff voltage), Option 3 (6.0V)?	Yes – Throttle stick in up position	Stores selection. Flashes rapidly to confirm receipt of your response.	Return Tx stick to center and proceed to next setting–Current Limiting (9.2 below)
		No – Throttle stick in off position	Flashes rapidly to confirm receipt of your response.	Return Tx stick to center and proceed to next option for this setting

Warning! High power motor systems can be very dangerous! High currents can heat wires and batteries, causing fires and burning skin. Follow the wiring directions carefully! Model aircraft equipped with high power motors can kill. Always fly at a sanctioned field. Never fly over or near spectators. Even though this controller is equipped with a safety arming program, you should still use caution when connecting the main battery.

Phoenix-25™ Displays:	Programming Question Asked:	Your Response:	Phoenix-25™ Action:	Your Action:
1 flash – short pause – 4 flashes – long pause	Setting 1 (cutoff voltage), Option 4 (7.2V)?	Yes – Throttle stick in up position	Stores selection. Flashes rapidly to confirm receipt of your response.	Return Tx stick to center and proceed to next setting–Current Limiting (9.2 below)
		No – Throttle stick in off position	Flashes rapidly to confirm receipt of your response.	Return Tx stick to center and proceed to next option for this setting
1 flash – short pause – 5 flashes – long pause	Setting 1 (cutoff voltage), Option 5 (9.0V)?	Yes – Throttle stick in up position	Stores selection. Flashes rapidly to confirm receipt of your response.	Return Tx stick to center and proceed to next setting–Current Limiting (9.2 below)
		No – Throttle stick in off position	Flashes rapidly to confirm receipt of your response.	Return Tx stick to center and proceed to next option for this setting
1 flash – short pause – 6 flashes – long pause	Setting 1 (cutoff voltage), Option 6 (12.0V)?	Yes – Throttle stick in up position	Stores selection. Flashes rapidly to confirm receipt of your response.	Return Tx stick to center and proceed to next setting–Current Limiting (9.2 below)
		No – Throttle stick in off position	Flashes rapidly to confirm receipt of your response. Maintains previous setting for cutoff voltage (no change)	Return Tx stick to center and proceed to next setting–Current Limiting (9.2 below)

9.2 Programming Setting 2 –Current Limiting

NOTE: Change this setting at your own risk! Damage to the controller as a result of over current is NOT covered by the manufacturer’s warranty. Only experienced modelers should use this programming feature. Current limiting describes the reaction of the Phoenix-25™ when an over-current condition is detected. There are five options:

Option 1: Very sensitive (Very low over-current threshold, will rapidly shut-down)

Option 2: Sensitive (Low over-current threshold, will rapidly shut-down)

Option 3: Standard * (Moderate over-current threshold, will shut down after a slight delay)

Option 4: Insensitive (High over-current threshold, will shut down after a slight delay)

Option 5: Over current disabled (Over current detection disabled)

Phoenix-25™ Displays:	Programming Question Asked:	Your Response:	Phoenix-25™ Action:	Your Action:
2 flashes - short pause –1 flash – long pause	Setting 2 (current limiting), Option 1 (Very sensitive)?	Yes – Throttle stick in up position	Stores selection. Flashes rapidly to confirm receipt of your response.	Return Tx stick to center and proceed to next setting–Brake Type (9.3 below)
		No – Throttle stick in off position	Flashes rapidly to confirm receipt of your response.	Return Tx stick to center and proceed to next option for this setting
2 flashes - short pause – 2 flashes – long pause	Setting 2 (current limiting), Option 2 (Sensitive)?	Yes – Throttle stick in up position	Stores selection. Flashes rapidly to confirm receipt of your response.	Return Tx stick to center and proceed to next setting–Brake Type (9.3 below)
		No – Throttle stick in off position	Flashes rapidly to confirm receipt of your response.	Return Tx stick to center and proceed to next option for this setting
2 flashes - short pause – 3 flashes – long pause	Setting 2 (current limiting), Option 3 (Standard)?	Yes – Throttle stick in up position	Stores selection. Flashes rapidly to confirm receipt of your response.	Return Tx stick to center and proceed to next setting–Brake Type (9.3 below)
		No – Throttle stick in off position	Flashes rapidly to confirm receipt of your response.	Return Tx stick to center and proceed to next option for this setting
2 flashes - short pause – 4 flashes – long pause	Setting 2 (current limiting), Option 4 (Insensitive)?	Yes – Throttle stick in up position	Stores selection. Flashes rapidly to confirm receipt of your response.	Return Tx stick to center and proceed to next setting–Brake Type (9.3 below)
		No – Throttle stick in off position	Flashes rapidly to confirm receipt of your response.	Return Tx stick to center and proceed to next option for this setting
2 flashes - short pause – 5 flashes – long pause	Setting 2 (current limiting), Option 5 (Disabled)?	Yes – Throttle stick in up position	Stores selection. Flashes rapidly to confirm receipt of your response.	Return Tx stick to center and proceed to next setting–Brake Type (9.3 below)
		No – Throttle stick in off position	Flashes rapidly to confirm receipt of your response. Maintains previous setting for Current Limiting (no change).	Return Tx stick to center and proceed to next setting – Brake Type (9.3 below).

9.3 Programming Setting 3 – Brake Type

Delayed brake provides a 4-second delay before braking occurs. Soft brake provides 50% of full braking power; hard brake is 100% braking power. Hard brake should only be used on 10 cells or less.

Option 1: Soft delayed brake * General aircraft use, with fixed or folding prop

Option 2: Hard delayed brake Direct drive applications where more braking power is required

Option 3: Soft brake, no delay Competition use where a very short brake delay is required

Option 4: Hard brake, no delay Competition use where a very short brake delay is required

Option 5: Brake Disabled Helicopters

Phoenix-25™ Displays:	Programming Question Asked:	Your Response:	Phoenix-25™ Action:	Your Action:
3 flashes - short pause – 1 flash – long pause	Setting 3 (brake type), Option 1 (soft, delayed 4-seconds)?	Yes – Throttle stick in up position	Stores selection. Flashes rapidly to confirm receipt of your response.	Return Tx stick to center and proceed to next setting–Throttle Type (9.4 below)
		No – Throttle stick in off position	Flashes rapidly to confirm receipt of your response.	Return Tx stick to center and proceed to next option for this setting

Warning! High power motor systems can be very dangerous! High currents can heat wires and batteries, causing fires and burning skin. Follow the wiring directions carefully! Model aircraft equipped with high power motors can kill. Always fly at a sanctioned field. Never fly over or near spectators. Even though this controller is equipped with a safety arming program, you should still use caution when connecting the main battery.

Phoenix-25™ Displays:	Programming Question Asked:	Your Response:	Phoenix-25™ Action:	Your Action:
3 flashes - short pause – 2 flashes – long pause	Setting 3 (brake type), Option 2 (hard, delayed 4-seconds)?	Yes – Throttle stick in up position	Stores selection. Flashes rapidly to confirm receipt of your response.	Return Tx stick to center and proceed to next setting–Throttle Type (9.4 below)
		No – Throttle stick in off position	Flashes rapidly to confirm receipt of your response.	Return Tx stick to center and proceed to next option for this setting
3 flashes - short pause – 3 flashes – long pause	Setting 3 (brake type), Option 3 (soft, no delay)?	Yes – Throttle stick in up position	Stores selection. Flashes rapidly to confirm receipt of your response.	Return Tx stick to center and proceed to next setting–Throttle Type (9.4 below)
		No – Throttle stick in off position	Flashes rapidly to confirm receipt of your response.	Return Tx stick to center and proceed to next option for this setting
3 flashes - short pause – 4 flashes – long pause	Setting 3 (brake type), Option 4 (hard, no delay)?	Yes – Throttle stick in up position	Stores selection. Flashes rapidly to confirm receipt of your response.	Return Tx stick to center and proceed to next setting–Throttle Type (9.4 below)
		No – Throttle stick in off position	Flashes rapidly to confirm receipt of your response.	Return Tx stick to center and proceed to next option for this setting
3 flashes - short pause – 5 flashes – long pause	Setting 3 (brake type), Option 5 (brake disabled)?	Yes – Throttle stick in up position	Stores selection. Flashes rapidly to confirm receipt of your response.	Return Tx stick to center and proceed to next setting–Throttle Type (9.4 below)
		No – Throttle stick in off position	Flashes rapidly to confirm receipt of your response. Maintains previous setting for Brake Type (no change).	Return Tx stick to center and proceed to next setting–Throttle Type (9.4 below)

9.4 Programming Setting 4 – Throttle Type

Option 1: Auto Calibrating throttle*

Recommended for general aircraft

Option 3: Governor Mode – Low RPM Range (see Note below)

Recommended for collective pitch helicopters

Option 2: Fixed throttle

Fixed pitch helicopters

Option 4: Governor Mode – High RPM Range (see Note below)

Recommended for collective pitch helicopters

Phoenix-25™ Displays:	Programming Question Asked:	Your Response:	Phoenix-25™ Action:	Your Action:
4 flashes - short pause – 1 flash – long pause	Setting 4 (throttle type), Option 1 (auto calibrating)?	Yes – Throttle stick in up position	Stores selection. Flashes rapidly to confirm receipt of your response.	Return Tx stick to center and proceed to next setting–Timing Advance (9.5 below)
		No – Throttle stick in off position	Flashes rapidly to confirm receipt of your response.	Return Tx stick to center and proceed to next option for this setting
4 flashes - short pause – 2 flashes – long pause	Setting 4 (throttle type), Option 2 (fixed)?	Yes – Throttle stick in up position	Stores selection. Flashes rapidly to confirm receipt of your response.	Return Tx stick to center and proceed to next setting–Timing Advance (9.5 below)
		No – Throttle stick in off position	Flashes rapidly to confirm receipt of your response.	Return Tx stick to center and proceed to next option for this setting
4 flashes - short pause – 3 flashes – long pause	Setting 4 (throttle type), Option 3 (Governor mode Low RPM range)?	Yes – Throttle stick in up position	Stores selection. Flashes rapidly to confirm receipt of your response.	Return Tx stick to center and proceed to next setting–Timing Advance (9.5 below)
		No – Throttle stick in off position	Flashes rapidly to confirm receipt of your response.	Return Tx stick to center and proceed to next option for this setting
4 flashes - short pause – 4 flashes – long pause	Setting 4 (throttle type), Option 4 (Governor mode High RPM range)?	Yes – Throttle stick in up position	Stores selection. Flashes rapidly to confirm receipt of your response.	Return Tx stick to center and proceed to next setting–Timing Advance (9.5 below)
		No – Throttle stick in off position	Flashes rapidly to confirm receipt of your response. Maintains previous setting for throttle (no change).	Return Tx stick to center and proceed to next setting–Timing Advance (9.5 below)

NOTE: Governor mode acts as an RPM control, rather than a throttle control. Throttle stick position determines the RPM that the motor runs and the controller will attempt to hold that RPM regardless of load changes. This is useful in a collective pitch helicopter where a constant head speed is desirable. The low RPM range has finer RPM control at lower RPMs, and the high RPM range has finer RPM control at higher RPMs. The low RPM range is useful for low pole count motors (Hacker, etc.) and low RPMs on higher pole count motors. The high RPM range is useful for higher pole count motors and higher RPMs. Brake is ALWAYS disabled in Governor Mode.

9.5 Programming Setting 5 – Electronic timing advance

Option 1: High advance timing (12°-35°)

Recommended for higher pole count motors (eg. Jeti or large Mega motors) Gives more power at the expense of efficiency

Option 2: Standard advance timing (5°-20°) *

Recommended for most motors (Aveox, Hacker, Astro, smaller Mega, Kontronik) Gives a good balance of power and efficiency

Option 3: Low advance timing (0°-15°)

Recommended for use when efficiency or run-time is primary concern – Gives a slight loss of power with a slight increase in efficiency.

NOTE: The controller senses the motor type by its inductance, and automatically sets the maximum advance according to motor type (eg: outrunner motors will automatically be run at a higher advance setting)

Phoenix-25™ Displays:	Programming Question Asked:	Your Response:	Phoenix-25™ Action:	Your Action:
5 flashes - short pause – 1 flash – long pause	Setting 5 (timing advance), Option 1 (high advance)?	Yes – Throttle stick in up position	Stores selection. Flashes rapidly to confirm receipt of your response.	Return Tx stick to center and proceed to next setting–Cutoff Type (9.6 below)
		No – Throttle stick in off position	Flashes rapidly to confirm receipt of your response.	Return Tx stick to center and proceed to next option for this setting

Warning! High power motor systems can be very dangerous! High currents can heat wires and batteries, causing fires and burning skin. Follow the wiring directions carefully! Model aircraft equipped with high power motors can kill. Always fly at a sanctioned field. Never fly over or near spectators. Even though this controller is equipped with a safety arming program, you should still use caution when connecting the main battery.

Phoenix-25™ Displays:	Programming Question Asked:	Your Response:	Phoenix-25™ Action:	Your Action:
5 flashes - short pause – 2 flashes – long pause	Setting 5 (timing advance), Option 2 (standard)?	Yes – Throttle stick in up position	Stores selection. Flashes rapidly to confirm receipt of your response.	Return Tx stick to center and proceed to next setting–Cutoff Type (9.6 below)
		No – Throttle stick in off position	Flashes rapidly to confirm receipt of your response.	Return Tx stick to center and proceed to next option for this setting
5 flashes - short pause – 3 flashes – long pause	Setting 5 (timing advance), Option 3 (low)?	Yes – Throttle stick in up position	Stores selection. Flashes rapidly to confirm receipt of your response.	Return Tx stick to center and proceed to next setting–Cutoff Type (9.6 below)
		No – Throttle stick in off position	Flashes rapidly to confirm receipt of your response. Maintains previous setting for timing advance(no change).	Return Tx stick to center and proceed to next setting–Cutoff Type (9.6 below)

9.6 Programming Setting 6 – Cutoff Type

Option 1: Hard Cutoff * (Immediate motor shutdown)

Option 2: Soft Cutoff (Throttle down at low voltage or over-current)

Phoenix-25™ Displays:	Programming Question Asked:	Your Response:	Phoenix-25™ Action:	Your Action:
6 flashes - short pause – 1 flash – long pause	Setting 6 (cutoff type), Option 1 (hard cutoff)?	Yes – Throttle stick in up position	Stores selection. Flashes rapidly to confirm receipt of your response.	Return Tx stick to center and proceed to next setting–Cutoff Type (9.7 below).
		No – Throttle stick in off position	Flashes rapidly to confirm receipt of your response.	Return Tx stick to center and proceed to next option for this setting
6 flashes - short pause – 2 flashes – long pause	Setting 6 (cutoff type), Option 2 (soft cutoff)?	Yes – Throttle stick in up position	Stores selection. Flashes rapidly to confirm receipt of your response.	Return Tx stick to center and proceed to next setting–Cutoff Type (9.7 below).
		No – Throttle stick in off position	Flashes rapidly to confirm receipt of your response. Maintains previous setting for Cutoff Type (no change)..	Return Tx stick to center and proceed to next setting–Cutoff Type (9.7 below).

9.7 Programming Setting 7 – Soft Start

Option 1: Very soft start Recommended for use with fragile gearboxes; governor mode slowest spool up softest start

Option 2: Soft Start* Recommended for most setups; governor mode soft start, slow spool up

Option 3: Fast start Recommended for fastest startup; governor mode faster start, fast spool up

Phoenix-25™ Displays:	Programming Question Asked:	Your Response:	Phoenix-25™ Action:	Your Action:
7 flashes - short pause – 1 flash – long pause	Setting 7 (soft start), Option 1 (very soft start)?	Yes – Throttle stick in up position	Stores selection. Flashes rapidly to confirm receipt of your response. LED remains on to confirm it is ready to be armed.	Programming complete. Proceed to arming section of this User's Guide (section 3) to arm the unit for flight.
		No – Throttle stick in off position	Flashes rapidly to confirm receipt of your response.	Return Tx stick to center and proceed to next option for this setting
7 flashes - short pause – 2 flashes – long pause	Setting 7 (soft start), Option 2 (soft start)?	Yes – Throttle stick in up position	Stores selection. Flashes rapidly to confirm receipt of your response. LED remains on to confirm it is ready to be armed.	Programming complete. Proceed to arming section of this User's Guide (section 3) to arm the unit for flight.
		No – Throttle stick in off position	Flashes rapidly to confirm receipt of your response.	Return Tx stick to center and proceed to next option for this setting
7 flashes - short pause – 3 flashes – long pause	Setting 7 (soft start), Option 3 (fast start)?	Yes – Throttle stick in up position	Stores selection. Flashes rapidly to confirm receipt of your response. LED remains on to confirm it is ready to be armed.	Programming complete. Proceed to arming section of this User's Guide (section 3) to arm the unit for flight.
		No – Throttle stick in off position	Flashes rapidly to confirm receipt of your response. Maintains previous setting for throttle type (no change). LED remains on to confirm it is ready to be armed.	Programming complete. Proceed to arming section of this User's Guide (section 3) to arm the unit for flight.

Himax CR2816-1100

Contra Rotating Brushless Outrunner Motor

Himax Brushless motors are manufactured to high standards for the discerning modeler. Designed for light weight, high efficiency, high torque, and durability Himax Outrunner motors are sure to make today's radio controlled models perform. Please read the entire operating manual to ensure correct functionality and best performance. The CR2816 series motor is made for small to medium size models weighing 32 to 80 ounces depending on power/weight ratio desired.

Features:

High Efficiency - High Power - High Torque - Lightweight - Equivalent to .25 size glow engine.

Specifications:

Weight: 164g, (5.8oz) motor with prop attachments

Max Power: 350W, (This is dependent on several factors)

Max RPM: 20,000 RPM

Diameter: 27.8mm, (1.09")

Length: 65mm(2.56")

Shaft Diameter: 4.0mm (.1575") front shaft, 9.5mm (.0375") rear shaft

Motor Mounting Holes: 4 holes, 3.5mm through, on 43mm, (1.69") bolt circle

Maximum Case Temperature: 65°C, (149°F)

KV= 1100, Rm = tba, lo = tba

Efficient Operating Current =6-16 A per rotor, 20A Max 15 seconds per rotor.

Suggested Props: APC 10x5E front prop, custom MX9x7R for rear prop.

Battery: 3-cell Lipo that can sustain 35 to 40 amp continuous draw.

ESC: Two Phoenix 25 or equivalent. Also needs a MPI 2160 or 2460 Y-harness to join the two ESC to throttle channel.

ESC setting: Cutoff - soft, Brake - disabled, Throttle type - airplane, fixed endpoints.

Special note: This motor will not run with one ESC! If you want to experiment with other props, you must monitor the current and power.

Operation:

1. Himax Brushless motors require brushless sensorless speed controls. Failure to use a brushless sensorless electronic speed control (ESC) can result in damage to the motor and/or ESC. A Castle Creations Phoenix series ESC is recommended for best performance. The standard setting for timing advance is recommended for best operation.
2. The three wires of the motor can be connected to the three output leads of the ESC in any order. Check the direction of rotation of the motor. If the motor spins in the wrong direction switching any **two** of the motor wires will reverse rotation. Be sure to insulate the wires to prevent shorting which may damage the ESC.
3. Allow for proper cooling of the motor during operation. With extremely high capacity batteries, care must be taken to prevent excessive motor temperature. Overheating of the motor is not covered under warranty. Insufficient cooling can result in overheated motors, even when operated at moderate power levels.
5. Do not disassemble the motor. Disassembling the motor voids the warranty. If service is required please return the unit to Maxx Products for service.
6. Install the propeller after proper rotation has been determined. Consult the ESC operation manual for proper arming and use procedures. Be sure the prop is clear before starting the motor. Once the battery is plugged in stay clear of the prop, electric motors are capable of extremely high torque and can be very dangerous.

Maintenance:

Brushless motors are almost maintenance free, so minimal care is required for long life. Keep the motor clean free of dust and dirt, especially the bearings. Dirty bearings wear quickly. Lubricate the bearings regularly with light oil. Do not immerse the motor in water, or solvents. Do not bend the wires excessively and secure wires to prevent breakage due to fatigue from vibration. Always used balanced propellers to reduce loads on bearings, to reduce noise, and reduce stress on the airframe.

Warranty & Service:

Himax motors have a two year limited warranty to the original owner, excluding gearboxes. All motors are guaranteed to be free from manufacturing defects within two years of date of purchase. Not covered under warranty is crash damage, customer abuse, improper use, or overheating. Warranty claims should be handled directly with Maxx Products, 815 Oakwood Rd, Unit D, Lake Zurich, IL 60047. Be sure to include contact information and a description of the problem including which ESC, battery, and prop was being used. Return shipping for repair estimates must be prepaid.

REV: , 4/10/07

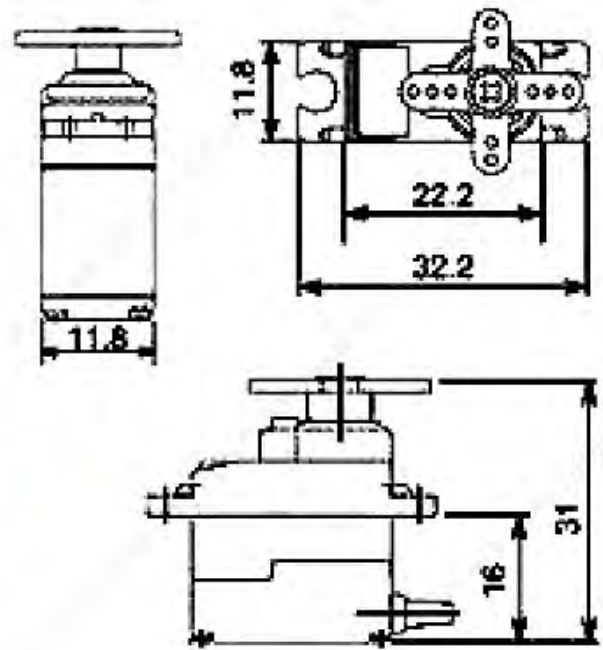
MAXX PRODUCTS INTERNATIONAL, INC.

815 OAKWOOD RD, UNIT D, LAKE ZURICH, IL 60047, USA

Phone: (847)438-2233 Fax: (847)438-2898 Website: www.maxxprod.com

MPI

SG90 9 g Micro Servo

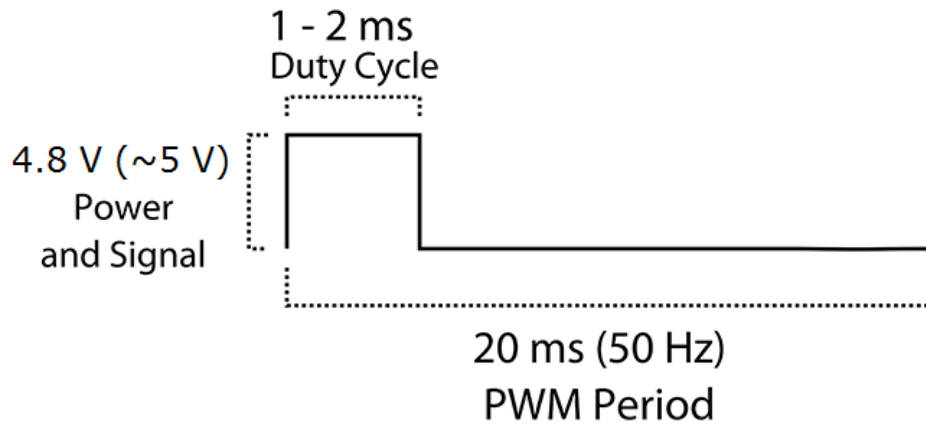
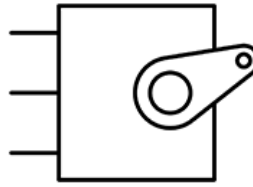


Tiny and lightweight with high output power. Servo can rotate approximately 180 degrees (90 in each direction), and works just like the standard kinds but *smaller*. You can use any servo code, hardware or library to control these servos. Good for beginners who want to make stuff move without building a motor controller with feedback & gear box, especially since it will fit in small places. It comes with a 3 horns (arms) and hardware.

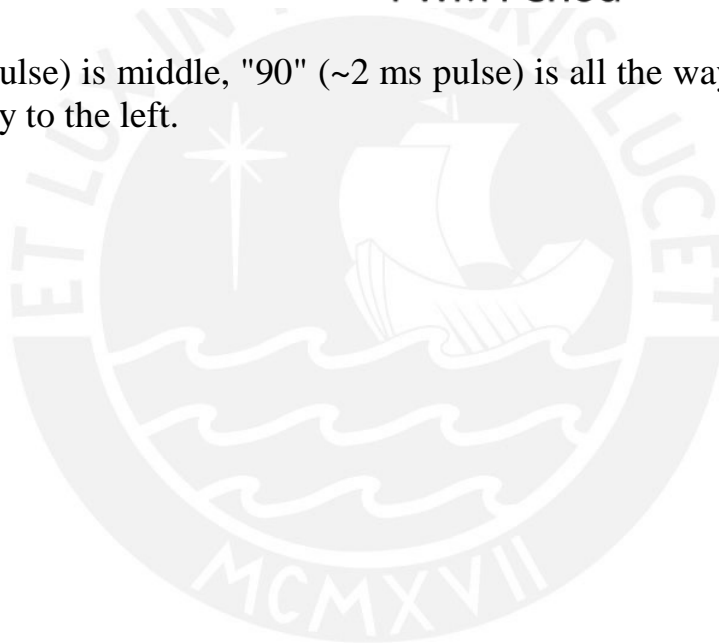
Specifications

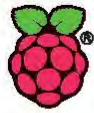
- Weight: 9 g
- Dimension: 22.2 x 11.8 x 31 mm approx.
- Stall torque: 1.8 kgf·cm
- Operating speed: 0.1 s/60 degree
- Operating voltage: 4.8 V (~5V)
- Dead band width: 10 μ s
- Temperature range: 0 °C – 55 °C

PWM=Orange (\square)
Vcc = Red (+)
Ground=Brown (-)



Position "0" (1.5 ms pulse) is middle, "90" (~2 ms pulse) is all the way to the right, "-90" (~1 ms pulse) is all the way to the left.





Raspberry Pi



Raspberry Pi 3 Model B

Product Name Raspberry Pi 3

Product Description The Raspberry Pi 3 Model B is the third generation Raspberry Pi. This powerful credit-card sized single board computer can be used for many applications and supersedes the original Raspberry Pi Model B+ and Raspberry Pi 2 Model B. Whilst maintaining the popular board format the Raspberry Pi 3 Model B brings you a more powerful processor, 10x faster than the first generation Raspberry Pi. Additionally it adds wireless LAN & Bluetooth connectivity making it the ideal solution for powerful connected designs.

RS Part Number 896-8660



www.rs-components.com/raspberrypi



Raspberry Pi

Raspberry Pi 3 Model B

Specifications

Processor	Broadcom BCM2387 chipset, 1.2GHz Quad-Core ARM Cortex-A53 802.11 b/g/n Wireless LAN and Bluetooth 4.1 (Bluetooth Classic and LE)
GPU	Dual Core VideoCore IV® Multimedia Co-Processor. Provides Open GL ES 2.0, hardware-accelerated OpenVG, and 1080p30 H.264 high-profile decode. Capable of 1Gpixel/s, 1.5Gtexel/s or 24GFLOPs with texture filtering and DMA infrastructure
Memory	1GB LPDDR2
Operating System	Boots from Micro SD card, running a version of the Linux operating system or Windows 10 IoT
Dimensions	85 x 56 x 17mm
Power	Micro USB socket 5V1, 2.5A

Connectors:

Ethernet	10/100 BaseT Ethernet socket
Video Output	HDMI (rev 1.3 & 1.4) Composite RCA (PAL and NTSC)
Audio Output	Audio Output 3.5mm Jack, HDMI USB 4 x USB 2.0 Connector
GPIO Connector	40-pin 2.54 mm (100 mil) expansion header: 2x20 strip Providing 27 GPIO pins as well as +3.3 V, +5 V and GND supply lines
Camera Connector	15-pin MIPI Camera Serial Interface (CSI-2)
Display Connector	Display Serial Interface (DSI) 15 way flat flex cable connector with two data lanes and a clock lane
Memory Card Slot	Push/pull Micro SDIO

Key Benefits

- Low cost
- 10x faster processing
- Consistent board format
- Added connectivity

Key Applications

- Low cost PC/tablet/laptop
- Media centre
- Industrial/Home automation
- Print server
- Web camera
- Wireless access point
- Environmental sensing/monitoring (e.g. weather station)
- IoT applications
- Robotics
- Server/cloud server
- Security monitoring
- Gaming



Partom FPV 1.2 1.3 GHz 800mW AV Transmitter And Receiver



Specifications:

Item Name: FPV 1.2G 1.3G 800mW AV Transmitter And Receiver

Transmitter Channel Number: 8CH

Power input: 12V

Receiving Current: 100mA

Transmitting Current: 280mA

Receiver Channel number: 12-ch

Video Signal resistance: 75Ω

Antenna Connection: SMA

Transmitting distance (air to ground): 800-1500m (for reference only, the distance may vary a lot depending on the environments)

Features:

FPV 1.2G 1.3G 800mW A/V system.

Stock range with this set-up on FPV plane is 3km

Frequency: 1080/1120/1160/1200/1240/1280/1320/1360

RunCam Owl 700TVL Starlight FPV Camera True 0.0001lux FOV 150

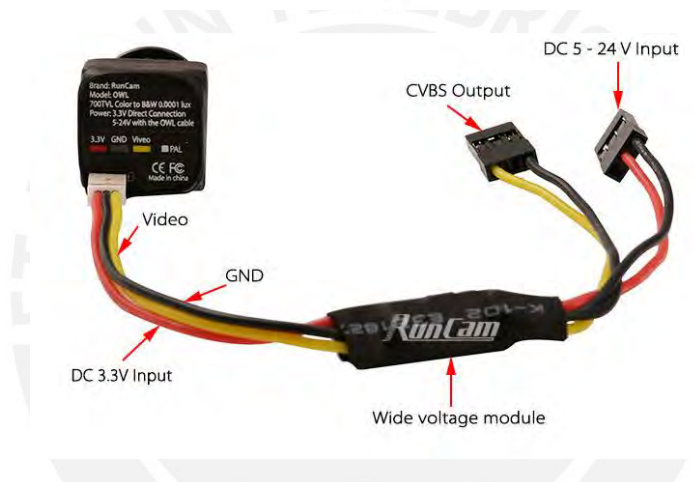
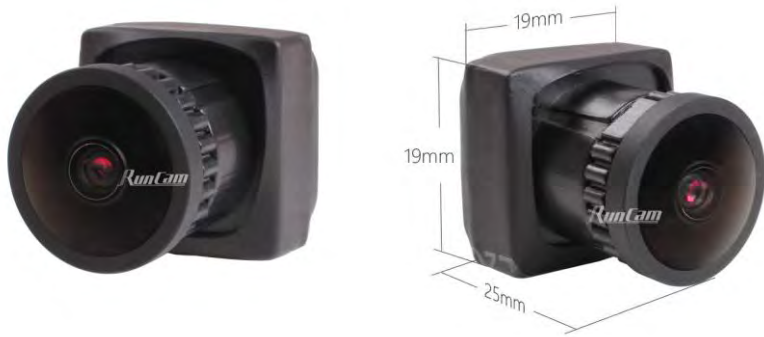


Image Sensor	1/2 Sensor
Horizontal Resolution	700TVL
Min. Illumination	0.0001Lux
Signal System	PAL/NTSC
Synchronization	Internal
Auto White Balance	Auto
S/N Ratio	>52dB
Day/ Night Switch	Auto
Auto Gain Control	Auto
Back light compensation (BLC)	Auto
Video Output	CVBS output
Power	5-24V DC
Dimensions	19mm(L)*19mm(W)*25mm(H)
Operation Temp.	-10C to +50C
Operation Environ.	10% to 90%



Ultrasonic Ranging Module HC - SR04

Product features:

Ultrasonic ranging module HC - SR04 provides 2cm - 400cm non-contact measurement function, the ranging accuracy can reach to 3mm. The modules includes ultrasonic transmitters, receiver and control circuit. The basic principle of work:

- (1) Using IO trigger for at least 10us high level signal,
- (2) The Module automatically sends eight 40 kHz and detect whether there is a pulse signal back.
- (3) IF the signal back, through high level , time of high output IO duration is the time from sending ultrasonic to returning.

Test distance = (high level time×velocity of sound (340M/S) / 2,

Wire connecting direct as following:

- 5V Supply
- Trigger Pulse Input
- Echo Pulse Output
- 0V Ground

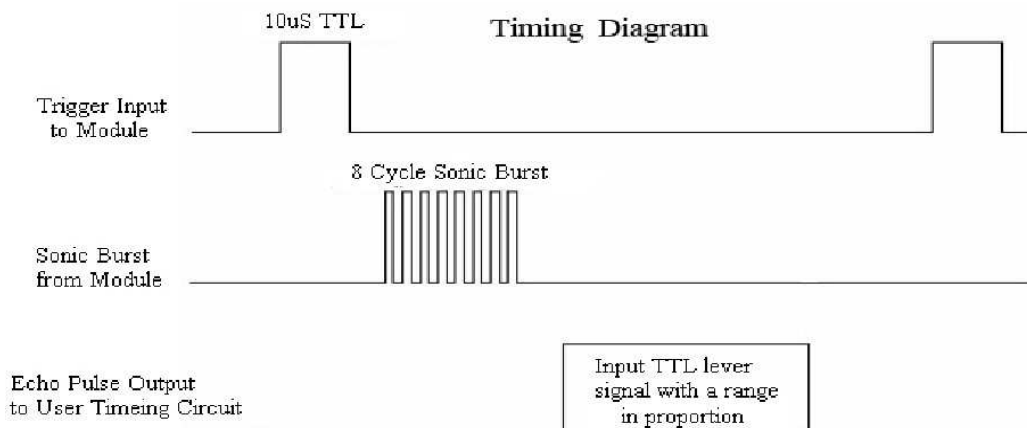
Electric Parameter

Working Voltage	DC 5 V
Working Current	15mA
Working Frequency	40Hz
Max Range	4m
Min Range	2cm
MeasuringAngle	15 degree
Trigger Input Signal	10uS TTL pulse
Echo Output Signal	Input TTL lever signal and the range in proportion
Dimension	45*20*15mm



Timing diagram

The Timing diagram is shown below. You only need to supply a short 10uS pulse to the trigger input to start the ranging, and then the module will send out an 8 cycle burst of ultrasound at 40 kHz and raise its echo. The Echo is a distance object that is pulse width and the range in proportion .You can calculate the range through the time interval between sending trigger signal and receiving echo signal. Formula: $\mu\text{S} / 58 = \text{centimeters}$ or $\mu\text{S} / 148 = \text{inch}$; or: the range = high level time * velocity (340M/S) / 2; we suggest to use over 60ms measurement cycle, in order to prevent trigger signal to the echo signal.



Attention:

- The module is not suggested to connect directly to electric, if connected electric, the GND terminal should be connected the module first, otherwise, it will affect the normal work of the module.
- When tested objects, the range of area is not less than 0.5 square meters and the plane requests as smooth as possible, otherwise ,it will affect the results of measuring.

www.Elecfreaks.com





Lidar Lite v3 Operation Manual and Technical Specifications

Laser Safety

⚠ WARNING

This device requires no regular maintenance. In the event that the device becomes damaged or is inoperable, repair or service must be handled by authorized, factory-trained technicians only. Attempting to repair or service the unit on your own can result in direct exposure to laser radiation and the risk of permanent eye damage. For repair or service, contact your dealer or Garmin® for more information. This device should not be modified or operated without its housing or optics. Operating this device without a housing and optics, or operating this device with modified housing or optics that expose the laser source, may result in direct exposure to laser radiation and the risk of permanent eye damage. Removal or modification of the diffuser in front of the laser optic may result in the risk of permanent eye damage.

Use of controls or adjustments or performance of procedures other than those specified in this documentation may result in hazardous radiation exposure. Garmin is not responsible for injuries caused through the improper use or operation of this product.

⚠ CAUTION

This device emits laser radiation. This Laser Product is designated Class 1 during all procedures of operation. This designation means that the laser is safe to look at with the unaided eye, however it is advisable to avoid looking into the beam when operating the device and to turn off the module when not in use.

Documentation Revision Information

Rev	Date	Changes
0A	09/2016	Initial release

Table of Contents

- Lidar Lite v3 Operation Manual and Technical Specifications 1**
- Laser Safety 1
- Documentation Revision Information 1
- Specifications 2**
- Physical 2
- Electrical 2
- Performance 2
- Interface 2
- Laser 2
- Connections 2**
- Wiring Harness 2
- Connector 2
 - Connector Port Identification 2
- I2C Connection Diagrams 3
 - Standard I2C Wiring 3
 - Standard Arduino I2C Wiring 3
 - PWM Wiring 3
 - PWM Arduino Wiring 3
- Operational Information 4**
- Technology 4
- Theory of Operation 4
- Interface 4
 - Initialization 4
 - Power Enable Pin 4
 - I2C Interface 4
 - Mode Control Pin 4
 - Settings 4
- I2C Protocol Information 6**
- I2C Protocol Operation 7
- Register Definitions 7
 - Control Register List 7
 - Detailed Control Register Definitions 8
- Frequently Asked Questions 12**
- Must the device run on 5 Vdc? Can it run on 3.3 Vdc instead? 12
- What is the spread of the laser beam? 12
- How do distance, target size, aspect, and reflectivity effect returned signal strength? 12
- How does the device work with reflective surfaces? 12
 - Diffuse Reflective Surfaces 12
 - Specular Surfaces 12
- How does liquid affect the signal? 13

Specifications

Physical

Specification	Measurement
Size (LxWxH)	20 × 48 × 40 mm (0.8 × 1.9 × 1.6 in.)
Weight	22 g (0.78 oz.)
Operating temperature	-20 to 60°C (-4 to 140°F)

Electrical

Specification	Measurement
Power	5 Vdc nominal 4.5 Vdc min., 5.5 Vdc max.
Current consumption	105 mA idle 135 mA continuous operation

Performance

Specification	Measurement
Range (70% reflective target)	40 m (131 ft)
Resolution	+/- 1 cm (0.4 in.)
Accuracy < 5 m	±2.5 cm (1 in.) typical*
Accuracy ≥ 5 m	±10 cm (3.9 in.) typical Mean ±1% of distance maximum Ripple ±1% of distance maximum
Update rate (70% Reflective Target)	270 Hz typical 650 Hz fast mode** >1000 Hz short range only
Repetition rate	~50 Hz default 500 Hz max

*Nonlinearity present below 1 m (39.4 in.)

**Reduced sensitivity

Interface

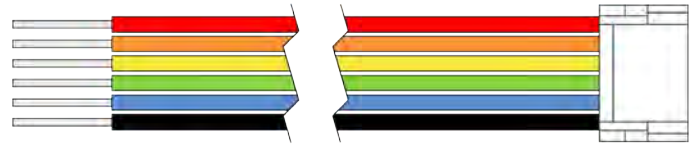
Specification	Measurement
User interface	I2C PWM External trigger
I2C interface	Fast-mode (400 kbit/s) Default 7-bit address 0x62 Internal register access & control
PWM interface	External trigger input PWM output proportional to distance at 10 µs/cm

Laser

Specification	Measurement
Wavelength	905 nm (nominal)
Total laser power (peak)	1.3 W
Mode of operation	Pulsed (256 pulse max. pulse train)
Pulse width	0.5 µs (50% duty Cycle)
Pulse train repetition frequency	10-20 KHz nominal
Energy per pulse	<280 nJ
Beam diameter at laser aperture	12 × 2 mm (0.47 × 0.08 in.)
Divergence	8 mRadian

Connections

Wiring Harness



Wire Color	Function
Red	5 Vdc (+)
Orange	Power enable (internal pull-up)
Yellow	Mode control
Green	I2C SCL
Blue	I2C SDA
Black	Ground (-)

There are two basic configurations for this device:

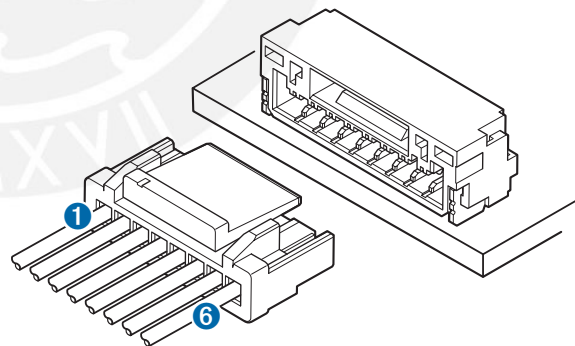
- **I2C (Inter-Integrated Circuit)**—a serial computer bus used to communicate between this device and a microcontroller, such as an Arduino board ("[I2C Interface](#)", page 4).
- **PWM (Pulse Width Modulation)**—a bi-directional signal transfer method that triggers acquisitions and returns distance measurements using the mode-control pin ("[Mode Control Pin](#)", page 4).

Connector

You can create your own wiring harness if needed for your project or application. The needed components are readily available from many suppliers.

Part	Description	Manufacturer	Part Number
Connector housing	6-position, rectangular housing, latch-lock connector receptacle with a 1.25 mm (0.049 in.) pitch.	JST	GHR-06V-S
Connector terminal	26-30 AWG crimp socket connector terminal (up to 6)	JST	SSHL-002T-P0.2
Wire	UL 1061 26 AWG stranded copper	N/A	N/A

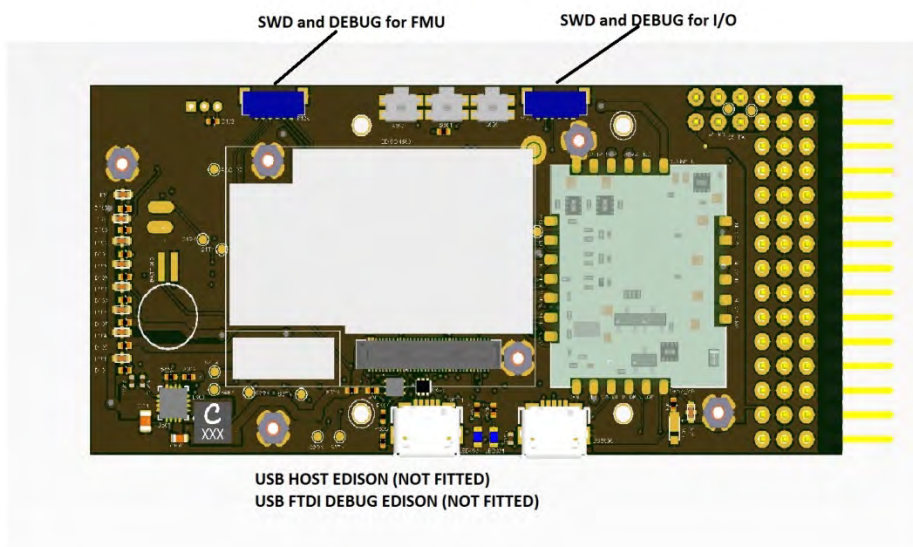
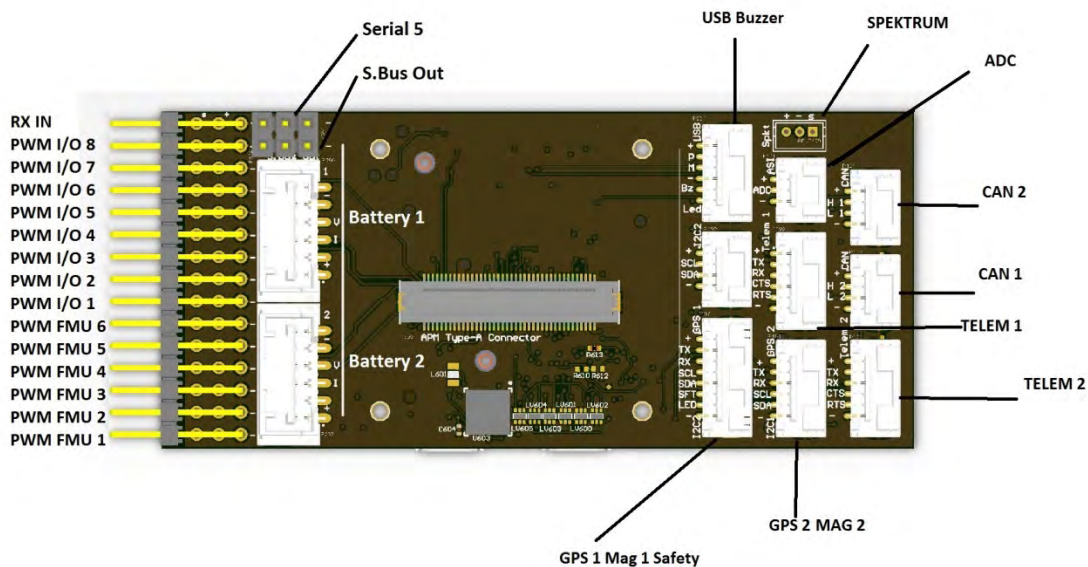
Connector Port Identification



Item	Pin	Function
1	1	5 Vdc (+)
	2	Power enable (internal pull-up)
	3	Mode control
	4	I2C SCL
	5	I2C SDA
6	6	Ground (-)

Pixhawk v2 Feature Overview

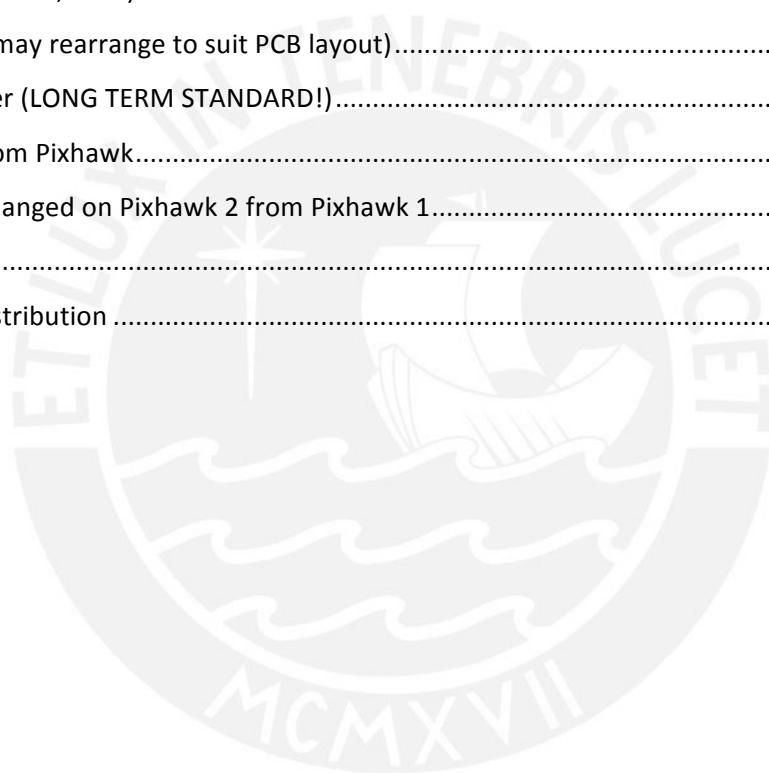
Note: This document is derived from the specification of the Px4-V2 (Pixhawk)



Contents

Goals for this iteration of the platform are:	4
Key design points	4
Pixhawk FMU Main Board	4
Vibration Damped IMU board	4
I/O ports.....	4
System architecture	6
PWM Outputs	8
Peripheral Ports	8
Base Board	8
Sensors.....	10
Power Architecture.....	10
Power management module (separate from the FMU)	10
FMU and IO Power Supplies	10
Power Sources	10
Power Brick Port	11
Servo Power	11
Aux Power.....	11
Servo rail	11
USB Power	11
Multiple Power Sources.....	11
Summary.....	12
Peripherals.....	13
Peripheral Power (on power module)	13
Battery Backup.....	13
Voltage, Current and Fault Sensing.....	13
EMI Filtering and Transient Protection (on the normal Base Board, must be specified for externally supplied base boards.).....	14
PIXHAWK 2 Series Interface Spec	15
Interface Standard	15
Pixhawk 2	15
Pixhawk 2IO	15
Power 6 pos (ClikMate 6 pos 2.0mm).....	15
Backup Power 6 pos.....	16

I2C - 4 pos (1 fitted as a stand alone, I2C_2, (old internal)	16
CAN (2 fitted)	16
UART GENERIC (autopilot side).....	17
UART GPS (autopilot side, I2C is the original "External" bus)	17
UART 4 (I2C 2, the original "Internal" bus)	17
UART 5(Debug) and S.Bus out.....	18
Debug (New Standard Debug) (Digikey PN for housing SM06B-SURS-TF(LF)(SN)-ND)	19
Analogue	19
Spektrum.....	20
HMI (Buzzer, USB, LEDs)	20
Back Edge (may rearrange to suit PCB layout).....	20
80 pin header (LONG TERM STANDARD!).....	22
Pin Changes from Pixhawk.....	26
List of features changed on Pixhawk 2 from Pixhawk 1.....	29
Block Diagram	30
System Power Distribution	33



Goals for this iteration of the platform are:

- An integrated, single board / box flight controller.
- Sufficient I/O for most applications without expansion.
- Improved ease-of-use.
- Improved sensor performance.
- Improved microcontroller resources.
- Increased reliability and reduced integration complexity.
- Reduced BoM and manufacturing costs.

Key design points

- All-in-one design with integrated FMU and IO and lots of I/O ports.
- Improved manufacturability, designed for simpler mounting and case design.
- Separate power supplies for FMU and IO (see power architecture section).
- On-board battery backup for FMU and IO SRAM / RTC.
- Integration with the standard power brick.

Pixhawk FMU Main Board

- STM32F427; flash 2MiB, RAM 256KiB.
- On-board 16KiB SPI FRAM
- MPU9250 or ICM 20xxx integrated accelerometer / gyro.
- MS5611 Baro
- All sensors connected via SPI.
- Micro SD interfaces via SDIO.

Vibration Damped IMU board

- LSM303D integrated accelerometer / magnetometer.
- L3GD20 gyro.
- MPU9250 or ICM 20xxx Gyro / Accel
- MS5611 Baro
- All sensors connected via SPI.

I/O ports

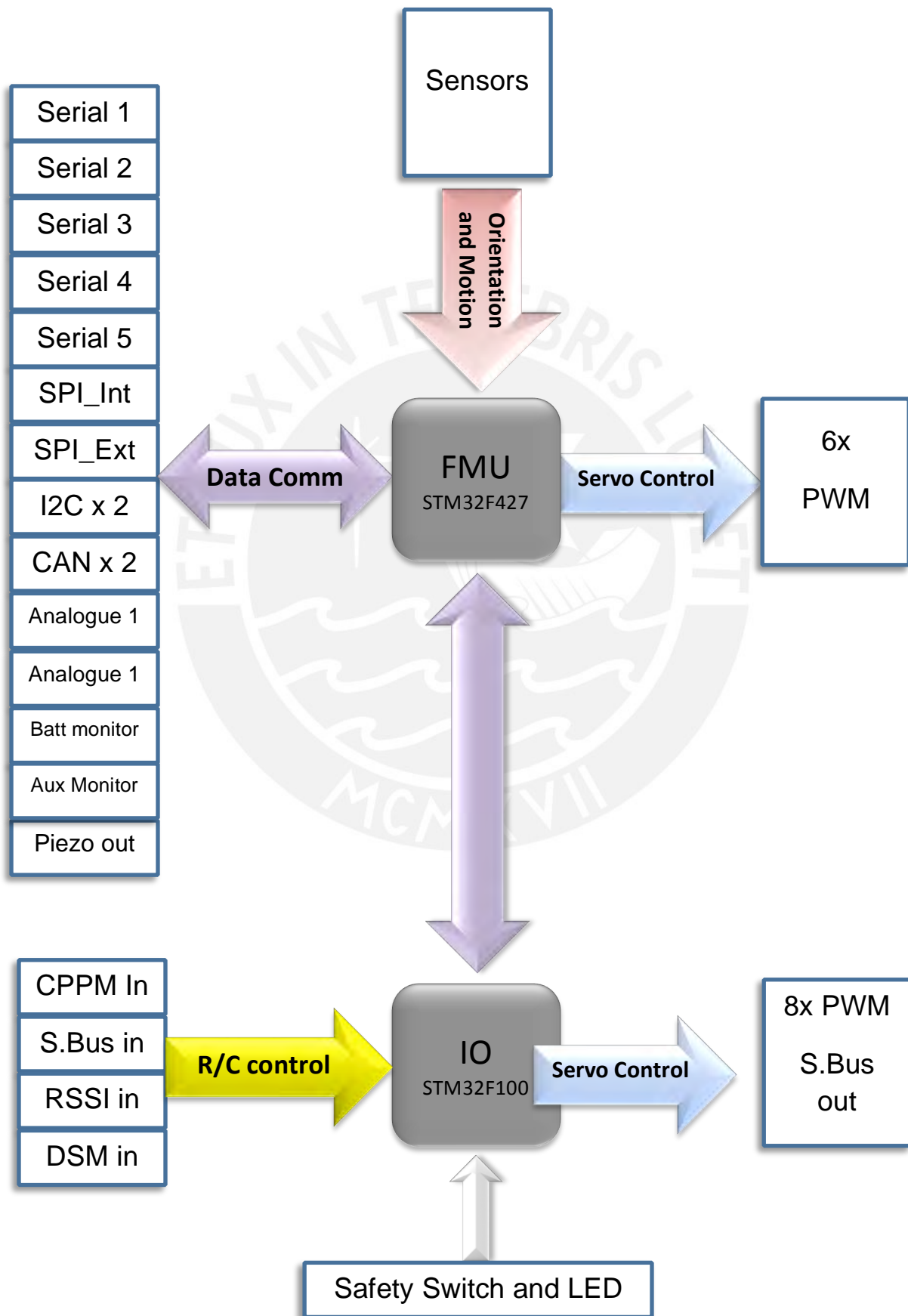
- 14 PWM servo outputs (8 from IO, 6 from FMU).
- R/C inputs for CPPM, Spektrum / DSM and S.Bus.
- Analogue / PWM RSSI input.
- S.Bus servo output.
- 5 general purpose serial ports, 2 with full flow control
- Two I2C ports
- One SPI port (un-buffered, for short cables only not recommended for use).
- Two CAN Bus interface.
- 3 Analogue inputs
- High-powered piezo buzzer driver. (On expansion board)

- High-power RGB LED. (I2C driver compatible Connected externally only)
- Safety switch / LED.



System architecture

Pixhawk V2 continues with the PX4FMU+PX4IO architecture from the previous generation, incorporating the two functional blocks in a single physical module.





PWM Outputs

Pixhawk V2 has eight PWM outputs that are connected to IO and can be controlled by IO directly via R/C input and on-board mixing even if FMU is not active (failsafe / manual mode). Multiple update rates can be supported on these outputs in three groups; one group of four and two groups of two. PWM signal rates up to 400Hz can be supported.

Six PWM outputs are connected to FMU and feature reduced update latency. These outputs cannot be controlled by IO in failsafe conditions. Multiple update rates can be supported on these outputs in two groups; one group of four and one group of two. PWM signal rates up to 400Hz can be supported.

All PWM outputs are ESD-protected, and they are designed to survive accidental misconnection of servos without being damaged. The servo drivers are specified to drive a 50pF servo input load over 2m of 26AWG servo cable.

PWM outputs can also be configured as individual GPIOs. Note that these are not high-power outputs – the PWM drivers are designed for driving servos and similar logic inputs only, not relays or LEDs.

Peripheral Ports

Pixhawk V2 Differs from Pixhawk V1 in that all peripherals are connected through a single 80 pin connector, and the peripherals are connected via a baseboard that can be customised for each application

Base Board

The initial base board features separate connectors for each of the peripheral ports (with a few exceptions).

Five serial ports are provided. Serial 1 and 2 feature full flow control. Serial 3 is recommended as the GPS port and has the safety button and (possibly the safety led) as well as I2C for the compass and RGB LED. Serial 4 also has I2C, but on the second bus, thus allowing two compass modules to be connected at the same time. Serial 5 is available as a header underneath the board. Serial ports are 3.3V CMOS logic level, 5V tolerant, buffered and ESD-protected.

The SPI port is not buffered; it should only be used with short cable runs. Signals are 3.3V CMOS logic level, but 5V tolerant. SPI is only available to test points on the first base board, along with a CS and INT pin.

Analogue 1-3 are protected against inputs up to 12V, but scaled for 0-3.3V inputs.

The RSSI input supports either PWM or analogue RSSI. This input shares a pin with S.Bus output - only one may be connected at a time.

CPPM, S.Bus and DSM/Spektrum input are unchanged from Pixhawk

The CAN ports are standard CAN-Bus; termination for one end of the bus is fixed on-board. Drivers are on-board the FMU

The piezo port will drive most piezo elements in the 5 - 300nF range at up to 35V. it is intended to be *extremely loud*, with the achievable sound pressure level limited by the sensitivity of the piezo element being driven.

I2C is direct driven, un-buffered, and pulled up to 3.3v on-board the FMU



Sensors

All flight sensors in Pixhawk V2 are connected via SPI.

On-board we have an MPU9250 or ICM 20xxx Gyro and Accelerometer, and a MS5611 used in SPI mode.

On the **vibration isolated board** we have the L3GD20 gyro, the LSM303D Accelerometer and magnetometer, another MPU9250 or ICM 20xxx, and MS5611 also used in SPI mode.

The board mounted sensors run on a separate bus to the Vibration isolated sensors.

Data-ready signals from all sensors are **NO LONGER ROUTED**

Power Architecture

The Pixhawk V2 removes the power management from the FMU, it instead grows on the Pixhawk power by removing the Servo rail as the primary source of backup power for the FMU, and it leaves it there for the IO last chance failsafe.

The supply of 3.3v remain the same as Pixhawk 1

- Split digital and analogue power domains for FMU and sensors.
- Backup power for IO in the case of FMU power supply failure.

Power management module (separate from the FMU)

Key features of the Pixhawk V2 power architecture:

- Single, independent 5V supply for the flight controller and peripherals.
- Integration with 2 power bricks or compatible alternative, including current and voltage sensing.
- Low power consumption and heat dissipation.
- Power distribution and monitoring for peripheral devices.
- Protection against common wiring faults; under/over-voltage protection, overcurrent protection, thermal protection.
- Brown-out resilience and detection.

FMU and IO Power Supplies

Both FMU and IO operate at 3.3V, and each has its own private dual-channel regulator. As in Pixhawk v1, each regulator features a power-on reset output tied to the regulator's internal power-up and drop-out sequencing.

Power Sources

Power may be supplied to Pixhawk V2 via USB, via the power brick port, or the second brick port. Each power source is protected against reverse-polarity connections and back-powering from other sources.

The FMU + IO power budget is 250mA, including all LEDs and the Piezo buzzer. Peripheral power is limited to 2.5A total.

Power Brick Port

The brick port is the preferred power source for Pixhawk V2, and brick power will always be selected if it is available.

Servo Power

Pixhawk V2 supports both standard (5V) and high-voltage (up to 10V) servo power with some restrictions.

IO will accept power from the servo connector up to 10V. This allows IO to failover to servo power in all cases if the main power supply is lost or interrupted.

FMU and peripherals will **NO LONGER** accept power from the servo connector.

Aux Power

Pixhawk V2 introduces a backup power port; this is set up the same as the primary power input.

At input voltages over 5.7V power is locked out.

Pixhawk V2 and peripherals combined may draw up to 2.75A total when operating on Aux power, provided that the Brick or other power source can supply the required current.

Power is never supplied by Pixhawk V2 to servos.

Servo rail

The I/O chip takes power up to 10.5v from the servo rail; this is used to revert to manual mode in the unfortunate event that the other two main sources of power fail. This is only useful for plane, and only useful if the I/O chip has been mapped correctly.

USB Power

Power from USB is supported for software update, testing and development purposes. USB power is supplied to the peripheral ports for testing purposes, however total current consumption must typically be limited to 500mA, including peripherals, to avoid overloading the host USB port.

Multiple Power Sources

When more than one power source is connected, power will be drawn from the highest-priority source with a valid input voltage.

In most cases, FMU should be powered via the power brick or a compatible off board regulator via the brick port or auxiliary power rail.

In desktop testing scenarios, taking power from USB avoids the need for a BEC or similar servo power source (though servos themselves will still need external power).

Summary

For each of the components listed, the input voltage ranges over which the device can be powered from each input is shown.

	Brick port	Aux port	USB port	Servo rail
FMU	4 - 5.7V	4 - 5.7V	4 - 5.7V	NIL
IO	4 - 5.7V	4 - 5.7V	4 - 5.7V	4-10.5V
Peripherals	4 - 5.7V, 2.5A max	4 - 5.7V 2.5A max	4 - 5.7V 250mA max	NIL



Peripherals

Peripheral Power (on power module)

Pixhawk V2 provides power routing, over/under voltage detection and protection, filtering, switching, current-limiting and transient suppression for peripherals. Power outputs to peripherals feature ESD and EMI filtering, and the power supply protection scheme ensures that no more than 5.5V is presented to peripheral devices. Power is disconnected from the peripherals when the available supply voltage falls below 2.7V, or rises above approximately 5.7V.

Peripheral power is split into two groups:

- Serial 1 has a private 1.5A current limit, intended for powering a telemetry radio. This output is separately EMI filtered and draws directly from the USB / Brick inputs. Peak power draw on this port should not exceed 2A, which should be sufficient for a 30dBm transmitter of reasonable efficiency.
- All other peripherals share a 1A current limit and a single power switch. Peak power draw on this port should not exceed 1.5A.

Each group is individually switched under software control.

The Spektrum / DSM R/C interface draws power from its own regulator, rather than from either of the groups above. This port is switched under software control so that Spektrum / DSM binding can be implemented. Spektrum receivers generally draw ~25mA.

S.Bus and CPPM receivers powered directly from the servo rail, and must support the servo supply voltage.

Battery Backup

Both the FMU and IO microcontrollers feature battery-backed real-time clocks and SRAM. The on-board backup battery has capacity sufficient for the intended use of the clock and SRAM, which is to provide storage to permit orderly recovery from unintended power loss or other causes of in-air restarts.

The capacitors are recharged from the FMU 3.3V rail.

this will only function in the event of software existing to support this feature.

Voltage, Current and Fault Sensing

The battery voltage and current reported by both bricks can be measured by the FMU. In addition, the 5V unregulated supply rail can be measured (to detect brown-out conditions). IO can measure the servo power rail voltage. Over-current conditions on the peripheral power ports can be detected by the FMU. Hardware

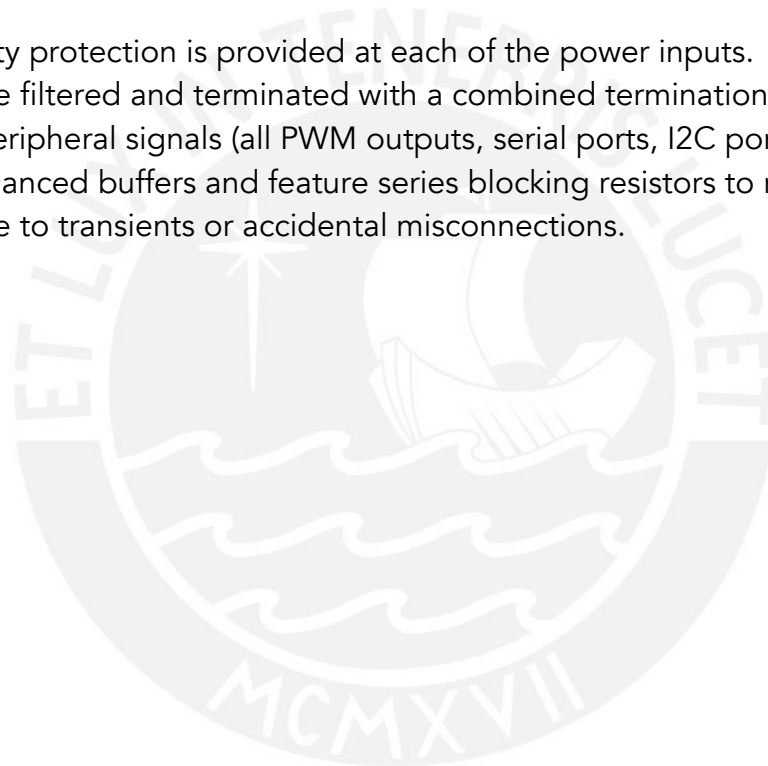
lock-out prevents damage due to persistent short-circuits on these ports. The lock-out can be reset by FMU software.

The under/over voltage supervisor for FMU provides an output that is used to hold FMU in reset during brown-out events.

EMI Filtering and Transient Protection (on the normal Base Board, must be specified for externally supplied base boards.)

EMI filtering is provided at key points in the system using high-insertion-loss pass-through filters. These filters are paired with TVS diodes at the peripheral connectors to suppress power transients.

Reverse polarity protection is provided at each of the power inputs. USB signals are filtered and terminated with a combined termination/TVS array. Most digital peripheral signals (all PWM outputs, serial ports, I2C port) are driven using ESD-enhanced buffers and feature series blocking resistors to reduce the risk of damage due to transients or accidental misconnections.



PIXHAWK 2 Series Interface Spec

Scope of this Document

This document covers the complete interface standard and core mechanical, electrical and external connection options of the Pixhawk 2 module series. Sections marked as LT (long term) are intended to be kept stable to isolate vehicle from autopilot revisions.

Interface Standard

Connector Series

- Low density: 0.1” over mould Futaba keyed servo connectors (Mfg. to be identified)
 - Cabling: AWG24, ribbon or round, iconic colour scheme
- Stack: [Hirose DF17, 80pos](#), 4 mm stacking height, 0.5 mm pitch, drop-proof
- High density: [JST-GH](#) 1.25 mm
 - Cabling: AWG28, ribbon, iconic colour scheme
- Power Module: [Molex Clik-Mate](#) 2 mm for both main and backup power (on bottom of board?)

Pixhawk 2

Mechanical: 30x30 mm M3 mounting hole pattern, 35x35 mm footprint
80 position DF17 connector. Carries *all* autopilot interface connections.

- Minimal (read: really minimal) electrical protection
- No power management
- 3.8 to 5.7V operation (absolute maximum ratings)
- 4.0 to 5.5V operation (compliant rating)

Pixhawk 2IO

Total connectivity

- I2C2
- 2x CAN: CAN1 and CAN2
- 4x UART: TELEM1, TELEM2, GPS (I2C 1 embedded), SERIAL4(I2C 2 embedded)
- 1x Console: CONSOLE (SERIAL5)
- 1x HMI: USB extender

Power 6 pos ([ClikMate 6 pos 2.0mm](#))

Pin #	Name	Dir	Wire Color	Description
1	VDD 5V Brick	in	red / gray	Supply from Brick to AP
2	VDD 5V Brick	in	red / gray	Supply from Brick to AP
3	BATT_VOLTAGE _SENS_PROT	in	black	Battery voltage connector
4	BATT_CURRENT	in	black	Battery current connector

	_SENS_PROT			
5	GND	-	black	GND connection
6	GND	-	black	GND connection

Backup Power 6 pos

Pin #	Name	Dir	Wire Color	Description
1	VDD 5V Brick	in	red / gray	Supply from Brick to AP
2	VDD 5V Brick	in	red / gray	Supply from Brick to AP
3	AUX_BATT_VOLTAGE_SENS			Aux Battery voltage connector
4	AUX_BATT_CURRENT_SENS	in	black	Aux Battery current connector
5	GND	-	black	GND connection
6	GND	-	black	GND connection

I2C - 4 pos (1 fitted as a stand alone, I2C_2, (old internal)

1 connector: I2C2 bus

Pin #	Name	Dir	Wire Color	Description
1	VCC_5V	out	red / gray	Supply to peripheral from AP
2	SCL	in/out	blue / black	SCL, 5V level, pull-up on AP
3	SDA	in/out	green / black	SDA, 5V level, pull-up on AP
4	GND	-	black	GND connection

CAN (2 fitted)

2 connectors: CAN1 and CAN2 buses

Pin #	Name	Dir	Wire Color	Description
1	VCC_5V	out	red / gray	Supply to peripheral from AP
2	CAN_H	in/out	yellow / black	12V
3	CAN_L	in/out	green / black	12V
4	GND	-	black	GND connection

UART GENERIC (autopilot side)

2 connectors: TELEM1, TELEM2

Pin #	Name	Dir	Wire Color	Description
1	VCC_5V	out	red / gray	Supply to GPS from AP
2	MCU_TX	out	yellow / black	3.3V-5.0V TTL level, TX of AP
3	MCU_RX	in	green / black	3.3V-5.0V TTL level, RX of AP
4	MCU_CTS (TX)	out	gray / black	3.3V-5.0V TTL level or TX of AP
5	MCU_RTS (RX)	in	gray / black	3.3V-5.0V TTL level or RX of AP
6	GND	-	black	GND connection

UART GPS (autopilot side, I2C is the original "External" bus)

1 connector: GPS

Pin #	Name	Dir	Wire Color	Description
1	VCC_5V	in	red	Supply to GPS from AP
2	GPS_RX	in	black	3.3V-5.0V TTL level, TX of AP
3	GPS_TX	out	black	3.3V-5.0V TTL level, RX of AP
4	SCL	in	black	3.3V-5.0V I2C1
5	SDA	in/out	black	3.3V-5.0V I2C1
6	BUTTON	out	black	Signal shorted to GND on press
7	BUTTON_LED	out	black	LED Driver for Safety Button
8	GND	-	black	GND connection

UART 4 (I2C 2, the original "Internal" bus)

1 connector: GPS

Pin #	Name	Dir	Wire Color	Description
1	VCC_5V	out	red / gray	Supply to GPS from AP
2	MCU_TX	out	yellow / black	3.3V-5.0V TTL level, TX of AP

3	MCU_RX	in	green / black	3.3V-5.0V TTL level, RX of AP
4	SCL	out	gray / black	3.3V-5.0V I2C2
5	SDA	in	gray / black	3.3V-5.0V I2C2
6	GND	-	black	GND connection

UART 5(Debug) and S.Bus out

1 connector: FR-SKY TELEM? or Debug

Pin #	Name	Dir	Wire Color	Description
1	S.Bus Out	out		3.3V-5.0V TTL level, TX of AP
2	MCU_TX	out		3.3V-5.0V TTL level, TX of AP
3	VDD_Servo	OUT		Servo rail voltage
4	MCU_RX	in		3.3V-5.0V TTL level, RX of AP
5	GND	out		GND
6	GND	out		GND

Debug (New Standard Debug) (Digikey PN for housing SM06B-SURS-TF(LF)(SN)-ND)

IO DEBUG

Pin #	Name	Dir	Wire Color	Description
1	VDD 5V PEIPH	OUT		5V
2	IO_TX	out		3.3V-5.0V TTL level, TX of AP IO_uart1 TX
3	IO_RX	in		3.3V-5.0V TTL level, RX of AP IO_uart1 RX
4	IO-SWDIO	I/O		Serial wire debug I/O
5	IO-SWCLK	I/O		Serial wire Clock
6	GND	out		GND

FMU DEBUG

Pin #	Name	Dir	Wire Color	Description
1	VDD 5V PEIPH	OUT		5V
2	FMU_TX (SERIAL 5)	out		3.3V-5.0V TTL level, TX of AP FMU_uart5 TX
3	FMU_RX (SERIAL 5)	in		3.3V-5.0V TTL level, RX of AP FMU_uart5 RX
4	FMU-SWDIO	I/O		Serial wire debug I/O
5	FMU-SWCLK	I/O		Serial wire Clock
6	GND	out		GND

Analogue

Pin #	Name	Dir	Wire Color	Description
1	VDD_5V_Periph	out		
2	Pressure sense in	in		
3	GND	out		GND

Spektrum

Pin #	Name	Dir	Wire Color	Description
1	VDD_3v3_spektrum	out		Independent supply 3v3.
2	IO_USART1_RX	in		
3	GND	out		GND

HMI (Buzzer, USB, LEDs)

Pin #	Name	Dir	Wire Color	Description
1	VCC_5V	out	red / gray	Supply to GPS from AP
2	D_PLUS	in/out	green / black	3.3V
3	D_MINUS	in/out	red / black	3.3V
4	GND	-	black	GND connection
5	BE_LED	out	black	Boot / Error Led (FW updates)
6	BUZZER	out	gray / black	VBAT (8.4 - 42V)

Back Edge (may rearrange to suit PCB layout)

SERVO HEADER (0.1", 1/1/15 power layout)

Position	Name	Dir	Wire Color	Description
15	RC / SBUS IN	in/out	black	3.3V (4..5V powered)
14	MAIN_OUT_8	out	black	3.3V servo signal, servo rail power
13	MAIN_OUT_7	out	black	3.3V servo signal, servo rail power
12	MAIN_OUT_6	out	black	3.3V servo signal, servo rail power
11	MAIN_OUT_5	out	black	3.3V servo signal, servo rail power
10	MAIN_OUT_4	out	black	3.3V servo signal, servo rail power
9	MAIN_OUT_3	out	black	3.3V servo signal, servo rail power
8	MAIN_OUT_2	out	black	3.3V servo signal, servo rail power

7	MAIN_OUT_1	out	black	3.3V servo signal, servo rail power
6	AUX_OUT_6	out	black	3.3V servo signal, servo rail power
5	AUX_OUT_5	out	black	3.3V servo signal, servo rail power
4	AUX_OUT_4	out	black	3.3V servo signal, servo rail power
3	AUX_OUT_3	out	black	3.3V servo signal, servo rail power
2	AUX_OUT_2	out	black	3.3V servo signal, servo rail power
1	AUX_OUT_1	out	black	3.3V servo signal, servo rail power



80 pin header (LONG TERM STANDARD!)

Pin #	Name	Dir	Description
1	FMU-SWDIO	i/o	Single wire debug io
2	!FMU-LED_AMBER	o	Boot error LED (drive only, use Fet to control led)
3	FMU-SWCLK	o	single wire debug clock
4	I2C_2_SDA	i/o	I2C data io
5	!EXTERN_CS	o	chip select for external SPI (NC, just for debugging)
6	I2C_2_SCL	o	i2c clock
7	FMU-!RESET	i	reset pin for the FMU
8	PROT_SPARE_1		spare
9	VDD_SERVO_IN	i	power for last resort i/o failsafe
10	PROT_SPARE_2		spare
11	EXTERN_DRDY	i	interrupt pin for external SPI (NC, just for debugging)
12	SERIAL_5_RX	i	
13	GND		System GND
14	SERIAL_5_TX	o	
15	GND		System GND
16	SERIAL_4_RX	i	
17	SAFETY		Safety button input
18	SERIAL_4_TX	o	
19	vdd_3V3_SPECTRUM_EN	o	enable for the spectrum voltage regulator
20	SERIAL_3_RX	i	
21	PREASSURE_SENS_IN	a i	Analogue port, for pressure sensor, or Laser range finder, or Sonar
22	SERIAL_3_TX	o	
23	AUX_BATT_VOLTAGE_SENS	a i	Voltage sense for Aux battery input
24	ALARM	o	Buzzer PWM signal
25	AUX_BATT_CUR	a i	Current sense for Aux battery input

	RENT_SENS		
26	IO-VDD_3V3	i	IO chip power, pinned through for debug
27	!VDD_5V_PERIPH_EN	o	enable signal for Peripherals
28	!IO-LED_SAFETY_PROT	o	IO-LED_SAFETY pinned out for IRIS
29	VBUS	i	vbus, voltage from USB plug
30	SERIAL2_RTS		
31	OTG_DP1	i/o	DATA P from USB
32	SERIAL2_CTS		
33	OTG_DM1	i/o	DATA M from USB
34	SERIAL2_RX	i	
35	I2C_1_SDA	i/o	I2C data i/o
36	SERIAL2_TX	o	
37	I2C_1_SCL	o	I2C clock
38	SERIAL1_RX	i	
39	CAN_L_2	i/o	Canbus Low signal driver on FMU
40	SERIAL1_TX	o	
41	CAN_H_2	i/o	Canbus High signal driver on FMU
42	SERIAL1_RTS		
43	!VDD_5V_PERIPHER_OC	i	error state message from Periph power supply
44	SERIAL1_CTS		
45	!VDD_5V_HIPOWER_OC	i	error state message from High power Periph power supply
46	IO-USART1_TX	o	
47	BATT_VOLTAGE_SENS_PROT	a i	Voltage sense from main battery
48	IO-USART1_RX_SPECTRUM_DSM	o	signal from Spectrum receiver
49	BATT_CURRENT	a i	Current sense from main battery

	_SENS_PROT		
50	FMU-CH1-PROT	o	
51	SPI_EXT_MOSI	o	External SPI, for debug only
52	FMU-CH2-PROT	o	
53	VDD_SERVO	i	VDD_Servo, for monitoring servo bus
54	FMU-CH3-PROT	o	
55	!VDD_BRICK_VALID	i	main power valid signal
56	FMU-CH4-PROT	o	
57	!VDD_BACKUP_VALID	i	backup power valid signal
58	FMU-CH5-PROT	o	
59	!VBUS_VALID	i	USB bus valid signal
60	FMU-CH6-PROT	o	
61	VDD_5V_IN	i	main power into FMU from power selection
62	PPM-SBUS-PROT	i	
63	VDD_5V_IN	i	main power into FMU from power selection
64	S.BUS_OUT	o	
65	IO-VDD_5V5	o	power to RX
66	IO-CH8-PROT	o	
67	SPI_EXT_MISO	i	External SPI, for debug only
68	IO-CH7-PROT	o	
69	IO-SWDIO	i/o	IO single wire debug i/o
70	IO-CH6-PROT	o	
71	IO-SWCLK	o	IO single wire debug clock
72	IO-CH5-PROT	o	
73	SPI_EXT_SCK	o	External SPI, for debug only
74	IO-CH4-PROT	o	
75	IO-!RESET	i	IO reset pin

76	IO-CH3-PROT	o	
77	CAN_L_1	i/o	Canbus Low signal driver on FMU
78	IO-CH2-PROT	o	
79	CAN_H_1	i/o	Canbus High signal driver on FMU
80	IO-CH1-PROT	o	



Pin Changes from Pixhawk

Pin	Pixhawk 1	Pixhawk2	Reason for change
FMU	Pixhawk 1	Pixhawk2	Reason for change
PA0	FMU-UART4_TX		
PA1	FMU-UART4_RX		
PA2	BATT_VOLTAGE_SENS		
PA3	BATT_CURRENT_SENS		
PA4	VDD_5V_SENS		
PA5	SPI_INT_SCK		
PA6	SPI_INT_MISO		
PA7	SPI_INT_MOSI		
FMU	Pixhawk 1	Pixhawk2	Reason for change
PA8	!VDD_5V_PERIPH_EN		
PA9	VBUS		
PA10	IO-USART1_TX		
PA11	OTG_FS_DM		
PA12	OTG_FS_DP		
PA13	FMU-SWDIO		
PA14	FMU-SWCLK		
PA15	ALARM		
FMU	Pixhawk 1	Pixhawk2	Reason for change
PB0	GYRO_DRDY	EXTERN_DRDY	Added Dev SPI to 80 pin
PB1	MAG_DRDY	!EXTERN_CS	Added Dev SPI to 80 pin
PB2	10k TO GROUND		
PB3	FMU-SWO		
PB4	ACCEL_DRDY	NC	Data ready pin not used
PB5	!VDD_BRICK_VALID		
PB6	CAN2_TX		
PB7	!VDD_SERVO_VALID	!VDD_BACKUP_VALID	Backup now comes from Aux plug, NOT SERVO
FMU	Pixhawk 1	Pixhawk2	Reason for change
PB8	FMU-I2C1_SCL (OLD_EXT)	FMU-I2C1_SCL	All External now, there is no internal I2C
PB9	FMU-I2C1_SDA (OLD_EXT)	FMU-I2C1_SDA	All External now, there is no internal I2C
PB10	FMU-I2C2_SCL (OLD-INT)	FMU-I2C2_SCL	All External now, there is no internal I2C
PB11	FMU-I2C2_SDA (OLD-INT)	FMU-I2C2_SDA	All External now, there is no internal I2C
PB12	CAN2_RX		
PB13	FRAM_SCK		
PB14	FRAM_MISO		
PB15	FRAM_MOSI		
FMU	Pixhawk 1	Pixhawk2	Reason for change
PC0	!VBUS_VALID		
PC1		SPI_INT_MAG_!CS	On-board HMC5983 Mag
PC2	!IMPU_CS		

PC3	FMU_AUX_ADC1	AUX_BATT_VOLTAGE_SENS	Added Aux Power brick
PC4	FMU_AUX_ADC2	AUX_BATT_CURRENT_SENS	Added Aux Power brick
PC5	PRESSURE_SENS		
PC6	SERIAL_FMU_TO_IO		
PC7	SERIAL_IO_TO_FMU		
FMU	Pixhawk 1	Pixhawk2	Reason for change
PC8	SDIO_D0		
PC9	SDIO_D1		
PC10	SDIO_D2		
PC11	SDIO_D3		
PC12	SDIO_CK		
PC13	!GYRO_CS	!GYRO_EXT_CS	IMU L3GD20 Gyro
PC14	GPIO_EXT_1	!BARO_EXT_CS	IMU MS5611 Baro
PC15	!ACCEL_MAG_CS	!ACCEL_MAG_EXT_CS	IMU LSM303D Mag Accel
FMU	Pixhawk 1	Pixhawk2	Reason for change
PD0	CAN1_RX		
PD1	CAN1_TX		
PD2	SDIO_CMD		
PD3	FMU-USART2_CTS		
PD4	FMU-USART2_RTS		
PD5	FMU-USART2_TX		
PD6	FMU-USART2_RX		
PD7	!BARO_CS		
FMU	Pixhawk 1	Pixhawk2	Reason for change
PD8	FMU-USART3_TX		
PD9	FMU-USART3_RX		
PD10	!FRAM_CS		
PD11	FMU-USART3_CTS		
PD12	FMU-USART3_RTS		
PD13	FMU-CH5		
PD14	FMU-CH6		
PD15	MPU_DRDY	Still connected....	
FMU	Pixhawk 1	Pixhawk2	Reason for change
PE0	FMU-UART8_RX		
PE1	FMU-UART8_TX		
PE2	SPI_EXT_SCK		
PE3	VDD_3V3_SENSORS_EN		
PE4	!SPI_EXT_NSS	!MPU_EXT_CS	IMU MPU9250 or ICM 20xxx CS
PE5	SPI_EXT_MISO		
PE6	SPI_EXT_MOSI		
PE7	FMU-UART7_RX		
FMU	Pixhawk 1	Pixhawk2	Reason for change
PE8	FMU-UART7_TX		
PE9	FMU-CH4		
PE10	!VDD_5V_HIPOWER_OC		
PE11	FMU-CH3		

PE12	!FMU-LED_AMBER		
PE13	FMU-CH2		
PE14	FMU-CH1		
PE15	!VDD_5V_PERIPH_OC		
IO	Pixhawk 1	Pixhawk2	Reason for change
PA0	IO-CH1		
PA1	IO-CH2		
PA2	SERIAL_IO_TO_FMUI		
PA3	SERIAL_FMUI_TO_IO		
PA4	VDD_SERVO_SENS		
PA5	RSSI_IN		
PA6	IO-CH5		
PA7	IO-CH6		
IO	Pixhawk 1	Pixhawk2	Reason for change
PA8	PPM_INPUT		
PA9	IO-USART1_TX		
PA10	IO-USART1_RX	IO-USART1_RX_SPECTRUM_DSM	Just renamed. Same function
PA11		I/O_POWER_BREATHING	Added breathing LED to IO PWM
PA12	RSSI_IN		
PA13	IO-SWDIO		
PA14	IO-SWCLK		
PA15	IO-!VDD_SERVO_IN_FAULT		
IO	Pixhawk 1	Pixhawk2	Reason for change
PB0	IO-CH7		
PB1	IO-CH8		
PB2	Via 10k to ground		
PB3	IO-SWO		
PB4	ISBUS_OUTPUT_EN		
PB5	SAFETY		
PB6		!VDD_BRICK_VALID	Added to monitor power during an inflight reboot
PB7		!VDD_BACKUP_VALID	Added to monitor power during an inflight reboot
IO	Pixhawk 1	Pixhawk2	Reason for change
PB8	IO-CH3		
PB9	IO-CH4		
PB10	SBUS_OUTPUT		
PB11	SBUS_INPUT		
PB12		FMU-VDD_3V3	Added to monitor power during an inflight reboot
PB13	!IO-LED_SAFETY		
PB14	!IO-LED_BLUE		
PB15	!IO-LED_AMBER		
IO	Pixhawk 1	Pixhawk2	Reason for change
PC13	VDD_3V3_SPEKTRUM_EN		

PC14		Pulled to 3.3v	To ID the hardware change 0x01
PC15		Pulled to ground	To ID the hardware change 0x01

List of features changed on Pixhawk 2 from Pixhawk 1

- three IMU's
 - these consist of 2 on the IMU board
 - 1 fixed to the FMU
- two onboard compasses
 - these consist of 1 on the IMU board
 - 1 Fixed on the FMU
- two Baros
 - 1 on the IMU (this Baro will most likely be removed in favour of a dedicated external Barometer.
 - 1 Fixed on the FMU
- Dual Power input
 - This removes the option of redundancy from the Servo rail and replaces it with a dedicated second power plug
 - A dedicated power protection Zener diode and Fet have been added to protect from voltages over 5.6v being applied to Aux input 2
 - This is only on the "PRO" carrier board mini carrier board still draws the backup from the servo rail.
- only 2 FMU PWM out channels on the Mini carrier board. (10 PWM total)
- Dual external I2C
 - This allows for connection of items to either I2C port, potentially allowing two GPS / Mag units to be plugged in without the Mags conflicting.
- GPS_Puck with Safety and LED
 - a single unit GPS / Mag / RGB / Safety button
- Pixhawk 2 Hardware ID
 - 1 physical Hardware ID has been added to the I/O of the Pixhawk 2. This needs software to identify the board for debug purposes. This is the only non-software method to tell the two Pixhawks apart.
- Breathing LED on cube. Comes on solid with default settings on the pin. Is connected to a PWM pin, and as such could be made to Breathe,
- Power monitoring pins are now routed to the I/O chip, these will allow for the logging of power events during an inflight reboot.
 - Brick OK, Backup OK, and FMU 3.3V are all connected to a digital pin on the I/O via a 220Ohm resistor.

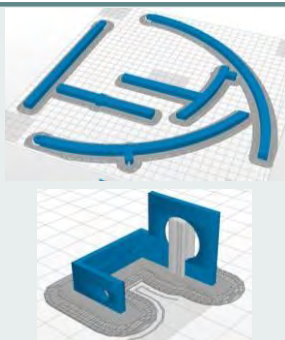
ANEXO G: COTIZACIÓN DE COMPONENTES FABRICADOS EN ABS



COTIZACIÓN IMPRESIÓN 3D - ZORTRAX



Calle Dos de Mayo N° 524 Of. 102
 Miraflores
 Lima 18
 Teléfono: 6077210
www.desarrollo3d.com
admin@desarrollo3d.com



N° de Orden **1338**
 Fecha 17-Nov-17

MEDELCO S.R.Ltda.
 Sr. Sergio Postigo

sergio.postigo@pucp.pe

Description	cm 3	cantidad de piezas	Costo Unitario	Sub Total
01.- Pza. Tapa de caja	2	1	\$7.85	\$7.85
02.- Pza. Sujecion de alerón	0	4	\$0.55	\$2.20
03.- Pzas. Junta de 6 varillas	0	20	\$0.45	\$9.00
04.- Pzas. Junta de 5 varillas	0	12	\$0.40	\$4.80
05.- Pza. Caja superior	9	1	\$47.05	\$47.05
06.- Pza. Caja inferior	8	1	\$39.25	\$39.25
07.- Pza. Armazón 2	5	1	\$23.60	\$23.60
08.- Pza. Armazón 1	5	1	\$25.45	\$25.45
09.- Pza. Aleron	1	4	\$7.00	\$28.00
10.- Pza. Acoplamiento para sensores 2	1	1	\$5.50	\$5.50
11.- Pza. Acoplamiento para sensores 1	0	1	\$1.35	\$1.35
Subtotal				\$ 194.10
IGV 18%				\$ 34.92
Total				\$ 229.02

ESPECIFICACIONES

VIGENCIA DE COTIZACIÓN 15 DÍAS

FACTURACIÓN NO SUJETA A DETRACCIONES

Material Plástico ABS
 Máquina Zortrax 200
 Costo mínimo por producción \$10.00
 Formas de pago : 50% de adelanto y 50% contraentrega
 Tiempo de entrega: A tratar
 Colores disponibles para impresión: Azul, Amarillo, Rojo, Verde limón, Verde hoja, Anaranjado, Celeste, Blanco, Negro, Gris

Numeros de cuentas corrientes

Códigos Interbancarios

BCP DOLARES	194-2063111-1-14	002-194-002-06311-1114-91
BCP SOLES	194-2086899-0-85	002-194-002-08689-908592

SOMOS LOS UNICOS QUE TRABAJAMOS CON EQUIPOS DE ALTA PRECISION. NO SE DEJE ENGAÑAR, RESULTADOS DE CALIDAD, DESARROLLO 3D PERU SAC.

GRACIAS POR SU PREFERENCIA !

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

Facultad de Ciencias e Ingeniería



**PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ**

PLANOS

**VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO PARA VIGILANCIA EN
AMBIENTES CERRADOS CON DETECCIÓN DE PERSONAS Y
OBSTÁCULOS A SU ALREDEDOR**

**Tesis para optar el Título de Ingeniero Mecatrónico,
que presenta el bachiller:**

SERGIO RENATO POSTIGO HUANQUI

ASESORA: Ing. Mónica Lucía Abarca Abarca

Lima, diciembre del 2018

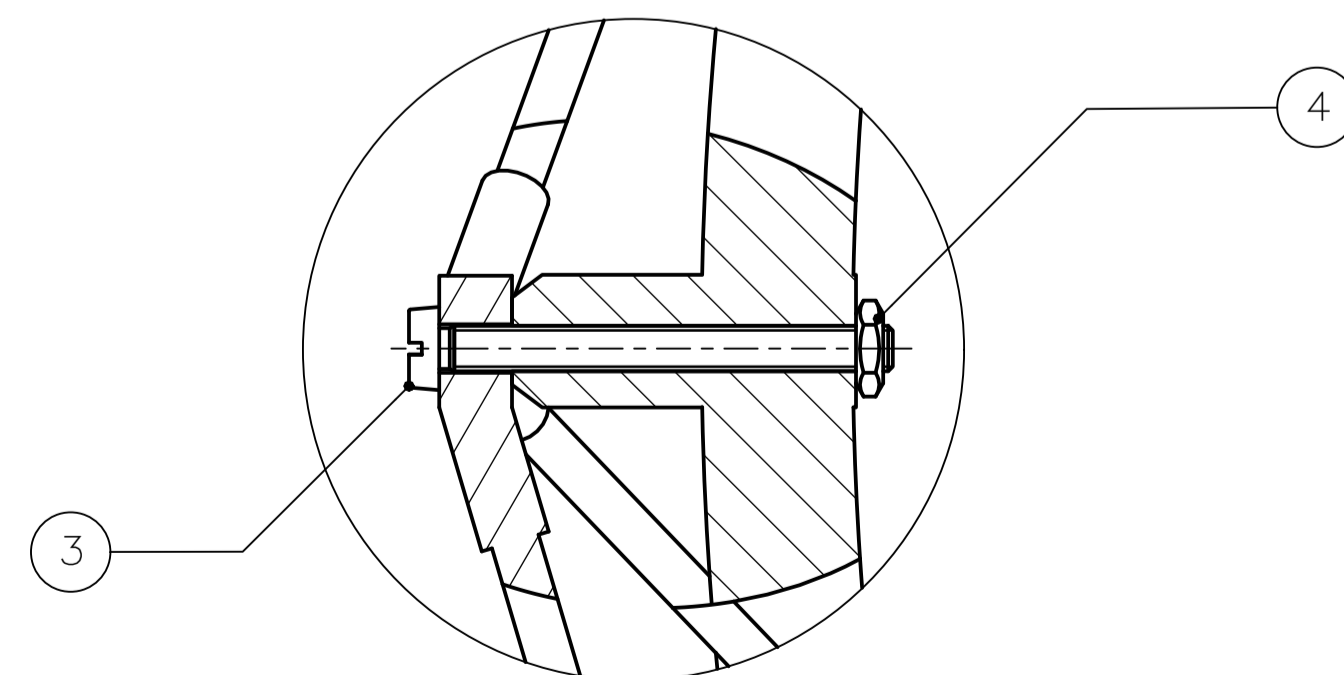
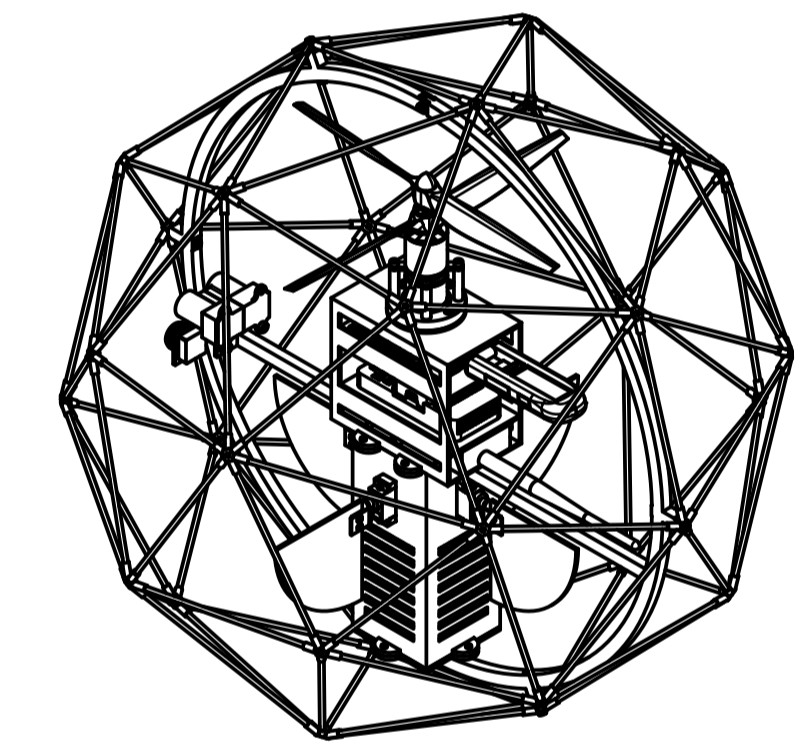
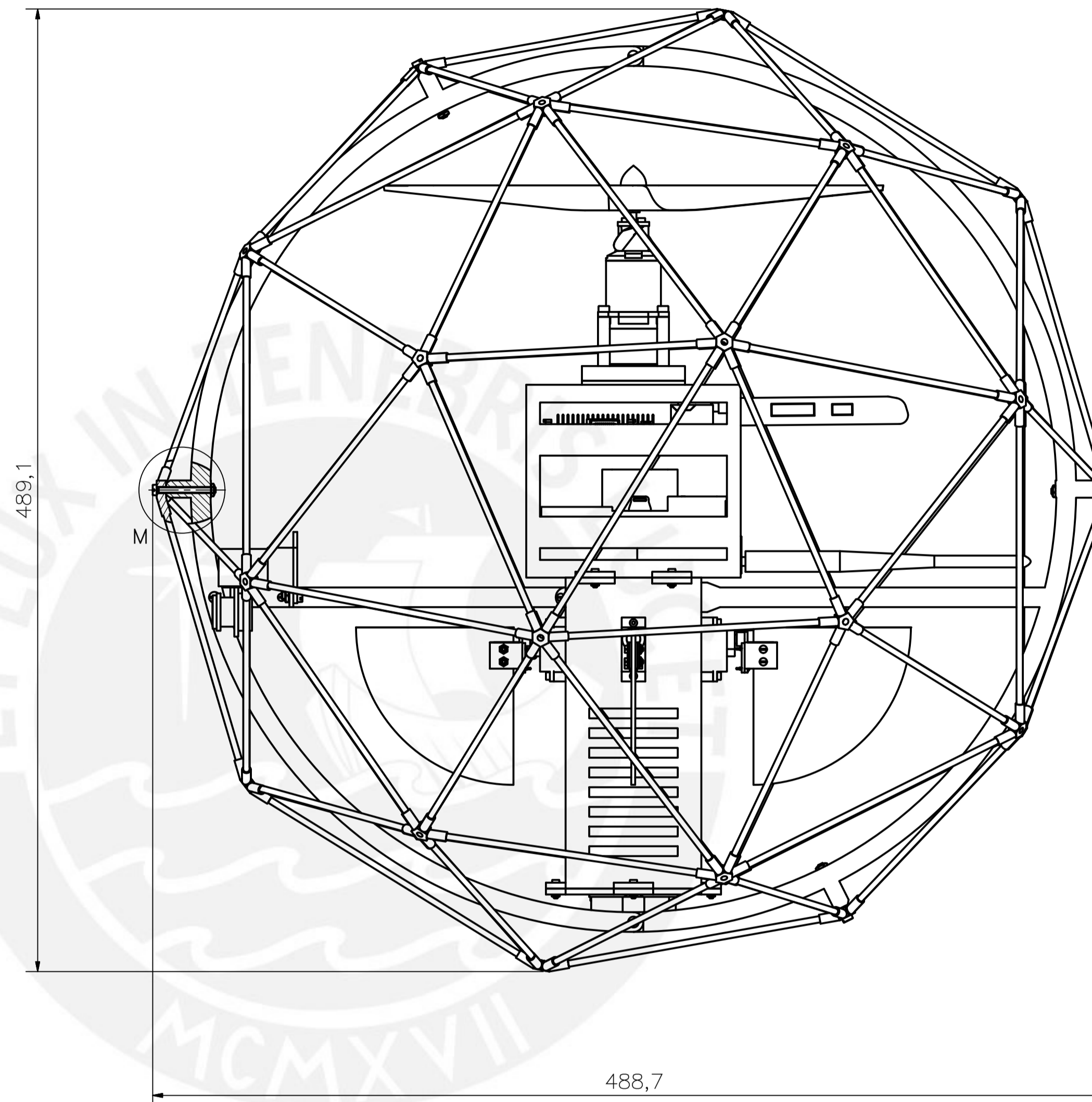
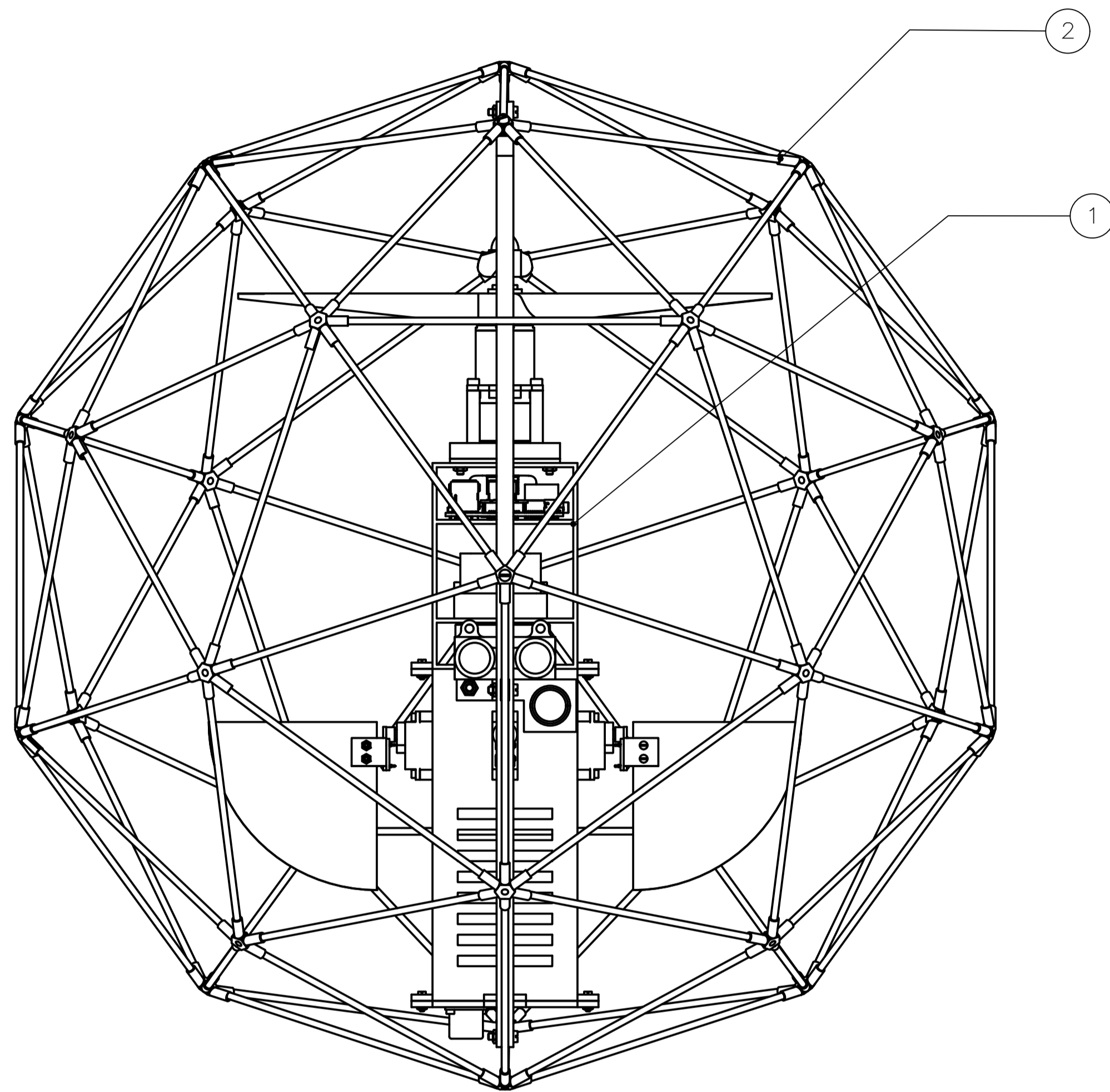
ÍNDICE DE CONTENIDO

1. PLANOS MECÁNICOS

P1 – A1.....	1
P2 – A0.....	2
P3 – A2.....	3
P4 – A1.....	4
P5 – A2.....	5
P6 – A3.....	6
P7 – A3.....	7
P8 – A3.....	8
P9 – A4.....	9
P10 – A3.....	10
P11 – A1.....	11
P12 – A1.....	12
P13 – A4.....	13
P14 – A3.....	14
P15 – A1.....	15
P16 – A2.....	16
P17 – A4.....	17
P18 – A4.....	18
P19 – A4.....	19
P20 – A4.....	20
P21 – A4.....	21

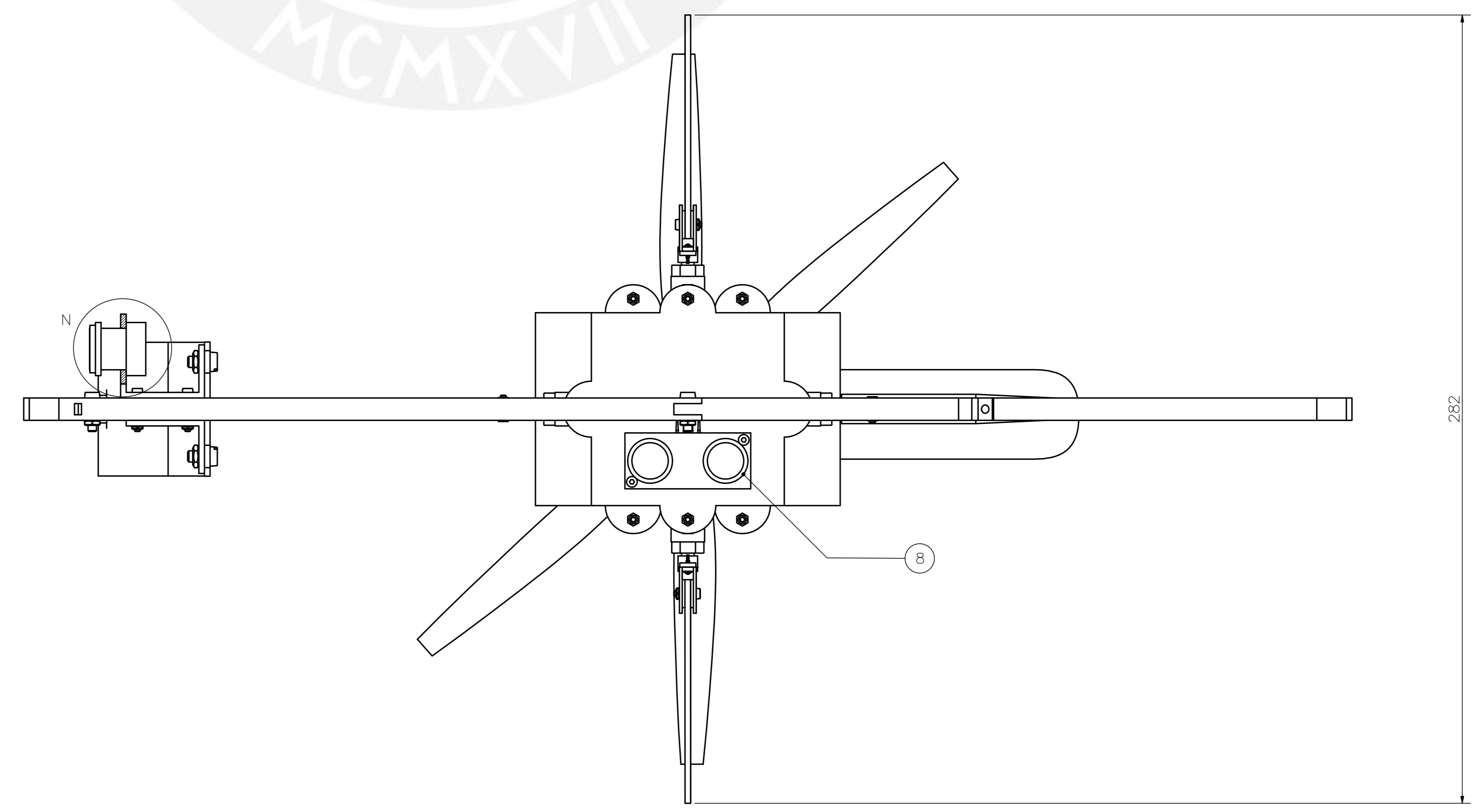
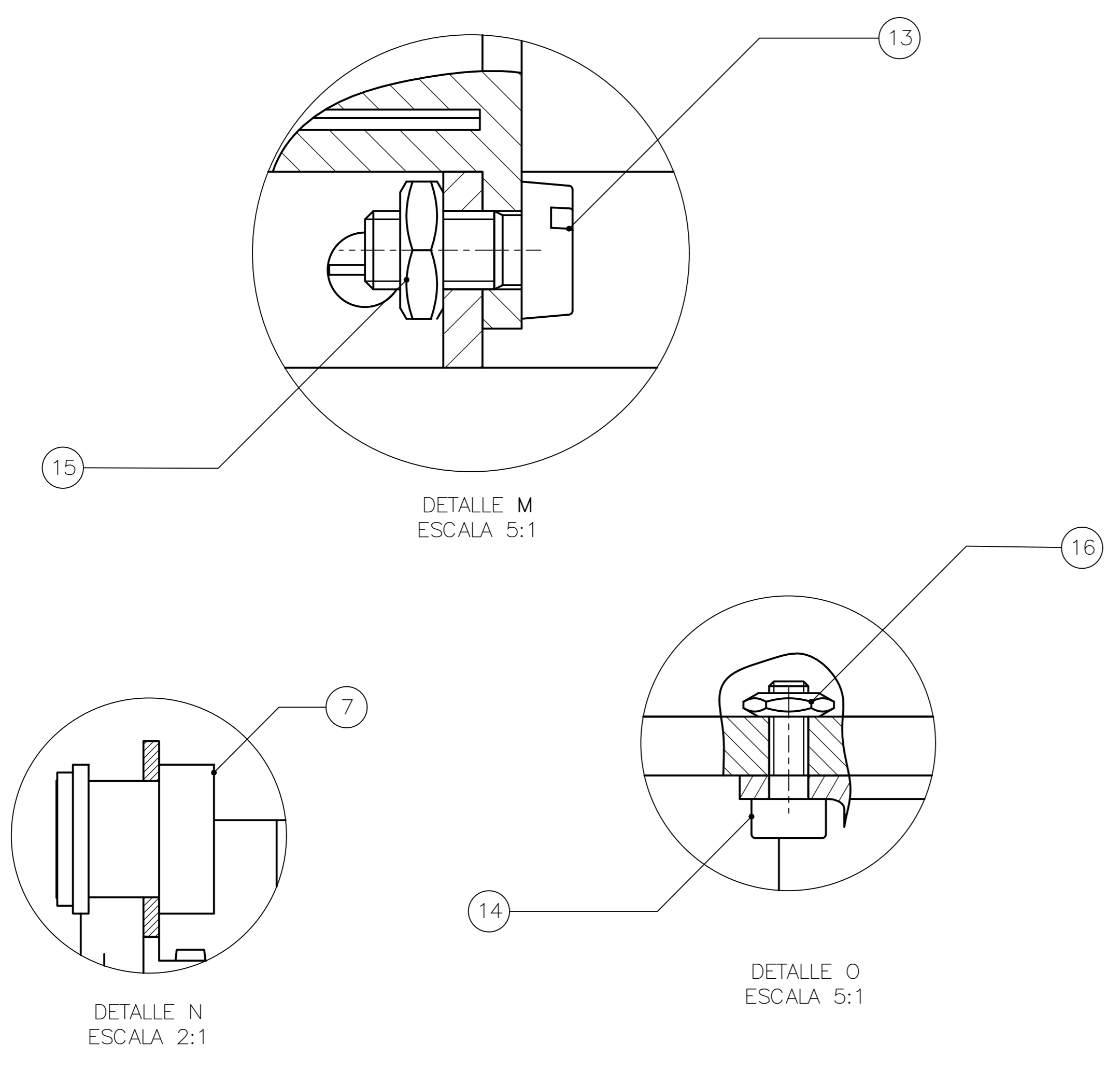
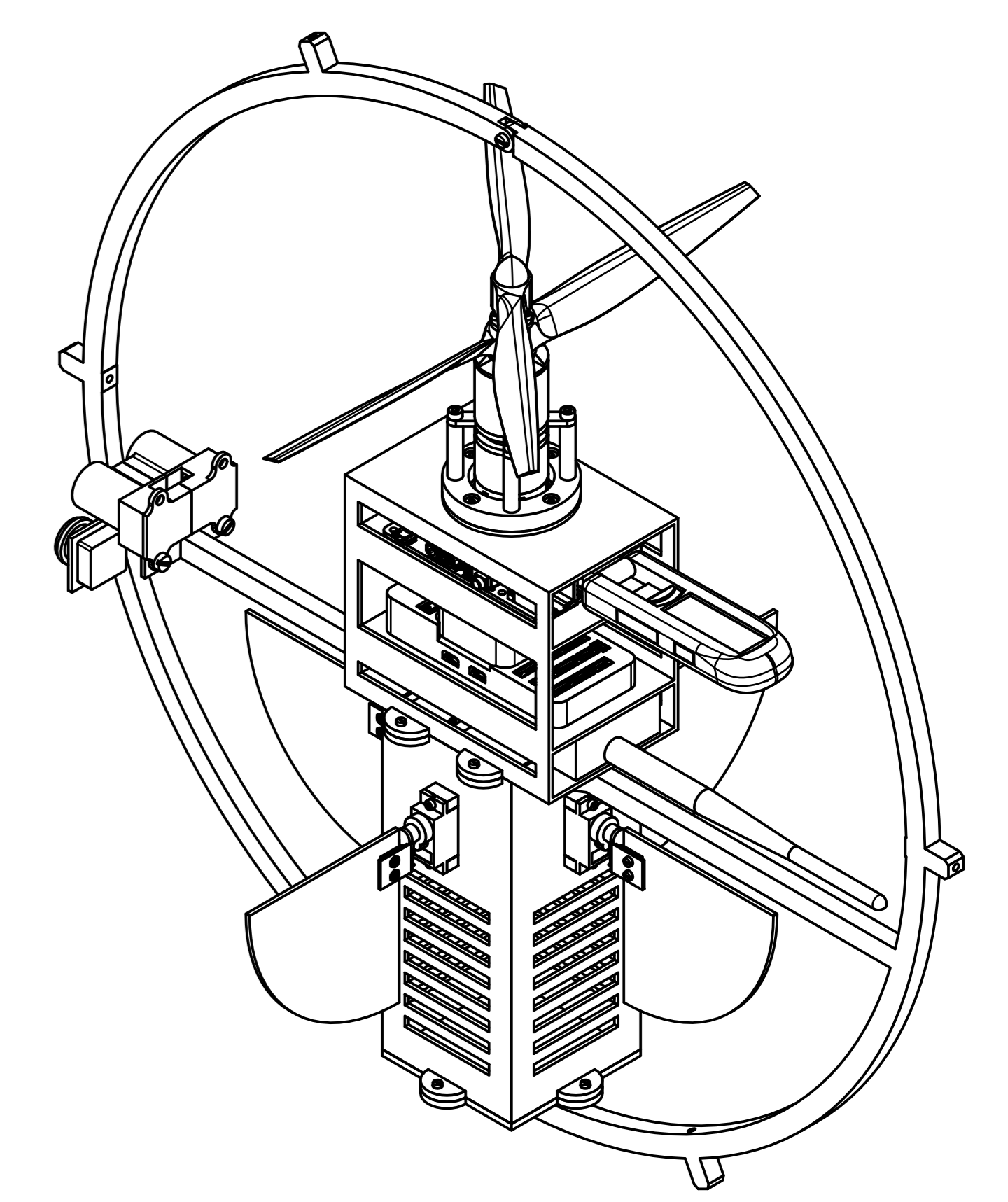
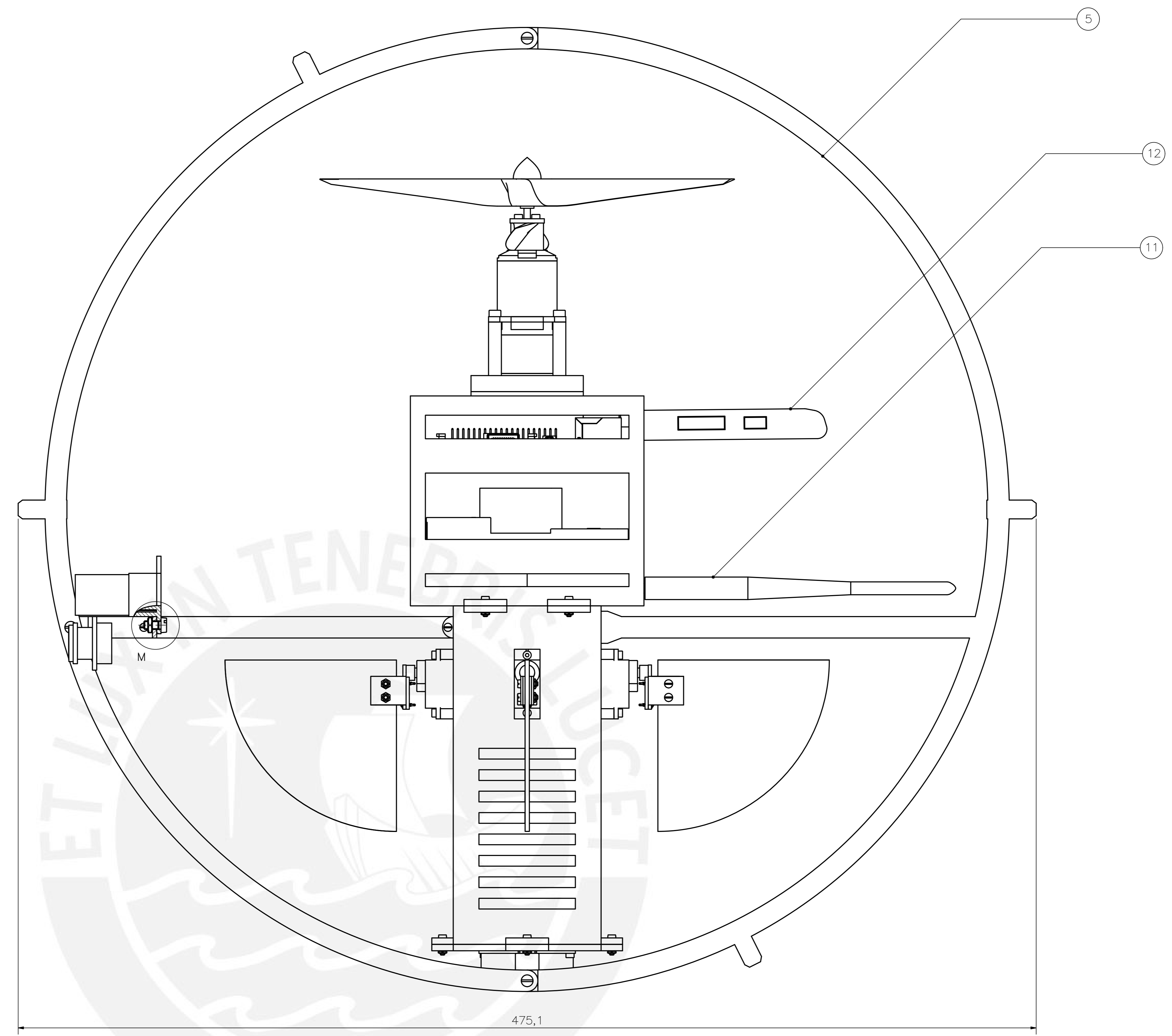
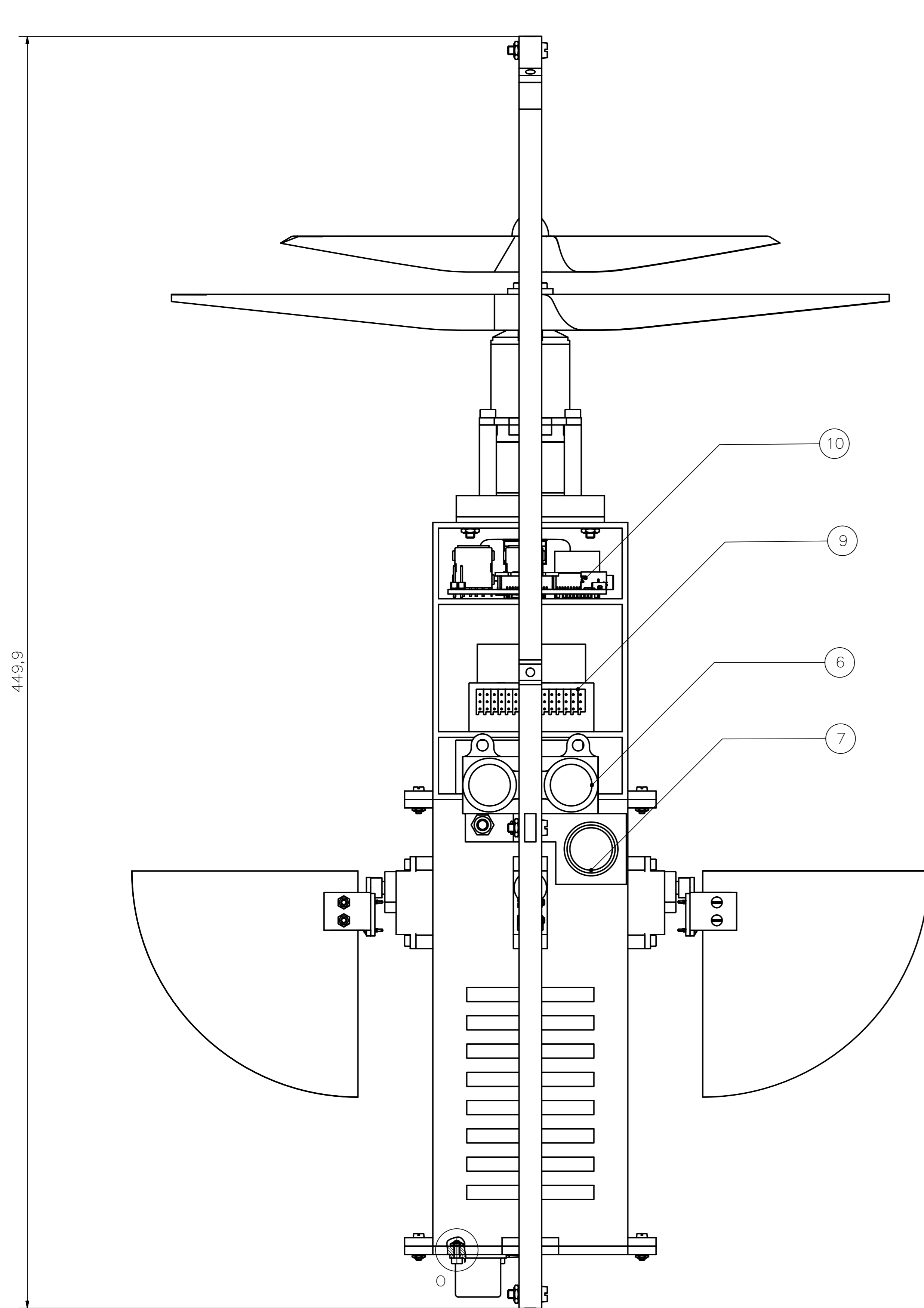
2. PLANOS ELECTRÓNICOS/ELÉCTRICOS

P1 – A2.....	22
--------------	----

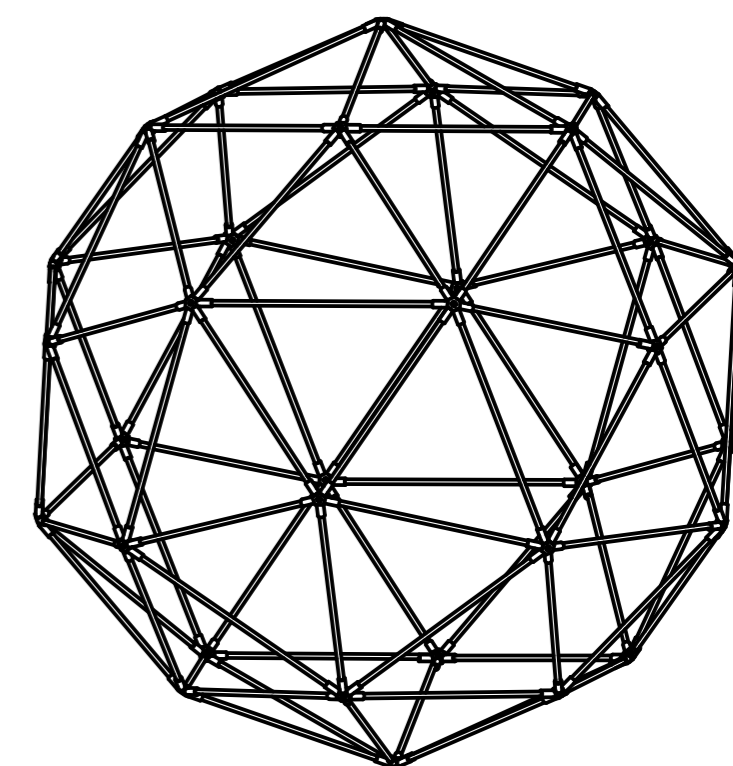
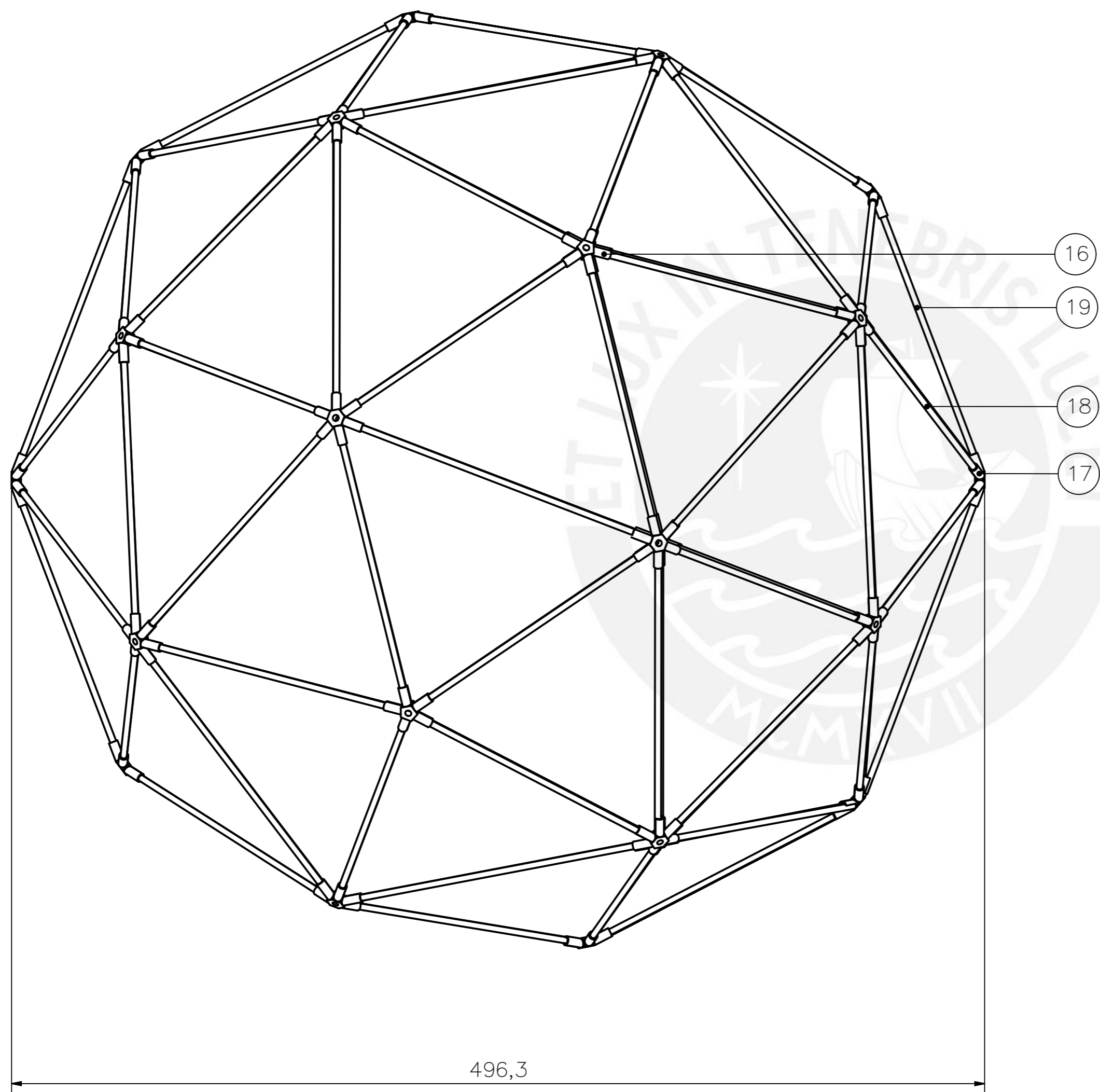


DETALLE M
ESCALA 2:1

4	8	TUERCA HEXAGONAL (M3)	DIN 439	8.8	
3	4	TORNILLO CAB. REDONDA (M3x30)	DIN 84	8.8	
2	1	ESTRUCTURA GEODÉSICA			VER PLANO 3
1	1	ENSAMBLAJE DE DISPOSITIVOS			VER PLANO 2
POS. CANT.		DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – ESPECIALIDAD: INGENIERÍA MECATRÓNICA					
MÉTODO DE PROYECCIÓN		VEHICULO AEREO NO TRIPULADO PARA VIGILANCIA EN AMBIENTES CERRADOS CON DETECCIÓN DE PERSONAS Y OBSTACULOS A SU ALREDEDOR			ESCALA
		VANT CON PROTECCIÓN			1:2
DISEÑADO	POSTIGO.S	DIBUJADO	POSTIGO.S	REVISADO	ABARCA.M
FECHA	2017.11.17	FECHA	2017.11.18	FECHA	2017.10.17
					FECHA: 2018.10.14
					PLANO: P1 – A1



16	2	TUERCA HEXAGONAL (M2)	DIN 439	8.8	
15	2	TUERCA HEXAGONAL (M4)	DIN 439	8.8	
14	2	TORNILLO CABEZA REDONDA (M2x6)	DIN 912	8.8	
13	2	TORNILLO CABEZA REDONDA (M4x8)	DIN 84	8.8	
12	1	USB MODEM 4G			HUAWEI E3276
11	1	TRANSMISOR DE VIDEO			PARTOM 1.2 GHZ
10	1	COMPUTADOR DE PLACA REDUCIDA			RASPBERRY PI 3 B
9	1	CONTROLADOR DE VUELO			PIXHAWK 2 CUBE
8	1	SENSOR ULTRASONICO			HC-SR04
7	1	CAMARA			BRUNCAM OVL
6	1	SENSOR LIDAR			GARMIN LITE V3
5	1	VANT SIN PROTECCION			VER PLANO 4
POS.	CANT.	DESCRIPCION	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA - ESPECIALIDAD: INGENIERIA MECATRONICA					
METODO DE PROYECCION ESCALA					1:1
DISENADO	POSTIGUO.S	DESENIADO	POSTIGUO.S	REVISADO	ABRACAM
FECHA	2017-10-17	FECHA	2017-10-18	FECHA	2017-11-17
FECHA: 2018-10-14 PLANO: P2 - AD					

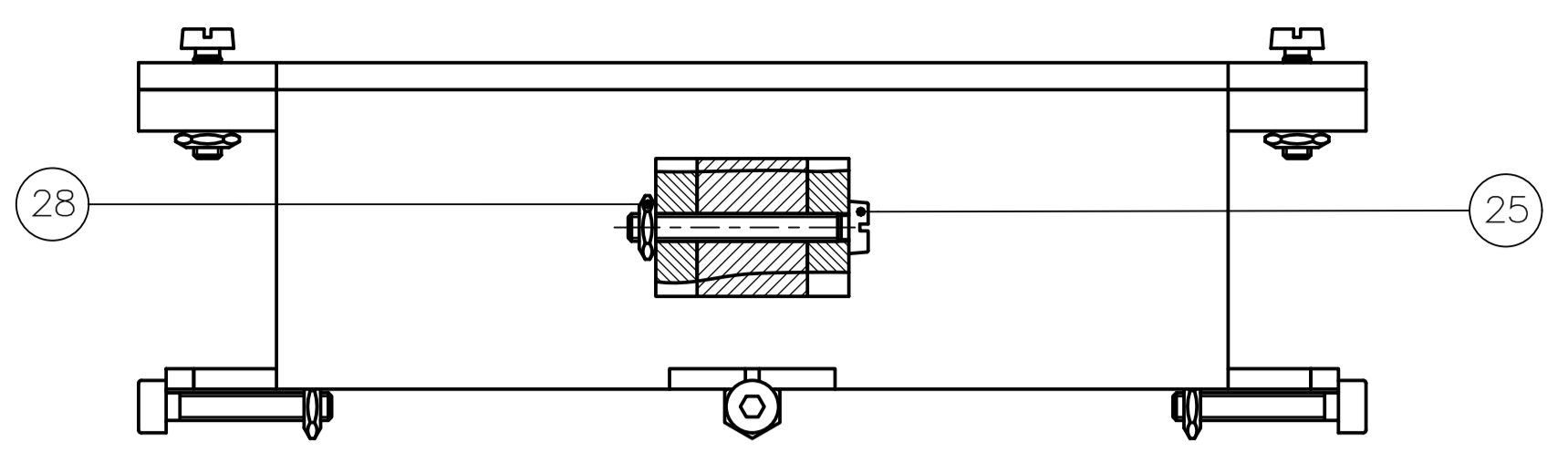


19	60	VARILLA B		T700S	VER PLANO 21
18	30	VARILLA A		T700S	VER PLANO 20
17	20	JUNTA DE 6 VARILLAS		ABS	VER PLANO 19
16	12	JUNTA DE 5 VARILLAS		ABS	VER PLANO 18
POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES

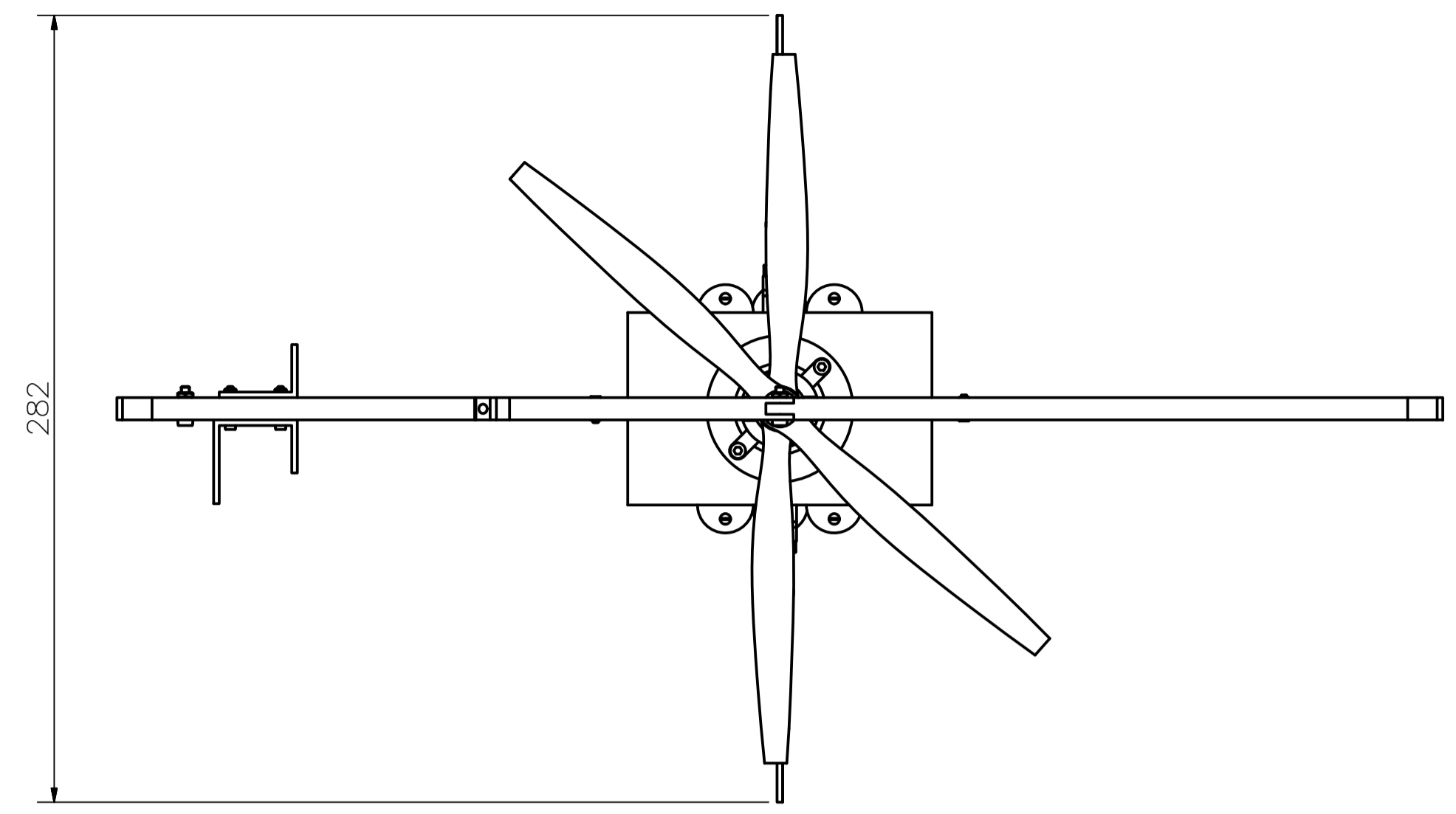
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
 FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – ESPECIALIDAD: INGENIERÍA MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN	VEHICULO AÉREO NO TRIPULADO PARA VIGILANCIA EN AMBIENTES CERRADOS CON DETECCIÓN DE PERSONAS Y OBSTÁCULOS A SU ALREDEDOR	ESCALA
	ESTRUCTURA GEODÉSICA	1:2

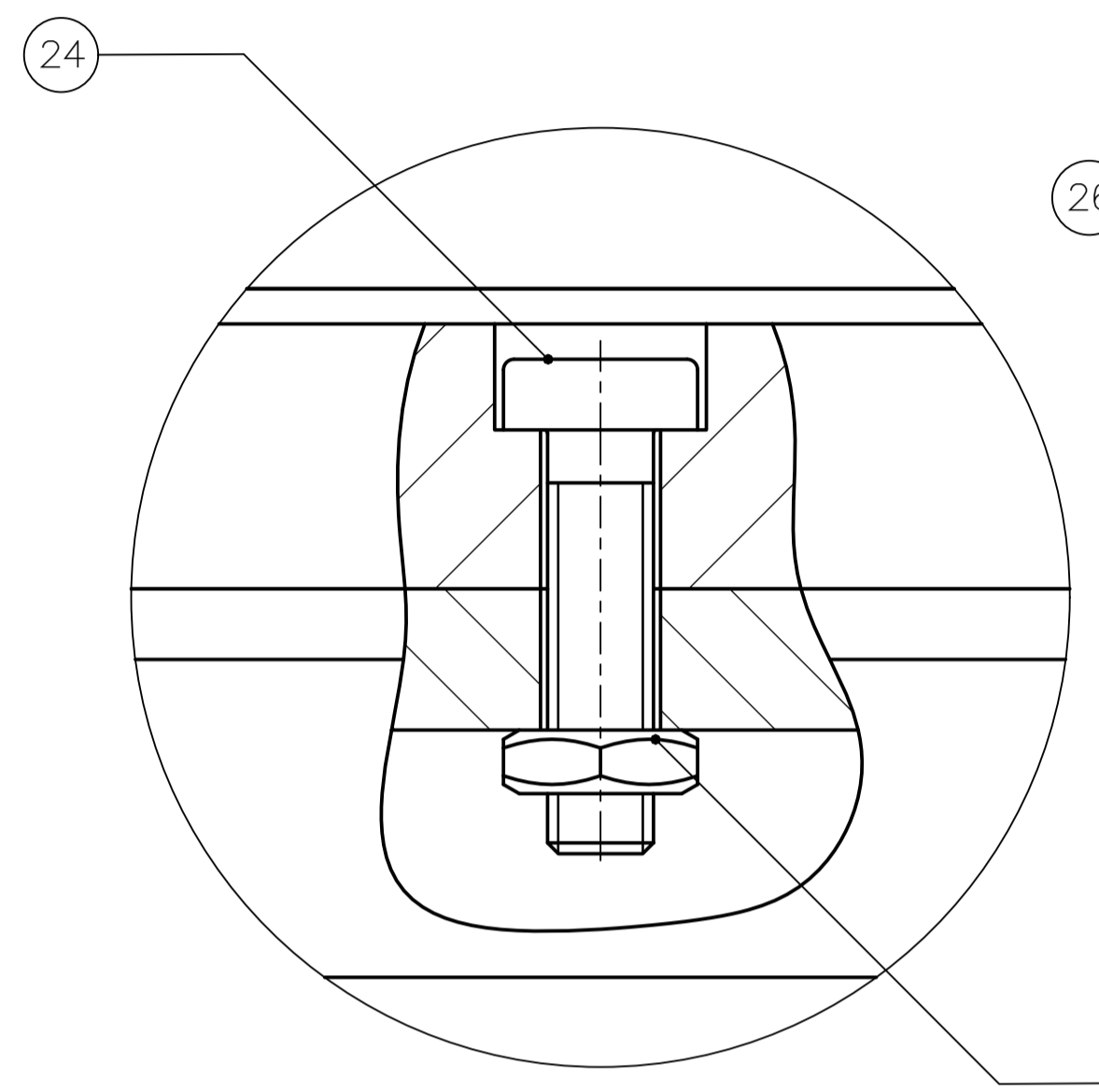
DISEÑADO	POSTIGO.S	DIBUJADO	POSTIGO.S	REVISADO	ABARCA.M	APROBADO	ABARCA.M	FECHA:
FECHA	2017.10.17	FECHA	2017.10.18	FECHA	2017.11.17	FECHA	2017.11.18	2018.10.14
								PLANO:
								P3 – A2



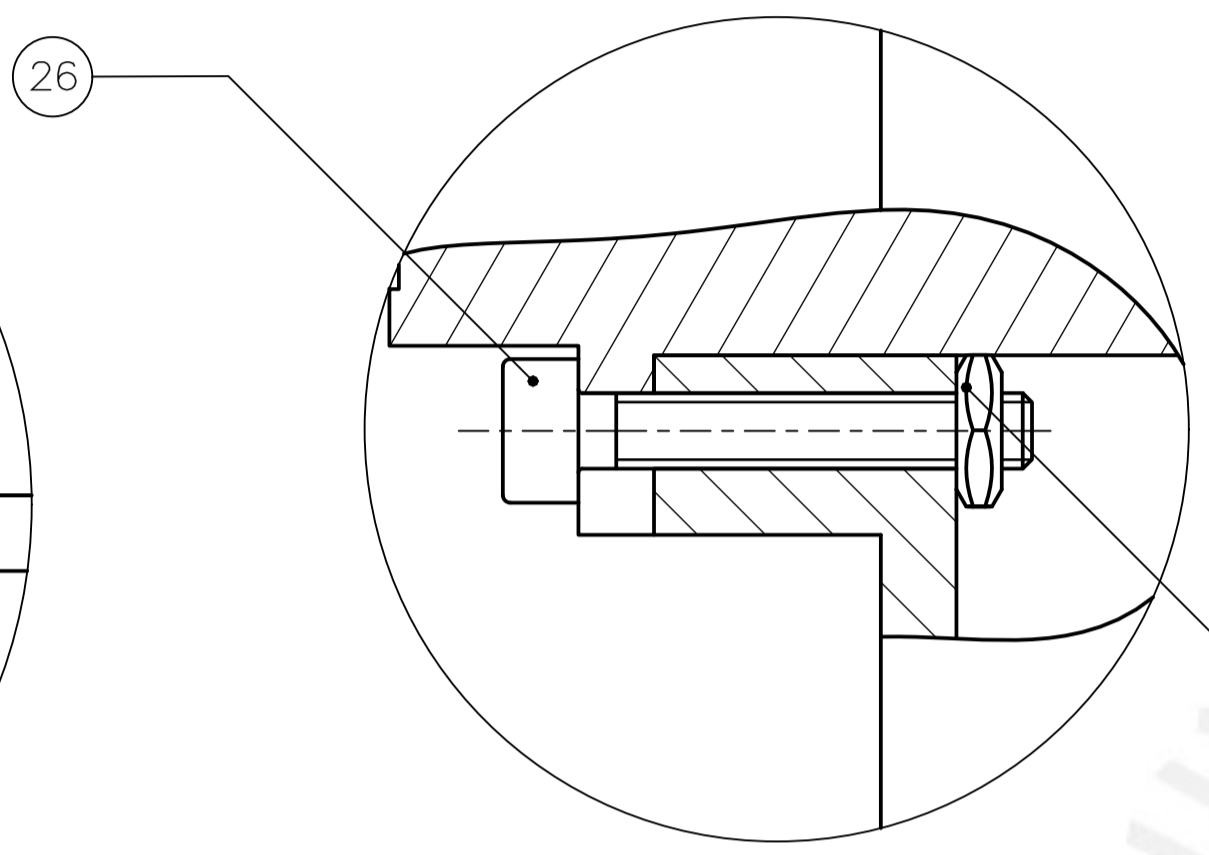
SECCIÓN B-B
ESCALA 2:1



282



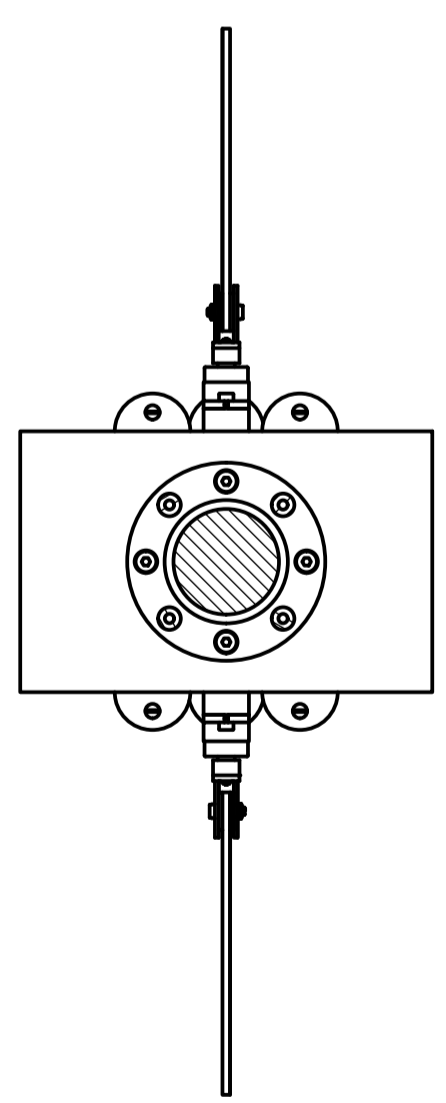
DETALLE M
ESCALA 5:1



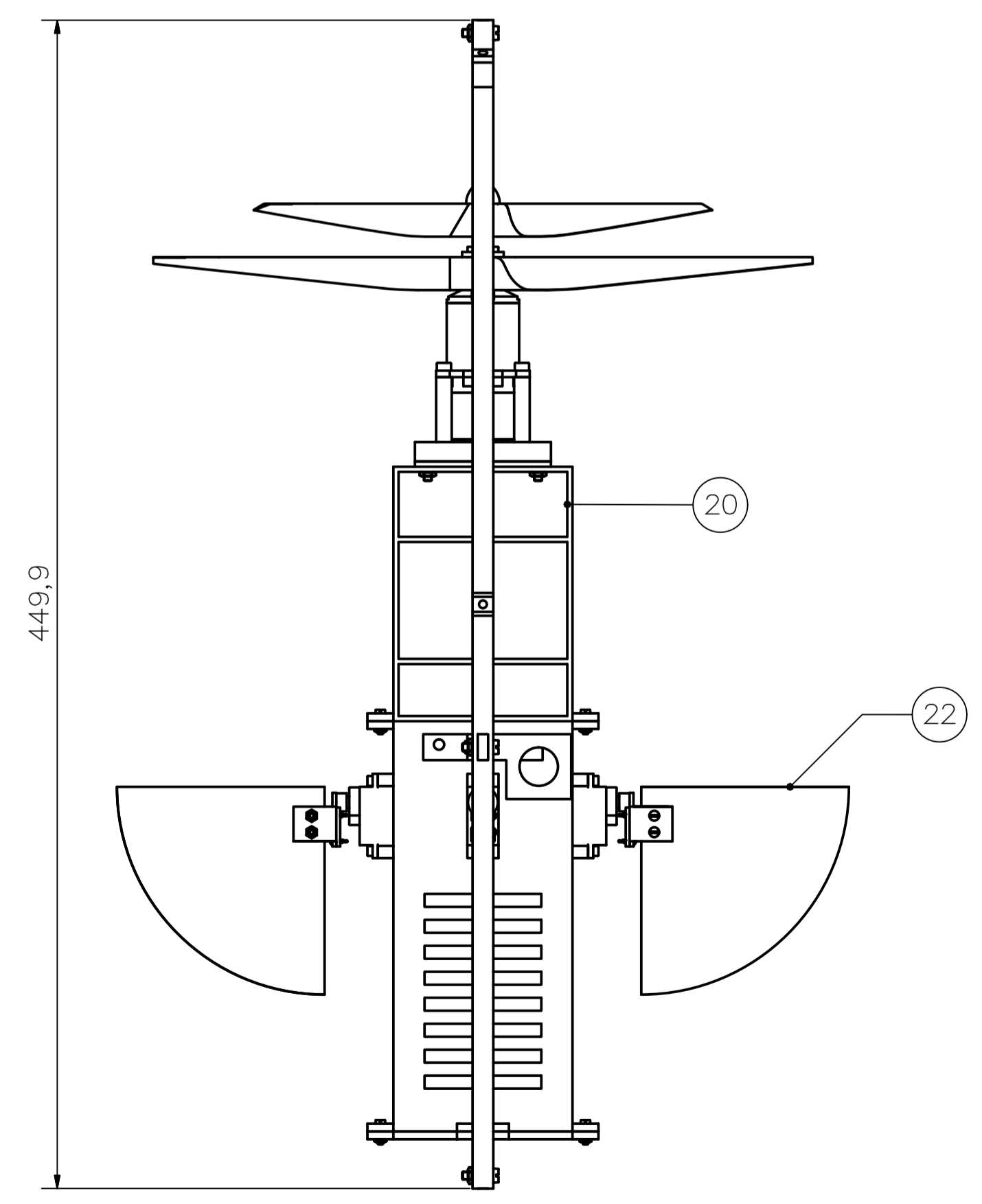
DETALLE N
ESCALA 5:1

28

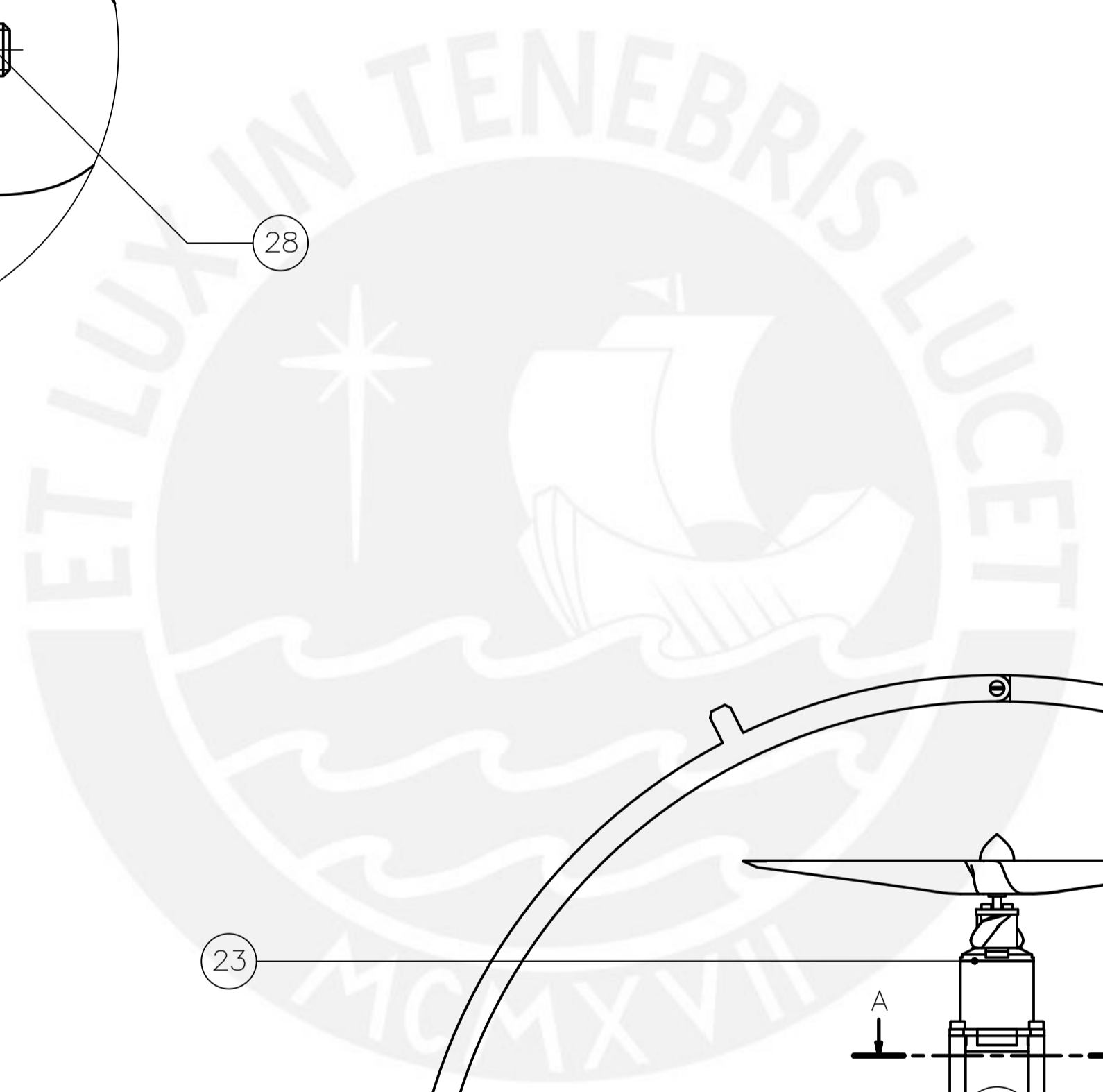
27



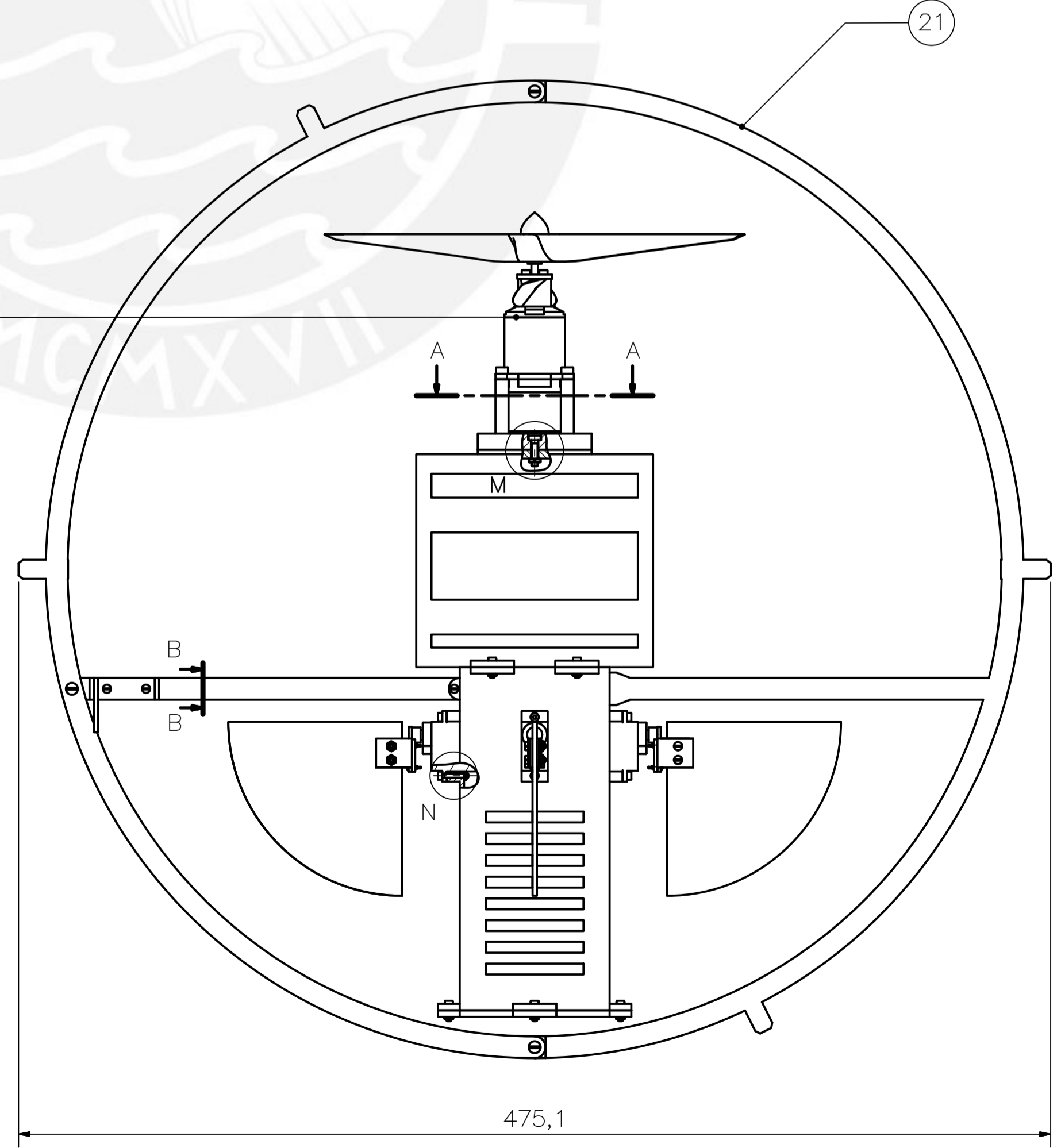
SECCIÓN A-A
ESCALA 1:2



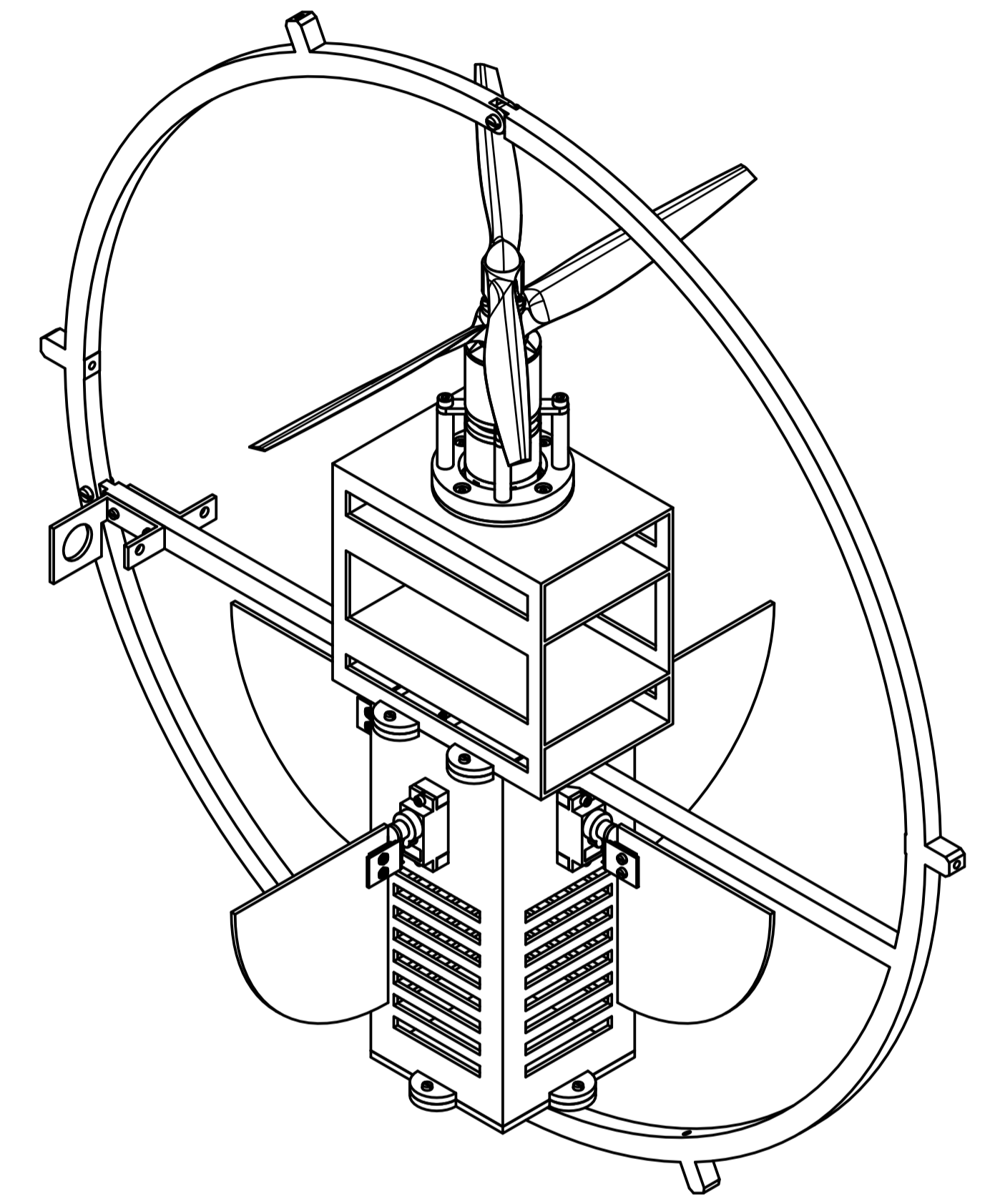
449,9



23



475,1



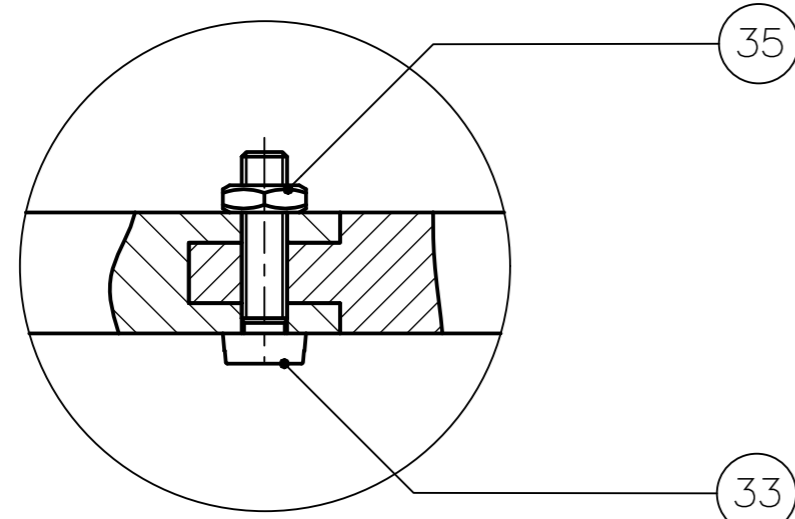
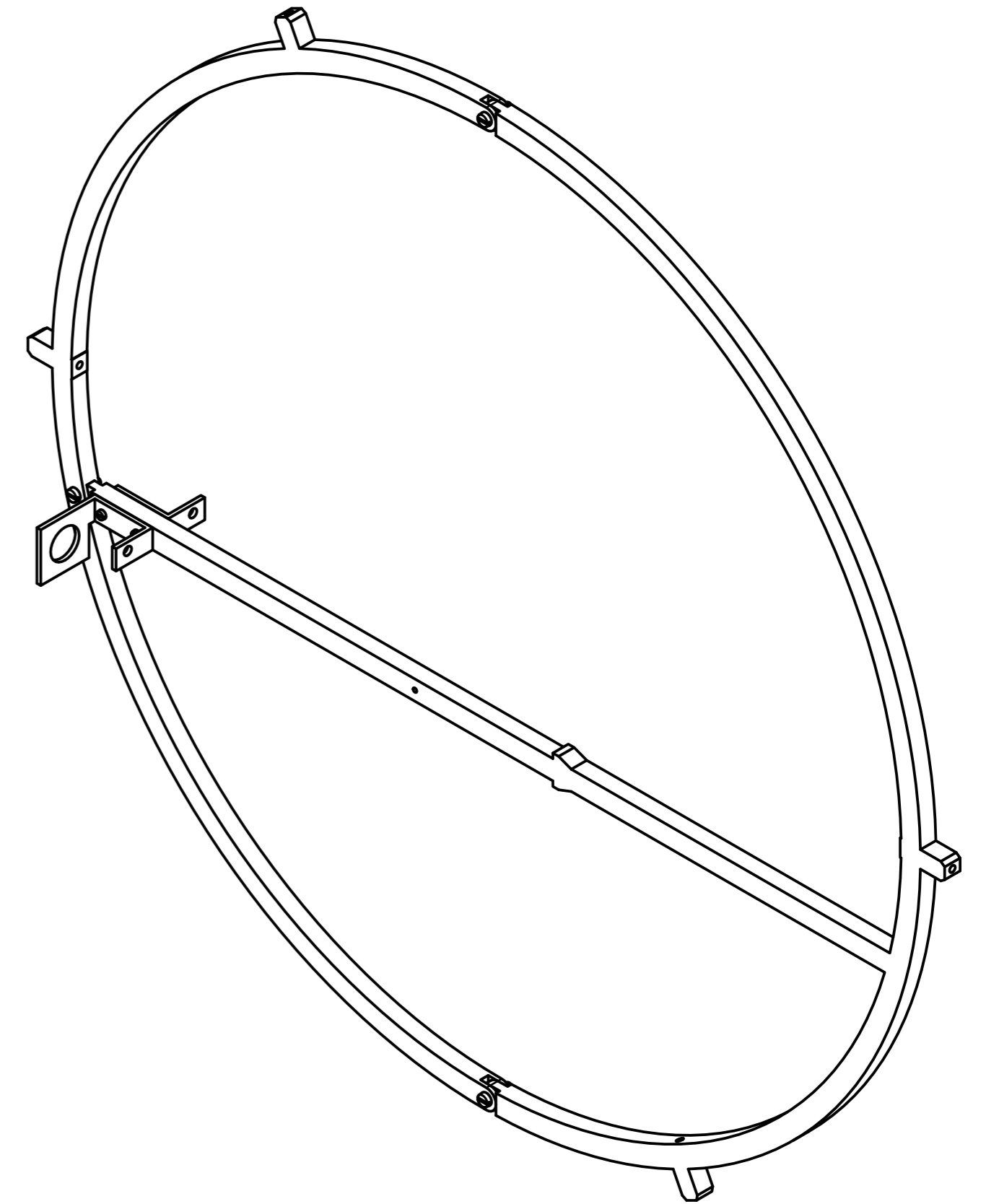
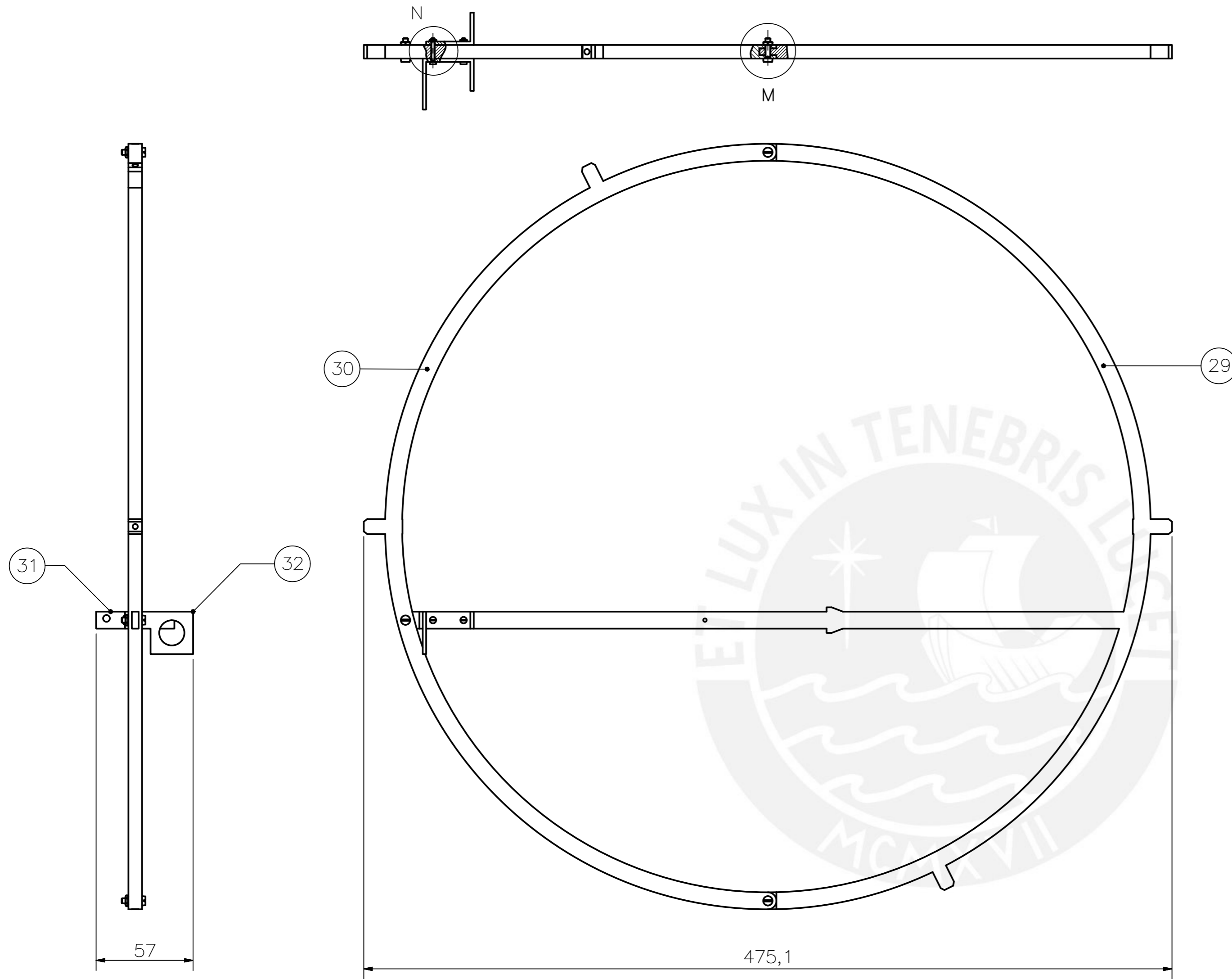
28	9	TUERCA HEXAGONAL (M2)	DIN 439	8.8	
27	4	TUERCA HEXAGONAL (M3)	DIN 439	8.8	
26	8	TORNILLO CAB. REDONDA (M2x12)	DIN 912	8.8	
25	1	TORNILLO CAB. REDONDA (M2x16)	DIN 84	8.8	
24	4	TORNILLO CAB. REDONDA (M3x12)	DIN 7984	8.8	
23	1	MOTOR DE CONTRA-ROTACIÓN			HIMAX CR-2816
22	4	SISTEMA DE ALERÓN			VER PLANO 7
21	1	ARMAZÓN CIRCULAR			VER PLANO 5
20	1	ESTRUCTURA DEL VANT			VER PLANO 6

POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES
------	-------	-------------	-------	----------	---------------

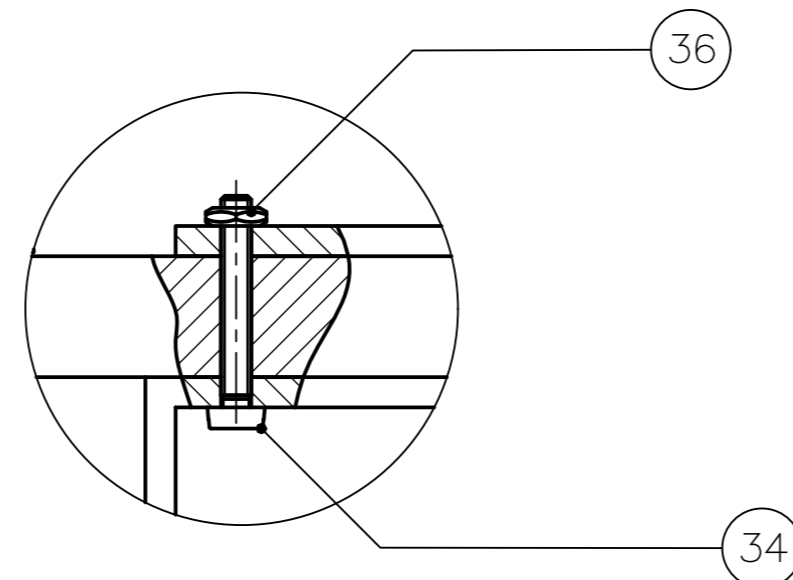
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA - ESPECIALIDAD: INGENIERÍA MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN	ESCALA
	1:2
VENTILADOR AEREO NO TRIPULADO PARA VIGILANCIA EN AMBIENTES CERRADOS CON DETECCIÓN DE PERSONAS Y OBSTACULOS A SU ALREDEDOR VANT SIN PROTECCIÓN	

DISEÑADO	POSTIGO.S	DIBUJADO	POSTIGO.S	REVISADO	ABARCA.M	APROBADO	ABARCA.M	FECHA:
FECHA	2017.10.17	FECHA	2017.10.18	FECHA	2017.11.17	FECHA	2017.11.18	2018.10.14
								PLANO: P4 - A1



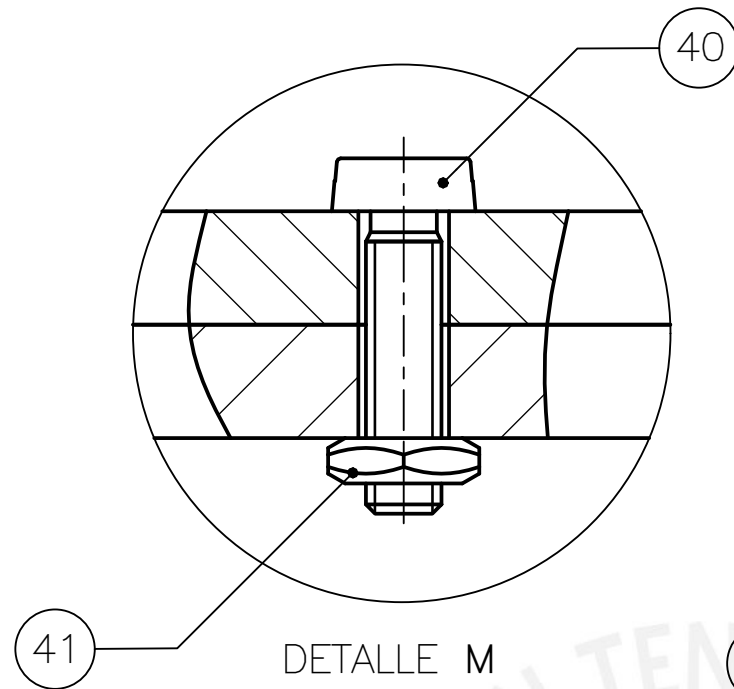
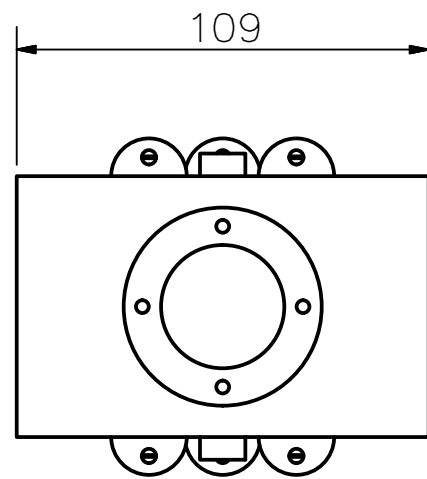
DETALLE M
ESCALA 2:1



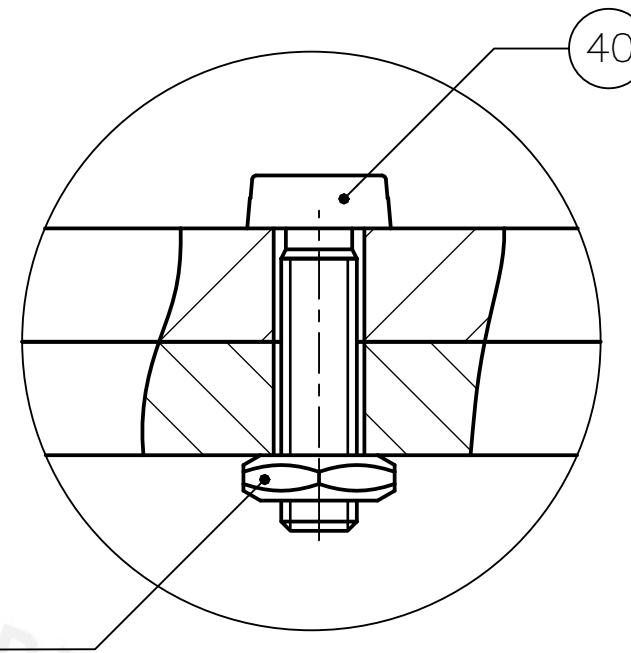
DETALLE N
ESCALA 2:1

36	2	TUERCA HEXAGONAL (M2)	DIN 439	8.8	
35	3	TUERCA HEXAGONAL (M3)	DIN 439	8.8	
34	2	TORNILLO CAB. REDONDA (M2x14)	DIN 84	8.8	
33	3	TORNILLO CAB. REDONDA (M3x12)	DIN 84	8.8	
32	1	ACOPAMIENTO PARA SENSORES 2		ABS	VER PLANO 14
31	1	ACOPAMIENTO PARA SENSORES 1		ABS	VER PLANO 13
30	1	ARMAZÓN 2		ABS	VER PLANO 12
29	1	ARMAZÓN 1		ABS	VER PLANO 11
POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES

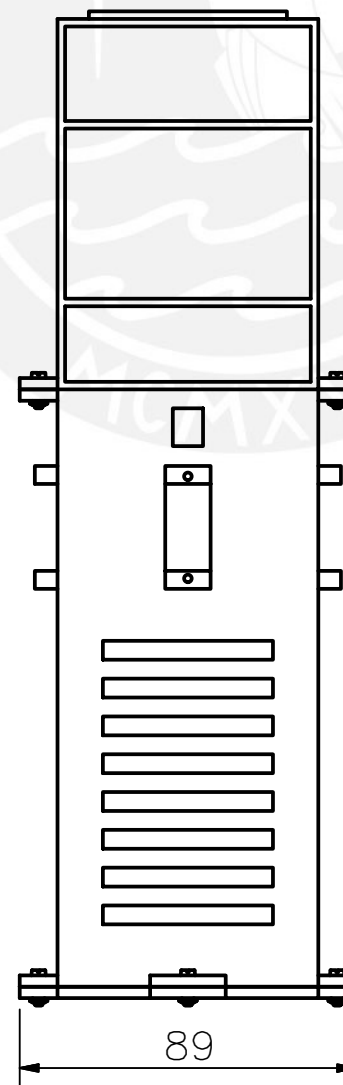
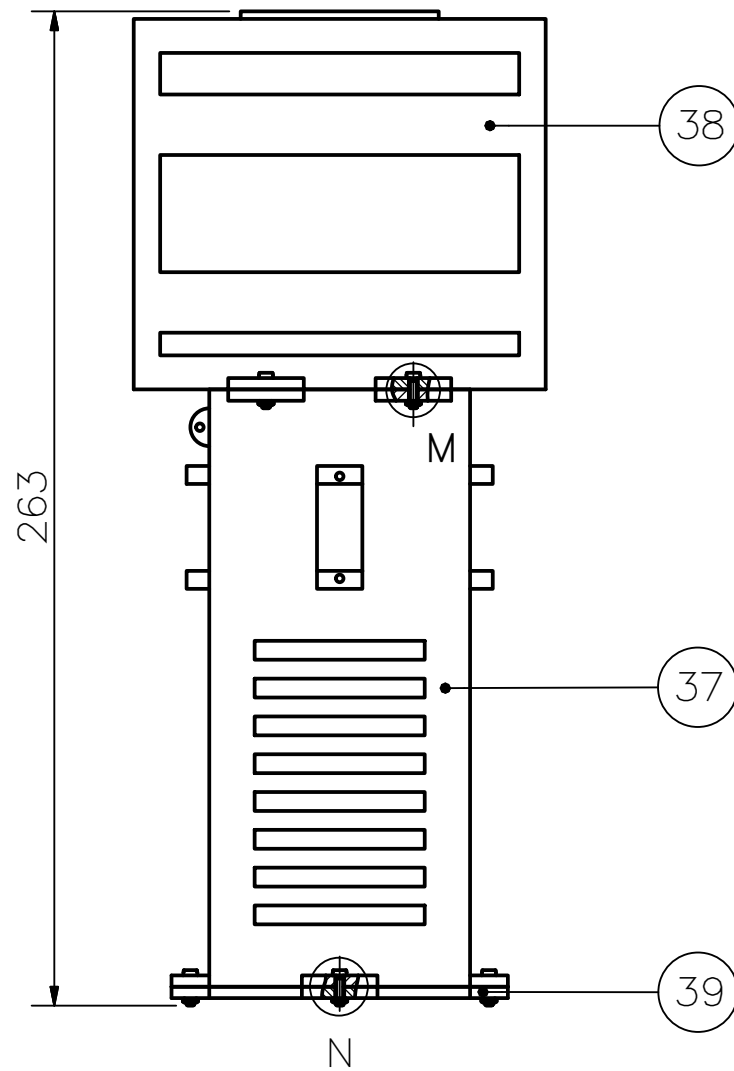
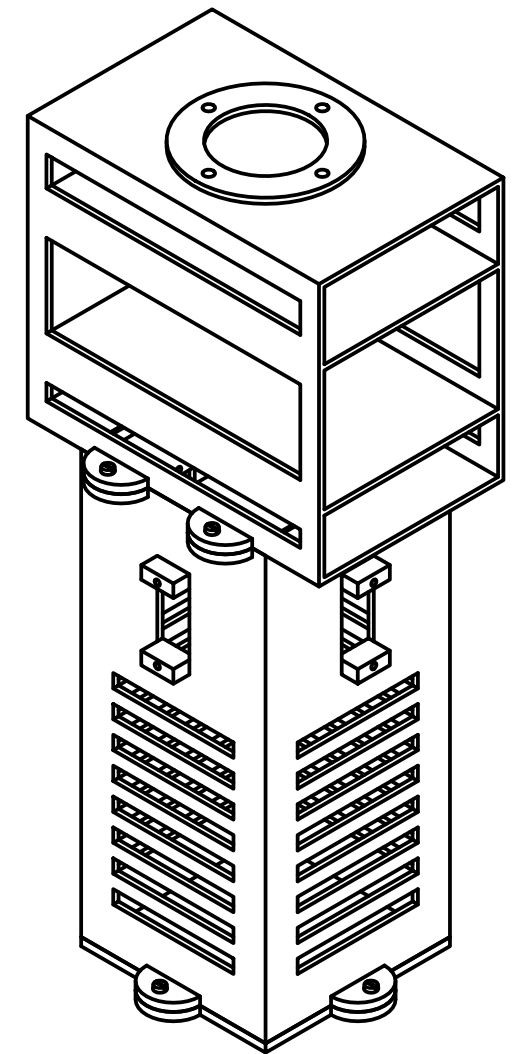
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – ESPECIALIDAD: INGENIERÍA MECATRÓNICA					
MÉTODO DE PROYECCIÓN		VEHICULO AÉREO NO TRIPULADO PARA VIGILANCIA EN AMBIENTES CERRADOS CON DETECCIÓN DE PERSONAS Y OBSTÁCULOS A SU ALREDEDOR			ESCALA
					1:2
DISEÑADO	POSTIGO.S	DIBUJADO	POSTIGO.S	REVISADO	ABARCA.M APROBADO
FECHA	2017.10.17	FECHA	2017.10.18	FECHA	2017.11.17
					FECHA: 2018.10.14
					PLANO: P5 – A2



DETALLE M
ESCALA 5:1



DETALLE N
ESCALA 5:1

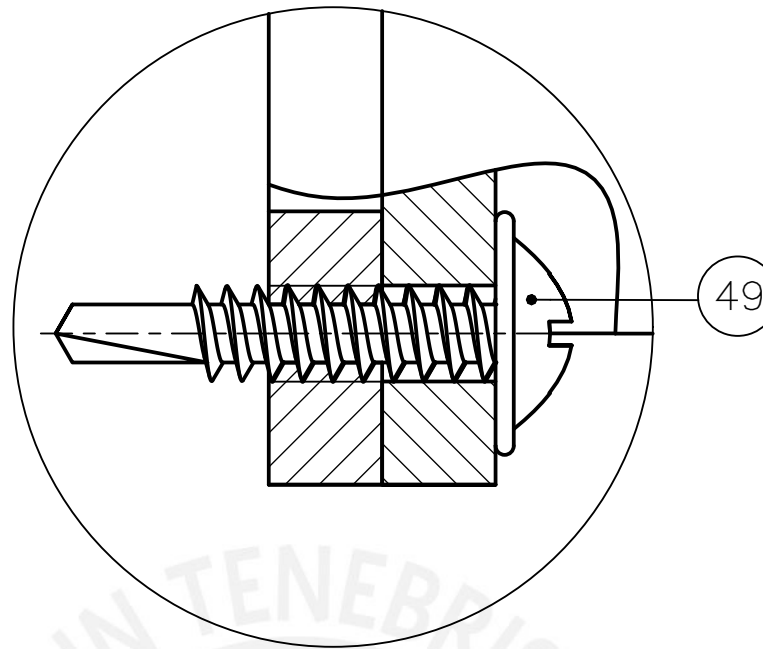
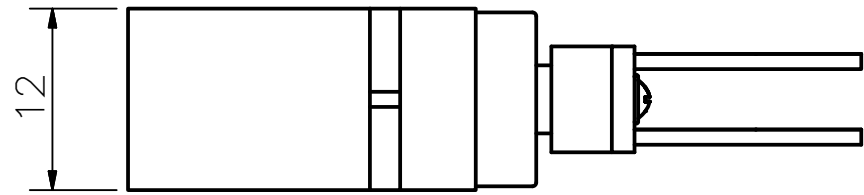


POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES
41	8	TUERCA HEXAGONAL (M2)	DIN 439	8.8	
40	8	TORNILLO CABEZA REDONDA (M2x8)	DIN 84	8.8	
39	1	PIEZA INFERIOR		ABS	VER PLANO 17
38	1	PIEZA SUPERIOR		ABS	VER PLANO 16
37	1	PIEZA INTERMEDIA		ABS	VER PLANO 15

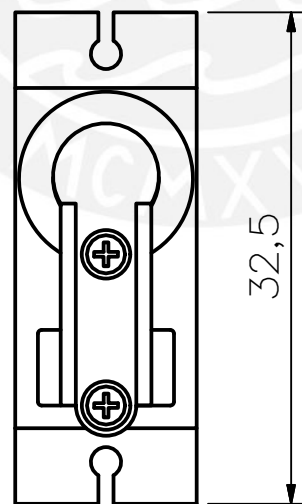
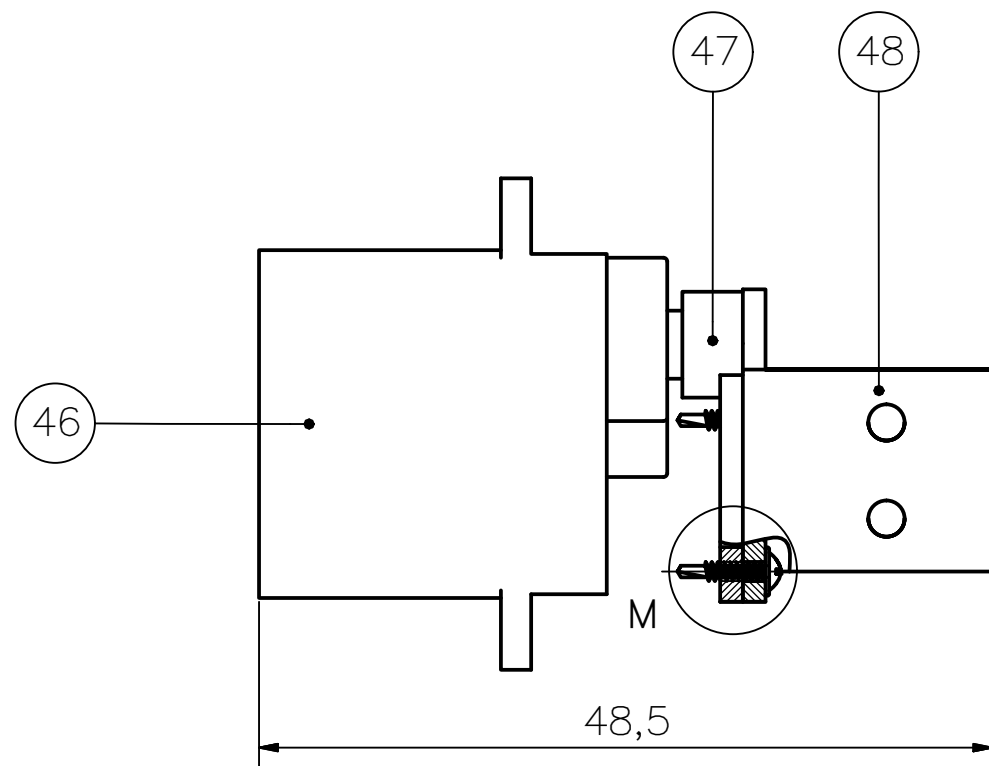
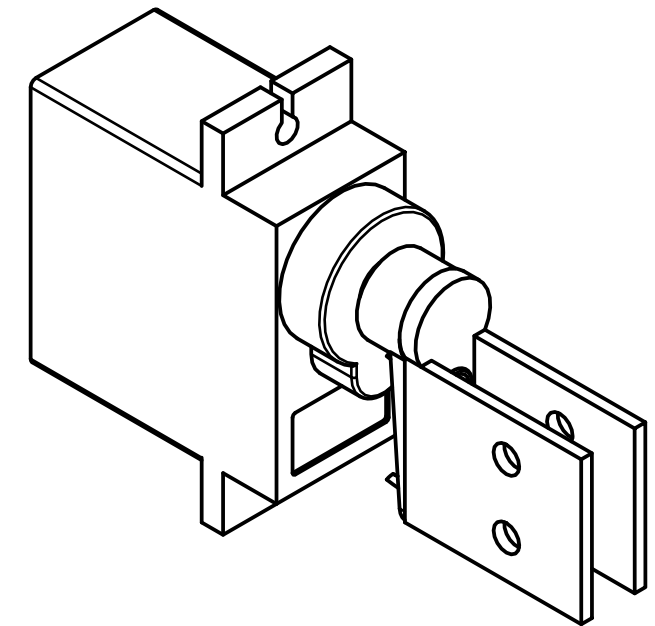
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – ESPECIALIDAD: INGENIERÍA MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN	VEHICULO AÉREO NO TRIPULADO PARA VIGILANCIA EN AMBIENTES CERRADOS CON DETECCIÓN DE PERSONAS Y OBSTÁCULOS A SU ALREDEDOR	ESCALA
	ESTRUCTURA DEL VANT	1:2

DISEÑADO	POSTIGO.S	DIBUJADO	POSTIGO.S	REVISADO	ABARCA.M	APROBADO	ABARCA.M	FECHA:
FECHA	2017.10.17	FECHA	2017.10.18	FECHA	2017.11.17	FECHA	2017.11.18	2018.10.14
								PLANO:
								P6 – A3



DETALLE M
ESCALA 10:1

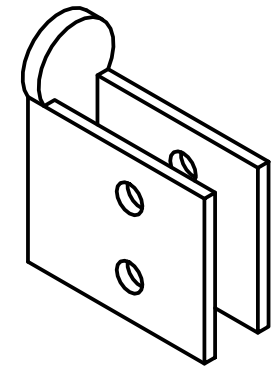
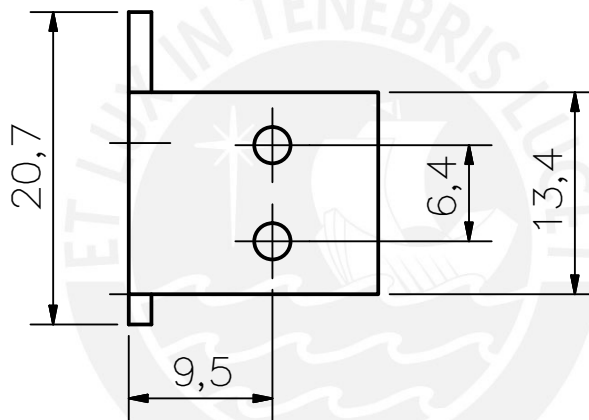
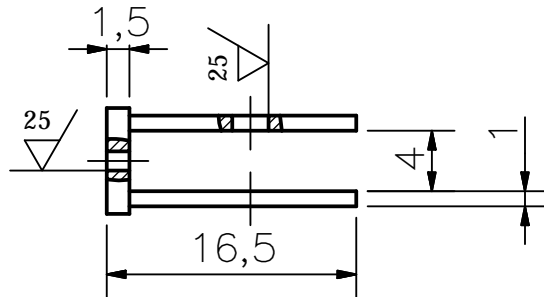
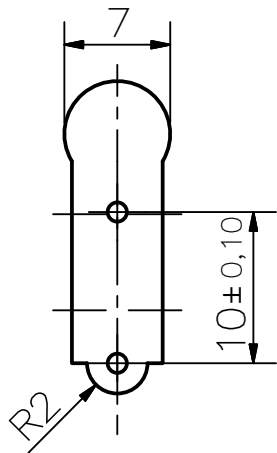


49	2	TORNILLO AUTOPERFORANTE (M2X8)	DIN 7504	8	
48	1	SUJECIÓN DE ALERÓN		ABS	VER PLANO 9
47	1	BRAZO DE SERVOMOTOR			TOWERPRO SG90
46	1	SERVOMOTOR (1.8 KGF)			TOWERPRO SG90
POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – ESPECIALIDAD: INGENIERÍA MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN	VEHICULO AÉREO NO TRIPULADO PARA VIGILANCIA EN AMBIENTES CERRADOS CON DETECCIÓN DE PERSONAS Y OBSTÁCULOS A SU ALREDEDOR	ESCALA
	SERVOMOTOR ENSAMBLADO	2:1

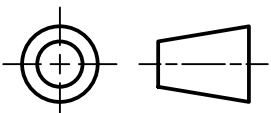
DISEÑADO	POSTIGO.S	DIBUJADO	POSTIGO.S	REVISADO	ABARCA.M	APROBADO	ABARCA.M	FECHA:
FECHA	2017.10.18	FECHA	2017.10.17	FECHA	2017.11.18	FECHA	2017.11.17	2018.10.14
								PLANO:
								P8 – A3



IMPRESIÓN 3D

ACABADO SUPERFICIAL ✓ (25 /)	TOLERANCIA GENERAL DIN 7168 – BASTO	MATERIAL ABS
-----------------------------------	--	-----------------

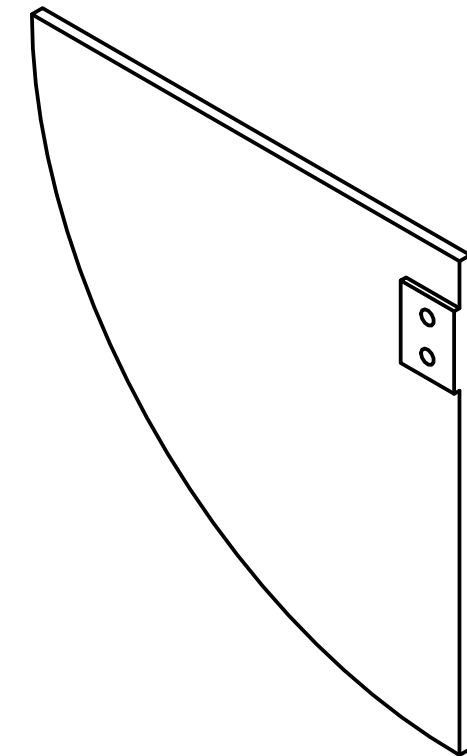
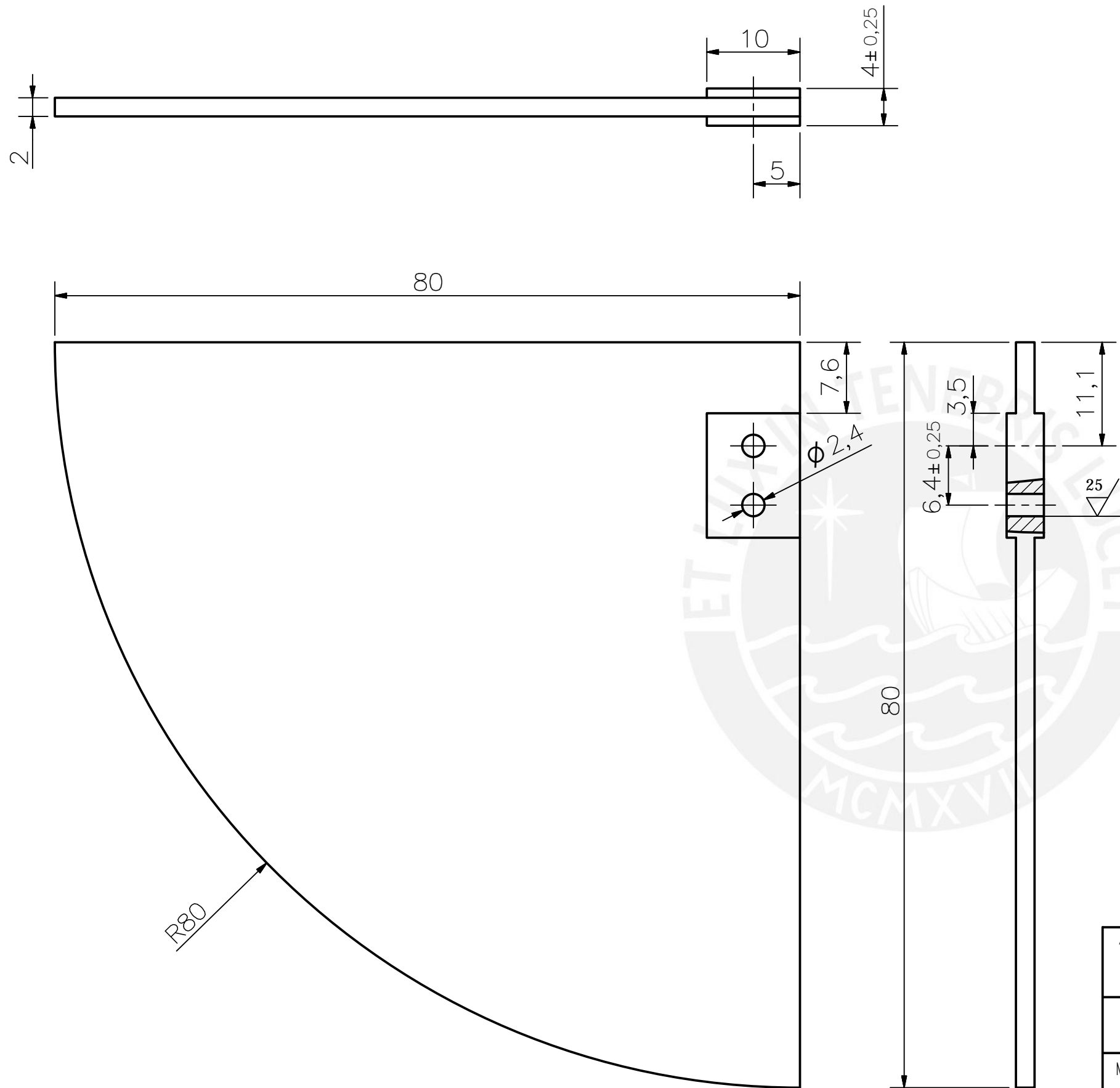
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
CIENCIAS E INGENIERÍA – ESPECIALIDAD: INGENIERÍA MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN 	VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO PARA VIGILANCIA EN AMBIENTES CERRADOS CON DETECCIÓN DE PERSONAS Y OBSTÁCULOS A SU ALREDEDOR SUJECCIÓN DE ALERÓN	ESCALA 1:1
--	--	---------------

**TOLERANCIAS DIMENSIONALES
SEGUN DIN 7168**

GRADO DE EXACTITUD	Mzs de 0,5 hasta 3	Mzs de 3 hasta 6	Mzs de 6 hasta 30	Mzs de 30 hasta 120	Mzs de 120 hasta 400
BASTO	-0,15	-0,2	-0,5	-0,8	-1,2

DISEÑADO	POSTIGO.S	DIBUJADO	POSTIGO.S	REVISADO	ABARCA.M	APROBADO	ABARCA.M	FECHA: 2018/10/14
FECHA	2017/10/17	FECHA	2017/10/18	FECHA	2017/11/17	FECHA	2017/11/18	PLANO: P9 – A4

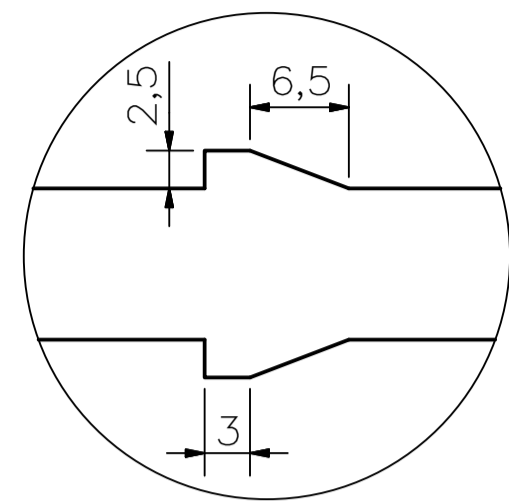
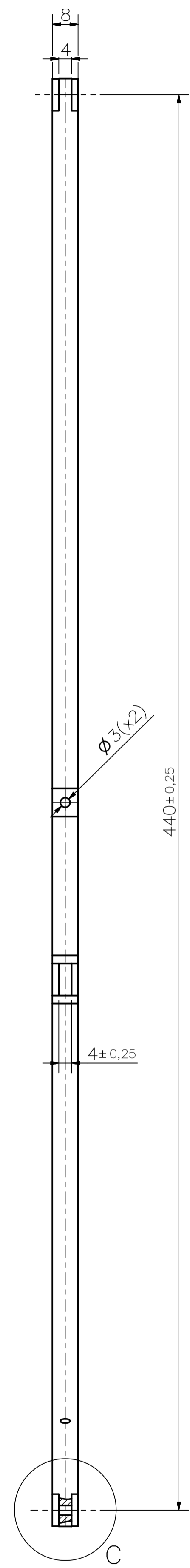


IMPRESIÓN 3D

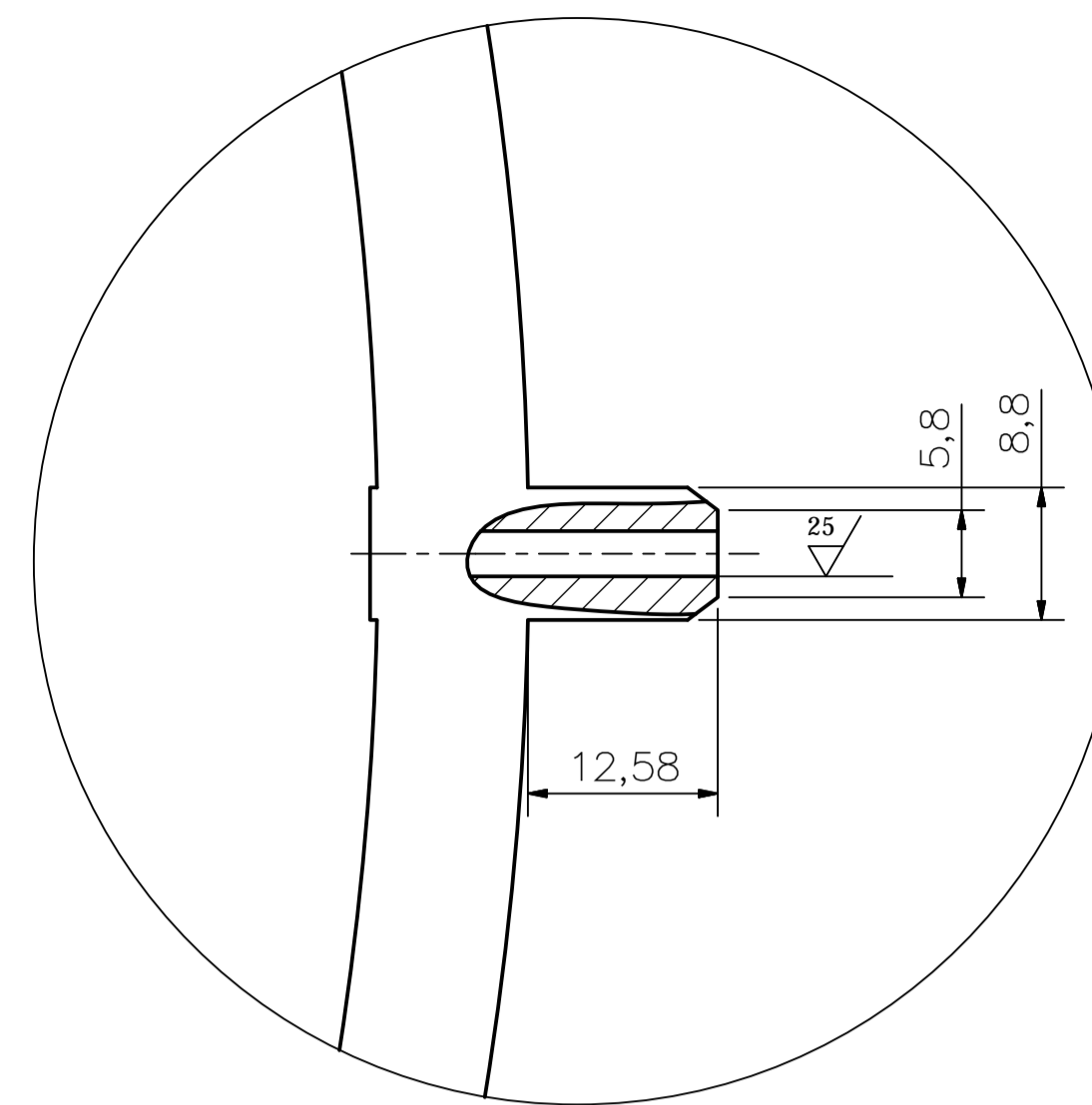
TOLERANCIAS DIMENSIONALES
SEGUN DIN 7168

GRADO DE EXACTITUD	Mzs de 0,5 hasta 3	Mzs de 3 hasta 6	Mzs de 6 hasta 30	Mzs de 30 hasta 120	Mzs de 120 hasta 400
BASTO	-0,15	-0,2	-0,5	-0,8	-1,2

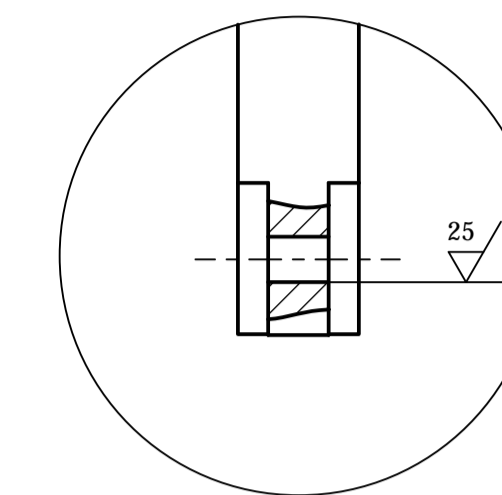
ACABADO SUPERFICIAL $\nabla(25)$		TOLERANCIA GENERAL DIN 7168 – BASTO		MATERIAL ABS	
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERÍA – ESPECIALIDAD: INGENIERÍA MECATRÓNICA					
MÉTODO DE PROYECCIÓN 		VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO PARA VIGILANCIA EN AMBIENTES CERRADOS CON DETECCIÓN DE PERSONAS Y OBSTÁCULOS A SU ALREDEDOR		ESCALA 2:1	
DISEÑADO	POSTIGO. S	DIBUJADO	POSTIGO.S	REVISADO	ABARCA.M
FECHA	2017/10/17	FECHA	2017/10/18	FECHA	2017/11/17
				APROBADO	ABARCA.M
				FECHA	2017/11/17
					FECHA: 2018/10/14
					PLANO: P10 – A3



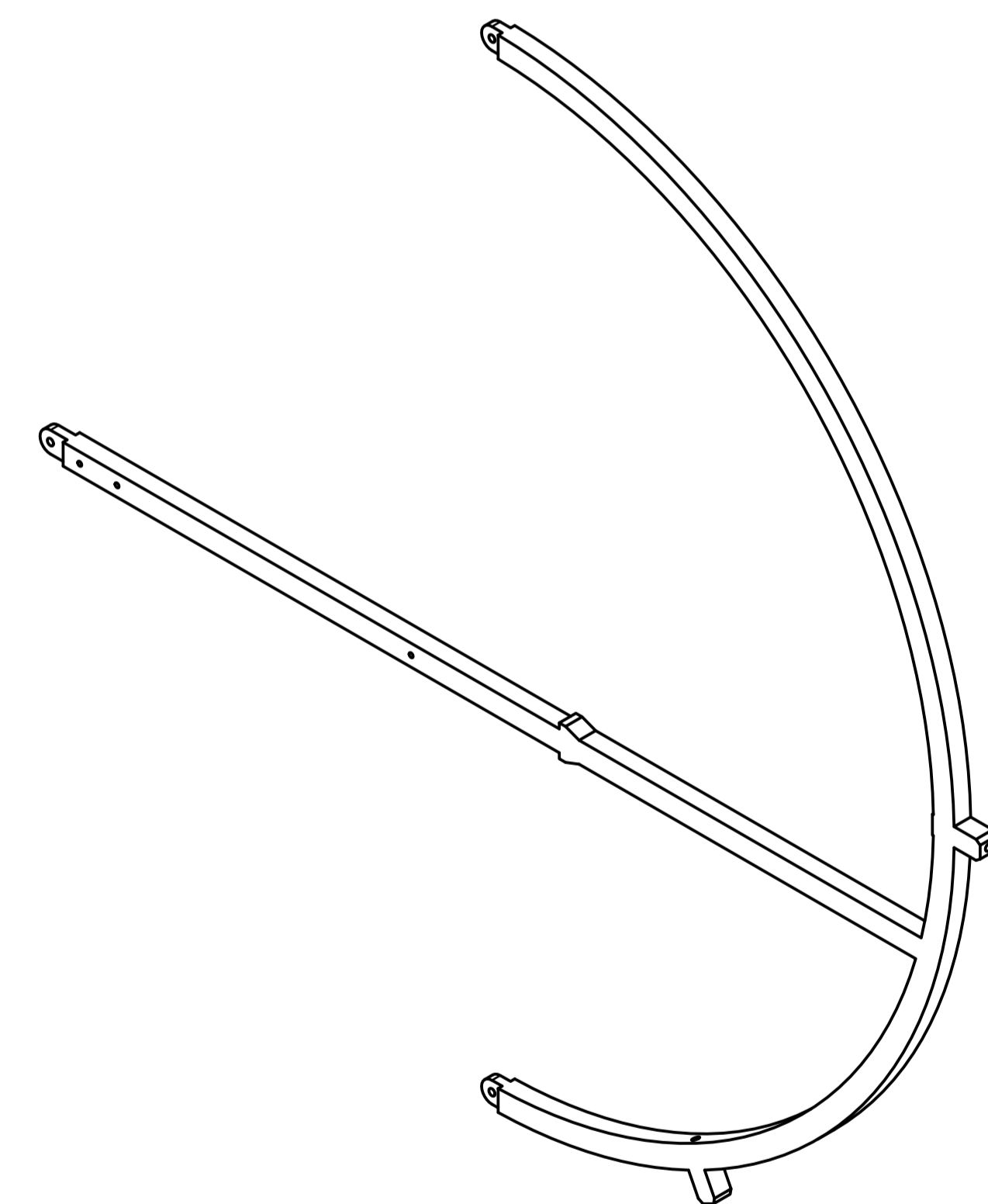
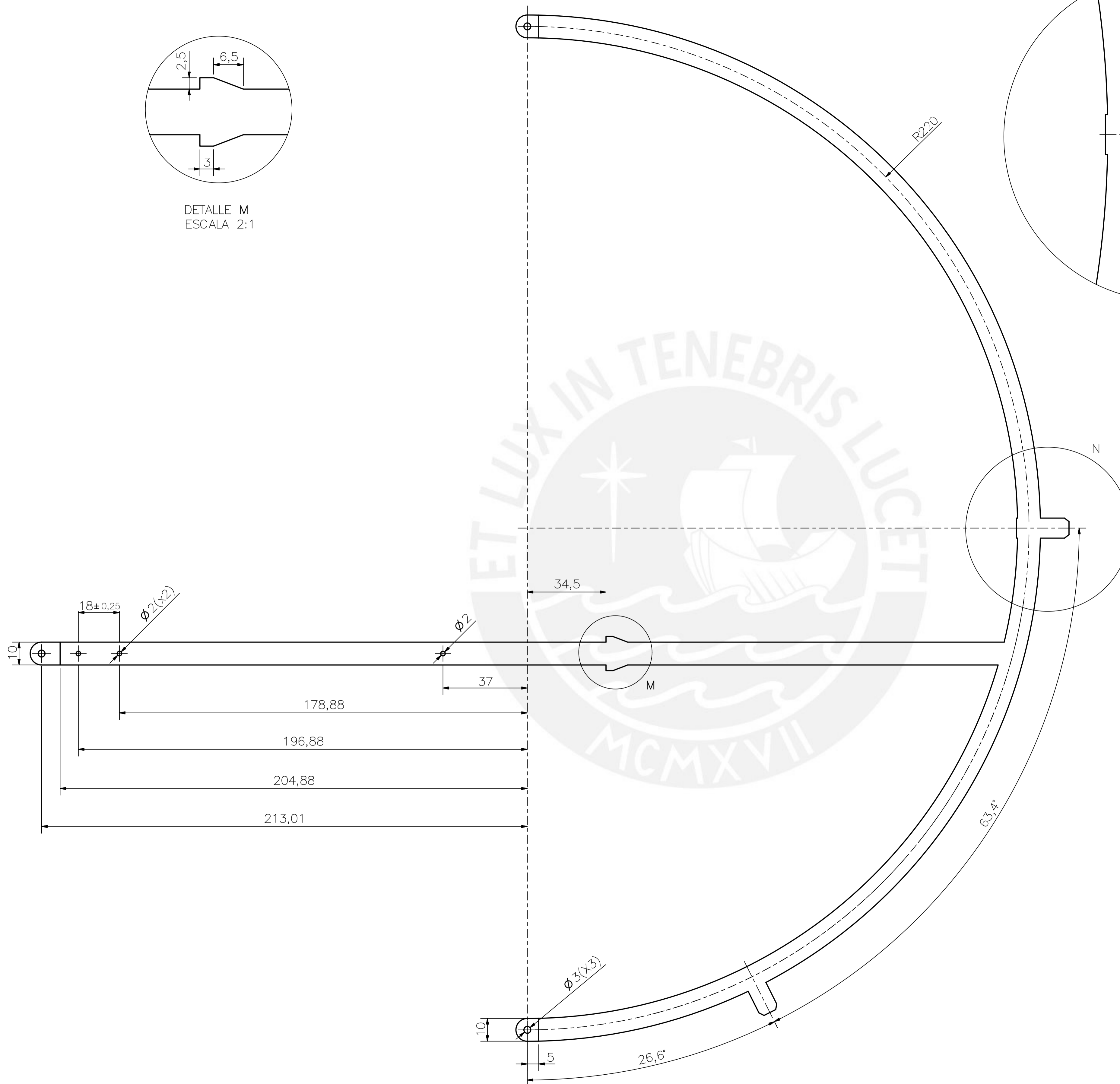
DETALLE M
ESCALA 2:1



DETALLE N
ESCALA 2:1



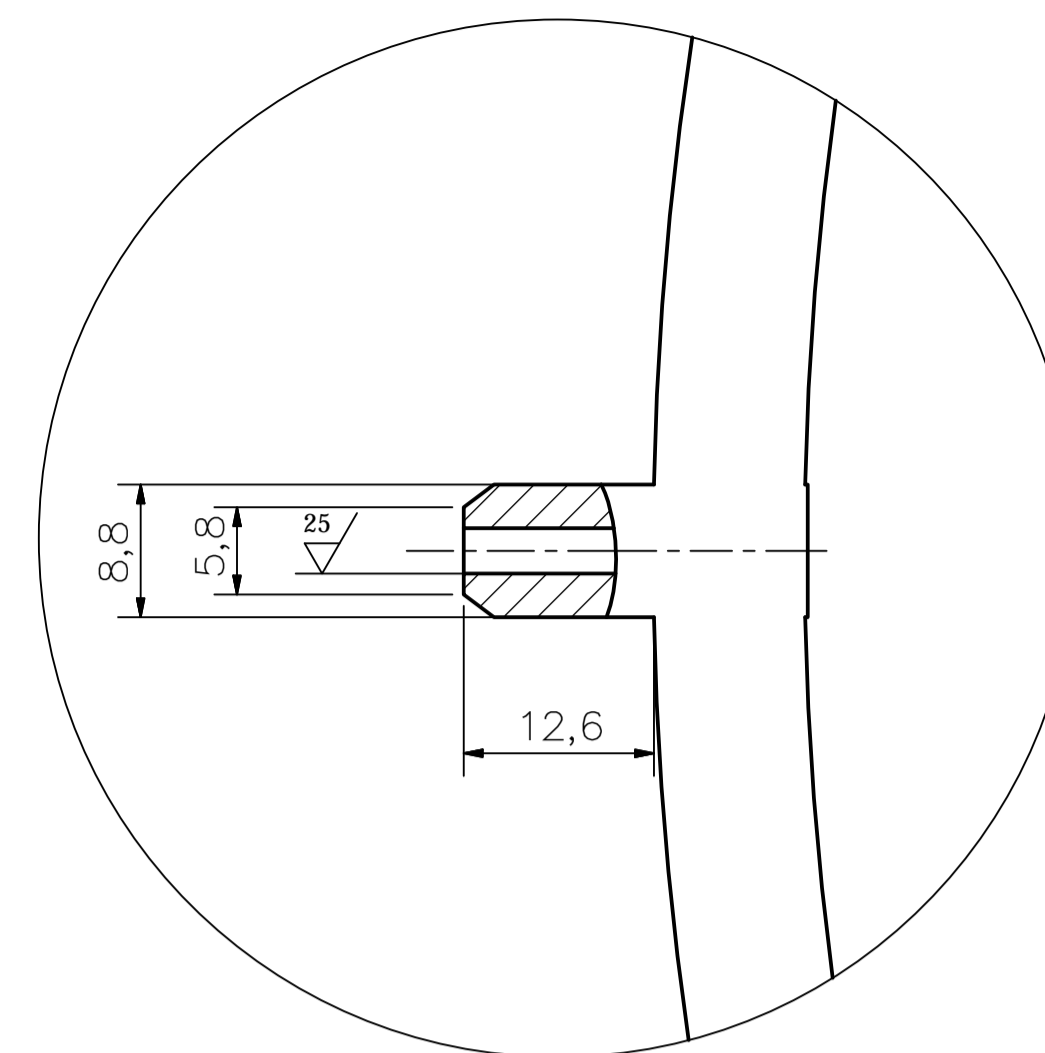
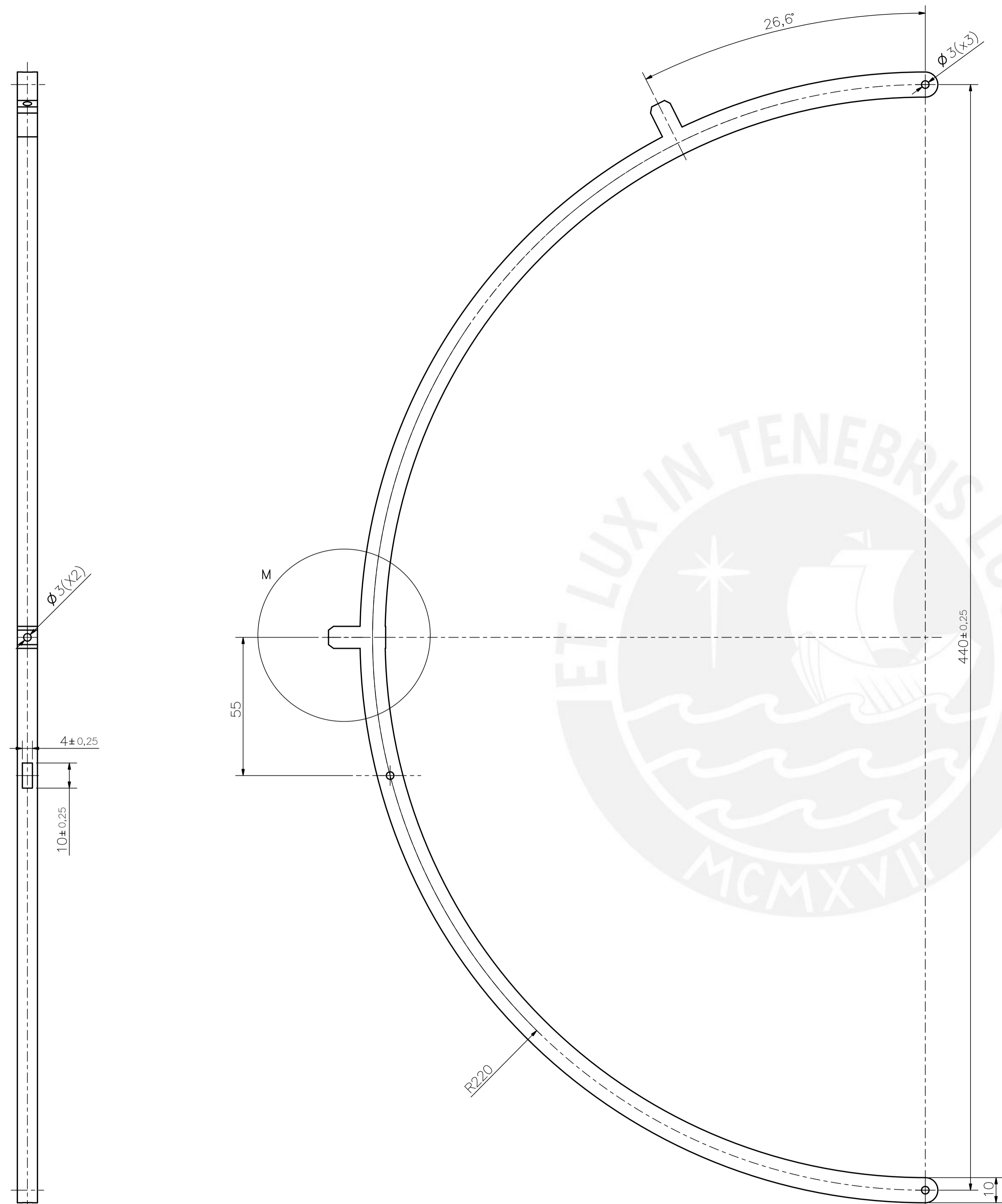
DETALLE O
ESCALA 2:1



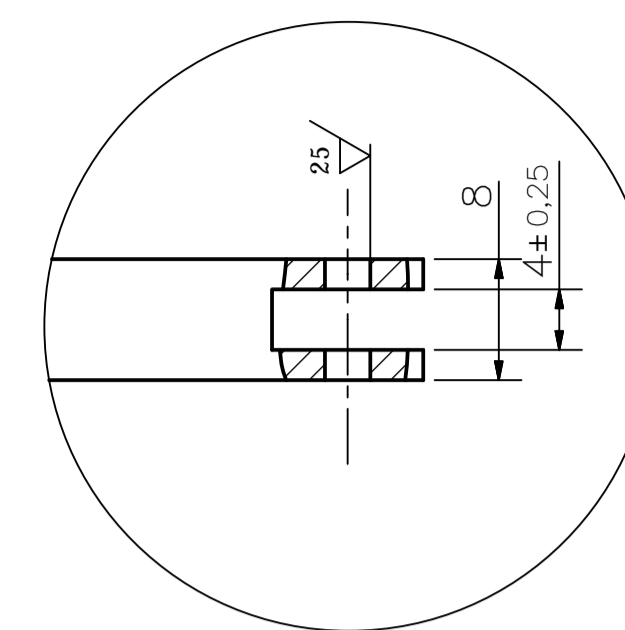
IMPRESIÓN 3D

TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGUN DIN 7168					
GRADO DE EXACTITUD	Mz de 0.5 hasta 3	Mz de 3 hasta 6	Mz de 6 hasta 30	Mz de 30 hasta 120	Mz de 120 hasta 400
BASTO	-0.15	-0.2	-0.5	-0.8	-1.2

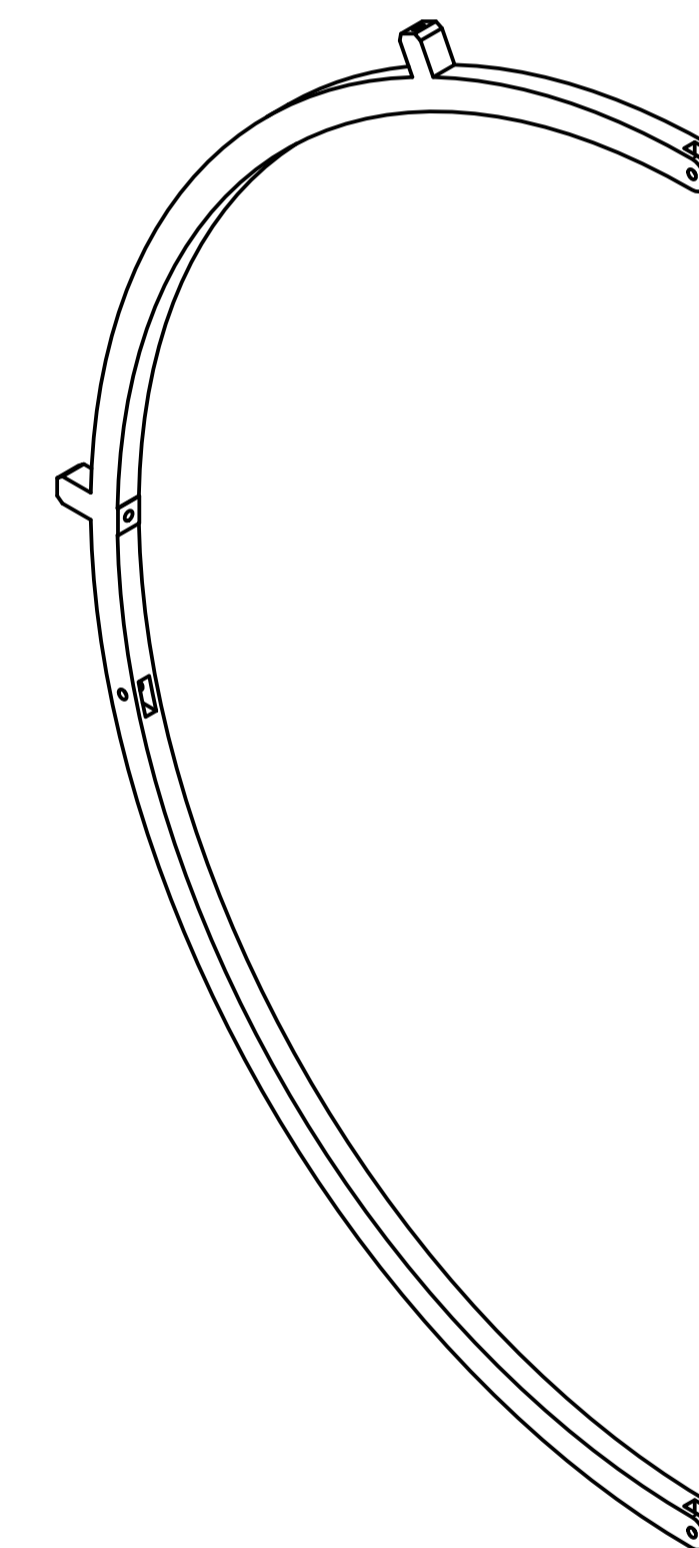
ACABADO SUPERFICIAL √(25)		TOLERANCIA GENERAL DIN 7168 - BASTO		MATERIAL ABS	
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA - ESPECIALIDAD: INGENIERÍA MECATRÓNICA					
MÉTODO DE PROYECCIÓN [Symbol]		VEHICULO AEREO NO TRIPULADO PARA VIGILANCIA EN AMBIENTES CERRADOS CON DETECCIÓN DE PERSONAS Y OBSTACULOS A SU ALREDEDOR			ESCALA 1:1
DISEÑADO	POSTIGOS	DIBUJADO	POSTIGOS	REVISADO	ABARCA.M
FECHA	2017.10.18	FECHA	2017.10.18	FECHA	2017.11.17
APROBADO					ABARCA.M
FECHA					2017.11.18
PLANO:					P11 - A1



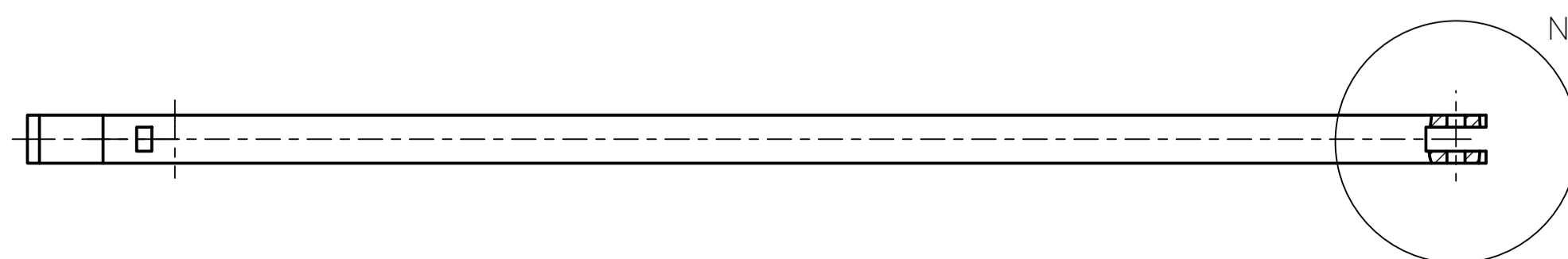
DETALLE M
ESCALA 2:1



DETALLE N
ESCALA 1:2

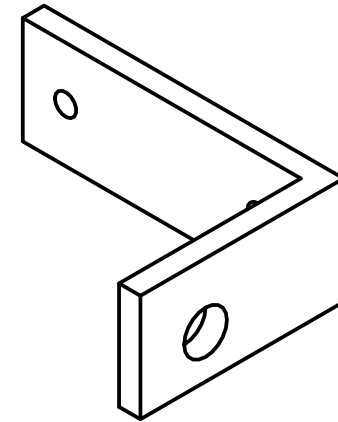
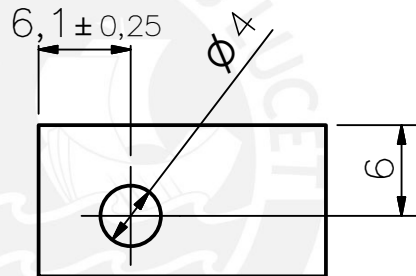
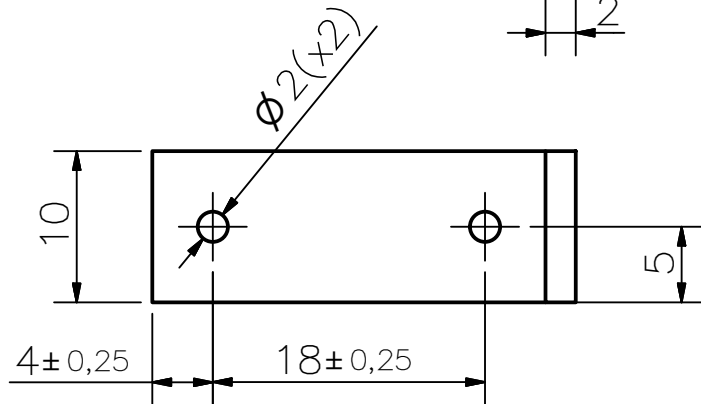
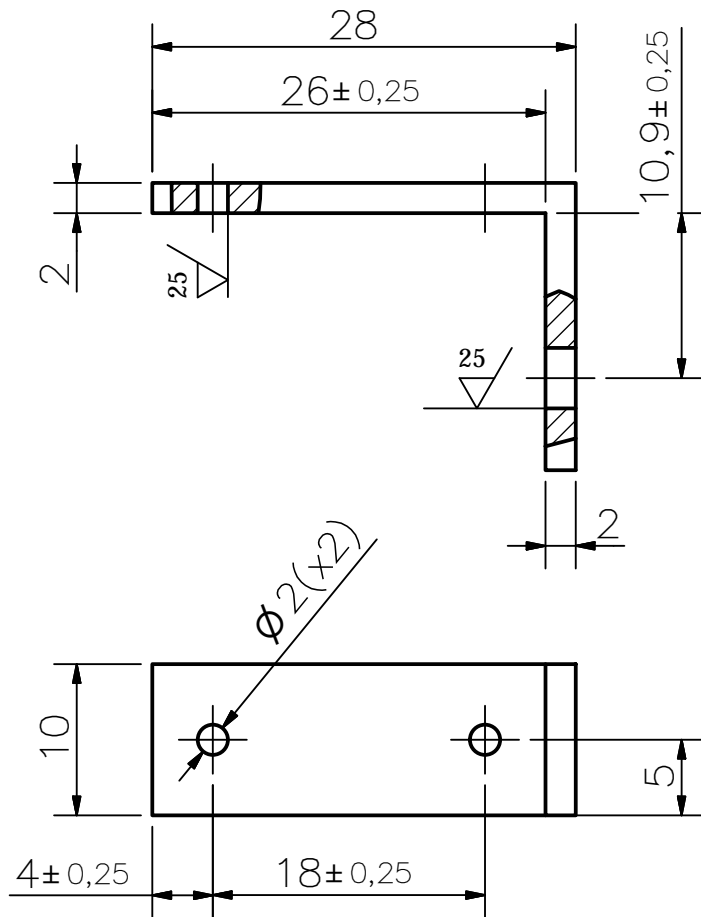


IMPRESIÓN 3D

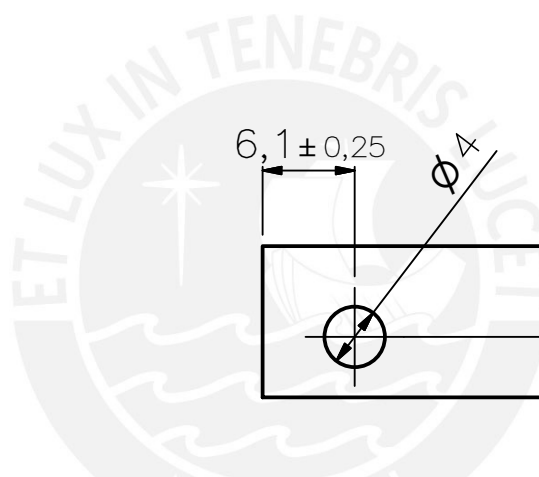


TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGUN DIN 7168					
GRADO DE EXACTITUD	Mzs de 0.5 hasta 3	Mzs de 3 hasta 6	Mzs de 6 hasta 30	Mzs de 30 hasta 120	Mzs de 120 hasta 400
BASTO	-0.15	-0.2	-0.5	-0.8	-1.2

ACABADO SUPERFICIAL √ (25)		TOLERANCIA GENERAL DIN 7168 - BASTO		MATERIAL ABS	
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA - ESPECIALIDAD: INGENIERÍA MECATRÓNICA					
MÉTODO DE PROYECCIÓN ⊕		VEHICULO AEREO NO TRIPULADO PARA VIGILANCIA EN AMBIENTES CERRADOS CON DETECCIÓN DE PERSONAS Y OBSTACULOS A SU ALREDEDOR			ESCALA 1:1
DISEÑADO	POSTIGOS	DIBUJADO	POSTIGOS	REVISADO	ABARCA.M
FECHA	2017.10.17	FECHA	2017.10.17	FECHA	2017.11.17
				APROBADO	ABARCA.M
				FECHA	2017.11.18
					FECHA: 2018.10.14
					PLANO: P12 - A1



IMPRESIÓN 3D



ACABADO SUPERFICIAL ✓ (25 / ✓)	TOLERANCIA GENERAL DIN 7168 – BASTO	MATERIAL ABS
-------------------------------------	--	-----------------

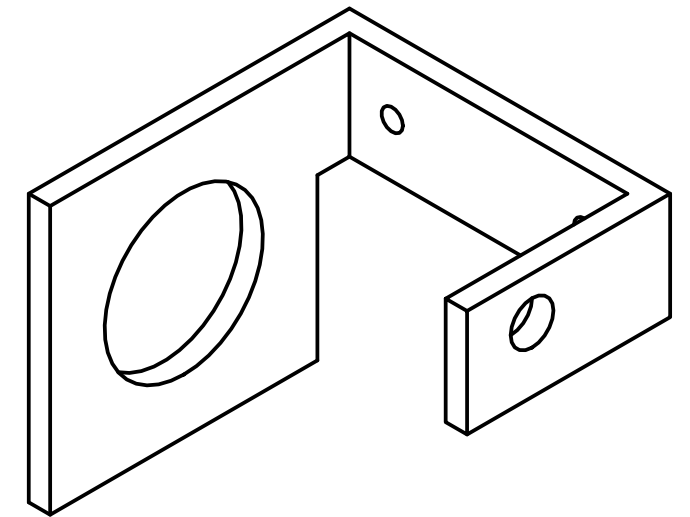
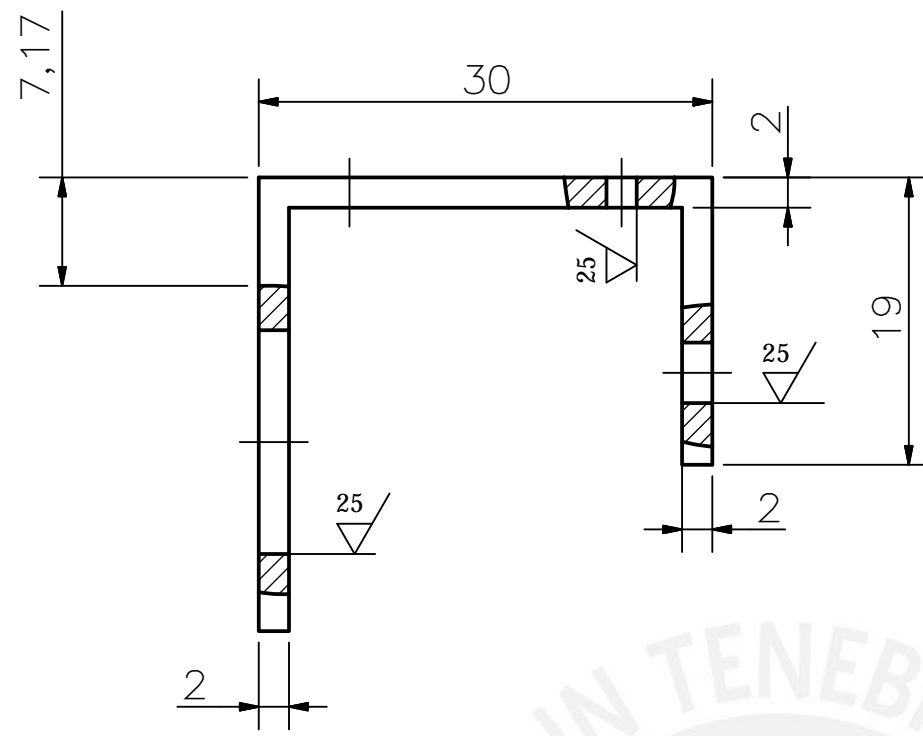
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – ESPECIALIDAD: INGENIERÍA MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN 	VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO PARA VIGILANCIA EN AMBIENTES CERRADOS CON DETECCIÓN DE PERSONAS Y OBSTÁCULOS A SU ALREDEDOR ACOPLAMIENTO PARA SENSORES 1	ESCALA 2:1
--------------------------	--	---------------

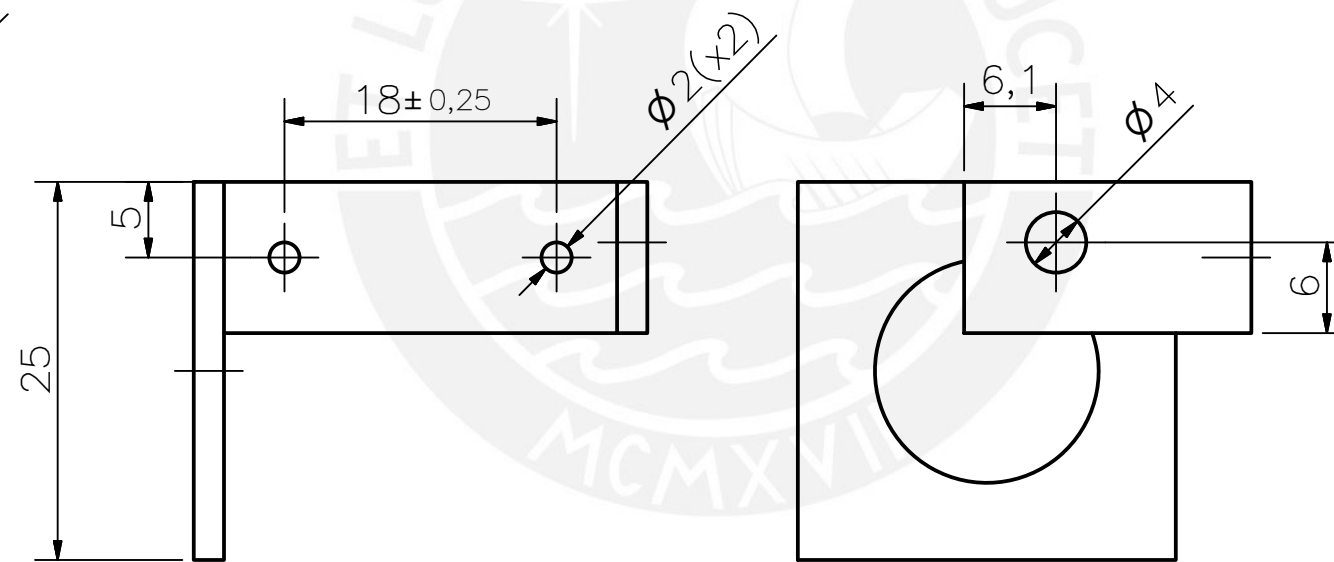
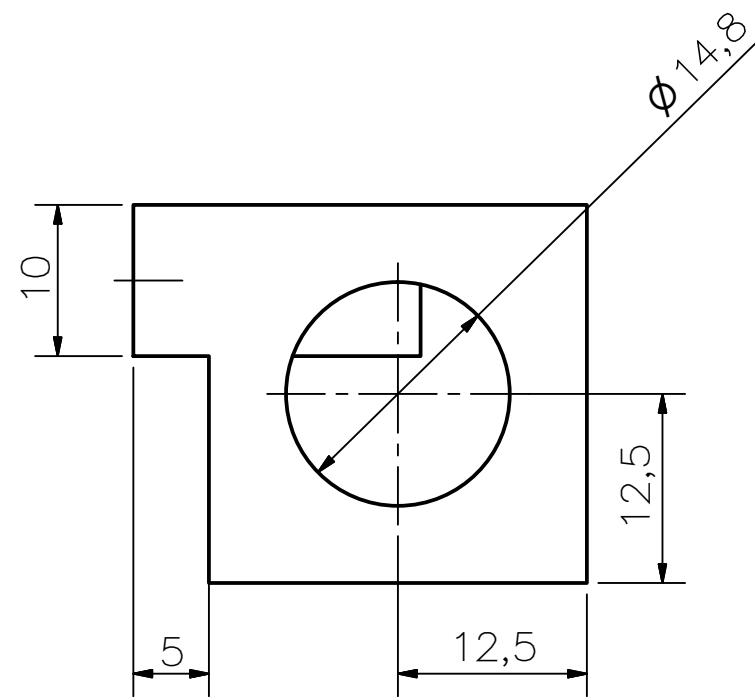
**TOLERANCIAS DIMENSIONALES
SEGUN DIN 7168**

GRADO DE EXACTITUD	Mzs de 0,5 hasta 3	Mzs de 3 hasta 6	Mzs de 6 hasta 30	Mzs de 30 hasta 120	Mzs de 120 hasta 400
BASTO	-0,15	-0,2	-0,5	-0,8	-1,2

DISEÑADO	POSTIGO.S	DIBUJADO	POSTIGO.S	REVISADO	ABARCA.M	APROBADO	ABARCA.M	FECHA: 2018.10.14
FECHA	2017.10.17	FECHA	2017.10.17	FECHA	2017.11.17	FECHA	2017.11.18	PLANO: P13 – A4

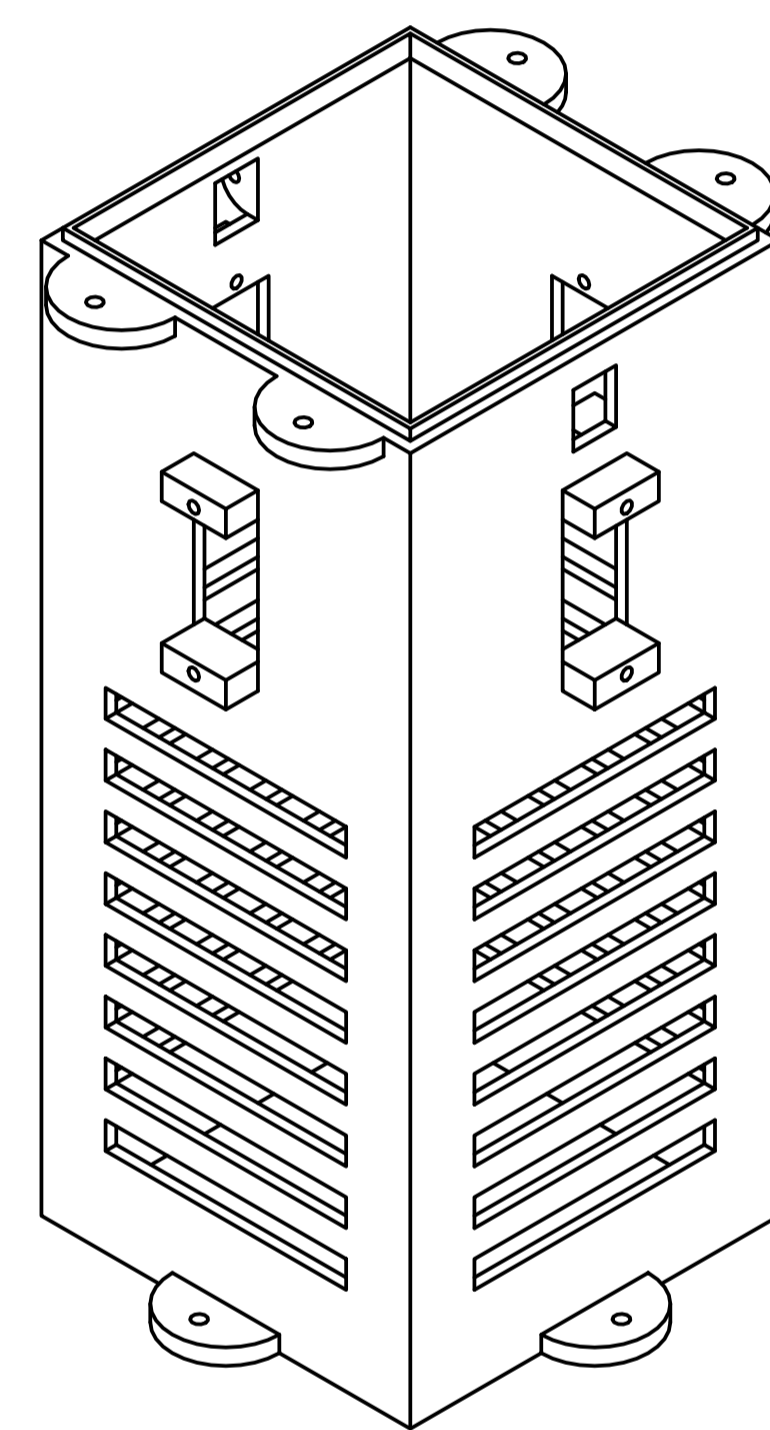
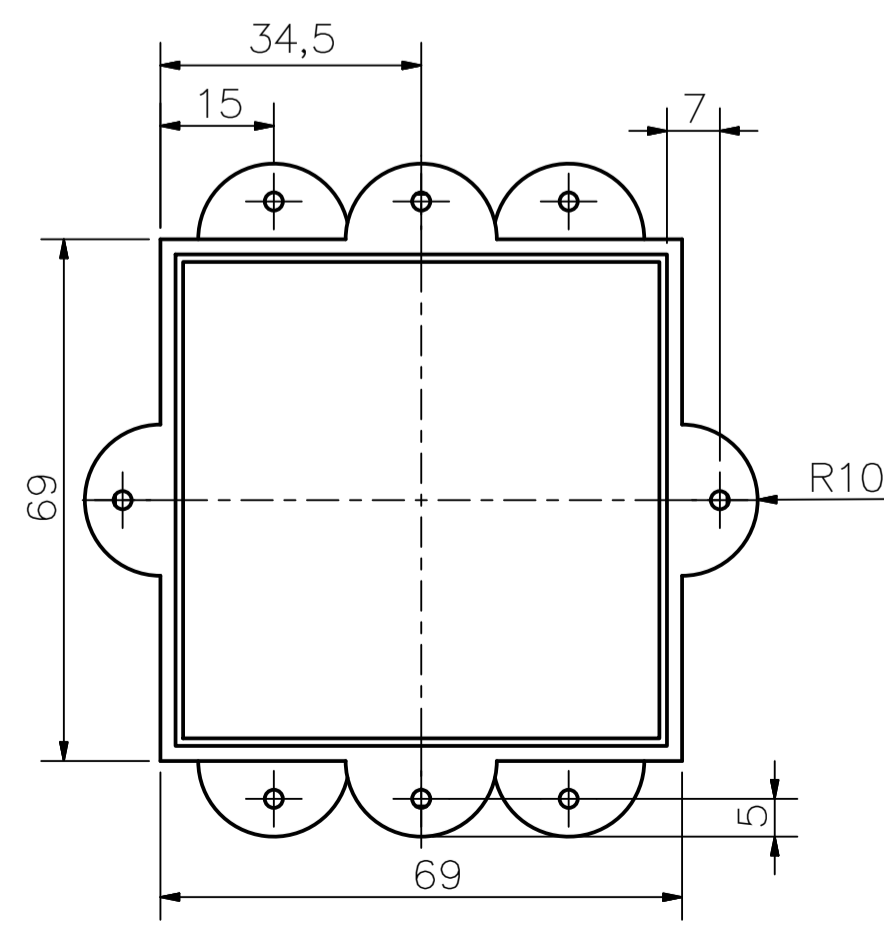
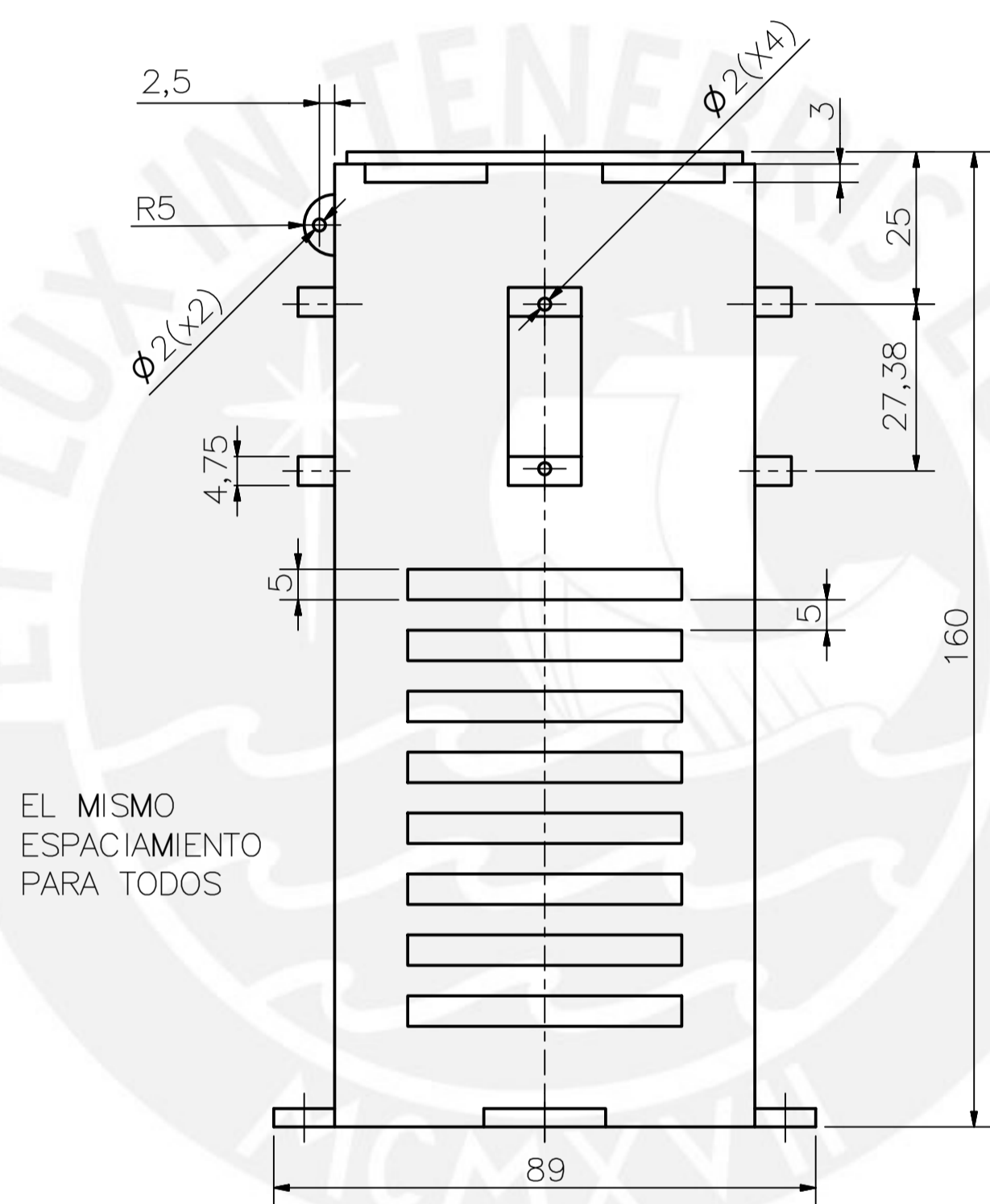
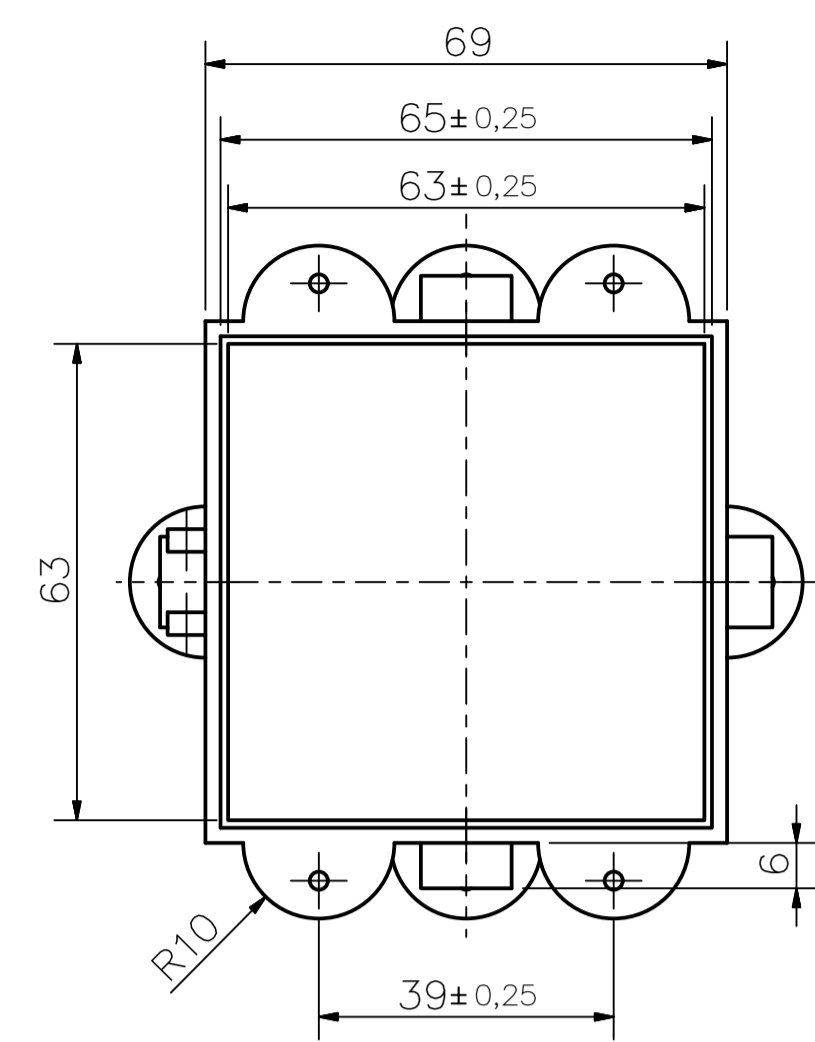
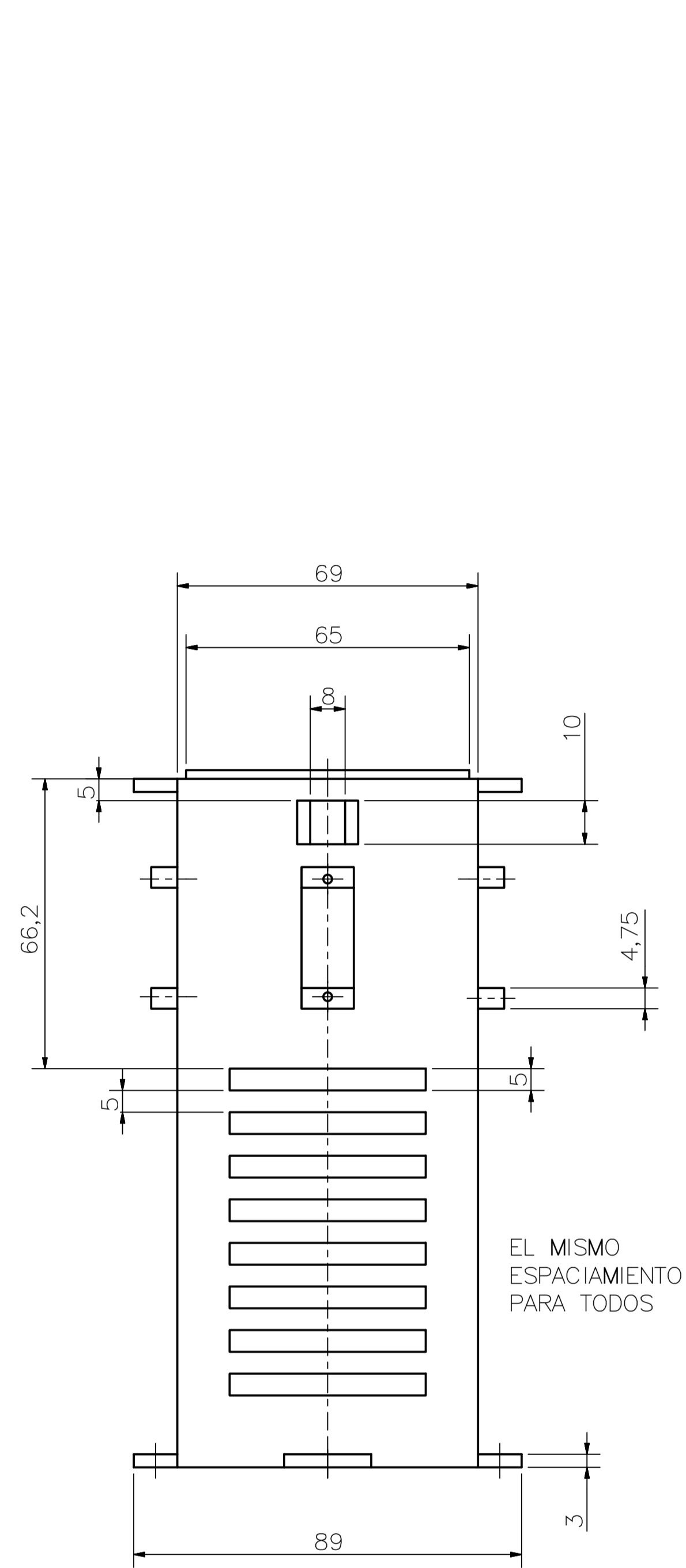


IMPRESIÓN 3D



TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGUN DIN 7168					
GRADO DE EXACTITUD	Mzs de 0,5 hasta 3	Mzs de 3 hasta 6	Mzs de 6 hasta 30	Mzs de 30 hasta 120	Mzs de 120 hasta 400
BASTO	-0,15	-0,2	-0,5	-0,8	-1,2

ACABADO SUPERFICIAL ∇(25/∇)		TOLERANCIA GENERAL DIN 7168 – BASTO		MATERIAL ABS			
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – ESPECIALIDAD: INGENIERÍA MECATRÓNICA							
MÉTODO DE PROYECCIÓN ⊕ ⊖		VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO PARA VIGILANCIA EN AMBIENTES CERRADOS CON DETECCIÓN DE PERSONAS Y OBSTÁCULOS A SU ALREDEDOR ACOPLAMIENTO PARA SENSORES 2				ESCALA 2:1	
DISEÑADO	POSTIGO.S	DIBUJADO	POSTIGO.S	REVISADO	ABARCA.M	APROBADO	ABARCA.M
FECHA	2017.10.17	FECHA	2017.10.18	FECHA	2017.11.17	FECHA	2017.11.18
							FECHA: 2018.10.14
							PLANO: P14 – A3

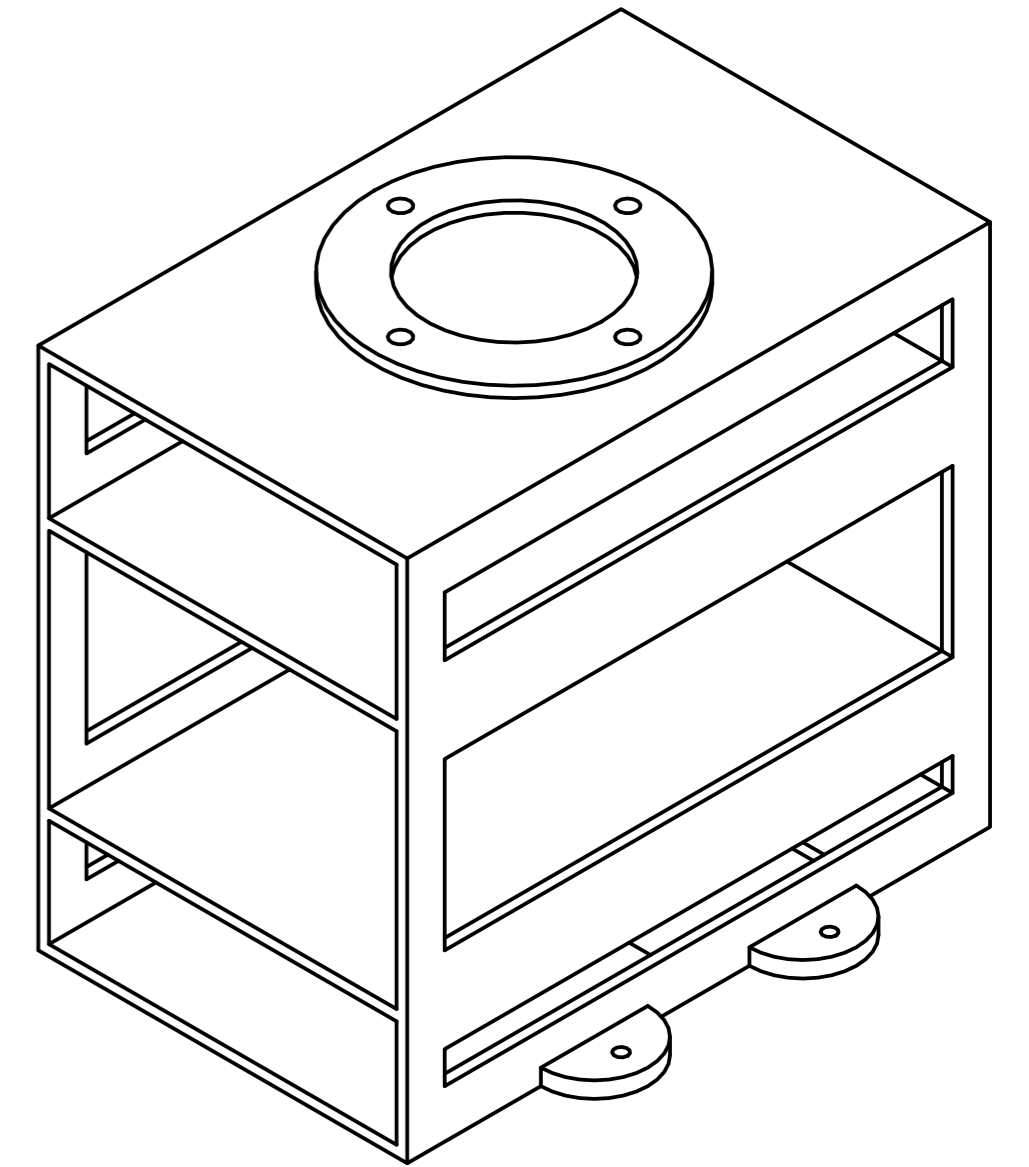
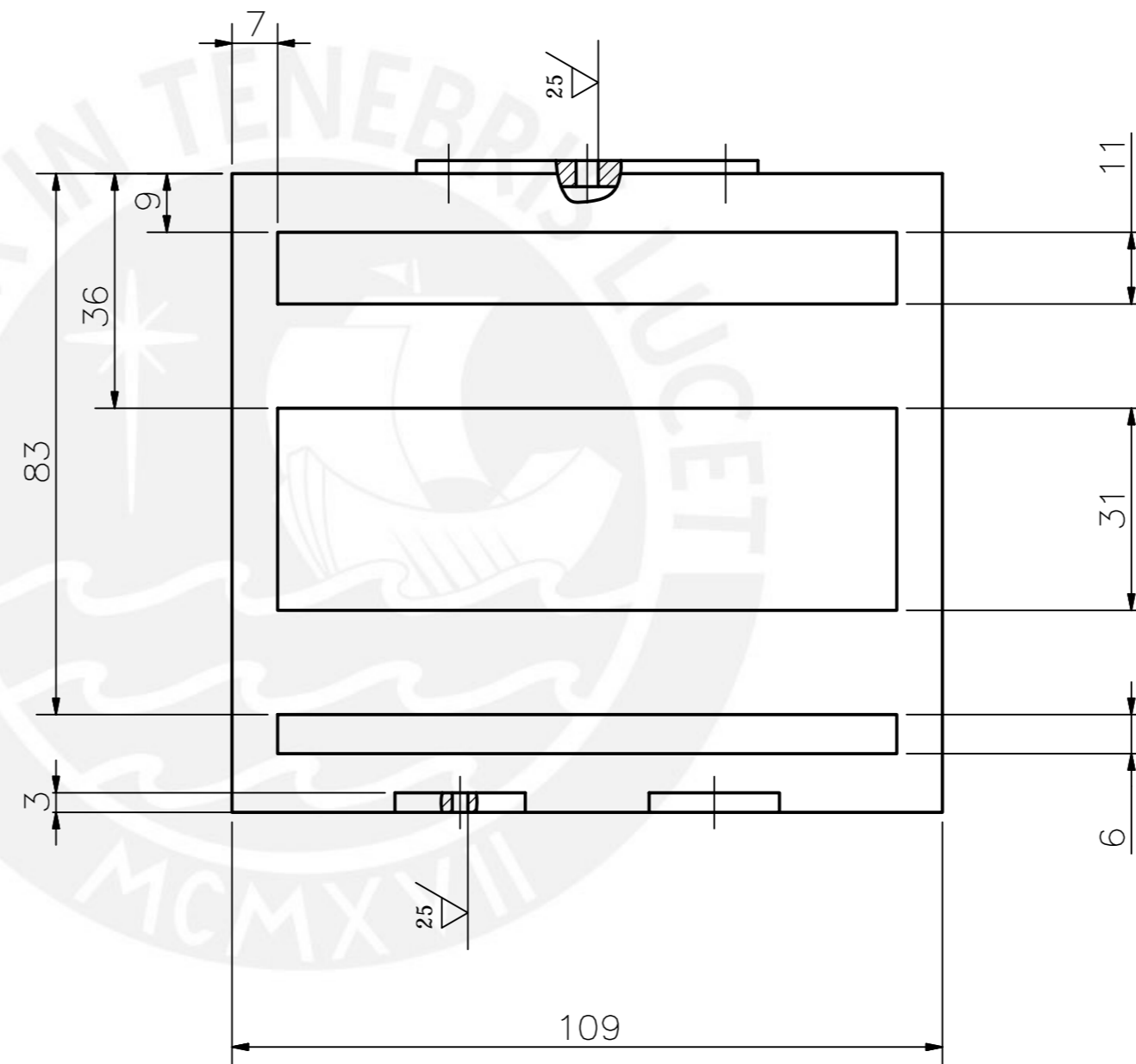
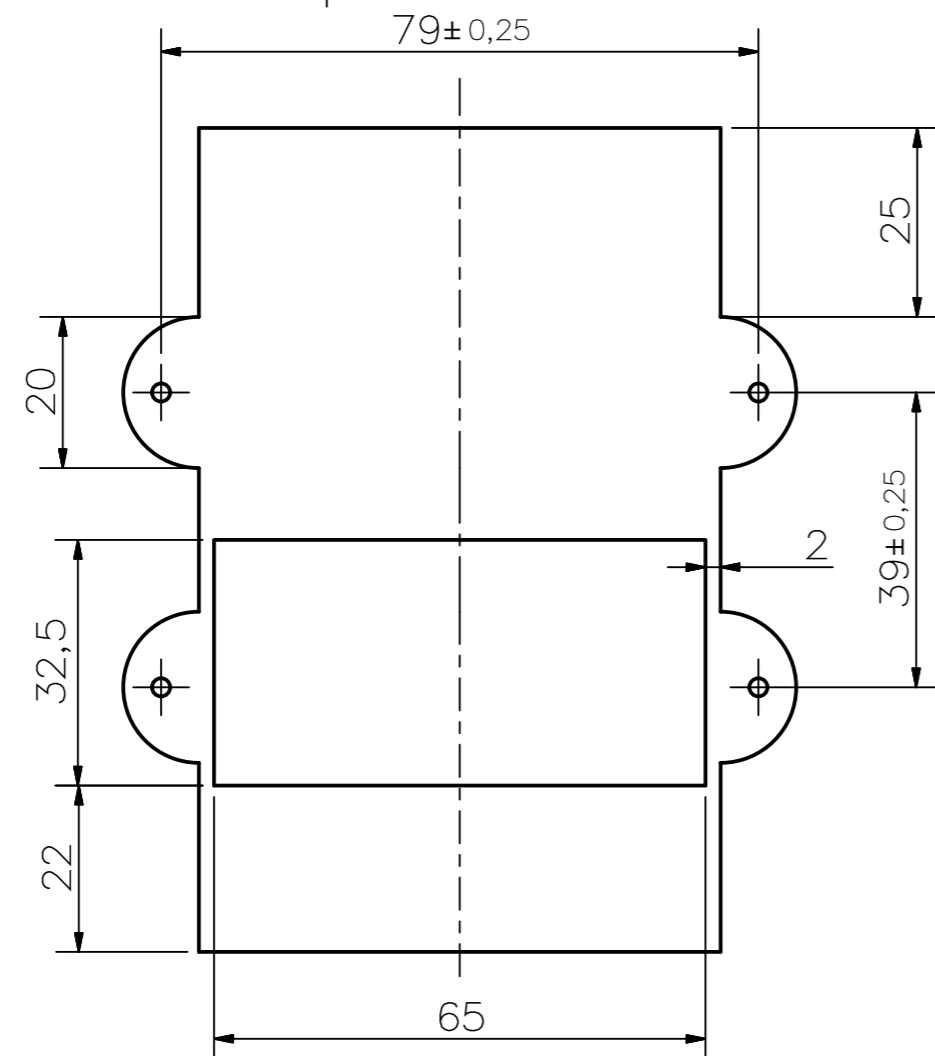
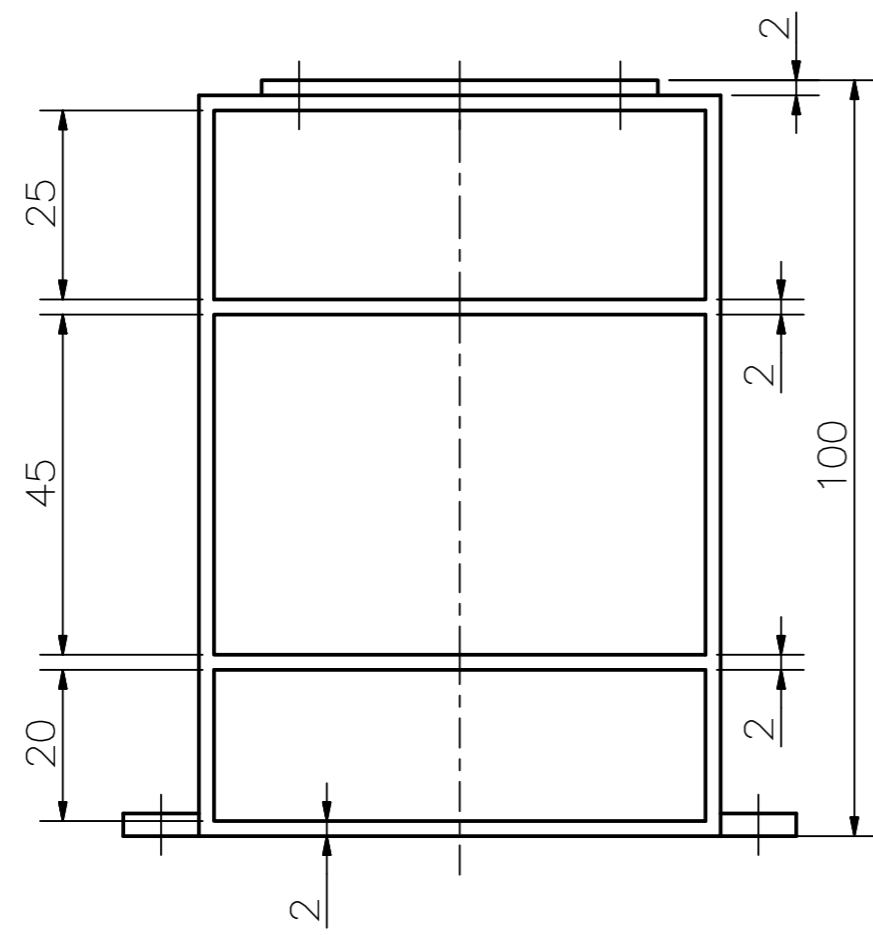
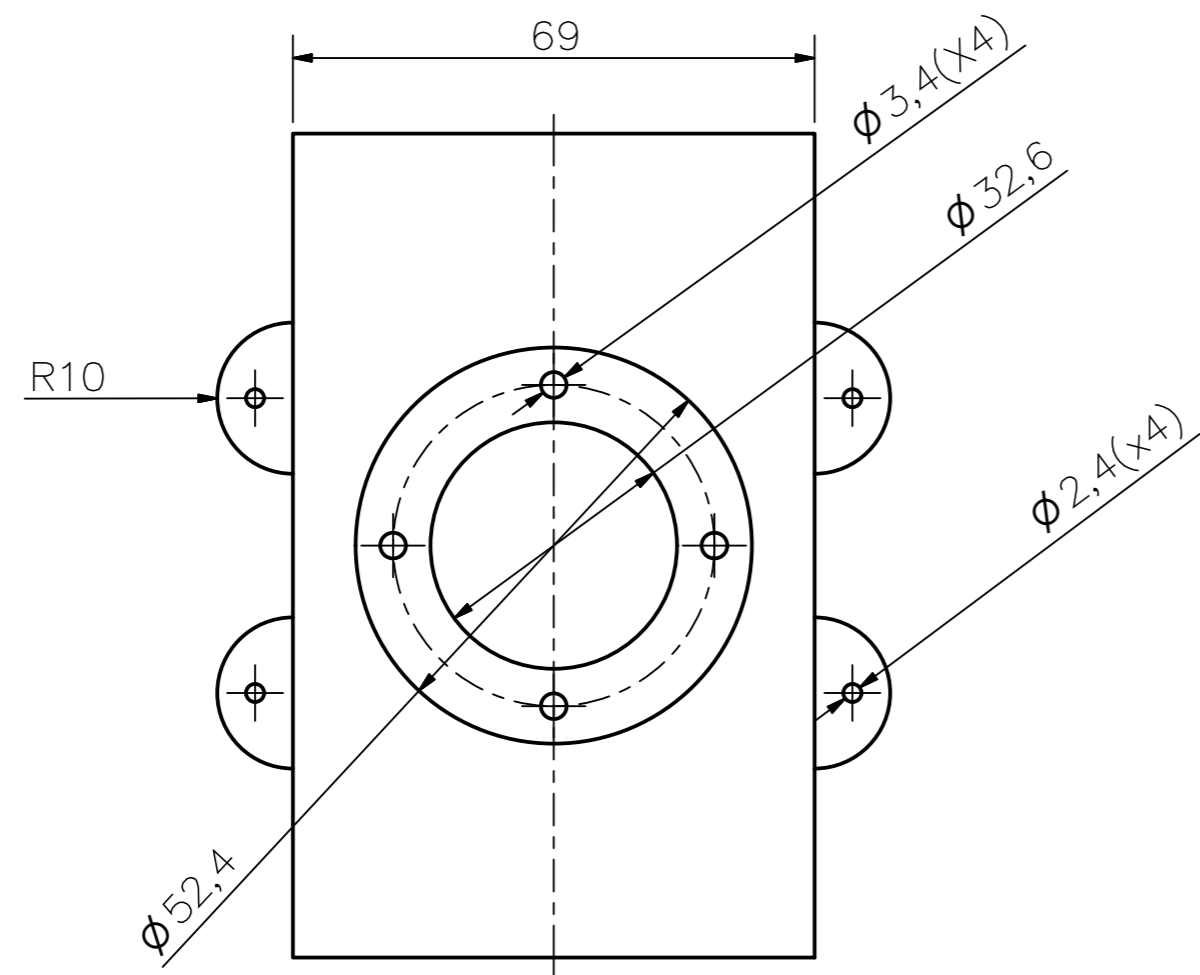


IMPRESIÓN 3D

TOLERANCIA DE RUGOSIDAD PARA TODOS LOS AGUJEROS: $\sqrt{25}$

TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGUN DIN 7168					
GRADO DE EXACTITUD	Mz de 0.5 hasta 3	Mz de 3 hasta 6	Mz de 6 hasta 30	Mz de 30 hasta 120	Mz de 120 hasta 400
BASTO	-0.15	-0.2	-0.5	-0.8	-1.2

ACABADO SUPERFICIAL $\sqrt{25}$		TOLERANCIA GENERAL DIN 7168 - BASTO		MATERIAL ABS	
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA - ESPECIALIDAD: INGENIERÍA MECATRÓNICA					
MÉTODO DE PROYECCIÓN FIRST ANGLE		VEHÍCULO AEREO NO TRIPLIZADO PARA VIGILANCIA EN AMBIENTES ERRADOS CON DETECCIÓN DE PERSONAS Y OBSTÁCULOS A SU ALREDEDOR			ESCALA 1:1
DISEÑADO	POSTIGOS	DIBUJADO	POSTIGOS	REVISADO	ABARCA.M
FECHA	2017.10.17	FECHA	2017.10.18	FECHA	2017.10.18
APROBADO					ABARCA.M
FECHA					2017.11.18
PLANO:					P15 - A1

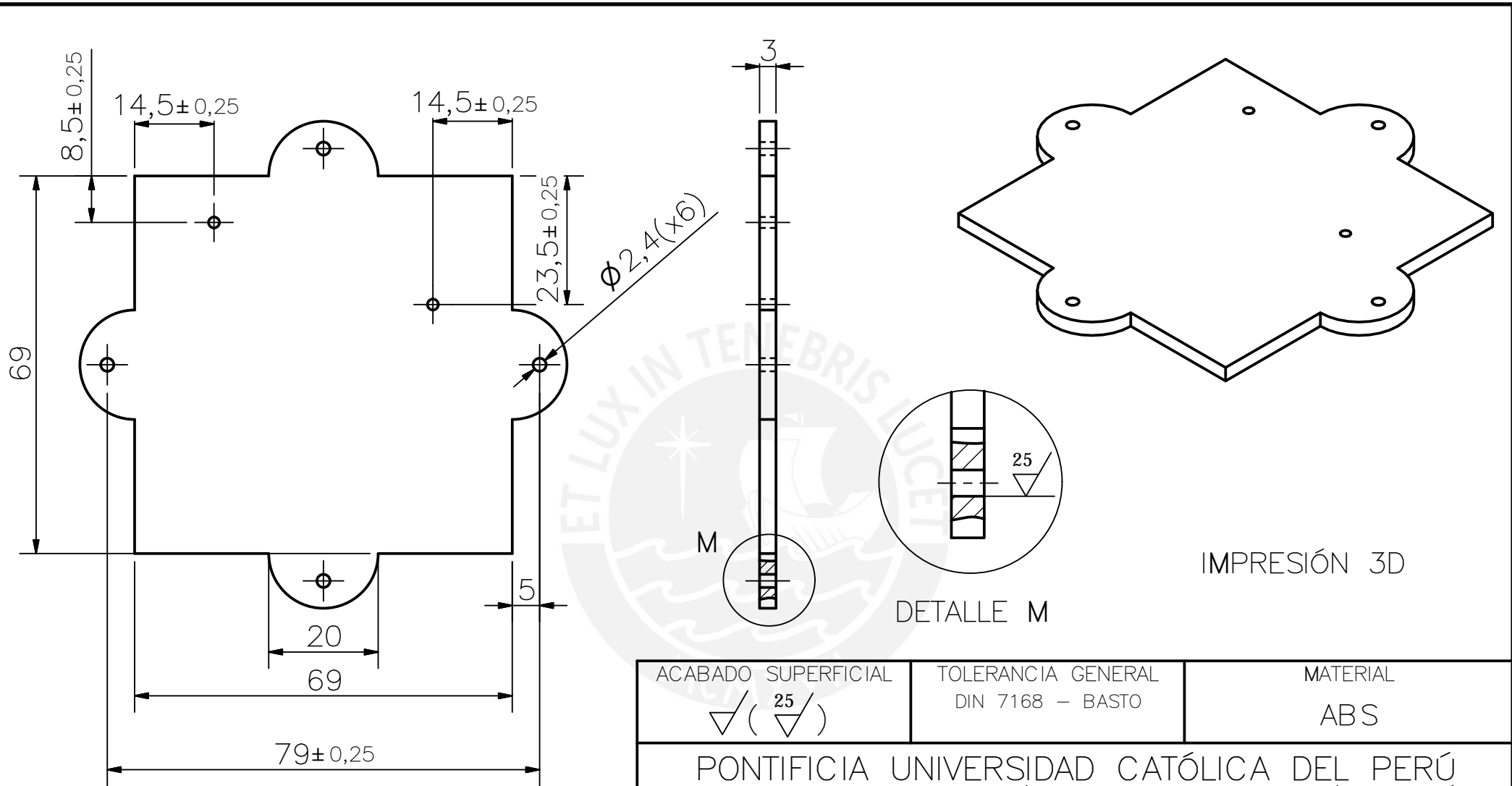


IMPRESIÓN 3D

TOLERANCIAS DIMENSIONALES
SEGUN DIN 7168

GRADO DE EXACTITUD	Mzs de 0.5 hasta 3	Mzs de 3 hasta 6	Mzs de 6 hasta 30	Mzs de 30 hasta 120	Mzs de 120 hasta 400
BASTO	-0.15	-0.2	-0.5	-0.8	-1.2

ACABADO SUPERFICIAL ✓(25/✓)		TOLERANCIA GENERAL DIN 7168 – BASTO		MATERIAL ABS	
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – ESPECIALIDAD: INGENIERÍA MECATRÓNICA					
MÉTODO DE PROYECCIÓN ⊕		VEHICULO AÉREO NO TRIPULADO PARA VIGILANCIA EN AMBIENTES CERRADOS CON DETECCIÓN DE PERSONAS Y OBSTÁCULOS A SU ALREDEDOR			ESCALA 1:1
DISEÑO	POSTIGO.S	DIBUJADO	POSTIGO.S	REVISADO	ABARCA.M
FECHA	2017.10.17	FECHA	2017.10.17	FECHA	2017.11.17
APROBADO		ABARCA.M		FECHA: 2018.10.14	
FECHA		2017.11.18		PLANO: P16 – A2	



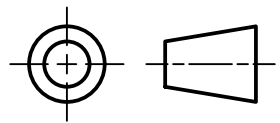
IMPRESIÓN 3D

DETALLE M

ACABADO SUPERFICIAL √ (25 /)	TOLERANCIA GENERAL DIN 7168 – BASTO	MATERIAL ABS
-----------------------------------	--	-----------------

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – ESPECIALIDAD: INGENIERÍA MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN



VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO PARA VIGILANCIA EN AMBIENTES CERRADOS
CON DETECCIÓN DE PERSONAS Y OBSTÁCULOS A SU ALREDEDOR

PIEZA INFERIOR

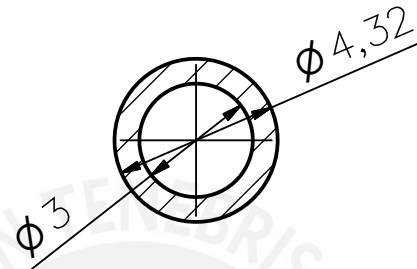
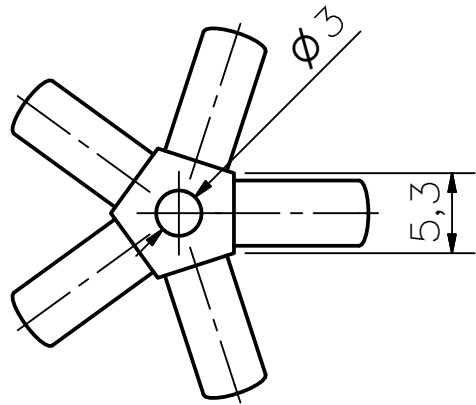
ESCALA

1:1

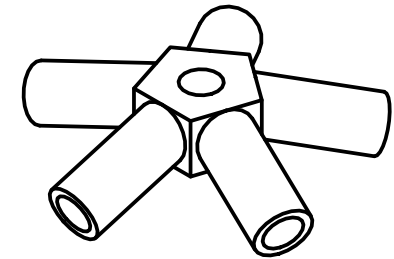
TOLERANCIAS DIMENSIONALES
SEGUN DIN 7168

GRADO DE EXACTITUD	Mzs de 0,5 hasta 3	Mzs de 3 hasta 6	Mzs de 6 hasta 30	Mzs de 30 hasta 120	Mzs de 120 hasta 400
BASTO	-0,15	-0,2	-0,5	-0,8	-1,2

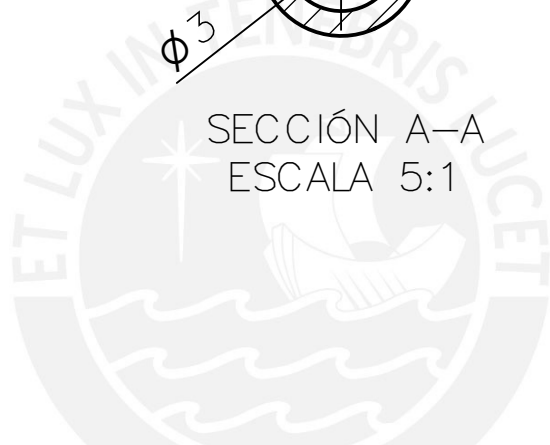
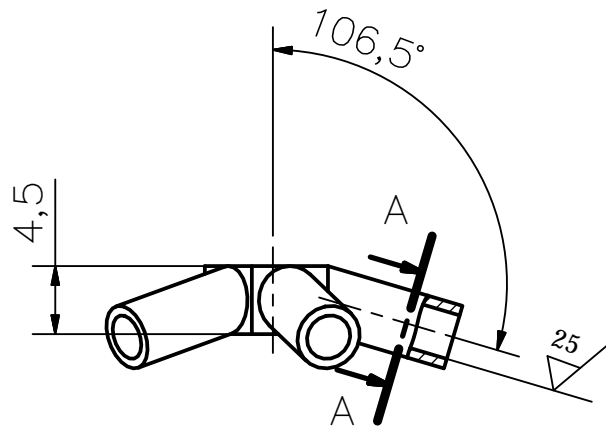
DISEÑADO	POSTIGO.S	DIBUJADO	POSTIGO.S	REVISADO	ABARCA.M	APROBADO	ABARCA.M	FECHA: 2018.10.14
FECHA	2017.10.17	FECHA	2017.10.18	FECHA	2017.11.17	FECHA	2017.11.18	PLANO: P17 – A4



SECCIÓN A-A
ESCALA 5:1



IMPRESIÓN 3D
CANTIDAD: 12 PIEZAS



ACABADO SUPERFICIAL $\nabla (\frac{25}{\nabla})$	TOLERANCIA GENERAL DIN 7168 – BASTO	MATERIAL ABS
---	--	-----------------

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – ESPECIALIDAD: INGENIERÍA MECATRÓNICA

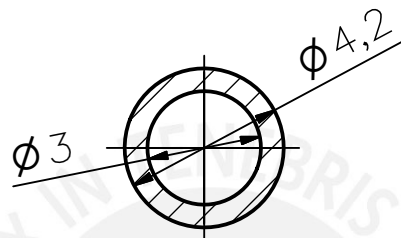
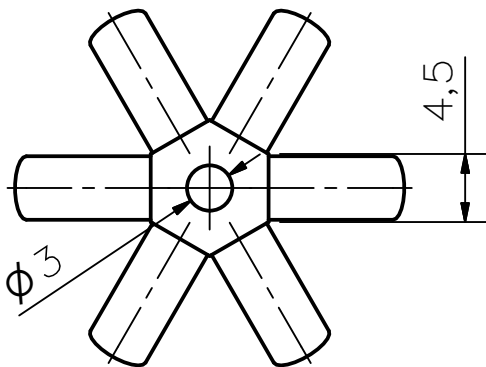
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO PARA VIGILANCIA EN AMBIENTES CERRADOS CON DETECCIÓN DE PERSONAS Y OBSTÁCULOS A SU ALREDEDOR	ESCALA 2:1
--------------------------	--	---------------

JUNTA DE 5 VARILLAS

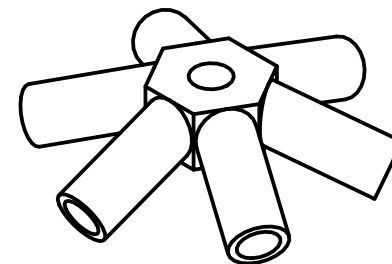
TOLERANCIAS DIMENSIONALES
SEGUN DIN 7168

GRADO DE EXACTITUD	Mzs de 0,5 hasta 3	Mzs de 3 hasta 6	Mzs de 6 hasta 30	Mzs de 30 hasta 120	Mzs de 120 hasta 400
BASTO	-0,15	-0,2	-0,5	-0,8	-1,2

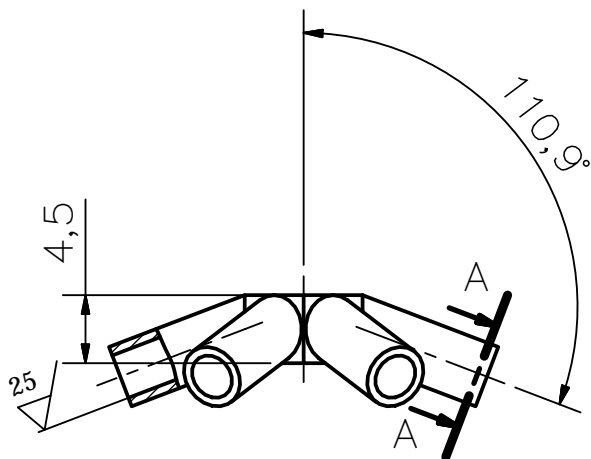
DISEÑADO	POSTIGO.S	DIBUJADO	POSTIGO.S	REVISADO	ABARCA.M	APROBADO	ABARCA.M	FECHA: 2018.10.14
FECHA	2017.10.17	FECHA	2017.10.17	FECHA	2017.11.17	FECHA	2017.11.18	PLANO: P18 – A4



SECCIÓN A-A
ESCALA 5:1

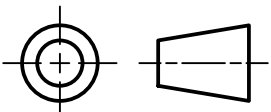


IMPRESIÓN 3D
CANTIDAD: 20 PIEZAS



ACABADO SUPERFICIAL ✓ (25 / ✓)	TOLERANCIA GENERAL DIN 7168 – BASTO	MATERIAL ABS
-------------------------------------	--	-----------------

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – ESPECIALIDAD: INGENIERÍA MECATRÓNICA

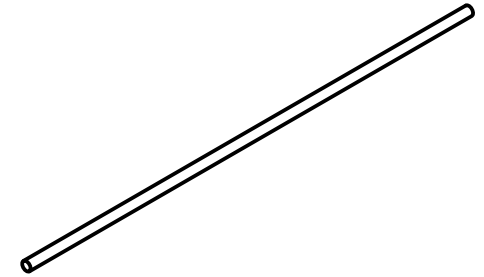
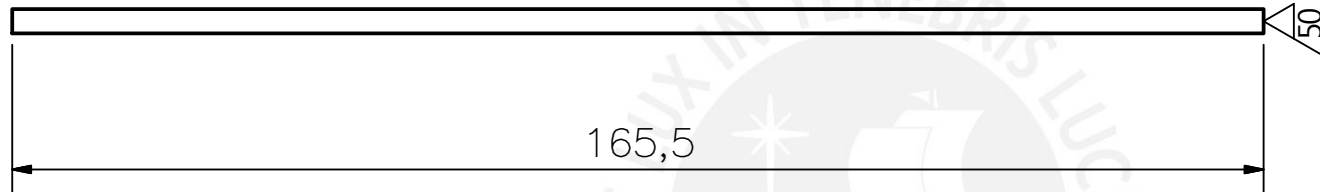
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO PARA VIGILANCIA EN AMBIENTES CERRADOS CON DETECCIÓN DE PERSONAS Y OBSTÁCULOS A SU ALREDEDOR JUNTA DE 6 VARILLAS	ESCALA 2:1
--	--	---------------

TOLERANCIAS DIMENSIONALES
SEGUN DIN 7168

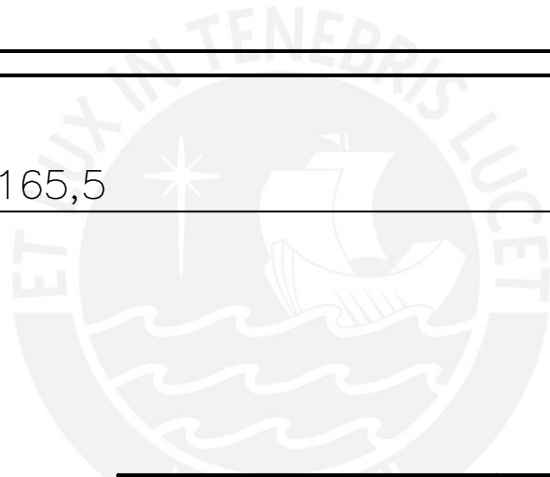
GRADO DE EXACTITUD	Mzs de 0,5 hasta 3	Mzs de 3 hasta 6	Mzs de 6 hasta 30	Mzs de 30 hasta 120	Mzs de 120 hasta 400
BASTO	-0,15	-0,2	-0,5	-0,8	-1,2

DISEÑADO	POSTIGO.S	DIBUJADO	POSTIGO.S	REVISADO	ABARCA.M	APROBADO	ABARCA.M	FECHA: 2018.10.14
FECHA	2017.10.17	FECHA	2017.11.18	FECHA	2017.11.17	FECHA	2017.11.18	PLANO: P19 – A4

Ø 3



CANTIDAD: 30 PIEZAS



ACABADO SUPERFICIAL ✓ (50 / ✓)	TOLERANCIA GENERAL DIN 7168 – MEDIO	MATERIAL T700S
-------------------------------------	--	-------------------

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – ESPECIALIDAD: INGENIERÍA MECATRÓNICA

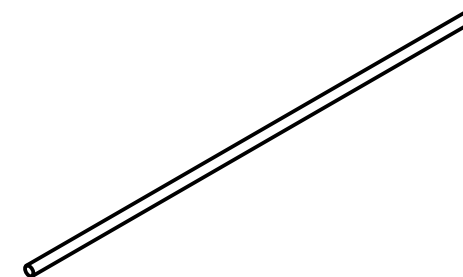
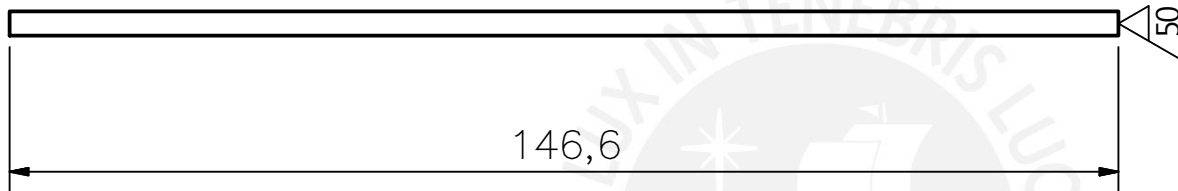
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO PARA VIGILANCIA EN AMBIENTES CERRADOS CON DETECCIÓN DE PERSONAS Y OBSTÁCULOS A SU ALREDEDOR	ESCALA 1:1
--------------------------	--	---------------

TOLERANCIAS DIMENSIONALES
SEGÚN DIN 7168

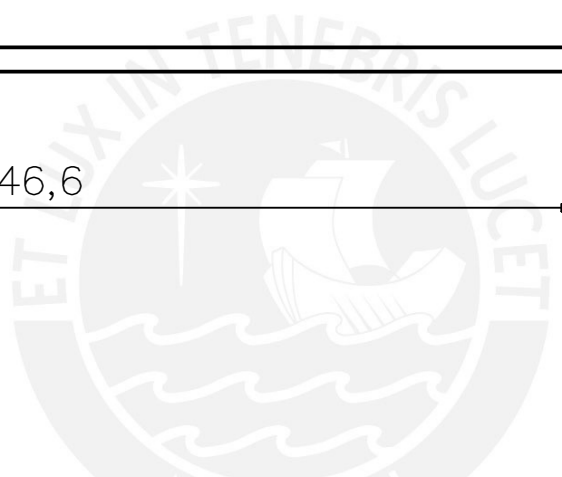
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5

DISEÑADO	POSTIGO.S	DIBUJADO	POSTIGO.S	REVISADO	2017.11.17	APROBADO	ABARCA.M	FECHA: 2018.10.14
FECHA	2017.10.17	FECHA	2017.10.17	FECHA	ABARCA.M	FECHA	2017.11.18	PLANO: P20 – A4

$\varnothing 3$



CANTIDAD: 60 PIEZAS



ACABADO SUPERFICIAL $\nabla / (50 /)$	TOLERANCIA GENERAL DIN 7168 – MEDIO	MATERIAL T700S
--	--	-------------------

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – ESPECIALIDAD: INGENIERÍA MECATRÓNICA

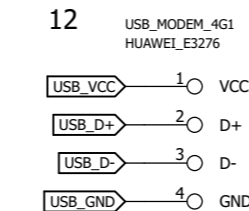
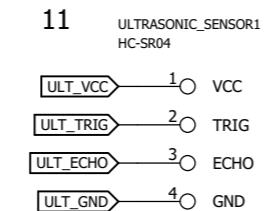
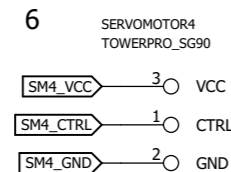
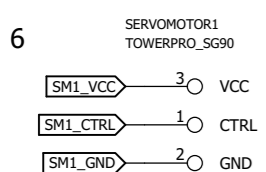
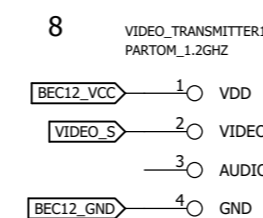
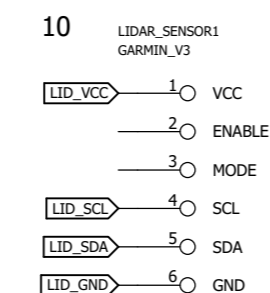
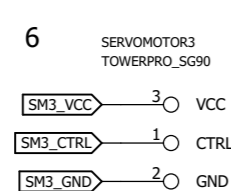
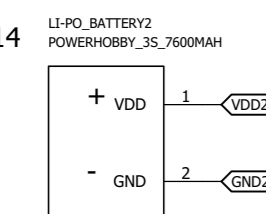
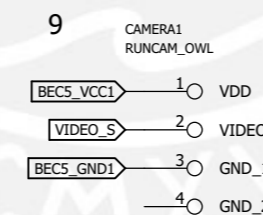
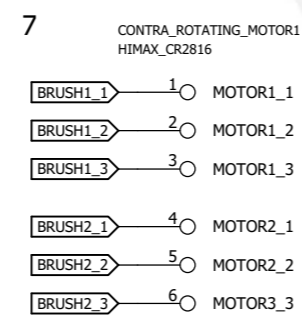
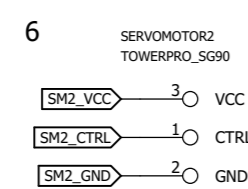
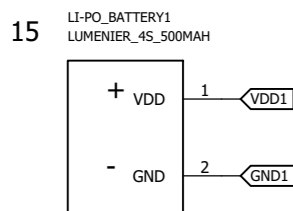
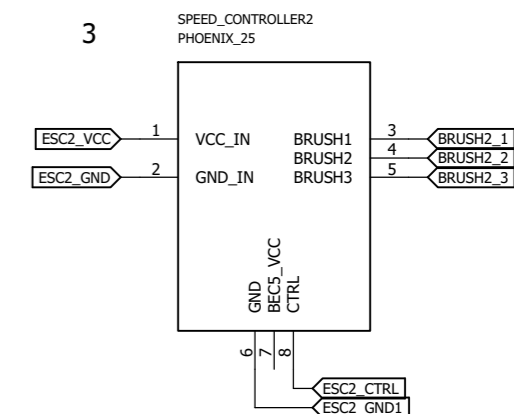
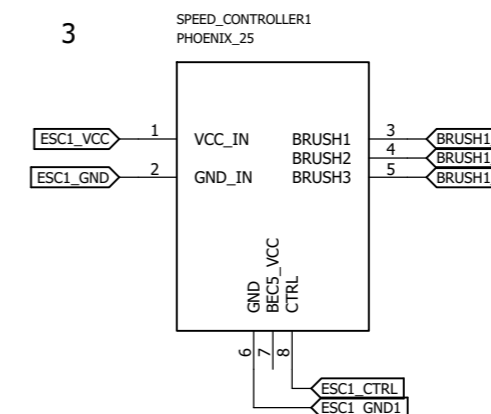
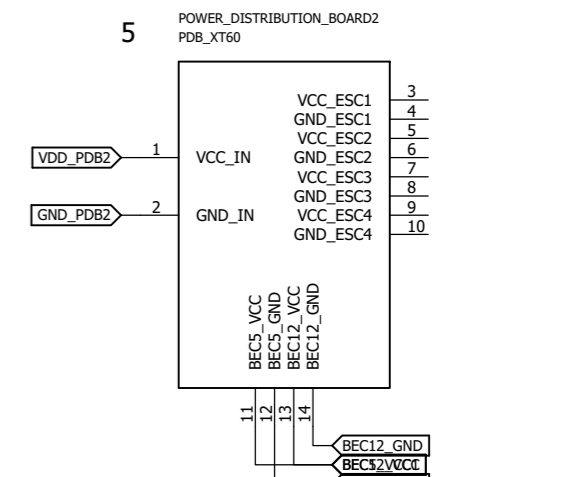
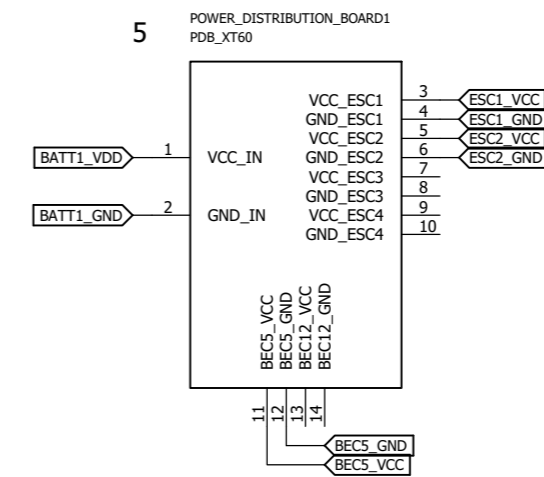
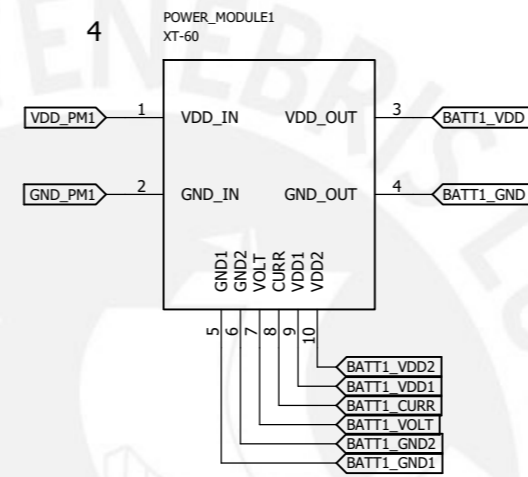
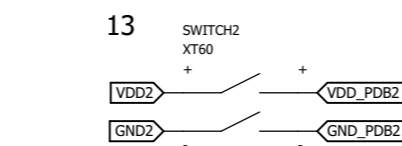
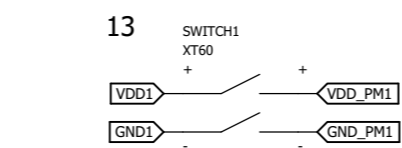
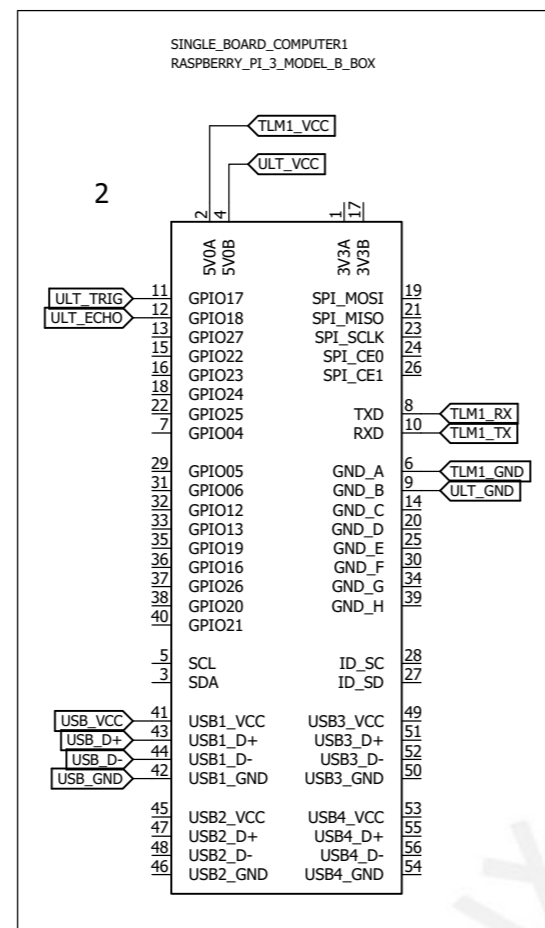
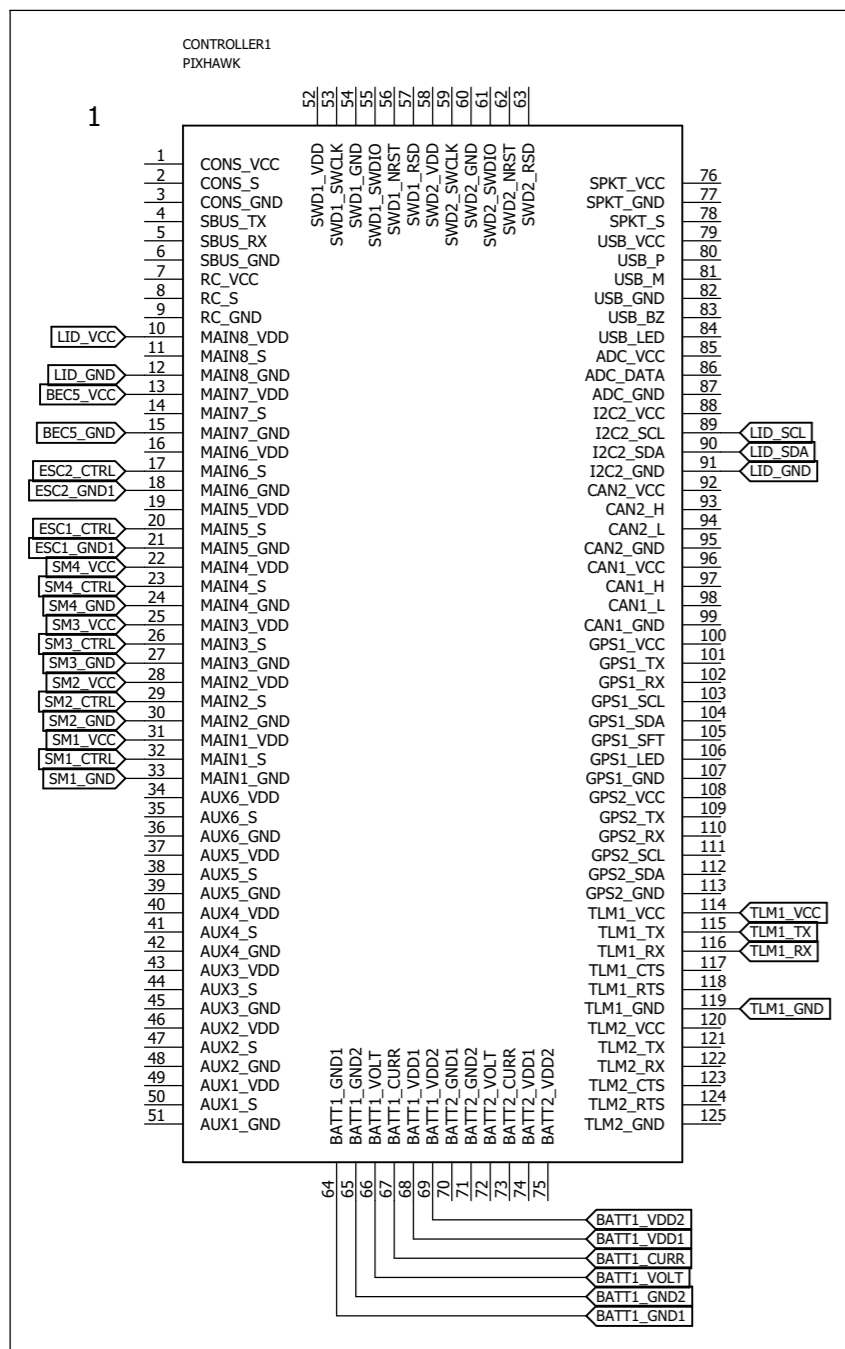
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO PARA VIGILANCIA EN AMBIENTES CERRADOS CON DETECCIÓN DE PERSONAS Y OBSTÁCULOS A SU ALREDEDOR	ESCALA 1:1
--------------------------	--	---------------

TOLERANCIAS DIMENSIONALES
SEGÚN DIN 7168

GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	$\pm 0,1$	$\pm 0,1$	$\pm 0,2$	$\pm 0,3$	$\pm 0,5$

DISEÑADO	POSTIGO.S	DIBUJADO	POSTIGO.S	REVISADO	ABARCA.M	APROBADO	ABARCA.M	FECHA: 2018.10.14
FECHA	2017.10.17	FECHA	2017.10.17	FECHA	2017.11.17	FECHA	2017.11.18	PLANO: P21 – A4

VARILLA B



Nº	CANT.	DESCRIPCIÓN	MARCA	MODELO	OBSERVACIONES
15	1	BATERÍA LI-PO 4S 500 MAH	LUMENIER		
14	1	BATERÍA LI-PO 3S 7600 MAH	POWERHOBBY		
13	2	SWITCH	GENERIC	XT-60	
12	1	USB MODEM 4G	HUAWEI	E3276	
11	1	SENSOR DE CONTRASONIDO	GENERIC	HC-SR04	
10	1	SENSOR LIDAR	GARMIN	LITE V3	
9	1	CÁMARA	RUNCAM	OWL	
8	1	TRANSMISOR DE VIDEO	PARTOM	1.2 GHZ	
7	1	MOTOR DE CONTRA-ROTACIÓN	HIMAX	CR-2816	
6	4	SERVOMOTOR	TOWER PRO	SG-90	
5	2	TARJETA DE DISTRIBUCIÓN DE POTENCIA (PDB)	MATEK	XT-60	
4	1	MÓDULO DE POTENCIA	GENERIC	XT-60	
3	2	CONTROLADOR DE VELOCIDAD (ESC)	PHOENIX	25	
2	1	COMPUTADOR DE PLACA REDUCIDA	RASPBERRY	3 MODEL B	
1	1	CONTROLADOR DE VUELO	PIXHAWK	2 CUBE	

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA - ESPECIALIDAD: INGENIERÍA MECATRÓNICA

VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO PARA VIGILANCIA EN AMBIENTES CERRADOS CON DETECCIÓN DE PERSONAS Y OBSTÁCULOS A SU ALREDEDOR

DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DEL VANT

DISEÑO	POSTIGO.S	DIBUJADO	POSTIGO.S	REVISADO	ABARCA.M	APROBADO	ABARCA.M	FECHA:
FECHA	2017.11.07	FECHA	2017.11.07	FECHA	2017.11.07	FECHA	2017.11.27	2018.10.14
								PLANO: P1-A2