

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



**VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO PARA LA DISPENSACIÓN DE  
DINERO EN EFECTIVO EN BILLETES (DRON ATM)**

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

**AUTOR:**

Aaron Luis Reyes Castillo

**ASESOR:**

Carlos Saito Villanueva

Lima, Mayo, 2022

## RESUMEN

El desarrollo tecnológico del sector financiero en el Perú está creciendo de manera acelerada. La competencia entre entidades financieras ya no solo se da en el campo de los productos, sino también en el uso que le dan a la tecnología para fortalecer su propuesta de valor y los servicios que ofrecen a los usuarios. Hoy todo gira en torno a la experiencia de usuario y la tendencia principal es la de la auto atención. Es así, que la innovación juega un rol crucial para lograr la diferenciación de la competencia.

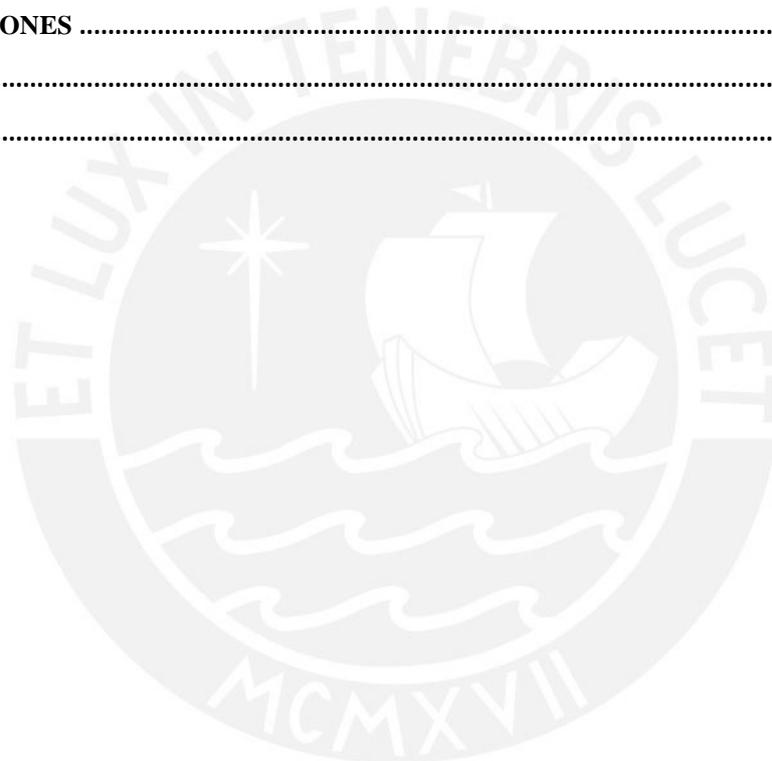
La tendencia de la digitalización de servicios ha llevado a que cada vez más usuarios se sumen al uso de la banca por internet y las aplicaciones. Los canales electrónicos, como es el caso de los cajeros automáticos, pasaron a verse como una transición hacia la digitalización, cuyo objetivo era incentivar la auto atención de los clientes, pero dentro de la seguridad de un entorno propio del banco. Sin embargo, se descubrió que así se logre una migración de usuarios hacia los canales digitales, estos mismos usuarios seguían utilizando los cajeros automáticos en ciertas ocasiones, debido a que su necesidad de efectivo no desaparecía al 100%. El motivo de esto principalmente es que la sociedad peruana (y latinoamericana en general) aún no está lista para la digitalización completa. La carencia de medios digitales en gran parte de establecimientos de venta recurrentes (mercados, bodegas), el posicionamiento del uso de efectivo para transacciones del día a día (como el transporte público) y la falta de confianza del usuario por utilizar canales digitales como medio de pago en un gran porcentaje de la población aún, hace que la necesidad de abastecimiento de efectivo siga latente. De este modo, la inserción de nuevas tecnologías que brinden facilidades complementarias para lograr mejorar la confianza en el público reacio a utilizar dichos medios y, del mismo modo, que permitan satisfacer sus necesidades esenciales, tales como la disposición de dinero en efectivo, van a lograr no solo fortalecer el puente hacia la digitalización total, sino satisfacer la necesidad real de los usuarios.

En el presente trabajo de investigación se desarrolla una propuesta de solución que permitirá distribuir dinero en efectivo por medio de vehículos aéreos no tripulados, los cuales transportarán el contenido en un módulo de dispensación que será capaz de dispensar el monto solicitado por el usuario. Para cumplir el objetivo, el diseño óptimo realizado se compone de un dron comercial especialmente configurado al que se le adhiere un módulo de dispensación capaz de realizar dicha acción una vez posicionado sobre una estación de dispensación. Queda fuera del alcance de este trabajo el diseño de la estación de dispensación. El sistema será capaz de desplazarse por un rango de cobertura de 3 km a la redonda desde su estación principal. Por otro lado, el módulo de dispensación que porta el dron tendrá un peso límite de 6kg.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN .....	1
ÍNDICE DE FIGURAS .....	5
ÍNDICE DE TABLAS .....	7
ANTECEDENTES .....	8
1.1. PROBLEMÁTICA .....	8
1.2. OBJETIVOS.....	12
1.3. METODOLOGÍA.....	13
DISEÑO DEL SISTEMA MECATRÓNICO .....	15
2.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA.....	15
2.2. DIAGRAMA DE OPERACIONES.....	17
2.3. DISEÑO DEL SISTEMA MÓVIL DE DISPENSACIÓN.....	19
2.3.1. <i>Diseño del Módulo de Dispensación</i> .....	19
2.3.1.1. Selección de Materiales y Procesos de Fabricación .....	21
2.3.1.1.1. Barras Estructurales .....	21
2.3.1.1.2. Planchas Base .....	22
2.3.1.2. Subsistema de Control .....	23
2.3.1.3. Subsistema de Interacción con el usuario.....	25
2.3.1.4. Subsistema de Medición .....	27
2.3.1.5. Subsistema de Comunicación .....	35
2.3.1.6. Subsistema de Energía .....	37
2.3.1.7. Subsistema de Actuación .....	39
2.3.2. <i>Configuración del Dron</i> .....	45
2.3.2.1. Subsistema de Control .....	46
2.3.2.2. Subsistema de Medición .....	48
2.3.2.3. Subsistema de Comunicación .....	51
2.3.2.4. Subsistema de Energía .....	53
2.3.2.5. Subsistema de Actuación .....	56
2.3.2.6. Subsistema de Materia .....	57
2.4. DISEÑO MECÁNICO .....	58
2.4.1. <i>Cálculos de fuerzas y torques</i> .....	58
2.4.1.1. Cálculo para el Diseño del Eje de Alimentación de Dinero en Efectivo .....	58
2.4.1.2. Cálculo para el Diseño de las Fajas de Transporte de Dinero en Efectivo .....	63
2.4.1.3. Cálculo de selección de Rodamientos para el eje de alimentación.....	67
2.4.1.4. Cálculo de selección de Rodamientos para el eje de transporte .....	69
2.4.2. <i>Simulaciones de resistencia</i> .....	73
2.4.2.1. Simulación de Resistencia del Soporte Módulo de Dispensación – Dron.....	73
2.4.2.2. Simulación de Resistencia de Soporte de pesos de jaula del Módulo de Dispensación .....	76
2.5. DISEÑO ELÉCTRICO / ELECTRÓNICO .....	80
2.5.1. <i>Diagrama de Conexiones</i> .....	80
2.5.2. <i>Diagramas de Circuitos Eléctricos y Electrónicos para Automatización y Control</i> .....	80
2.6. CÁLCULO ENERGÉTICO .....	80
2.6.1. <i>Cálculo energético del Módulo de Dispensación</i> .....	80
2.6.2. <i>Cálculo energético del Dron</i> .....	82
2.7. DISEÑO DE CONTROL .....	83
2.7.1. <i>Diagramas de Flujo del Sistema</i> .....	83
2.7.1.1. <i>Diagrama de Flujo General</i> .....	83
2.7.1.2. Diagrama de Flujo Función: Accionamiento de Despegue .....	85

2.7.1.3.	Diagrama de Flujo Función: Accionamiento de Vuelo .....	86
2.7.1.4.	Diagrama de Flujo Función: Accionamiento Aterrizaje.....	86
2.7.1.5.	Diagrama de Flujo Función: Accionamiento de Dispensación de Efectivo .....	87
<b>2.7.2.</b>	<b><i>Estrategia de Control</i></b> .....	<b>89</b>
2.7.2.1.	Estrategia de Control: Módulo de Dispensación .....	89
2.7.2.2.	Estrategia de Control: Dron .....	90
<b>2.7.3.</b>	<b><i>Diseño de la interfaz de usuario</i></b> .....	<b>92</b>
<b>2.8.</b>	<b>COSTOS</b> .....	<b>96</b>
2.8.1.	<i>Costos del Sistema Mecánico del Módulo de Dispensación</i> .....	96
2.8.2.	<i>Costos del Sistema Electrónico/Control del Módulo de Dispensación</i> .....	99
2.8.3.	<i>Costos de Configuración del Dron</i> .....	100
2.8.4.	<i>Costos del Diseño Mecatrónico</i> .....	100
2.8.5.	<i>Costo Total</i> .....	101
<b>CONCLUSIONES</b> .....		<b>102</b>
<b>RECOMENDACIONES</b> .....		<b>103</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....		<b>104</b>
<b>ANEXOS</b> .....		<b>108</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1 Operaciones con medio de pago bancario según canal.....	8
Figura 1. 2 Retiros de efectivo según canal: 2012-2016.....	9
Figura 1. 3 Uso de efectivo y disponibilidad de ATM.....	10
Figura 1. 4 Productividad de transacciones mensuales por ATM del BCP .....	11
Figura 2. 1 Vista Isométrica del Sistema Móvil de Dispensación .....	15
Figura 2. 2 Diagrama de Operaciones.....	17
Figura 2. 3 Diagrama de Operaciones en caso de Estado de Emergencia .....	18
Figura 2. 4 Vista Isométrica del Módulo de Dispensación .....	19
Figura 2. 5 Funcionamiento del sistema de dispensación .....	20
Figura 2. 6 Propiedades físicas del Sistema Móvil de Dispensación.....	20
Figura 2. 7 Visualización del Subsistema de Control .....	23
Figura 2. 8 Visualización del Subsistema de Interacción con el usuario .....	25
Figura 2. 9 Visualización del Reed Switch del Subsistema de Medición .....	28
Figura 2. 10 Visualización del Switch Snap Action del Subsistema de Medición .....	30
Figura 2. 11 Visualización de leva y de Switch Snap Action del Subsistema de Medición .....	30
Figura 2. 12 Visualización del Sensor de Tensión FZ0430 del Subsistema de Medición .....	31
Figura 2. 13 Visualización del Sensor Infrarrojo Sharp GP2Y0D810Z0F del Subsistema de Medición .....	33
Figura 2. 14 Visualización del Acelerómetro ADXL345 del Subsistema de Medición .....	35
Figura 2. 15 Visualización del Módulo A9G GSM/GPRS y sus antenas del Subsistema de Comunicación .....	37
Figura 2. 16 Visualización del Subsistema de Energía .....	37
Figura 2. 17 Visualización del Subsistema de Actuación .....	39
Figura 2. 18 Vista Isométrica de la implementación del dron .....	45
Figura 2. 19 Visualización del Subsistema de Control del dron .....	46
Figura 2. 20 Visualización del Subsistema de Medición del dron .....	48
Figura 2. 21 Visualización del Subsistema de Comunicación del dron .....	51
Figura 2. 22 Visualización del Subsistema de Energía del dron.....	53
Figura 2. 23 Motor brushless DJI E2000 .....	56
Figura 2. 24 Hélices DJI R2170.....	57
Figura 2. 25 Diagrama de Cuerpo Libre del eje de alimentación .....	58
Figura 2. 26 Dimensionamiento del ancho de polea del eje de alimentación .....	59
Figura 2. 27 Dimensionamiento del espesor de la sobremonta del eje de alimentación.....	59
Figura 2. 28 Dimensionamiento de la zona de fricción de silicona .....	60
Figura 2. 29 Sección entre polea y billete.....	61
Figura 2. 30 Geometría de la sección proyectada .....	61
Figura 2. 31 Diseño del sistema de transporte .....	63
Figura 2. 32 Vista de perfil de polea seleccionada.....	64
Figura 2. 33 Sección transversal de faja Optibelt OMEGA 5M HP .....	66
Figura 2. 34 Diagrama de cuerpo libre del eje de alimentación para la selección de rodamientos.....	67
Figura 2. 35 Dimensionamiento del sistema de fajas – rodamientos .....	69
Figura 2. 36 Diagrama de Cuerpo Libre del eje de alimentación .....	70
Figura 2. 37 Vista Isométrica de la placa de fijación del Módulo de Dispensación .....	73
Figura 2. 38 Distribución de fuerzas en la placa de fijación.....	75
Figura 2. 39 Análisis de desplazamientos de la placa de fijación .....	75
Figura 2. 40 Análisis de factor de seguridad de la placa de fijación.....	76

Figura 2. 41 Vista isométrica de la jaula del módulo de dispensación .....	77
Figura 2. 42 Distribución de fuerzas en la jaula del módulo de dispensación .....	78
Figura 2. 43 Análisis de desplazamientos de la jaula del módulo de dispensación .....	78
Figura 2. 44 Análisis de factor de seguridad de la jaula del módulo de dispensación .....	79
Figura 2. 45 Diagrama de Conexiones del Sistema Móvil de Dispensación de la Solución Óptima....	80
Figura 2. 46 Curva carga portante vs Tiempo de Vuelo .....	82
Figura 2. 47 Diagrama de Flujo General del Sistema Móvil de Dispensación .....	84
Figura 2. 48 Diagrama de Flujo de Accionamiento de Despegue.....	85
Figura 2. 49 Diagrama de Flujo de Accionamiento de Vuelo.....	86
Figura 2. 50 Diagrama de Flujo de Accionamiento de Aterrizaje .....	87
Figura 2. 51 Diagrama de Flujo de Accionamiento de Dispensación de Efectivo.....	88
Figura 2. 52 Diagrama de control del motor de pasos del eje de alimentación .....	89
Figura 2. 53 Diagrama de control del motor de pasos del sistema de transporte.....	89
Figura 2. 54 Diagrama de control de la bomba de tinta del protocolo de emergencia.....	90
Figura 2. 55 Diagrama de control de posición del dron .....	90
Figura 2. 56 Diagrama de control de detección de obstáculos.....	91
Figura 2. 57 Diagrama de control de nivel de carga de batería.....	91
Figura 2. 58 Acceso a la interfaz de interacción con el usuario.....	92
Figura 2. 60 Detalles de la transacción .....	93
Figura 2. 59 Selección de estación de dispensación .....	93
Figura 2. 61 Detalles del viaje .....	94
Figura 2. 62 Alerta de llegada del Dron.....	94
Figura 2. 63 Alerta de ingreso de huella dactilar .....	95
Figura 2. 64 Transacción en proceso .....	95
Figura 2. 65 Transacción realizada .....	96

## ÍNDICE DE TABLAS

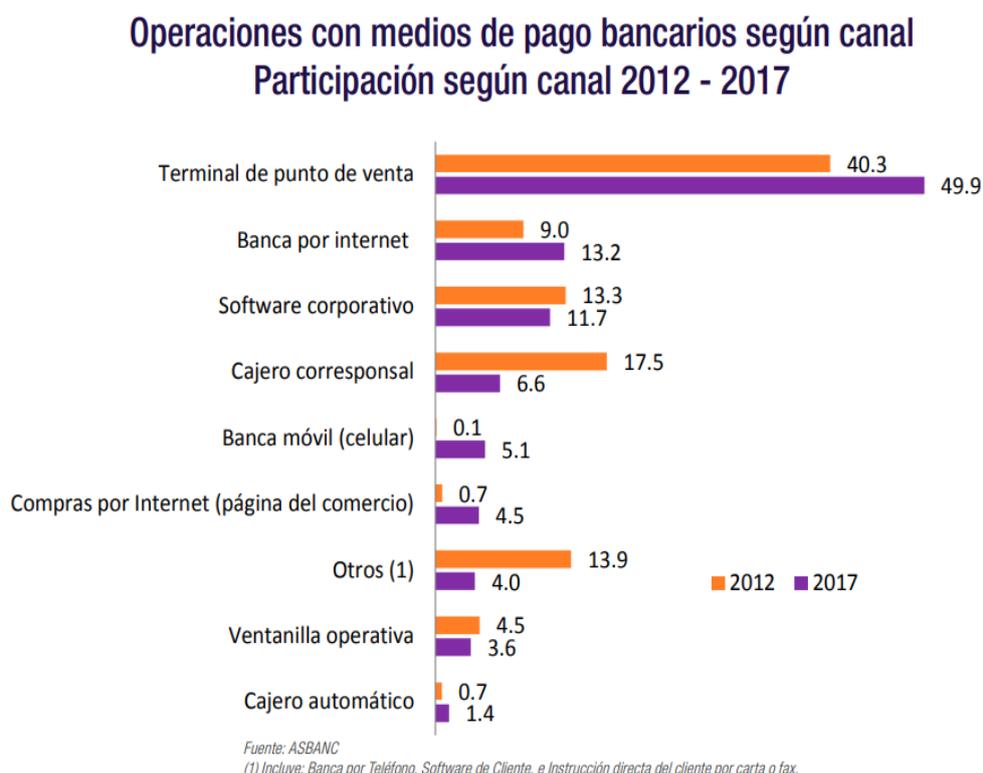
Tabla 1. 1 Influencia de las modalidades de pago según tipo de consumo.....	9
Tabla 2. 1 Tabla de especificaciones de Perfil Estructural de Fibra de Carbono.....	21
Tabla 2. 2 Tabla de especificaciones de Plancha de Fibra de Carbono .....	22
Tabla 2. 3 Tabla comparativa de placas basadas en Microprocesadores .....	24
Tabla 2. 4 Tabla comparativa de Lectores de Huella digital.....	26
Tabla 2. 5 Tabla comparativa de Reed Switch magnéticos .....	27
Tabla 2. 6 Tabla comparativa de Switch Snap Action .....	29
Tabla 2. 7 Tabla de especificaciones de Sensor de Tensión FZ0430.....	31
Tabla 2. 8 Tabla comparativa de sensores de distancia .....	32
Tabla 2. 9 Tabla comparativa de sensores de caída .....	34
Tabla 2. 10 Tabla comparativa de Módulos GSM/GPRS .....	36
Tabla 2. 11 Tabla de especificaciones de batería LiPo .....	38
Tabla 2. 12 Tabla de especificaciones de Regulador de Voltaje LM350.....	38
Tabla 2. 13 Tabla comparativa de motores de paso .....	40
Tabla 2. 14 Tabla de especificaciones de Driver de motor PaP.....	41
Tabla 2. 15 Tabla comparativa de bombas de agua .....	42
Tabla 2. 16 Tabla de especificaciones de driver MOSFET IRF520 .....	43
Tabla 2. 17 Tabla de especificaciones de mini cerradura eléctrica electromagnética de 12 VDC .....	44
Tabla 2. 18 Tabla comparativa de controladores de vuelo.....	47
Tabla 2. 19 Tabla comparativa de Sistemas de Posicionamiento .....	49
Tabla 2. 20 Tabla comparativa de sensores LiDAR .....	50
Tabla 2. 21 Tabla comparativa de Módulos GSM/GPRS .....	52
Tabla 2. 22 Tabla comparativa de sistemas de carga inalámbrica .....	54
Tabla 2. 23 Tabla comparativa de baterías LiPo del dron.....	55
Tabla 2. 24 Propiedades Mecánicas de la Fibra de Carbono .....	74
Tabla 2. 25 Consumo energético del Módulo de dispensación.....	81
Tabla 2. 26 Selección de batería apropiada.....	81
Tabla 2. 27 Consumo energético del Dron .....	82
Tabla 2. 28 Costos del Sistema Mecánico del Módulo de Dispensación.....	96
Tabla 2. 29 Costos del Sistema Electrónico/Control del Módulo de Dispensación.....	99
Tabla 2. 30 Costos de Configuración del Dron.....	100
Tabla 2. 31 Costos del Diseño Mecatrónico .....	100
Tabla 2. 32 Costo Total del Sistema .....	101

## ANTECEDENTES

En el presente capítulo, se abordarán los temas asociados a la problemática actual de la importancia del valor del uso de dinero en efectivo en nuestra sociedad, realizando un análisis a nivel nacional respaldado por información estadística relacionada. Seguido del alcance del proyecto, los objetivos generales, específicos y la metodología a implementar a lo largo del desarrollo de esta propuesta.

### 1.1. Problemática

Gracias al avance tecnológico en el sector financiero en los últimos años, el uso de medios de pago de modalidad digital y electrónica están aumentando en las transacciones de banca, logrando así un paso más hacia la digitalización. Esto se puede apreciar en la Figura 1. 1, en la cual se observa el incremento en el uso de medios digitales como la banca por internet, la banca móvil, las compras por internet; y de medios electrónicos, como el terminal de punto de venta (POS), Cajero Automático, entre otros.



*Figura 1. 1 Operaciones con medio de pago bancario según canal*  
*Fuente: (Asbanc, 2017)*

Por ello, podemos afirmar la importancia del uso de los medios digitales y electrónicos en las transacciones bancarias; sin embargo, estas no son el único tipo de transacciones. De hecho, de acuerdo a la Tabla 1. 1, más del 90% de las transacciones a nivel nacional se realizan en efectivo.

Tabla 1. 1 Influencia de las modalidades de pago según tipo de consumo.  
Fuente: (Asbanc, 2017)

En los últimos doce meses, los medios de pago que usted generalmente utiliza para la compra de: (puede aceptarse más de una alternativa)					
Consumo\Medio de Pago	Efectivo	T. Débito	T. Crédito	Banca por Internet	Otro
1. Alimentos de consumo básico: pan, leche, papa, arroz, azúcar, etc	99.47%	2.22%	1.77%	0.05%	14.92%
2. Alimentos preparados para consumir dentro o fuera del hogar	99.64%	2.04%	1.29%	0.04%	0.50%
3. Productos de lavandería y de limpieza para el hogar	99.42%	1.88%	1.45%	0.02%	9.27%
4. Servicios de la vivienda	99.53%	0.90%	0.43%	0.52%	0.07%
5. Combustible para cocinar	99.75%	0.58%	0.34%	0.10%	0.91%
6. Productos de aseo personal	99.39%	1.75%	1.45%	0.03%	5.50%
7. Prendas de vestir, calzado, etc	99.29%	2.23%	2.15%	0.06%	1.53%
8. Muebles y enseres	98.42%	1.38%	1.76%	0.08%	0.88%
9. Artefactos, electrodomésticos	93.83%	3.44%	4.85%	0.13%	2.51%

(1) Comprende Fiado (en bodega, restaurante, tienda); trueque, pago en especie, regalado, vale bono gas (FISE), entre otros.  
Fuente: ENAHO, 4to trim 2017

Es por ello que podemos afirmar que el uso de dinero en efectivo a nivel nacional es muy importante.

Por otro lado, debemos de tener en cuenta dos situaciones: Por un lado, el primer medio abastecedor de dinero en efectivo proporcionado por el banco es el cajero automático (ATM), tal y como se puede observar en la Figura 1. 2.

Retiros de efectivo según canal: 2012 - 2016  
(Participación en %)

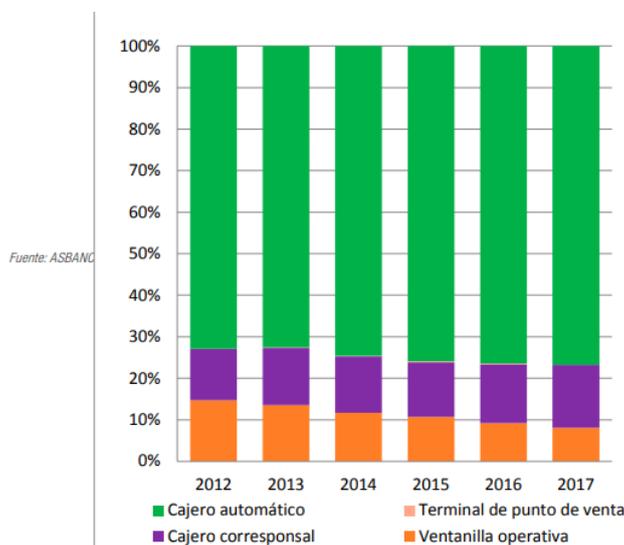


Figura 1. 2 Retiros de efectivo según canal: 2012-2016.  
Fuente: (Asbanc, 2017)

La cuestión es poder identificar cómo el uso de este medio electrónico favorece al progreso de la digitalización.

Por el otro lado, como se puede observar en la Figura 1. 3, a medida que aumenta la disponibilidad de ATMs en una localidad, el público que no se encuentra acostumbrado a los

medios digitales y/o electrónicos disminuye. Esto se debe a que dichos medios ofrecen una interfaz digital de autoatención que a medida que son utilizados por los usuarios, estos se van familiarizando con el entorno y desarrollan mejoras en sus habilidades para la interacción con sistemas digitales, favoreciendo el paso hacia la digitalización.

## Uso de efectivo y disponibilidad de ATM

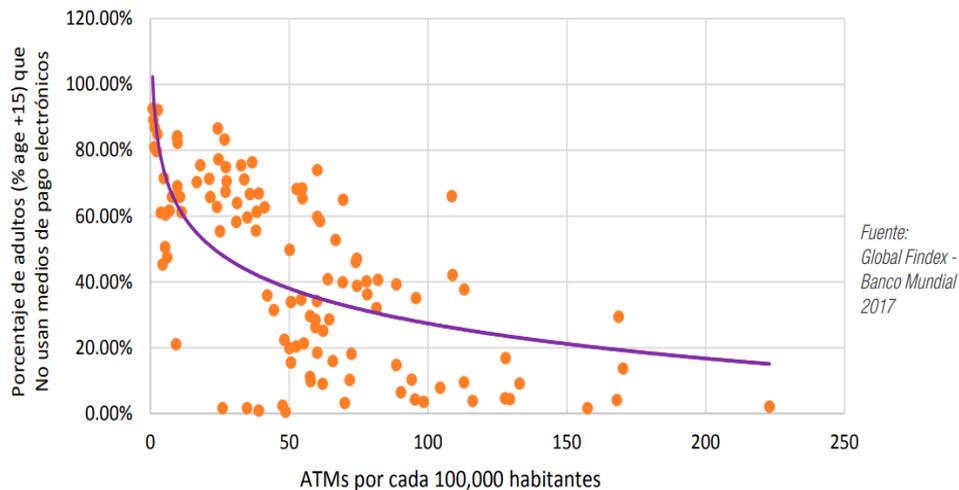
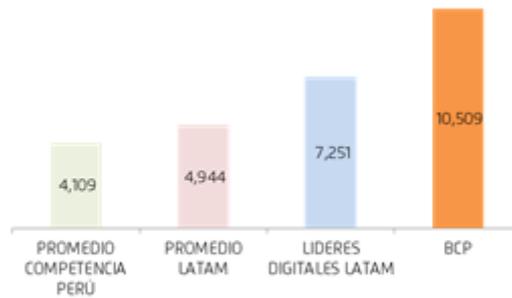


Figura 1. 3 Uso de efectivo y disponibilidad de ATM.  
Fuente: (Asbanc, 2017)

Sin embargo, a pesar de que un usuario sea completamente digital, la necesidad de disponer de dinero en efectivo no se elimina. Es por esta razón de que por más digitalizado que sea el usuario, siempre va a tener la necesidad de recurrir a un cajero automático, a un agente bancario o a la atención en ventanilla. El problema surge dado que estas modalidades de abastecimiento implican un alto costo de mantenimiento, presentan poca flexibilidad ante la ocurrencia de errores y poca capacidad de respuesta frente a una alta demanda.

Una manera de medir la alta demanda en atenciones en cajeros es medir la productividad de transacciones mensuales que cada uno de ellos realiza. Según información obtenida en una entrevista realizada hacia el equipo de canales electrónicos del Banco de Crédito del Perú (BCP), se realizó un gráfico que se puede apreciar en la Figura 1. 4 que indica el número de transacciones en promedio realizadas en los cajeros automáticos mensualmente. Se evalúan los promedios obtenidos de transacciones de la gran parte de bancos a nivel nacional, seguido por los resultados a nivel de Latinoamérica, de los bancos líderes en digitalización en Latinoamérica y finalmente, las cifras obtenidas por el BCP.



*Figura 1. 4 Productividad de transacciones mensuales por ATM del BCP.  
Fuente: (Equipo Canales Electrónicos BCP, comunicación personal, abril 2020)*

Como podemos observar en la Figura 1. 4, la saturación de transacciones mensuales en promedio que presentan los cajeros del BCP es elevada respecto de otras entidades. Esto reafirma la necesidad de desarrollar un sistema complementario para la descongestión de estos medios.

La información presentada delimita la problemática principal a abordar en este trabajo de investigación: La necesidad de poder brindarle dinero en efectivo a las personas, de digitalizar la banca aún más y de descongestionarla en simultáneo.

Para poder lograr la solución, será necesario contar con un sistema móvil de reparto de dinero en efectivo que permita realizar la operación de dispensación en un entorno seguro para el usuario. También es importante considerar un costo de implementación relativamente menor respecto de las opciones actualmente presentes en el mercado, de modo que no se justifique la adquisición de uno de estos medios. Como, por ejemplo, los ATMs, los cuales presentan un costo mayor, además de eliminar la facilidad de ser un sistema móvil, mucho más flexible para la atención de la demanda.

## 1.2. Objetivos

Para cumplir con las necesidades presentadas, se propone como OBJETIVO PRINCIPAL lo siguiente:

Diseñar un sistema de reparto de dinero en efectivo en billetes por medio de vehículos aéreos no tripulados (drones) con un rango de cobertura de viaje de 3 km. La finalidad es contribuir a digitalizar la banca y a descongestionar las largas colas de espera generadas en los bancos.

Los drones se encargarán de llevar el efectivo a módulos de recepción distribuidos capilarmente a lo largo de la ciudad. Dicho sistema puede ser controlado por el cliente (Banco) para poder enviarlos a atender a las zonas con mayor movimiento de transacciones. Por otro lado, este servicio también puede incluir una funcionalidad para que el usuario pueda solicitar el servicio desde una aplicación de celular anexada al banco al cual pertenece.

Para poder llevar a cabo el presente proyecto, se debe tomar en cuenta la realización de los siguientes OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Analizar las tecnologías presentes de vehículos aéreos no tripulados (drones) y revisar las características y opciones existentes en la actualidad.
- Analizar las tecnologías presentes de módulos dispensadores de dinero en efectivo en billetes y revisar las características y opciones existentes en la actualidad.
- Desarrollar el módulo de dispensación portátil de dinero en efectivo considerando el espacio de almacenamiento y el peso, el cual no debe de exceder de 6 kg.
- Desarrollar el sistema de control que supervise el recorrido en todo momento y valide la información necesaria para realizar la transacción.
- Desarrollar el sistema de seguridad físico y lógico que proteja el contenido transportado (dinero en efectivo e información privada) de vandalismo y fraude durante todo el funcionamiento.
- Realizar el sistema de reconocimiento de usuario que presente los medios para poder realizar la validación de identidad del usuario.
- Realizar la interfaz gráfica de interacción con el usuario (APP) para poder configurar las características de la operación a realizar.

Cabe resaltar que para el funcionamiento completo del sistema será necesario implementar una estación de aterrizaje que permitirá al dron realizar las transacciones de manera segura. Sin embargo, el diseño de dicha estación queda fuera de los alcances del proyecto.

### 1.3. Metodología

La metodología a implementar en la presente investigación se basa en la estructura de diseño alemana VDI 2221

Dicho modelo, avalado por la Asociación alemana de Ingenieros, consiste en una propuesta para el modelado del diseño de productos y presenta los siguientes pasos para su elaboración:

**Especificación:** Contiene información puntual para poder desarrollar el producto, esta sección debe de describir todas las necesidades que el producto va a satisfacer. En el documento, este paso se logra por medio del análisis de la problemática enfocada en la necesidad de aumentar puntos de retiro de dinero en efectivo y de digitalizar la banca. En base a ella, el establecimiento de la propuesta de solución y de los objetivos generales y específicos asociados a las metas que el proyecto del dron ATM debe de cumplir. También contempla el desarrollo de fundamentos teóricos y el estado de la tecnología asociado a los RPA, ATM y los protocolos de seguridad contra vandalismo y fraudes.

**Estructura funcional:** Consiste en determinar las funciones de un producto. Se describe la función general que va a desempeñar y las funciones secundarias o subfunciones que permitirán al producto lograr su objetivo. La realización de dicha estructura se presenta, generalmente, por medio de diagramas formales. En el documento, este paso se logra por medio del reconocimiento de las exigencias que la propuesta debe de cumplir a través de una lista que las clasifique. Se considerarán exigencias como la geometría, el material, la materia con la que interactúa, los requerimientos que el software debe de cumplir, entre otros. A esta sección también le corresponde el desarrollo de una estructura de funciones donde, una vez reconocidos los subsistemas, se identifican las entradas y salidas de materia, energía y señales del proyecto.

**Estructura modular:** Se forma una estructura que proporciona una indicación preliminar de la descomposición de la solución en subgrupos, para poder definir las especificaciones de manera más precisa. En este paso, la metodología indica la creación de una matriz morfológica en donde se indica la gama de posibilidades para poder implementar cada subsistema, la cual servirá para discriminar la opción más indicada. En el proyecto se considerarán las opciones disponibles para la implementación del producto, tales como motores, tipos de baterías, tipos de sistemas de control disponibles, entre otros criterios.

**Solución Principal:** Se realiza una búsqueda de principios de solución para todas las subfunciones. La combinación de los principios más óptimos para la realización de las subfunciones brindará una base para la búsqueda de soluciones para la función global. En el documento, este paso se logra gracias a la matriz morfológica elaborada, la cual brindará una gama de opciones para realizar la selección de los módulos más óptimos. Y posterior a ello, el desarrollo de conceptos de solución, que son las posibilidades de implementación del producto. Dicho proceso se verá reflejado en el proyecto por medio de la selección específica de cada componente ideal que formará parte de los subsistemas.

**Diseños Preliminares:** Consiste en realizar una serie de propuestas de diseños que abarquen los módulos principales. La complejidad de estas propuestas solo debe de llevarse a cabo a tal punto que sea claro para poder tomar una decisión de elección del diseño más óptimo. Esta fase

es implementada por medio de dibujos a escala, diagramas de circuito, etc. En el documento, una vez seleccionados los componentes a utilizar por medio de la matriz morfológica, esta fase estará representada por el desarrollo de las posibilidades de implementación, que darán pase a la solución escogida para comenzar el desarrollo a detalle del producto final. Dicho proceso será ejecutado por medio del desarrollo de las propuestas de módulos de reparto de dinero en efectivo.

**Diseño Definitivo:** El diseño preliminar más óptimo escogido se complementa adicionando información más detallada sobre conjuntos y componentes no considerados anteriormente. Esta fase contiene toda la información esencial para realizar el producto. Los elementos que contiene son los planos de diseño del producto, así como los planos de las piezas preliminares, planos eléctricos, entre otros. En el documento, esta fase implica el desarrollo de los planos de ensamble y despiece de todo el proyecto para brindar todas las facilidades de la fabricación del mismo. También se toma en cuenta un cálculo preliminar de costos para la elaboración. Todo el proceso mencionado se visualizará por medio del desarrollo de los planos de detalle, despiece y ensamble de cada componente principal del módulo de dispensación y su relación de sujeción al dron.

**Documentos del Producto:** Se preparan todas las instrucciones de funcionamiento, avaladas por el departamento de diseño, Esta etapa coincide con la anterior. El resultado de esta etapa es la presentación del conjunto de documentos del producto por medio de dibujos de detalle y ensamble, lista de piezas, entre otros. Finalmente, en esta sección se documentan las conclusiones del desarrollo del proyecto, las lecciones aprendidas, los manuales de uso y la bibliografía respectiva. (Arias et al., 2018)

## DISEÑO DEL SISTEMA MECATRÓNICO

### 2.1. Descripción General del Sistema

En la se muestra la vista isométrica del vehículo aéreo no tripulado para la dispensación de dinero en efectivo en billetes. El proyecto está dividido en dos grandes sistemas: en primer lugar, el Sistema Móvil de Dispensación, el cual es el encargado de realizar la dispensación de dinero en efectivo en las diferentes estaciones de dispensación. En segundo lugar, el Sistema Central de Gestión de Datos, el cual es el encargado de registrar cada Sistema Móvil de Dispensación, de gestionar los destinos de atención, de verificar el estado apto del Sistema Móvil de Dispensación para que pueda proceder a atender su próximo destino, de registrar las solicitudes de dispensación de los usuarios y de validar que la transacción se haya realizado correctamente.

En términos generales, el Sistema Móvil de Dispensación se divide en dos subsistemas principales: el subsistema del dron, el cual es el encargado de brindar movilidad al sistema para que pueda desplazarse de la estación central a las diferentes estaciones de dispensación, tanto de ida como de vuelta. Por otro lado, presenta el subsistema del módulo de dispensación, el cual se encarga de registrar la identidad del usuario y de proceder con la transacción una vez que esta se valide correctamente.

En la Figura 2. 1 se muestra una vista isométrica del Sistema Móvil de Dispensación. En ella se aprecia al subsistema del dron y al subsistema del módulo de dispensación.

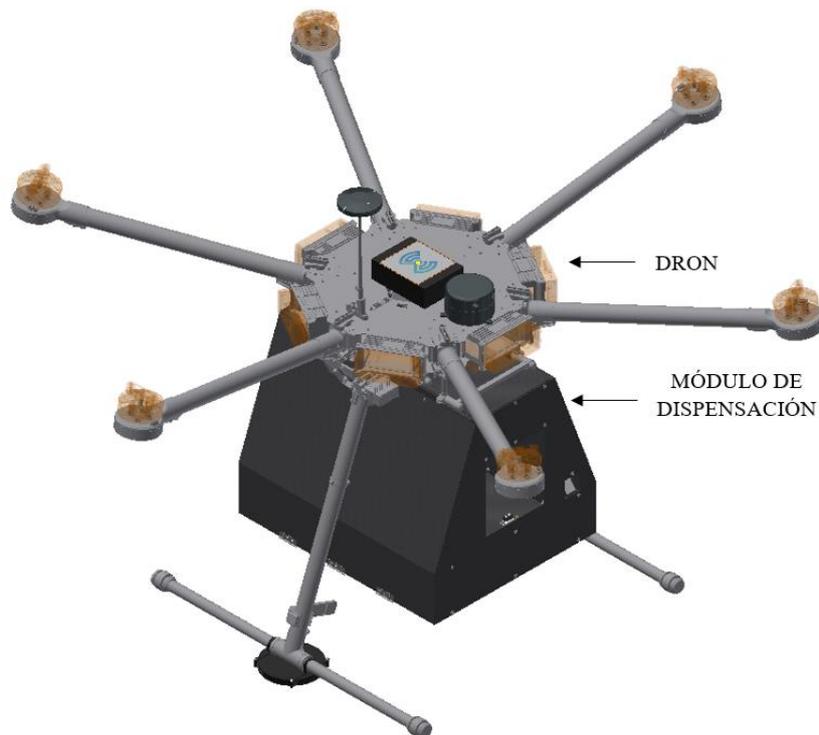


Figura 2. 1 Vista Isométrica del Sistema Móvil de Dispensación  
Fuente: Elaboración Propia

Tanto el dron como el módulo de dispensación se dividen en subsistemas, los cuales son mencionados a continuación.

El módulo de dispensación se divide en 7 subsistemas:

- 1) Subsistema de Control: Encargado del procesamiento de información con el fin de permitir el correcto funcionamiento de los demás componentes del módulo de dispensación. Conformado por un controlador.
- 2) Subsistema de Interacción con el usuario: Encargado de la toma de datos de la identidad del usuario. Conformado por un lector de huella digital
- 3) Subsistema de Medición: Encargado de realizar las mediciones necesarias para permitir un control apropiado de los componentes. Compuesto por switches magnéticos, switches mecánicos, un sensor de tensión eléctrica, sensores infrarrojos y un acelerómetro.
- 4) Subsistema de Comunicación: Encargado de establecer la comunicación con el sistema central de gestión de datos. Compuesto por un módulo de red móvil GSM/GPRS con GPS incluido.
- 5) Subsistema de Energía: Encargado de energizar todos los componentes del módulo de dispensación. Está compuesto por una batería LiPo y una serie de reguladores de voltaje.
- 6) Subsistema de Actuación: Encargado de realizar el accionamiento de la parte física del sistema, encargado de la dispensación de dinero en efectivo y del protocolo de emergencia. Está compuesto por motores de paso y una bomba de líquido con sus respectivos drivers de control.
- 7) Subsistema de Materia: Encargado de la interacción con la materia que ingresa y sale del sistema. En este caso se asocia al flujo de billetes durante la transacción y al flujo de tinta, como parte del protocolo de emergencia. Está compuesto por las maletas de almacenamiento de dinero en efectivo, el depósito contenedor de tinta, el eje de alimentación, el sistema de fajas y la tapa deslizable de acceso al monto dispensado.

El dron se divide en 6 subsistemas:

- 1) Subsistema de Control: Encargado del control de vuelo del dron. Está compuesto por un controlador de vuelo.
- 2) Subsistema de Medición: Encargado de medir la posición del dron en el espacio y respecto a su entorno. Conformado por un sistema de posicionamiento GNSS y un sensor LiDAR
- 3) Subsistema de Comunicación: Encargado de establecer la comunicación con el sistema central de gestión de datos. Compuesto por un módulo de red móvil GSM/GPRS con GPS incluido.
- 4) Subsistema de Energía: Encargado de energizar todos los componentes del dron que lo requieran. Compuesto por un conjunto de baterías LiPo y un cargador incorporado.
- 5) Subsistema de Actuación: Encargado de ejecutar el accionamiento del sistema. Está compuesto por los rotores propios del dron y sus ESC respectivos.
- 6) Subsistema de Materia: Encargado de la interacción con la materia del ambiente durante el vuelo del dron. Está compuesto por las hélices propias del dron.

## 2.2. Diagrama de Operaciones

El siguiente diagrama presentado en la Figura 2. 2 muestra los pasos que el operario debe de realizar con la finalidad de habilitar el sistema para poder comenzar con el ciclo de dispensación. Las condiciones necesarias para el correcto funcionamiento del sistema son las siguientes:

- El sistema debe de estar conectado al Sistema Central de Gestión de Datos, el cual está anexado a la red del banco (Datos Corporativos Ingresados)
- El sistema debe estar colocado en un área despejada y segura en la sucursal del banco con las facilidades para realizar el despegue
- Todos los sensores deben de funcionar de manera correcta
- Todos los actuadores deben de funcionar de manera correcta
- El nivel de carga debe de ser mayor o igual al 90% para proceder con el vuelo de dispensación

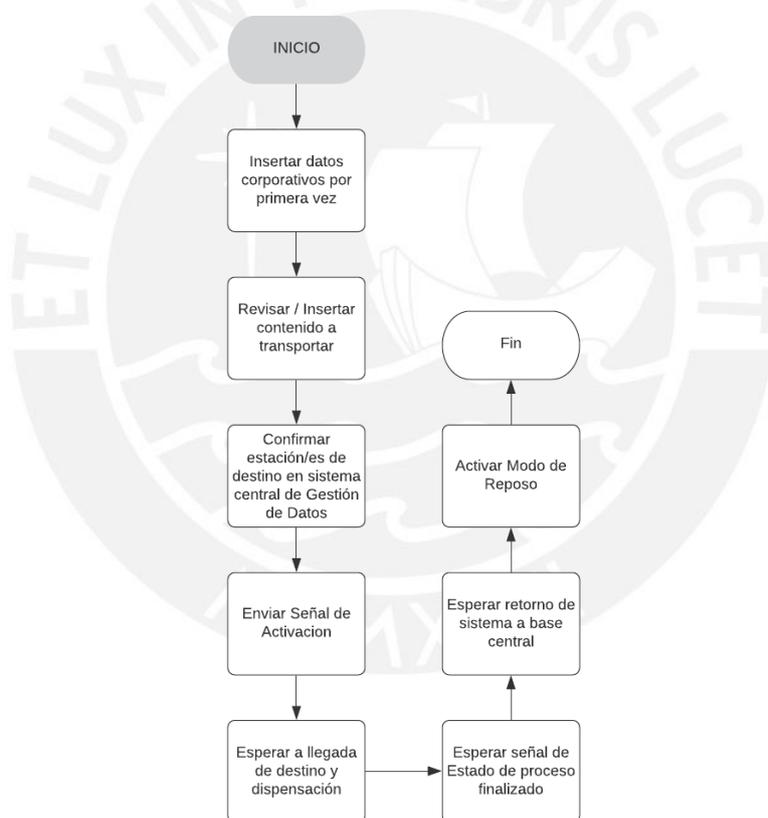


Figura 2. 2 Diagrama de Operaciones  
Fuente: Elaboración Propia

El operario inicialmente, al adquirir un nuevo sistema móvil de dispensación, deberá sincronizar la identidad del sistema con el sistema de gestión de datos. Esta operación se representa como la inserción de datos corporativos. Luego, debe revisar o insertar el contenido a transportar; es decir, colocar billetes dentro de las maletas de almacenamiento. Como siguiente paso debe de verificar que existan estaciones de destino sincronizadas al sistema. Una vez presentadas todas estas condiciones, se debe de enviar la señal de activación al sistema

móvil de dispensación para poder activarlo, en caso de haber estado en modo de reposo. Luego el sistema funcionará de manera autónoma durante todo el proceso de dispensación. Una vez acabado el horario de trabajo del sistema y que los sistemas móviles de dispensación se encuentren en la base central, el operario activará el modo de reposo de manera general para toda la flota de ellos.

En caso que durante el proceso se detecte una emergencia, el sistema será capaz de reaccionar de manera autónoma; sin embargo, en caso de ocurrida dicha situación, el operador del sistema deberá de realizar los siguientes pasos mostrados en la Figura 2. 3 Estos se resumen en ubicar la posición del sistema y verificar que presente la capacidad para volar de regreso; en caso contrario, recogerlo en el lugar indicado. Finalmente, realizarle la reparación y cambios de repuestos respectivos.

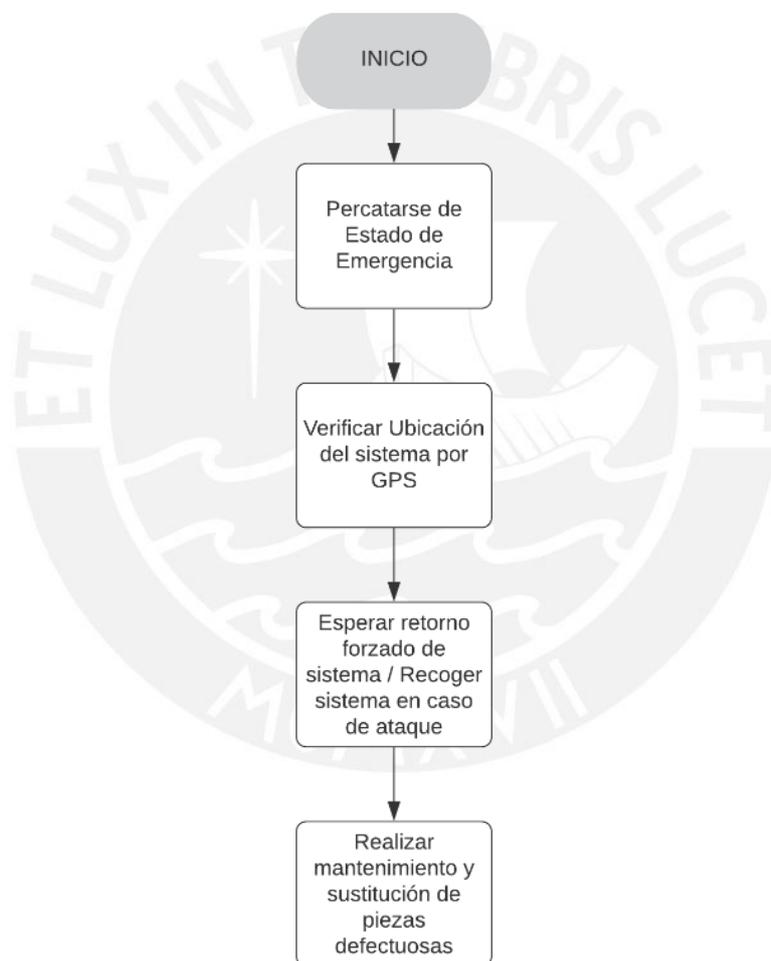


Figura 2. 3 Diagrama de Operaciones en caso de Estado de Emergencia  
Fuente: Elaboración Propia

### 2.3. Diseño del Sistema Móvil de Dispensación

A continuación, se realiza descripción del diseño de todos los subsistemas que conforman al sistema móvil de dispensación.

#### 2.3.1. Diseño del Módulo de Dispensación

El diseño del Módulo de Dispensación se presenta en la Figura 2. 4; **Error! No se encuentra el origen de la referencia..** En ella se muestra una vista isométrica del módulo tanto de manera externa, como de manera interna.



*Figura 2. 4 Vista Isométrica del Módulo de Dispensación  
Fuente: Elaboración Propia*

El funcionamiento del sistema se puede apreciar en la Figura 2. 5, en la cual se indica el recorrido que realizan los billetes almacenados en las maletas. Estos son recogidos uno a uno por el eje de alimentación. Posteriormente, son presentados al sistema de transporte y son llevados hacia una ranura en U que desemboca en el compartimiento de recogida del monto solicitado.

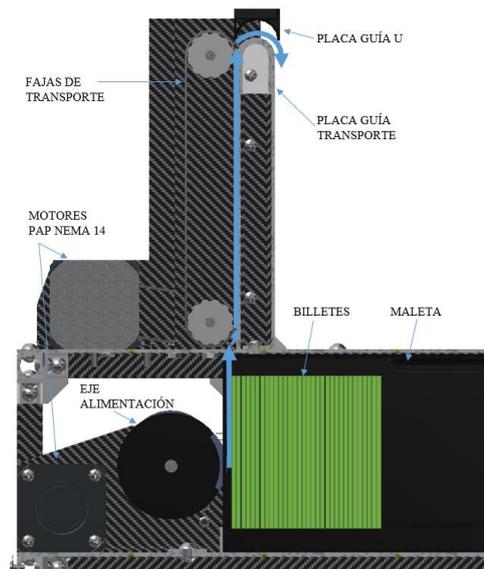


Figura 2. 5 Funcionamiento del sistema de dispensación  
Fuente: Elaboración Propia

En el diseño cabe resaltar que el peso del módulo es de 6.6 kg como resultado final. Este es un inconveniente para el desarrollo del sistema, dado que dentro de los requerimientos se considera un peso máximo de 6 kg. Sin embargo, como una consideración del diseño, al retirar uno de los dos sistemas de alimentación, de transporte y una maleta respectivamente, se logra una reducción de peso a 5.4 kg. De este modo es posible asegurar cumplir dicho requerimiento. En la Figura 2. 6 se muestran las propiedades físicas generales del sistema. En la tabla izquierda se muestra el peso total del sistema completo. En la tabla derecha se muestra el peso del sistema sin considerar los componentes anteriormente mencionados.

General Properties		General Properties	
<input type="checkbox"/> Include Cosmetic Welds	<input type="checkbox"/> Include QTY Overrides	<input type="checkbox"/> Include Cosmetic Welds	<input type="checkbox"/> Include QTY Overrides
Mass	Center of Gravity*	Mass	Center of Gravity*
6.612 kg (Relative I)	X -43.359 mm (Relative I)	5.409 kg (Relative I)	X -29.656 mm (Relative I)
Area	Y	Area	Y
4016524.812 mm <sup>2</sup>	-48.300 mm (Relative I)	3449232.080 mm <sup>2</sup>	-36.711 mm (Relative I)
Volume	Z	Volume	Z
3548901.236 mm <sup>3</sup>	2.102 mm (Relative I)	2995220.932 mm <sup>3</sup>	23.634 mm (Relative I)

Figura 2. 6 Propiedades físicas del Sistema Móvil de Dispensación  
Fuente: Elaboración Propia

Considerando dicha reducción, en base al peso disponible de 0.591 kg, peso restante para llegar a sumar los 6 kg de peso máximo; y en base a la capacidad de almacenamiento de la maleta que es de aproximadamente 1112 billetes de grosor de 0.15 mm, el sistema será capaz de transportar como límite 591 billetes, considerando un peso promedio de 1 g por billete.

### 2.3.1.1. Selección de Materiales y Procesos de Fabricación

En la selección de materiales se toma en cuenta como principal característica una relación de baja densidad con alta resistencia a esfuerzos y también al medio ambiente, dado que el sistema estará expuesto a la intemperie.

#### 2.3.1.1.1. Barras Estructurales

Para la construcción de la jaula del módulo de dispensación que albergue a todos los componentes es necesario un material resistente. En base a ese criterio se seleccionan estructuras basadas en fibra de carbono, material bastante ligero y con alta resistencia. La jaula será construida completamente por este tipo de perfiles.

Tabla 2. 1 Tabla de especificaciones de Perfil Estructural de Fibra de Carbono

Material	Tubo cuadrado exterior 10x10mm, interior redondo 8mm
Imagen	
Material	Fibra de Carbono
Longitud	1000 mm (Tolerancia $\pm 10$ mm)
Diámetro Exterior	10x10mm (Tolerancia $\pm 0,2$ mm)
Diámetro Interior	8mm (Tolerancia $\pm 0,2$ mm)
Peso	79g (Tolerancia $\pm 5$ g)
Resistencia al calor	Estabilidad térmica 180°
Orientación de las Fibras	Unidireccional
Precio (€)	24.78

Fuente: (ClipCarbono, 2020b), Elaboración Propia

### 2.3.1.1.2. Planchas Base

Para el soporte de los componentes dentro del módulo de dispensación es necesario el uso de planchas que soporten los pesos respectivos. La selección de estas planchas es del mismo material que la de los perfiles anteriormente mencionados.

Tabla 2. 2 Tabla de especificaciones de Plancha de Fibra de Carbono

Material	Plancha de Fibra de carbono dos caras MATE
Imagen	
Dimensiones	400 x 250 x 1.5 mm
Característica	Dos caras
Acabado	Mate
Peso	240g (Tolerancia $\pm 10$ g)
Resistencia al calor	Estabilidad térmica 180°
Orientación de las Fibras	0°/90° (Bidireccional)
Precio (€)	49.49

Fuente: (ClipCarbono, 2020a) Elaboración Propia

### 2.3.1.2. Subsistema de Control

En el subsistema de control se consideran los dispositivos cuya función es controlar la correcta operación del resto de componentes internos del módulo de dispensación. En la Figura 2. 7 se muestra la ubicación del subsistema dentro del diseño. Este se encuentra en el nivel superior, nivel donde se concentra la mayor cantidad de componentes electrónicos.

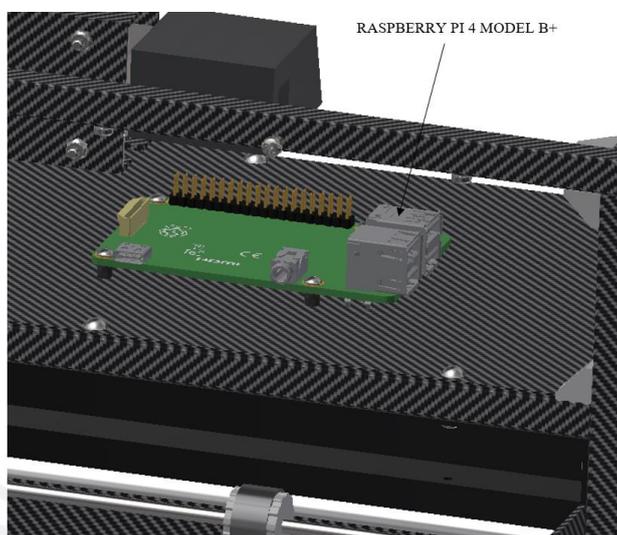


Figura 2. 7 Visualización del Subsistema de Control  
Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se presenta la tabla de selección respectiva por cada función del subsistema.

Función: Control Módulo de Dispensación

La implementación de una tarjeta basada en un microprocesador será esencial para poder controlar todas las funciones del sistema. Cabe resaltar que se escogieron sistemas basados en microprocesadores por encima de microcontroladores ya que estos tienen una mayor capacidad de procesamiento.

Tabla 2. 3 Tabla comparativa de placas basadas en Microprocesadores

Modelo	Raspberry Pi 3 Model B+	Raspberry Pi 4 Model B 4gb RAM	Samsung ARTIK SIP - KITNXE001
Imagen Referencial			
Fabricante	Raspberry Pi	Raspberry Pi	Samsung ARTIK
Tamaño	85 x 56 x 17 mm	85 x 56 x 17 mm	49 x 36 x 3.45 mm
Memoria	1GB LPDDR2 SDRAM	4GB LPDDR4-3200 SDRAM	1 GB RAM
Voltaje de Operación (V)	5	5	0-6
Corriente de Consumo (mA)	2500	3000	0-20
Frecuencia de Procesamiento (Hz)	1.4 G	2.4 G	1.4 G
Pines Digitales	40 pines GPIO 5 pines SPI 2 pines I2C 2 pines UART	40 pines GPIO 5 pines SPI 4 pines I2C 2 pines UART	8 pines SPI 8 pines I2C 6 pines UART 44 pines GPIO
Pines Analógicos	-	-	6 pines ADC
Temperatura de Operación	0 – 50 °C	0 – 50 °C	0 – 70 °C
Precio (s/.)	169.00	299.00	670.00 (+370.00 de envío)

Fuente: (Arrow, 2020; Raspberry Pi, 2020b, 2020a), Elaboración Propia

La opción escogida es el Raspberry Pi 4 Model B 4gb RAM ya que presenta una relación beneficio/costo mayor ya que posee mayor capacidad de procesamiento y mayor memoria RAM, ambas características importantes para poder realizar varios procesos en simultáneo.

### 2.3.1.3. Subsistema de Interacción con el usuario

En el subsistema de interacción con el usuario se consideran los dispositivos cuya función es permitir recopilar la identificación del usuario para su posterior validación. En la Figura 2. 8 se muestra la ubicación del subsistema dentro del diseño. Su posición es en la sección derecha delantera del nivel medio.

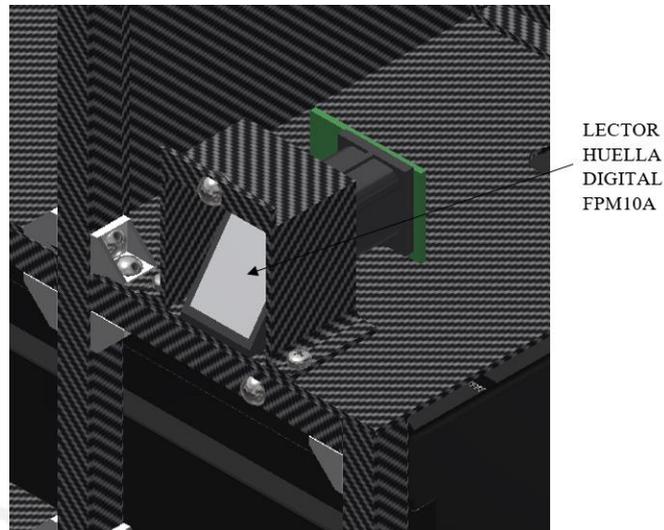


Figura 2. 8 Visualización del Subsistema de Interacción con el usuario  
Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se presenta la tabla de selección respectiva por cada función del subsistema.

Función: Leer Dato Personal Ingresado

El método de identificación de usuario es realizado por medio de una lectura de huella dactilar para poder permitir la transacción.

Tabla 2. 4 Tabla comparativa de Lectores de Huella digital

Modelo	Lector de Huella Digital 1000H SEN-FPRINT-1000	Lector de huella digital FPM10A SEN-FPRINT-FPM10A	Lector de Huella Digital SEN-14518
Imagen Referencial			
Fabricante	Adafruit	Adafruit	Sparkfun
Tamaño	56x20x21.5mm	47x20x26mm	36.1x16.9x9.39 mm
Voltaje de Operación (mA)	3.6-6V DC	3.6 - 6 VDC	3.3 – 6 VDC
Corriente de consumo (mA)	<120mA	<120mA	<130 mA
Tiempo de muestreo	1 s	1 s	1.5 s
Precisión	Taza de falso positivo (FAR): <0.001% (Nivel de Seguridad:3) Taza de rechazo erróneo (FRR): <1.0% (Nivel de seguridad:3)	Taza de falso positivo (FAR): <0.001% (Nivel de Seguridad:3) Taza de rechazo erróneo (FRR): <1.0% (Nivel de seguridad: 3)	Taza de falso positivo (FAR): <0.001% (Nivel de Seguridad:3) Taza de rechazo erróneo (FRR): <0.1% (Nivel de seguridad:3)
Interfaz	UART, TTL	UART, TTL	UART
Baudrate	9600, 19200, 28800, 38400, 57600 (por defecto)	9600, 19200, 28800, 38400, 57600 (por defecto)	9600 (por defecto)
Capacidad de Almacenamiento	1000 Huellas	300 Huellas	3000 Huellas
Peso	20g	15g	5.2g
Temperatura de Operación (°C)	-20 - 50	-20 - 50	-20 - 50
Precio (s/.)	170.00	150.00	157.24* (sin incluir envío)

Fuente: (Naylamp Mechatronics, 2020f, 2020g; TME Electronics, 2020), Elaboración Propia

\*1 dólar = 3.53 soles

El lector de huella digital ha sido seleccionado por presentar dimensiones y peso bajos a razón de un precio intermedio. Por otro lado, a diferencia de la opción más costosa, la presente tiene un tiempo de muestreo menor.

#### 2.3.1.4. Subsistema de Medición

En el subsistema de medición se consideran los dispositivos cuya función es permitir realizar mediciones de parámetros necesarios para ejecutar las demás funciones. A continuación, se presenta la tabla de selección respectiva por cada función del subsistema.

Función: Medir Cantidad de Billetes

La detección de un nivel bajo de billetes en los compartimientos de almacenamiento le permite al sistema móvil de dispensación poder enviar una alerta para realizar la recarga debida. Para lograr dicho propósito, se hace uso de sensores magnéticos que activan un circuito en el momento que la placa de empuje llega a un nivel mínimo de billetes restantes. En la siguiente tabla se muestran las opciones a elegir.

Tabla 2. 5 Tabla comparativa de Reed Switch magnéticos

Modelo	Reed Switch MKA-07101	Reed Switch MKA-14103	Reed Switch SM-20MM
Imagen Referencial			
Dimensiones	7 mm (encapsulado)	14.2 mm (encapsulado)	20 mm (encapsulado)
Corriente máxima de conducción (A)	0.3	1	0.5
Voltaje máximo de operación (V)	24	200	180
Resistencia de contacto ( $\Omega$ )	0.2	0.1	0.15
Tipo de Contacto	Normalmente Abierto	Normalmente Abierto	Normalmente Abierto
Ciclos de Vida	1 – 50 x 10 <sup>6</sup>	0.1 – 100 x 10 <sup>6</sup>	0.01 – 100 x 10 <sup>6</sup>
Tipo de carga, tipo de corriente	Resistivo, DC, AC	Resistivo, DC, AC	Resistivo, DC, AC
Precio (s/.)	2.50	2.00	2.40

Fuente: (HiFi Electronics, 2020a, 2020b, 2020c)Elaboración Propia

El reed switch escogido ha sido seleccionado por su tamaño compacto y porque soporta los niveles de voltaje y corriente a los cuales estará expuesto. Para poder realizar la implementación del circuito, basta con utilizar la fuente de 3.3 V brindada por el Raspberry Pi 4 Model B, un puerto a tierra GND y una resistencia de 4.7 k $\Omega$ .

En la Figura 2. 9 se muestra la posición del Reed switch MKA-07101 en el sistema. Está ubicado a un extremo de la maleta de almacenamiento de billetes. También se observa la forma de interacción con el imán de neodimio, el cual activa el circuito.

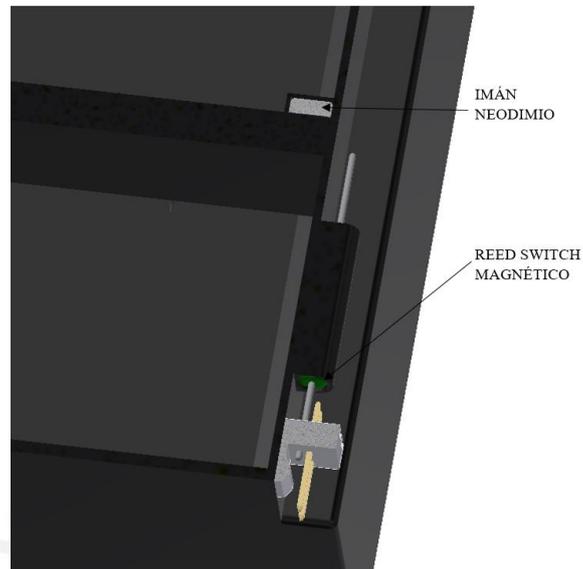


Figura 2. 9 Visualización del Reed Switch del Subsistema de Medición  
Fuente: Elaboración Propia

Función: Verificar depósito de almacenamiento insertado

Con la finalidad de verificar si el depósito de almacenamiento o maleta se encuentra insertada, al momento de colocarla en su compartimiento, por la posición en la que se encuentra, presionará el presente switch y activará la señal respectiva.

Tabla 2. 6 Tabla comparativa de Switch Snap Action

Modelo	Switch Snap Action DG13-B1LA	Switch Snap Action DB1C-A1LB	Switch Snap Action D2F-L-A1
Imagen Referencial			
Fabricante	ZF electronics	ZF electronics	Omron electronics
Dimensiones	12.8 x 6.48 x 5.79 mm	20 x 9 x 6.5 mm	12.8 x 6.5 x 5.8 mm
Corriente nominal (A)	2 (CC)	1 (CC)	2 (CC)
Voltaje máximo de operación (V)	30 (CC)	48 (CC)	30 (CC)
Fuerza de Operación (gf)	45	60	80
Durabilidad Mecánica (ciclos)	106	15 x 106	106
Precio (s/.)	8.47	8.86	10.46

Fuente: (DigiKey Electronics, 2020c, 2020b, 2020a)Elaboración Propia

\*1 dólar = 3.54 soles

La opción escogida ha sido seleccionada por su menor precio y menores dimensiones; pese a ello, presenta una considerable duración de ciclos de trabajo. Para la implementación del circuito, se realizará del mismo modo de operación que con el reed switch. Es decir, por medio de una conexión a 3.3V, un puerto GND y una resistencia de 4.7 kΩ.

En la Figura 2. 10 se muestra la ubicación del switch snap action en el sistema. Está ubicado al final de la carrera de la maleta de almacenamiento de billetes.

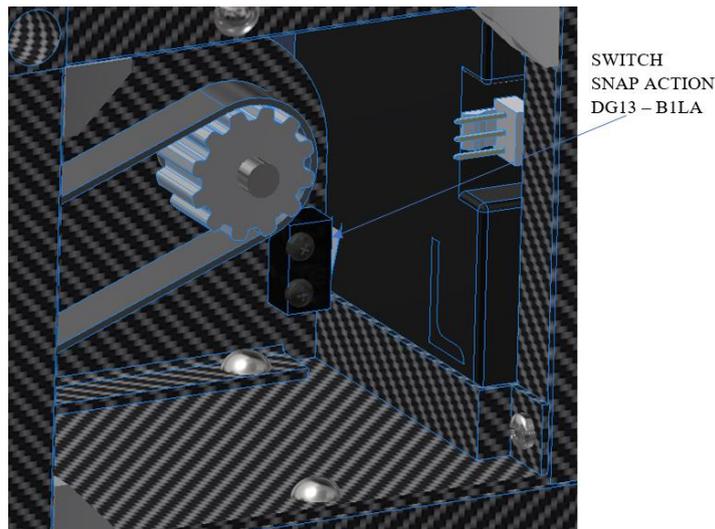


Figura 2. 10 Visualización del Switch Snap Action del Subsistema de Medición  
Fuente: Elaboración Propia

Como función adicional, el mismo modelo de switch es utilizado para medir la posición inicial del eje de alimentación por medio del uso de una leva. En la Figura 2. 11 se aprecia el sistema indicado.

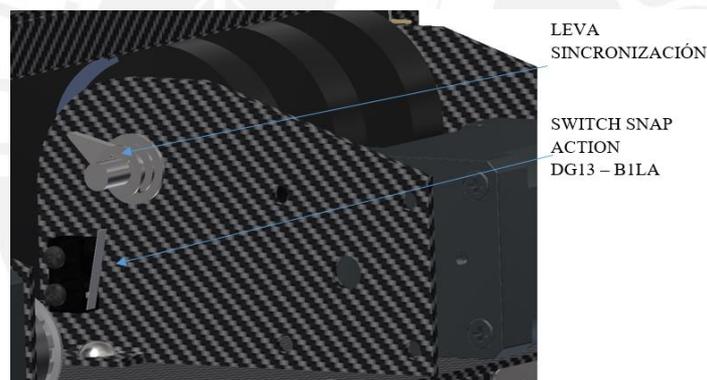


Figura 2. 11 Visualización de leva y de Switch Snap Action del Subsistema de Medición  
Fuente: Elaboración Propia

#### Función: Verificar Estado de Batería

El estado de la batería en el módulo de dispensación es verificado por medio de la relación que existe entre la descarga de la batería con el nivel de voltaje que ofrece a lo largo de su funcionamiento. Para el caso de baterías de 22.2 VDC LiPo 6s, considerando que el voltaje nominal por celda es de 3.7 V, estas no pueden tener un voltaje menor a 3 V ni mayor a 4.2 V ya que causarían posibles daños irreparables hacia la batería, e incluso esta podría explotar. Es por ello que es recomendable mantener los voltajes en parámetros recomendados. Estos son valores comprendidos entre 3.5- 4 V. Dado que las baterías a utilizar son de 6 celdas, el rango recomendado se multiplica por 6, resultando un rango recomendado de 21-24 VDC. En base al presente concepto, para poder verificar el estado de la batería es necesario medir ese voltaje y convertir dicha señal analógica en una señal digital para que pueda ser correctamente procesada.

Tabla 2. 7 Tabla de especificaciones de Sensor de Tensión FZ0430

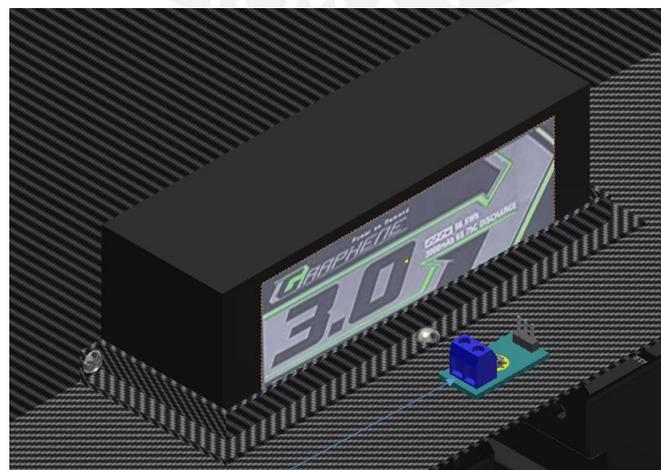
Modelo	Sensor de Tensión FZ0430
Imagen Referencial	
Voltaje de Entrada (V)	0-25 VDC
Voltaje de Alimentación (V)	3.3 – 5 VDC
Voltaje de detección de entrada máximo (V)	25V (5V x 5 = 25V) o 16,5V (3,3V x 5 = 16,5V)
Rango de detección de voltaje	24,41mV – 25V
Resolución analógica de tensión	0,00489 VDC
Voltaje de detección de entrada mínimo	24,45mV (4,89mV x 5 = 24,45mV)
Tipo de Funcionamiento	Divisor de Voltaje de resistencias 30kΩ y 7.5kΩ (factor de división 5 (7.5/(30+7.5) )
Precio (s/.)	7.30*

Fuente: (Llamas, 2016), Elaboración Propia

\*1 euro= 4.17 soles

El componente ha sido escogido porque es un sensor que permite realizar las lecturas apropiadas para el sistema, considerando que se quiere controlar un voltaje de 22.2 VDC, el cual se encuentra en el rango de operación del presente módulo.

En la Figura 2. 12 se muestra la ubicación del sensor de tensión FZ0430 dentro del sistema. Se encuentra en el nivel medio, cerca de la batería LiPo.



SENSOR DE TENSIÓN FZ0430

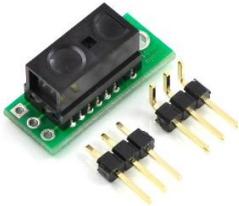
Figura 2. 12 Visualización del Sensor de Tensión FZ0430 del Subsistema de Medición

Fuente: Elaboración Propia

**Función:** Validar Recojo de Billetes

Con el fin de validar el recojo de billetes, es necesario poder verificar en todo momento que este haya sido correctamente transportado hacia el compartimiento de recojo y que se haya reconocido que el usuario haya recogido dicho monto. Es por ello que se están utilizando sensores infrarrojos, capaces de detectar dicho movimiento.

*Tabla 2. 8 Tabla comparativa de sensores de distancia*

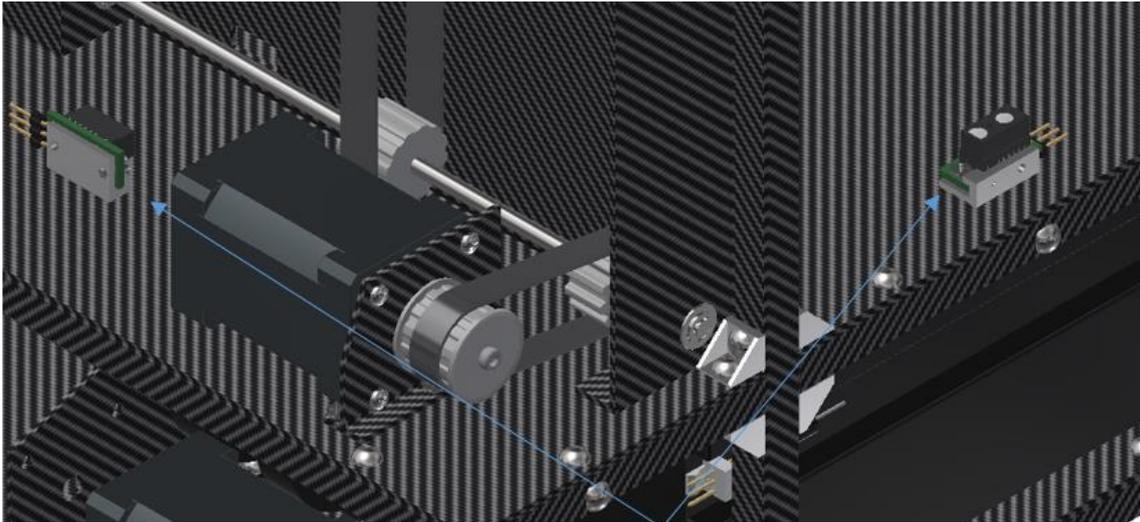
Modelo	SHARP GP2Y0A21	SHARP GP2Y0D810Z0F	SHARP GP2Y0A51SK0F
Imagen Referencial			
Fabricante	SHARP	SHARP	SHARP
Rango de medición	10 – 80 cm	2 – 10 cm	2 – 15 cm
Dimensiones	29.5 x 13 x 13.5 mm	21.6 x 8.9 x 7.95 mm	12 x 10.8 x 27 mm
Tipo de salida	Analógico	Digital	Analógico
Voltaje de operación (V)	4.5 – 5.5	2.7 – 6.2	-0.3 – 7
Corriente de consumo (mA)	30	5	12
Principio de funcionamiento	Fotoeléctrico reflexivo	Fotoeléctrico reflexivo	Fotoeléctrico reflexivo
Precio (s/.)	30.00*	35.19* (sin incluir envío)	29.78* (sin incluir envío)

*Fuente: (Mouser Electronics, 2020a, 2020b; Pololu Electronics, 2020), Elaboración Propia*

\*1 dólar = 3.54 soles

El sensor escogido sobresalió por su bajo consumo de corriente, el cual a largo plazo va a permitir una mayor duración de la batería del módulo de dispensación. Por otro lado, su rango de medición va a favorecer la implementación dentro del módulo, el cual va a ser compacto.

En la Figura 2. 13 se muestra la ubicación de los sensores infrarrojos, los cuales se posicionan a la entrada del sistema de transporte y en la entrada del compartimiento de recojo del monto seleccionado.



**SENSOR INFRARROJO SHARP**

*Figura 2. 13 Visualización del Sensor Infrarrojo Sharp GP2Y0D810Z0F del Subsistema de Medición  
Fuente: Elaboración Propia*

**Función: Detectar Perturbaciones de Vandalismo**

El módulo de dispensación presenta la capacidad de ser sensible frente a ataques vandálicos durante el vuelo debido a la implementación de sensores capaces de detectar caídas. En la Tabla 2.9 se aprecia la selección respectiva.

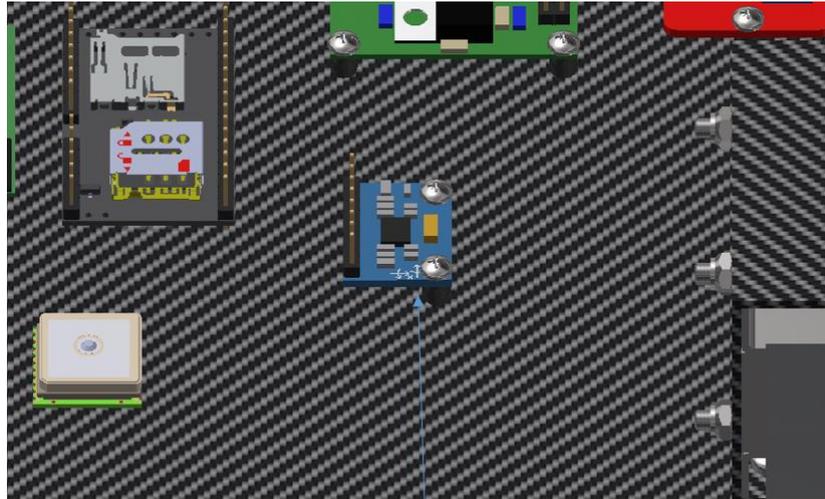
Tabla 2. 9 Tabla comparativa de sensores de caída

Modelo	ADXL 345	MPU6050	MPU9250
Imagen Referencial			
Fabricante	Analog Devices	Makerlab	Makerlab
Tamaño	19x14 mm	20x16x3 mm	20x16x3 mm
Voltaje de Operación (V)	3-5	3-5	3-5
Corriente de Consumo (mA)	23 uA (medición) 0.1 uA (standby)	3.9 mA máx	3.7 mA (9 ejes, giroscopio 1kHz, acelerómetro 4 kHz, 8 Hz magnetómetro)  450 uA (acelerómetro 4 kHz)
Resolución (g, grad/sec)	+/- 2g, 4g, 8g, 16g	+/- 2g, 4g, 8g, 16g (acelerómetro) 250, 500, 1000, 2000 grad/sec (giroscopio)	+/- 2g, 4g, 8g, 16g (acelerómetro) 250, 500, 1000, 2000 grad/sec (giroscopio)  +/- 4800 uT (magnetómetro)
Protocolo de Comunicación	SPI/I2C	I2C	SPI/I2C
Grados de Libertad	3	6	9
Precio (s/.)	12.00	18.00	40.00

Fuente: (Naylamp Mechatronics, 2020j, 2020k, 2020l), Elaboración Propia

El módulo resultante fue seleccionado ya que posee las características necesarias para detectar caídas a razón de una corriente de consumo prácticamente despreciable y de un bajo costo.

En la Figura 2. 14 se muestra la posición del acelerómetro, ubicado en el nivel superior del módulo de dispensación.



ACELERÓMETRO ADXL345

Figura 2. 14 Visualización del Acelerómetro ADXL345 del Subsistema de Medición  
Fuente: Elaboración Propia

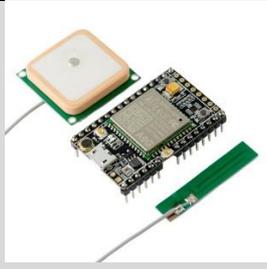
### 2.3.1.5. Subsistema de Comunicación

En el subsistema de comunicación se consideran los componentes que facilitarán la comunicación entre el sistema móvil de dispensación y el sistema central de gestión de datos. A continuación, se presenta la tabla de selección respectiva por cada función del subsistema.

Función: Enviar/Recibir Información (Medir Posición del Sistema)

La comunicación del módulo de dispensación con la central de gestión de datos es permitida por medio del uso de un módulo de datos móviles.

Tabla 2. 10 Tabla comparativa de Módulos GSM/GPRS

Modelo	Shield SIM900 GSM/GPRS	Módulo A9G GSM/GPRS/GPS	Módulo A7 GSM/GPRS/GPS
Imagen referencial			
Fabricante	SIMCOM	AI-Thinker	AI-Thinker
Tamaño	110 x 58 x 19 mm	41 x 22 x 5 mm	44 x 34 x 10 mm
Voltaje de entrada (V)	5 – 12	5 VDC (USB) 3.5 - 4.2 VDC, 4 VDC typ (VBAT)	5
Corriente de Consumo (mA)	1.5 mA (sleep mode)	<2 mA (stand-by mode)	<2 mA (stand-by mode)
Tecnología de red	2G	2G	2G
Bandas GSM/GPRS (MHz)	850, 900, 1800, 1900	850, 900, 1800, 1900	850, 900, 1800, 1900
Temperatura de Operación	-40°C – 85°C	-30°C – 80°C	-30°C – 80°C
Compatibilidad GPS	-	GPS/ BDS/ GLONASS/ GALILEO/ QZSS/ SBAS	GPS/ GLONASS/ GALILEO
Velocidad carga/descarga GPRS	Velocidad de Datos por GPRS (85.6 kbps descarga, 42.8 kbps subida)	Velocidad de Datos por GPRS (85.6 kbps descarga, 42.8 kbps subida)	Velocidad de Datos por GPRS (85.6 kbps descarga, 42.8 kbps subida)
Precio (s/.)	100.00	75.00	80.00

Fuente: (Naylamp Mechatronics, 2020m, 2020i, 2020h), *Elaboración Propia*

El componente resultante ha sido seleccionado por su menor precio y porque, además, viene con un sistema de GPS implementado. Por ello, la selección de un módulo GPS será omitida ya que el presente módulo ofrece dicha característica.

En la Figura 2. 15 se muestra la ubicación del módulo A9G, en conjunto con su antena GSM/GPRS y GPS. Se encuentran en el nivel superior del módulo de dispensación.

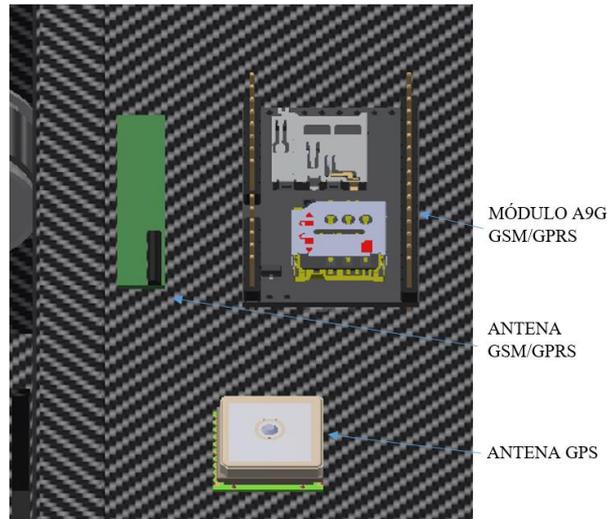


Figura 2. 15 Visualización del Módulo A9G GSM/GPRS y sus antenas del Subsistema de Comunicación  
Fuente: Elaboración Propia

### 2.3.1.6. Subsistema de Energía

En el subsistema de energía se consideran los componentes que permitirán energizar a todas las partes del módulo de dispensación. En Figura 2. 16 la se muestra la ubicación del subsistema en el módulo de dispensación. Los componentes están distribuidos tanto en el nivel superior como en el nivel medio.

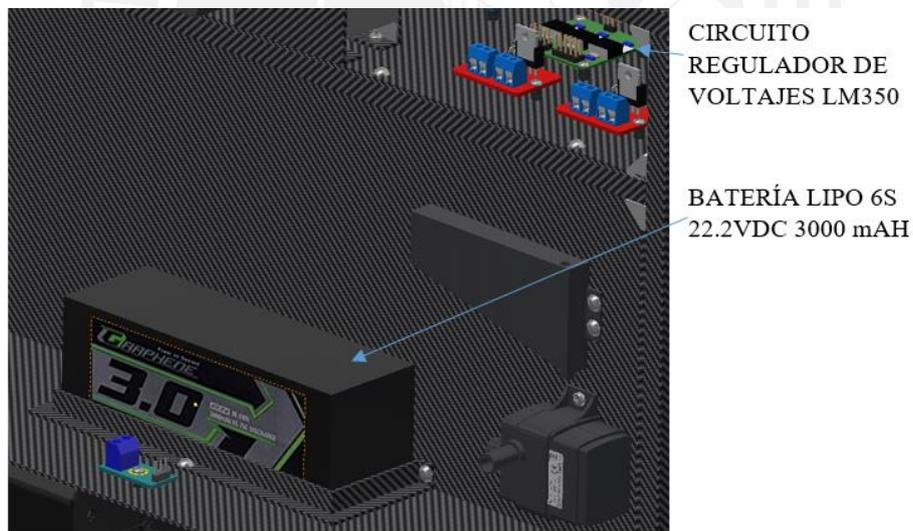


Figura 2. 16 Visualización del Subsistema de Energía  
Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se presenta la tabla de selección respectiva por cada función del subsistema.

Función: Almacenar Energía

Luego de una etapa de cálculos de consumo energético, se realiza la siguiente selección de batería encargada de abastecer al sistema.

Tabla 2. 11 Tabla de especificaciones de batería LiPo

Modelo	Turnigy Graphene Panther 3000 mAh 6S batería LiPo 22,2 V
Imagen Referencial	
Tipo de Batería	LiPo 6S, 20-30 C
Voltaje de salida (V)	22.2
Capacidad (mAh)	3000
Dimensiones	137x45x47mm
Peso (g)	598
Precio (s/.)	280.90

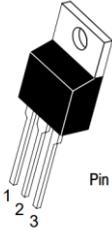
Fuente: (ebay, 2020), Elaboración Propia

Esta batería resultó seleccionada ya que cumple con los parámetros requeridos por el cálculo energético.

Función: Acondicionar energía para subsistemas

El voltaje de salida de la batería es regulado a los voltajes de operación respectivos de cada componente del módulo de dispensación para un correcto funcionamiento por medio del componente propuesto.

Tabla 2. 12 Tabla de especificaciones de Regulador de Voltaje LM350

Modelo	Circuito Basado en Regulador de Voltaje LM350
Imagen Referencial	 <p>TO-220 T SUFFIX PLASTIC PACKAGE CASE 221AB</p> <p>Pin 1. Adjust 2. V<sub>out</sub> 3. V<sub>in</sub></p>
Voltaje de Referencia (V)	$3.0\text{ V} \leq V_i - V_o \leq 35$ Voltaje de salida ajustable entre 1.2 – 33 V
Corriente de Salida (A)	$10\text{m} \leq I_o \leq 3.0$
Sistema de Protección	Protección Interna contra sobrecarga de temperatura

Fuente: (AllDataSheet, 2020), Elaboración Propia

Con la finalidad de lograr el objetivo, se considera el desarrollo de un circuito basado en el regulador de voltaje LM350. Para poder regularlo a un voltaje en específico, dentro del circuito basta con colocar una resistencia en particular para modular la salida al voltaje requerido.

### 2.3.1.7. Subsistema de Actuación

En el subsistema de actuación se consideran los componentes que permitirán ejecutar las funciones físicas de accionamiento. En la Figura 2. 17 se muestra la ubicación de los componentes que forman parte del subsistema de actuación. Los motores se ubican en el nivel medio del módulo de dispensación y los drivers se encuentran en el nivel superior. Por otro lado, la cerradura del sistema se encuentra en el nivel superior.

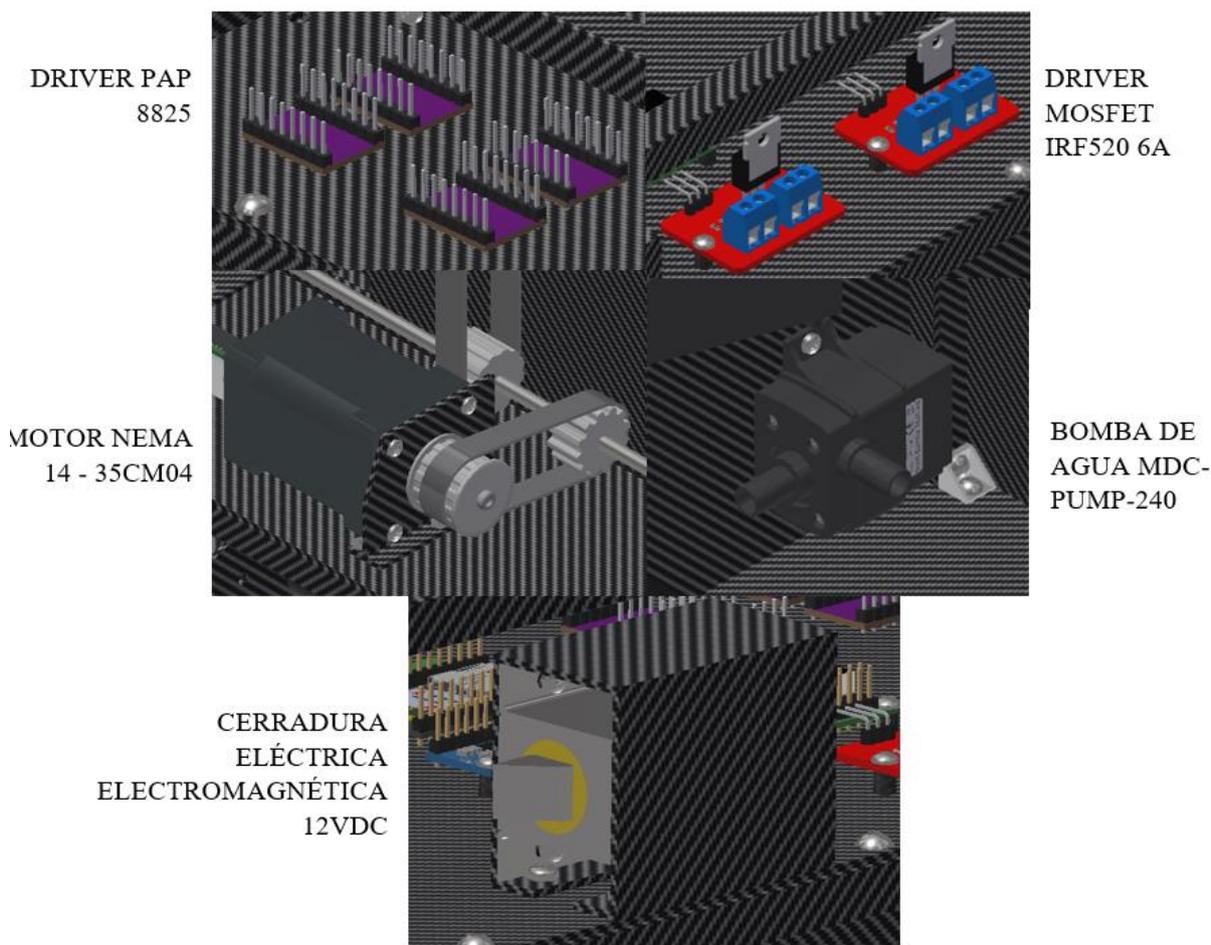


Figura 2. 17 Visualización del Subsistema de Actuación  
Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se presenta la tabla de selección respectiva por cada función del subsistema.

Función: Accionamiento de dispensación de dinero en efectivo

En base a una etapa de cálculos y selección de motores, se han escogido los motores de paso necesarios para poder accionar el eje de alimentación y el sistema de transporte basado en fajas.

Tabla 2. 13 Tabla comparativa de motores de paso

Modelo	Motor NEMA 14 35CM04 (Eje de Alimentación)
Imagen Referencial	
Fabricante	Leadshine Technology Co.
Dimensiones	35.2 x 35.2 x 47 mm
Número de Fases	2
Ángulo de Paso	1.8°
Torque de Sujeción máximo (Nm)	0.36
Voltaje de Operación (V)	4.6 V x Fase
Corriente de Alimentación (A)	2
Diámetro del Eje (mm)	5
Peso (kg)	0.27
Precio (s/.)	87.35*

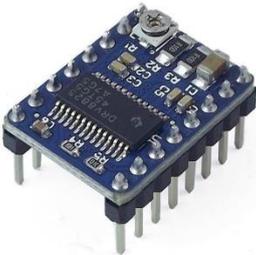
Fuente: (Leadshine Technology Co., 2020), Elaboración Propia

\* 1 euro = 4.18 soles

La selección del presente motor se ha basado en el torque que es capaz de transmitir, torque que es mayor a los que se necesitan en las condiciones de trabajo a los que van a ser expuestos, tanto para el eje de alimentación, como para el sistema de fajas.

Adicional a estos motores, para poder controlarlos es útil el uso de un controlador o driver de motores de pasos. La opción escogida es la siguiente.

Tabla 2. 14 Tabla de especificaciones de Driver de motor PaP

Modelo	Driver PaP DRV8825
Imagen Referencial	
Fabricante	Texas Instruments
Dimensiones	20.4x15.6 mm
Voltaje de Operación (logic) (V)	3-5.25
Voltaje de Operación (Vmot) (V)	12-24
Corriente máxima de Operación (A)	2.5
Resolución	full-step, half-step, 1/4-step, 1/8-step, 1/16-step, and 1/32-step
Precio (s/.)	20.00

Fuente: (Naylamp Mechatronics, 2020e), Elaboración Propia

Gracias a este driver es posible controlar los motores de paso utilizados en el ciclo de dispensación.

Función: Accionamiento de Protocolo de Emergencia

Una vez detectado un estado de emergencia, para poder ejecutar el protocolo de emergencia, el cual consiste en verter tinta líquida sobre el contenido a transportar (billetes), es necesario contar con un dispositivo que se encargue de ello.

Tabla 2. 15 Tabla comparativa de bombas de agua

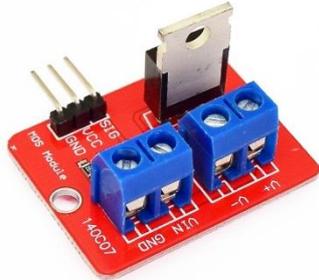
Modelo	Bomba de Agua 3 V 120 L/h	Bomba de Agua MDC-PUMP-240	Bomba de Agua MDC-PUMP-800
Imagen Referencial			
Dimensiones	24 x 45 x 30 mm	36 x 26 x 55 mm	80 x 80 x 65 mm
Voltaje de Operación (V)	2.5 – 6 VDC	12 VDC	5 – 12 VDC
Corriente máxima de operación (mA)	300	350	350
Potencia (W)	0.4 -1.5	4.8	19
Caudal (L/h)	120	240	800
Líquidos de trabajo	Agua	Agua, aceite, gasolina	Agua, aceite, gasolina
Temperatura máxima de trabajo (°C)	-	60	100
Tipo de conexión	0.95"	Racor ¼"	G ½"
Precio (s/.)	13.00	30.00	75.00

Fuente: (MTLAB SAC., 2020; Naylamp Mechatronics, 2020b, 2020a), Elaboración Propia

La bomba de agua seleccionada ha sido escogida porque permite trabajar con líquidos más densos como el aceite, por lo que también será capaz de trabajar con tinta.

El control de la bomba de agua por parte del microprocesador es permitido por medio de un driver basado en un MOSFET, el cual le brinda salidas digitales. La opción escogida es la siguiente.

Tabla 2. 16 Tabla de especificaciones de driver MOSFET IRF520

Modelo	Driver MOSFET IRF520 6A
Imagen Referencial	
Fabricante	International Rectifier
Dimensiones	33 x 24 x 15 mm
Voltaje de Operación (logic) (V)	3-5
Voltaje de Operación (Vmot) (V)	0-24
Corriente máxima de Operación (A)	9 (6 nom.)
Interfaz	PWM
Peso (g)	6
Precio (s/.)	6.00

Fuente: (Naylamp Mechatronics, 2020d), Elaboración Propia

El presente módulo controlador, por medio del uso de un MOSFET permite controlar dispositivos con un voltaje de operación de hasta 24V y una corriente nominal de 6A. Es por ello que su implementación es de utilidad para el control de la bomba de tinta.

Función: Accionamiento de Apertura de Módulo de Dispensación

La apertura y cierre del módulo es permitida por medio de un sistema de bloqueo el cual será accionado por medio de una señal recibida por el sistema.

Tabla 2. 17 Tabla de especificaciones de mini cerradura eléctrica electromagnética de 12 VDC

Modelo	Mini cerradura eléctrica electromagnética de 12 VDC
Imagen Referencial	
Dimensiones	56 x 26 x 23 mm
Voltaje de Operación (V)	12 VDC
Corriente máxima de Operación (A)	0.6
Peso (g)	142
Precio (s/.)	28.00

Fuente: (Alibaba, 2020; Naylamp Mechatronics, 2020c), *Elaboración Propia*

El control de la cerradura puede ser realizado utilizando otro driver MOSFET IRF520 6A, similar al utilizado para el control de la bomba de agua.

### 2.3.2. Configuración del Dron

Para el desarrollo del proyecto, dado que la mayor parte de los criterios de diseño se enfocan en el desarrollo del módulo de dispensación, se opta por el uso de un dron comercial para la facilidad de la operación. El modelo escogido es DJI Matrice 600 Pro. La selección de dicho dron se basó en la necesidad de portar una carga de aproximadamente 6kg bajo un dron de diseño esbelto y compacto en lo posible. A continuación, en la Figura 2. 18 se muestra una vista isométrica de la implementación del dron.



*Figura 2. 18 Vista Isométrica de la implementación del dron  
Fuente: Elaboración Propia, DJI*

En el siguiente inciso se indica el diseño de todos los subsistemas que forman parte del dron.

### 2.3.2.1. Subsistema de Control

En el subsistema de control se consideran los dispositivos encargados de controlar el vuelo del dron. En la Figura 2. 19 se muestra la posición del controlador dentro del dron.

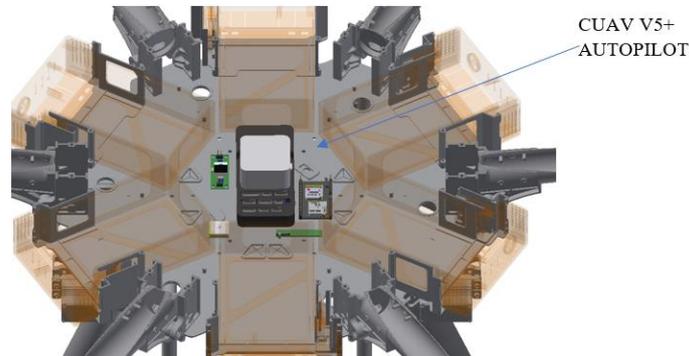


Figura 2. 19 Visualización del Subsistema de Control del dron  
Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se presenta la tabla de selección respectiva por cada función del subsistema.

Función: Control de Vuelo de Dron

Con la finalidad de poder controlar el sistema de vuelo del dron, se seleccionará un controlador apropiado

Tabla 2. 18 Tabla comparativa de controladores de vuelo

	DJI A3 pro flight Controller	CUAV V5 nano Autopilot	CUAV V5+ Autopilot
Imagen Referencial			
Fabricante	DJI	CUAV	CUAV
Tamaño	64 x 42 x 19.5 mm	60 x 40 x 14 mm	85.5 x 42 x 33 mm
Voltaje de Operación (V)	9	5	5
Corriente de Consumo (A)	3	-	1 (recomendado) 2.5 (máx.)
Frecuencia de Procesamiento (Hz)	-	216 M	216 M
Pines Digitales	2 puertos IMU 2 puertos CAN 4 puertos PWM I/O 4 puertos PWM output 1 puerto S-BUS	8 puertos PWM output 2 puertos CAN 3 puertos I2C 4 puertos SPI 1 DSM/ S-BUS	8 – 14 puertos PWM 2 puertos CAN 4 puertos I2C 4 puertos SPI 1 puerto S-BUS
Pines Analógicos	1 RF ESC para 8 rotores	8 puertos para ESC	-
Sensores incorporados	Built-in IMU, GPS Compass Pro	Acelerómetro/ Giroscopio: ICM-20689, ICM-20602 y BMI055 Magnetómetro: IST8310 Barómetro: MS5611	Acelerómetro/ Giroscopio: ICM-20689 y BMI055 Magnetómetro: IST8310 Barómetro: MS5611
Temperatura de Operación	-10°C – 45°C	-20°C – 85° C	-20°C – 80° C
Precio (s/.)	6768.62* (costo de envío incluido) (controlador viene incluido en el dron)	630.00* (incluyendo costos de envío)	1051.20* (incluyendo costos de envío)

Fuente: (Autopilot, 2020b, 2020a; DJI, 2020a), Elaboración Propia

\*1 dólar = 3.56 soles

A pesar de que el DJI Matrice 600 Pro viene con el controlador DJI A3 Pro Flight, es un controlador bastante cerrado que solo es compatible con dispositivos de la marca y presenta

muy pocas opciones para conectar componentes de terceros. Es por ello que se elige al controlador CUAV V5+ Autopilot ya que es un controlador de código abierto que facilitará la integración con los demás componentes.

Adicional a ello, el controlador presenta algunas funciones adicionales como la detección analógica de voltaje y corriente a la entrada de poder. Es por ello que también se encarga de realizar la función de verificar el estado de la batería. También presenta un acelerómetro que le brindará sensibilidad para poder detectar perturbaciones causadas por vandalismo.

### 2.3.2.2. Subsistema de Medición

En el subsistema de medición se consideran los dispositivos encargados de medir la posición del dron. En la Figura 2. 20 se muestra la posición del subsistema de medición en el dron.

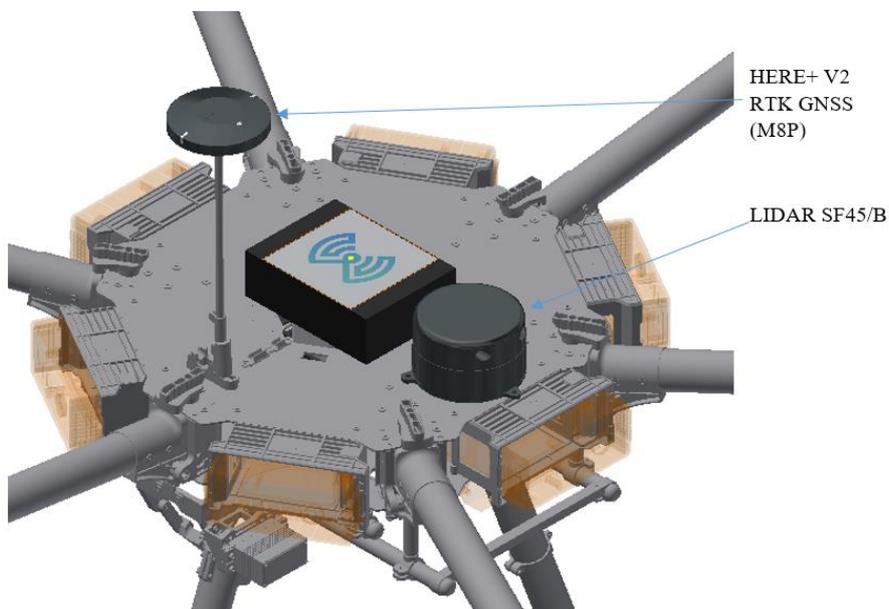


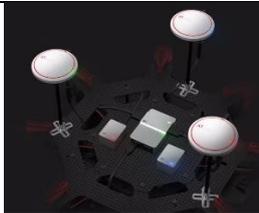
Figura 2. 20 Visualización del Subsistema de Medición del dron  
Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se presenta la tabla de selección respectiva por cada función del subsistema.

**Función: Medir Posición del Sistema**

Con la finalidad de brindarle al sistema la facilidad de reconocer la ubicación en el espacio, se realiza la selección de sistemas de posicionamiento en el espacio.

Tabla 2. 19 Tabla comparativa de Sistemas de Posicionamiento

Modelo	DJI D-RTK GNSS	Paquete A3 Pro DJI (3x GPS, 3x IMU)	Here+ V2 RTK GNSS (M8P)
Imagen Referencial			
Fabricante	DJI	DJI	NEX
Dimensiones	112.3 x 63 x 18.6 mm (procesador)	Controlador: 64mm x 42mm x 19.5mm PMU: 51mm x 34mm x 13.5mm IMU externo: 34mm x 26.5mm x 20mm GPS-Compass Pro: 61mm (diámetro) x 13mm	67ø x 17 mm
Precisión de posicionamiento	Horizontal: 1 cm + 1 ppm Vertical: 2 cm + 1 ppm	Horizontal: +/- 1.5 m Vertical: +/- 0.5 m	Horizontal: 0.025 m + 1 ppm
Frecuencia utilizada	Versión global: GPS L1&L2, GLONASS F1&F2 Versión Asia-Pacífico: GPS L1&L2, BEIDOU B1&B2	-	GPS L1C/A, GLONASS L1OF y BeiDou B11
Interfaz	CAN, UART, USB	API/CAN2	UART/ I2C
Sensores incorporados			IMU: ICM20948 Barómetro: MS5611
Voltaje de Operación	3S – 12S (12 – 52 V)	3S – 12S (12 – 52 V)	2.7-3.6 (3.0 typ)
Corriente de Consumo (A)	0.45 (@ 12V)	-	0.05
Potencia de Consumo (W)	5.2	16	-
Peso (g)	139.5	386 (A3 Pro)	50
Temperatura de Operación (°C)	0 - 45	-10 - 45	-40 - 85
Precio (s/.)	22 216.72*	7 123.27* (Incluido en M600 Pro)	2144.10**

Fuente: (AltiGator, 2020; DJI, 2020b, 2020a), Elaboración Propia

\*1 euro = 4.19 soles /\*\*1 dólar = 3.57 soles

El sistema resultante ha sido seleccionado ya que es un sistema de código abierto que va a posibilitar realizar una conexión con el controlador de vuelo seleccionado y, adicional a ello, presenta una precisión bastante similar al sistema GNSS de DJI.

Por otro lado, gracias al IMU que incorpora, será capaz de cumplir la función de detectar perturbaciones de vandalismo, al igual que el controlador.

**Función: Medir Obstáculos**

Dada la necesidad de poder detectar el entorno durante el vuelo para poder permitirle al dron la capacidad de detectar obstáculos, es necesario equiparlo con un sistema de detección de obstáculos; en este caso, la tecnología a utilizar se basa en sensores LiDAR

Tabla 2. 20 Tabla comparativa de sensores LiDAR

Modelo	LW20/C (100 m)	SF45/B (50 m)	SF40/C (100 m)
Imagen Referencial			
Fabricante	Lightware	Lightware	Lightware
Dimensiones	30 x 20 x 43 mm	53 x 44 x 37	79 x 79 x 70
Voltaje de Operación (V)	4.5 – 5.5	4.5 – 5.5	3.3, 5 (Laser) 12 (Motor)
Corriente de Operación (mA)	130	300	<200 (Laser) <500 (motor)
Interfaz	Serial, I2C y servo driver	Serial, I2C y USB	Serial UART 3.3 V TTL
Taza de actualización (lecturas por segundo)	48 – 388 (configurable)	388	20010
Peso (g)	20	48.3	256
Rango de medición (m)	0.2 – 100	0.2 - 50	0.2 – 100
Ángulo de medición	0-180°	0 – 320°	0-360°
Temperatura de Operación (°C)			0 - 40
Precio (s/.)	997.01*	1604.50	2855.23

Fuente: (Lightware, 2020a, 2020c, 2020b), Elaboración Propia

El componente fue seleccionado especialmente por su diseño compacto, bajo peso y amplio rango de medición. Es por ello que se convierte en una opción bastante considerable al momento de buscar un LiDAR fácil de portar.

### 2.3.2.3. Subsistema de Comunicación

En el subsistema de comunicación se consideran los componentes que facilitarán la comunicación entre el sistema móvil de dispensación y el sistema central de gestión de datos. En la Figura 2. 21 se muestra la posición del subsistema de comunicación en el dron.

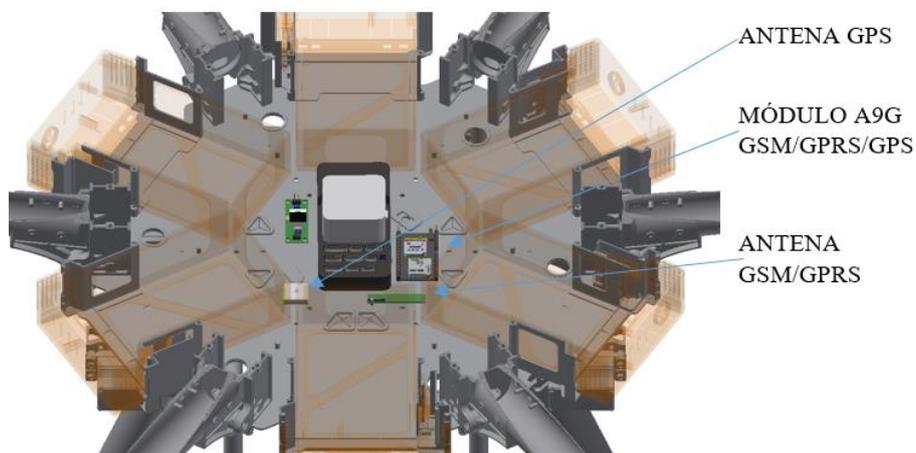


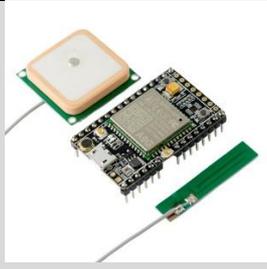
Figura 2. 21 Visualización del Subsistema de Comunicación del dron  
Fuente: elaboración Propia

A continuación, se presenta la tabla de selección respectiva por cada función del subsistema.

Función: Enviar/ Recibir información

Con la finalidad de poder establecer comunicación con la central de gestión de datos, se equipará al dron con un módulo de datos móviles.

Tabla 2. 21 Tabla comparativa de Módulos GSM/GPRS

Modelo	Shield SIM900 GSM/GPRS	Módulo A9G GSM/GPRS/GPS	Módulo A7 GSM/GPRS/GPS
Imagen referencial			
Fabricante	SIMCOM	AI-Thinker	AI-Thinker
Tamaño	110 x 58 x 19 mm	41 x 22 x 5 mm	44 x 34 x 10 mm
Voltaje de entrada (V)	5 – 12	5 VDC (USB) 3.8 - 4.2 VDC (VBAT)	5
Corriente de Consumo (mA)	1.5 mA (sleep mode)	<2 mA (stand-by mode)	<2 mA (stand-by mode)
Tecnología de red	2G	2G	2G
Bandas GSM/GPRS (MHz)	850, 900, 1800, 1900	850, 900, 1800, 1900	850, 900, 1800, 1900
Temperatura de Operación	-40°C – 85°C	-30°C – 80°C	-30°C – 80°C
Compatibilidad GPS	-	GPS/ BDS/ GLONASS/ GALILEO/ QZSS/ SBAS	GPS/ GLONASS/ GALILEO
Velocidad carga/descarga GPRS	Velocidad de Datos por GPRS (85.6 kbps descarga, 42.8 kbps subida)	Velocidad de Datos por GPRS (85.6 kbps descarga, 42.8 kbps subida)	Velocidad de Datos por GPRS (85.6 kbps descarga, 42.8 kbps subida)
Precio (s/.)	100.00	75.00	80.00

Fuente: (Naylamp Mechatronics, 2020m, 2020i, 2020h), Elaboración Propia

El componente resultante ha sido seleccionado por su menor precio, será del mismo modelo que el módulo GSM/GPRS del módulo de dispensación.

#### 2.3.2.4. Subsistema de Energía

En el subsistema de energía se consideran los componentes que permitirán energizar a todas las secciones del dron. En la Figura 2. 22 se muestra la posición del subsistema de energía en el dron.

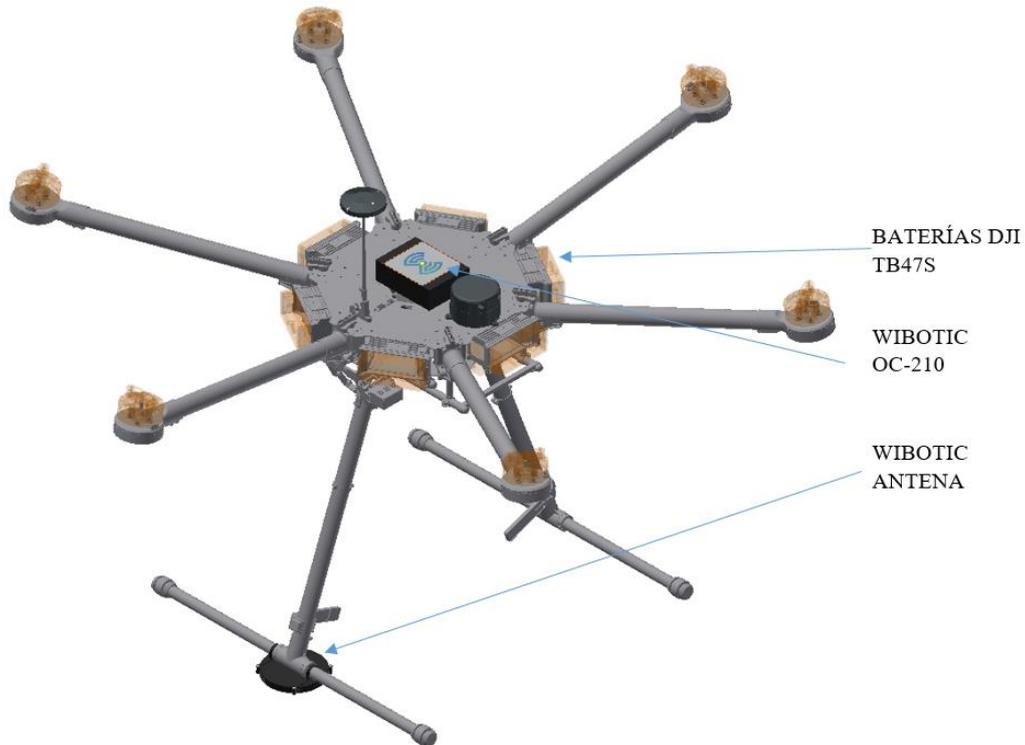


Figura 2. 22 Visualización del Subsistema de Energía del dron  
Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se presenta la tabla de selección respectiva por cada función del subsistema.

Función: Recolectar Energía

Una parte fundamental para poder implementar un sistema autónomo de dispensación radica en el tipo de sistema a implementar para realizar la carga de energía. A continuación, se presentan dos opciones de sistemas de carga inalámbrica.

Tabla 2. 22 Tabla comparativa de sistemas de carga inalámbrica

	Wibotic Standard Low Power System (TR-110 / OC-210)	Skysense Indoor Drone Charging Pad and Infrastructure
Imagen Referencial		
Fabricante	Wibotic	Skysense
Voltaje de Entrada	90 – 264 VAC (TR-110)	110 – 240 VAC
Frecuencia de Entrada (Hz)	50-60	50-60
Compatibilidad con tipos de baterías	LiPo, LiFePO4, LiIon, SLA, NMH	3 – 12S LiPo
Rango de Voltaje de Baterías (VDC)	12.03-36	11-25
Corriente máxima de carga (A)	10	8
Máximo Poder de Carga (W)	125	200
Dimensiones	*OC-210: 81x109x36 mm	*OB-6: 102x53 mm
Peso (g)	162	229 (incluyendo kit de contacto y OC*: OB-6)
Temperatura de Operación	-20 - 45°C	-20 - 45°C

Fuente: (Skysense, 2020; Wibotic, 2020), Elaboración Propia

\*OC/OB: On Board Charger

El sistema escogido resalta por un menor peso y por una mayor corriente de carga, permitiéndole una carga más rápida. Por otro lado, a diferencia del otro modelo, el cual es basado en transferencia de energía del tipo resistivo por contacto con la base, este sistema es del tipo inductivo, haciéndolo más resistente a condiciones climáticas adversas.

Función: Almacenar Energía

La selección de baterías es importante para poder satisfacer las necesidades de energía necesarias para realizar el vuelo requerido

Tabla 2. 23 Tabla comparativa de baterías LiPo del dron

	DJI TB47S	DJI TB48S
Imagen referencial		
Fabricante	DJI	DJI
Capacidad (mAh)	4500	5700
Voltaje de Operación (V)	22.2	22.8
Tipo de Batería	LiPo 6s	LiPo 6s
Energía (Wh)	99.9	129.96
Peso Neto (g)	595	680
Máxima potencia de carga (W)	180	180
Temperatura de Operación	-10 °C – 40 °C	-10 °C – 40 °C
Tiempo de carga completo (min)	92	110

Fuente: (DJI, 2020f, 2020g), Elaboración Propia

Las baterías han sido escogidas porque son las que vienen incluidas en el paquete inicial del dron Matrice 600 Pro y además son más livianas, por lo que van a permitir ahorrar peso.

### 2.3.2.5. Subsistema de Actuación

En el subsistema de actuación se consideran los componentes que permitirán ejecutar el accionamiento del sistema. A continuación, se presenta la tabla de selección respectiva por cada función del subsistema

Función: Accionamiento de Despegue, vuelo y aterrizaje de sistema móvil de dispensación

Motores Brushless DJI

Los rotores E2000 se encuentran especialmente diseñados para aplicaciones industriales e imágenes aéreas. Utilizando una combinación de motores 6010, ESC 1240S / X y hélices R2170, el E2000 está diseñado para transportar cargas útiles de 1800 a 2500 g por eje, lo que le da la potencia para transportar complementos sustanciales y equipos de imagen avanzados.

Especificaciones: Empuje Máximo: 5100g / rotor (50V, nivel del mar)  
Baterías LiPo recomendadas: 12S LiPo  
Temperatura de Operación: -10°C – 50°C  
Tamaño del estator: 60 × 10 mm  
KV: 130 rpm / V  
Peso: 230 g



Figura 2. 23 Motor brushless DJI E2000  
Fuente: (DJI, 2020d)

### 2.3.2.6. Subsistema de Materia

En el subsistema de materia se consideran los componentes que interactuarán con la materia del ambiente durante el vuelo del dron. A continuación, se presenta la tabla de selección respectiva por cada función del subsistema

Función: Desplazar el sistema por el entorno

Hélices propias del dron

Las hélices R2170, producidas por DJI, con una longitud de 21 pulgadas (533.4 mm) están fabricadas de un material compuesto llamado Ultra Carbon Pro, diseñado por DJI Propulsion Labs, y destinado a reducir la inercia rotacional mientras se mantiene una alta resistencia y rigidez. El uso de Ultra Carbon Pro hace que la hélice sea rígida y menos susceptible a doblarse en pleno vuelo. Esto, junto con el diseño electromagnético avanzado del motor E10, hace que el sistema de propulsión E2000 sea altamente eficiente en energía.

Especificaciones:      Diámetro / paso de rosca: 21 x 7,0 pulgadas (533.4 x 177.8 mm)  
                                    Peso: 58g



Figura 2. 24 Hélices DJI R2170  
Fuente: (DJI, 2020e)

## 2.4. Diseño Mecánico

En la presente sección se realizará el análisis de cálculo y diseño de componentes para el sistema de dispensación

### 2.4.1. Cálculos de fuerzas y torques

Dentro de los cálculos de dimensionamiento de componentes del sistema se encuentra el diseño del eje de alimentación, de las fajas de transporte, de los rodamientos tanto para el eje de alimentación como para el sistema de fajas; y la selección de motores respectivos.

#### 2.4.1.1. Cálculo para el Diseño del Eje de Alimentación de Dinero en Efectivo

Para el diseño del eje de alimentación se considera el siguiente DCL, en el cual se observan las fuerzas de tensión producidas cuando el papel moneda entra en contacto con el eje, las fuerzas de rozamiento que permitirán trasladar el papel moneda, las reacciones en los apoyos y el torque transmitido por el motor.

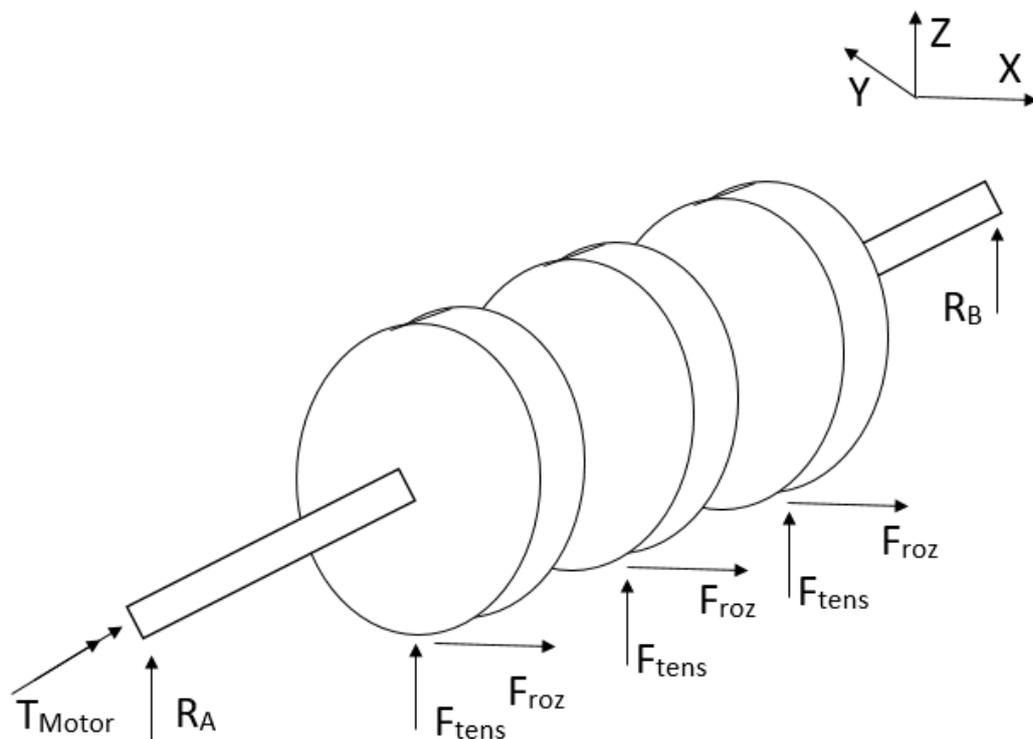


Figura 2. 25 Diagrama de Cuerpo Libre del eje de alimentación  
Fuente: Elaboración Propia

Dentro de las consideraciones para el diseño del eje de alimentación, se considera un ancho de 10 mm por polea.

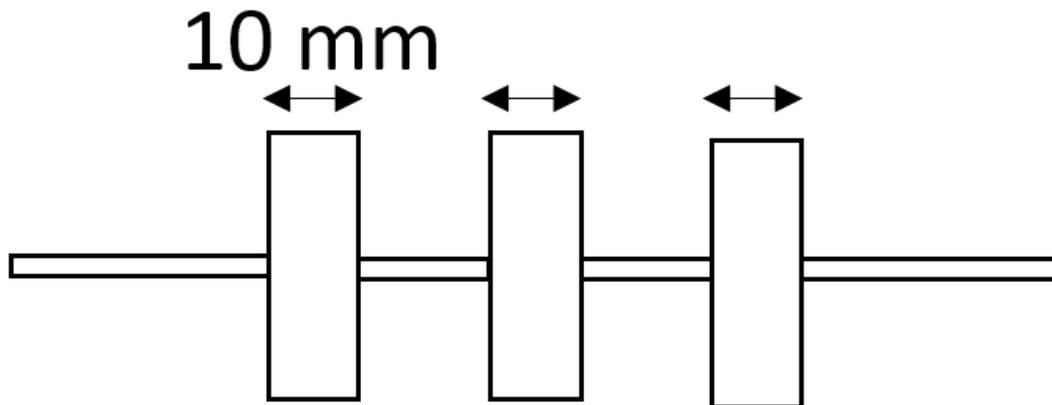


Figura 2. 26 Dimensionamiento del ancho de polea del eje de alimentación  
Fuente: Elaboración Propia

Por otro lado, en la polea se realizará un espacio para poder colocar una pieza de silicona. Esta pieza es la encargada de la adhesión con el papel moneda. Para favorecer esta adhesión, se diseñará una polea de perfil excéntrico, en el cual la pieza de silicona presentará una sobremonta con 1mm de espesor adicional en la zona central de la sección. También se considerará una sección de la circunferencia que corresponde a  $75^\circ$ .

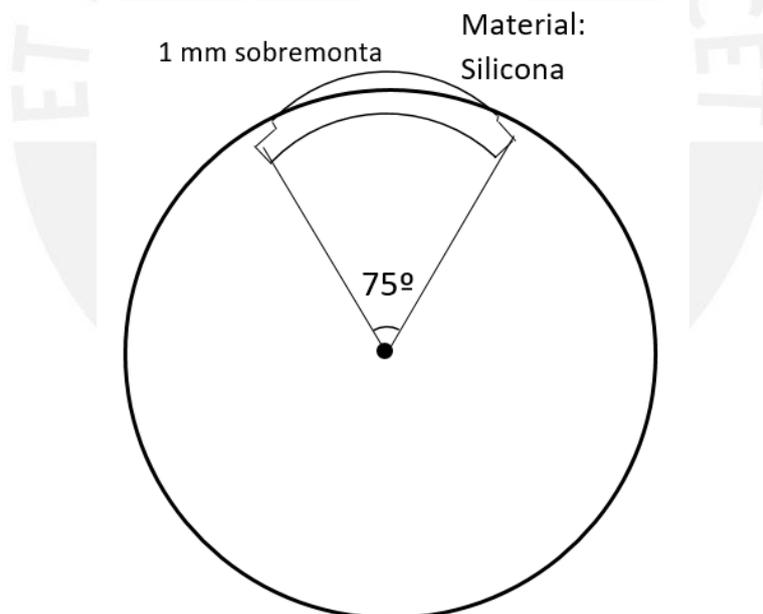


Figura 2. 27 Dimensionamiento del espesor de la sobremonta del eje de alimentación  
Fuente: Elaboración Propia

Dentro de los criterios del dimensionamiento de la polea, para la selección del diámetro de la polea, nos basamos en las medidas de los billetes peruanos de nuevos soles, los cuales presentan dimensiones aproximadas de 140 x 65 mm. Es por ello que se presenta el siguiente criterio:

$$2\pi r = 2 \times H_{soles} \quad (1)$$

De este modo consideramos que en una vuelta de la polea se podrá desplazar 2 billetes a lo ancho, longitud suficiente para poder desplazar el billete y que no se produzca un traslape en el siguiente paso de la zona de adherencia de silicona. Por ello, tenemos:

$$r = \frac{2 \times 65}{2\pi} = 20.69 \text{ mm} \sim 21 \text{ mm} \quad (2)$$

Considerando un radio de 21 mm, el diámetro de la polea será de 42 mm. Para el diseño del componente de silicona, una vez definido el diámetro de la polea, lo podemos diseñar.

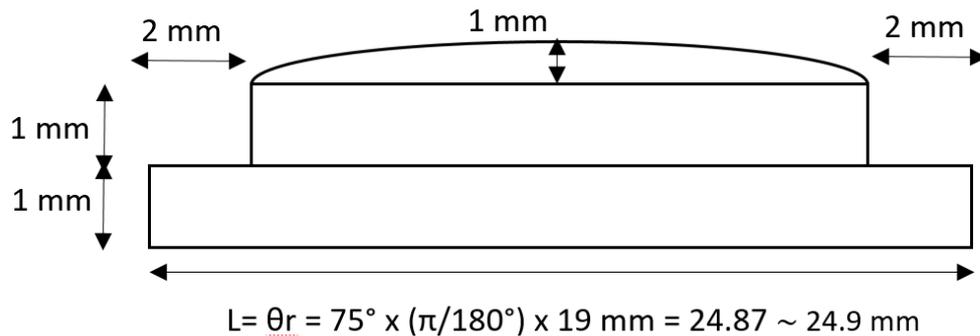


Figura 2. 28 Dimensionamiento de la zona de fricción de silicona  
Fuente: Elaboración Propia

Ahora se determinará el valor de las fuerzas de rozamiento y tensión. Para poder realizar este cálculo, se ha investigado sobre el grosor promedio de este, el cual varía entre 0.10 a 0.15 mm. Para efectos del cálculo consideraremos un grosor de 0.15 mm. Dentro del diseño del sistema, se considerará un espacio de 1mm entre la periferia de la polea con la superficie del billete. Cuando la zona de fricción entre en contacto con la superficie del billete, asumiremos que se produce una deformación de 0.15mm en la silicona, que es el espacio que está ocupando el espesor del billete al pasar por dicho espacio.

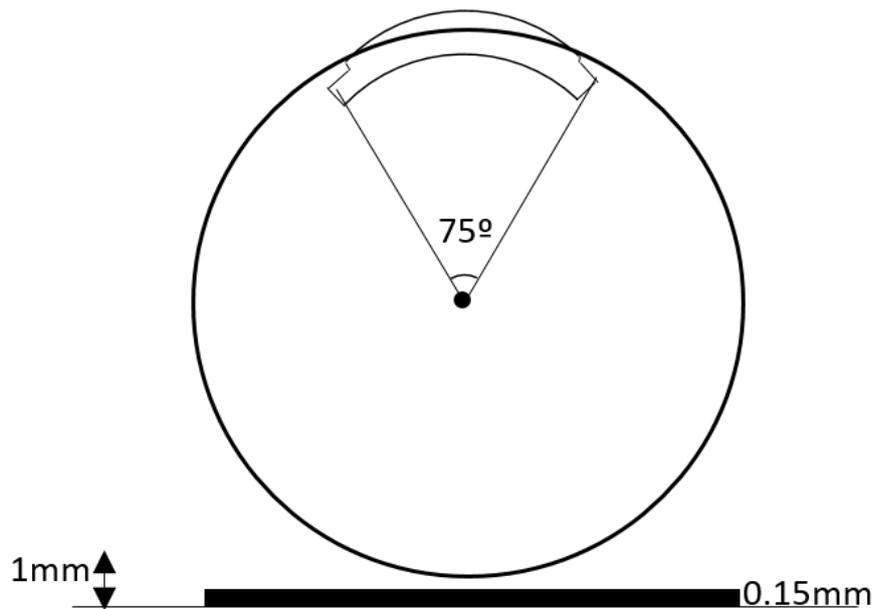


Figura 2. 29 Sección entre polea y billete  
Fuente: Elaboración Propia

Sabiendo que Esfuerzo = Módulo de Elasticidad x Deformación unitaria. Y buscando el dato de que el módulo de elasticidad de la silicona es aprox.  $0.3 - 0.4 \text{ N/mm}^2$  según la norma UNE-EN ISO 8339:2006, asumiremos que  $E_{\text{silicona}} = 0.4 \text{ N/mm}^2$ . Por otro lado, en la sección de silicona, calculamos la deformación unitaria producida en el punto con la mayor cantidad de sobremonta.

$$\epsilon = \frac{0.15}{3} = 0.05 \quad (3)$$

Con ambos datos podemos calcular el esfuerzo producido en la sección crítica de contacto.

$$\sigma = E\epsilon = 0.4 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times 0.05 = 0.02 \text{ MPa} \quad (4)$$

Para poder hallar la Fuerza de tensión producida por el contacto entre el billete con la sección de adhesión de silicona del eje, consideraremos el área proyectada de dicha sección.

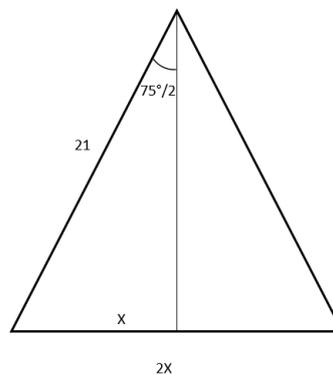


Figura 2. 30 Geometría de la sección proyectada  
Fuente: Elaboración Propia

En base a dicha sección, conociendo que el espesor de la polea es de 10 mm, procedemos a calcular el área proyectada:

$$\frac{X}{21} = \sin \frac{75}{2}^\circ \rightarrow X = 12.78 \text{ mm} \rightarrow A = 2X \times 10 = 255.68 \text{ mm}^2 \quad (5)$$

Conociendo el área de contacto y el esfuerzo producido en la zona, hallamos la fuerza de tensión

$$F_{tens} = \sigma \times A = 0.02 \text{ MPa} \times 255.68 \text{ mm}^2 = 5.11 \text{ N} \quad (6)$$

Y para hallar la fuerza de rozamiento perpendicular a la anteriormente hallada, consideramos un factor previamente averiguado de  $u_{\text{silicona-papel}} = 0.5$ . Por lo tanto, se obtiene

$$F_{roz} = F_{tens} \times u_{\text{silicona-papel}} = 5.11 \text{ N} \times 0.5 = 2.56 \text{ N} \quad (7)$$

Dado que son 3 rodillos que se encuentran en contacto con el billete, calculamos el torque equivalente necesario.

$$T_{motor \ req} = 3 \times (2.56 \times 22) = 168.96 \text{ Nmm} = 0.169 \text{ Nm} \quad (8)$$

En base a dicho torque necesario, escogemos el motor de pasos **NEMA 14 modelo 35CM04**, el cual ofrece un torque de 0.36 Nm, de este modo, obtenemos un factor de seguridad FS = 2.13

Dado que el eje está sometido a una cantidad de esfuerzos en específico, vamos a proceder a calcular el diámetro necesario.

Aplicando la teoría de esfuerzos de Von Mises:

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_x^2 + 3\tau_{xy}^2} \quad (9)$$

$$\text{Con } \sigma_x = \frac{F_{tens}}{A} = 3 \times \frac{5.11}{255.68} = 60 \times 10^{-3} \text{ MPa} \text{ y con } \tau_{xy} = \frac{16 \times T_{motor \ req}}{\pi \times d^3}$$

Tenemos

$$\sigma_{eq} = \sqrt{(60 \times 10^{-3})^2 + 3\left(\frac{16 \times T_{motor \ req}}{\pi \times d^3}\right)^2} \quad (10)$$

Para un eje diseñado en material de acero inoxidable de propiedades  $\sigma_{m\acute{a}x} = 193 \text{ N/mm}^2$ , tenemos:

$$193 \text{ N/mm}^2 \geq \sqrt{(60 \times 10^{-3})^2 + 3\left(\frac{16 \times 169}{\pi \times d^3}\right)^2} \quad (11)$$

Despejando tenemos:  $d \geq 1.98 \text{ mm}$

En base a dicho cálculo, el diámetro del eje debe de ser como mínimo mayor a 1.98 mm. Sin embargo, para el dimensionamiento del eje, para facilidad de acople con el eje del motor NEMA 14, consideraremos el **diámetro del eje de 5mm**.

### 2.4.1.2. Cálculo para el Diseño de las Fajas de Transporte de Dinero en Efectivo

Para la selección de las fajas, vamos a partir de la selección propuesta por el manual técnico de fajas dentadas Optibelt para Transmisiones por Optibelt Omega HL/ Omega HP y Optibelt Omega correas Dentadas (Optibelt, 2020).

Cálculo del motor del sistema de fajas:

Se trabajará con un **motor NEMA 14 modelo 35CM04**. Del datasheet (Leadshine Technology Co., 2020) tenemos:  $T = 0.36 \text{ Nm @ 660 RPM}$

Calculamos la potencia máxima que puede transmitir:

$$P_{motor} = 0.36 \text{ Nm} \times 660 \text{ rpm} \times \frac{2\pi}{60} = 24.88 \text{ W} = 0.0249 \text{ KW} \quad (12)$$

Diseñamos el sistema de fajas, con una distancia entre ejes de 150 mm y que la guía que permitirá transportar el contenido hacia el compartimiento de recojo tendrá un radio de 15 mm. Este radio es escogido de modo que no sea mayor al alto del billete ( $\pi \times 15 \text{ mm} < 65 \text{ mm}$ ). De este modo podrá recorrer esa trayectoria y caer por propio peso y no quedarse en el medio de esta.

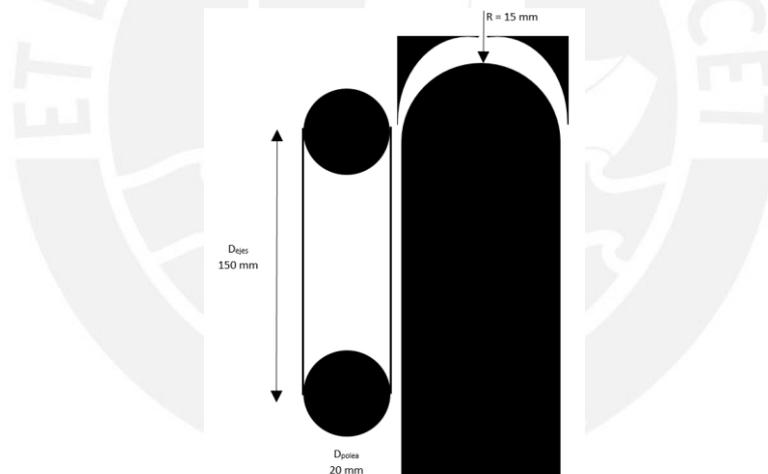


Figura 2. 31 Diseño del sistema de transporte  
Fuente: Elaboración Propia

Para realizar los siguientes cálculos, tendremos en consideración los siguientes criterios:

Condiciones de Funcionamiento

- Duración diaria de funcionamiento: 4h
- Influencias medioambientales: Temperatura ambiental, polvo
- Distancia entre ejes: 150 mm
- Diámetro de pulea máx.: 20 mm
- Máquina de trabajo de transporte de papel
- $n = 96 \text{ rpm}$ ,  $i=1$
- Tipo de carga constante

De acuerdo al procedimiento planteado por el fabricante, tenemos:

- 1) Factor de carga total

$$c_2 = c_0 + c_3 + c_6 \quad (13)$$

Con  $c_0$ : Factor de carga básico,  $c_3$ : incremento por multiplicación,  $c_6$ : incremento por fatiga, resulta:

$$c_2 = 1.3 + 0 + 0$$

$$c_2 = 1.3$$

- 2) Potencia Calculada

$$P_b = P \times c_2 = 0.0249 \times 1.3 = 0.03237 \text{ kW} \quad (14)$$

- 3) Perfil de Correa Dentada

A una potencia de 0.03237 kW A 96 RPM, obtenemos el perfil Optibelt OMEGA HP 5M (pág. 24)

- 4) Multiplicación

$$i = n_1/n_2 = 96/96 = 1 \quad (15)$$

- 5) Número de dientes de las poleas dentadas

Para perfil 5M, obtenemos del catálogo:

$$z_1 = 12 \text{ dientes}$$

$$d_{w1} = 19.10 \text{ mm}$$

$$z_2 = z_1 \times i = 12$$

$$d_{w2} = 19.10 \text{ mm}$$

Las dimensiones de la polea se pueden apreciar en el siguiente plano:

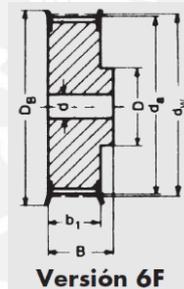


Figura 2. 32 Vista de perfil de polea seleccionada  
Fuente: Optibelt

- 6) Comprobación de la frecuencia de rotación

$$i = z_2/z_1 = 1, n_2 = n_1/i = 96 \text{ rpm} \quad (16)$$

- 7) Recomendación de distancia entre ejes

Sea "a" la distancia entre ejes en mm

$$a > 0.5(d_{w1} + d_{w2}) + 15 \text{ mm} \quad (17)$$

$$a > 0.5(19.10 + 19.10) + 15 \text{ mm}$$

$$a > 34.1 \text{ mm}$$

$$a < 2(d_{w1} + d_{w2})$$

$$a < 76.4 \text{ mm}$$

Sin embargo, nuestra distancia entre ejes es de 150 mm, tomaremos esta medida

- 8) Desarrollo efectivo de la correa dentada

$$L_{wth} \sim 2a + \frac{\pi}{2}(d_{wg} + d_{wk}) + \frac{(d_{wg} - d_{wk})^2}{4a} \quad (18)$$

$$L_{wth} \sim 360.00$$

Del catálogo escogemos el más cercano:  $L_{wst} = 350$  5M HP de 350 mm

9) Distancia entre ejes de  $L_{wst}$

$$a_{nom} = k + \sqrt{k^2 - \frac{(d_{wg} - d_{wk})^2}{8}} \quad (19)$$

Considerando:

$$k = \frac{L_{wst}}{4} - \frac{\pi}{8}(d_{wg} + d_{wk}) = \frac{350}{4} - \frac{\pi}{8}(19.10 \times 2) = 72.5 \text{ mm} \quad (20)$$

De (19) y (20) tenemos:

$$a_{nom} = 72.5 + \sqrt{72.5^2 - \frac{(19.10 - 19.10)^2}{8}} = 72.5 + 72.5 = 145 \text{ mm} \quad (21)$$

10) Recorrido de ajuste mínimo para tensar

$$X = 0.004 \times a_{nom} = 0.004 \times 145 \rightarrow x \geq 0.58 \text{ mm} \quad (22)$$

11) Recorrido de ajuste mínimo para montar

Para paso de 5mm (Perfil 5M) = 19 mm (ambas poleas con flancos)

12) Número de dientes que engranan en la polea pequeña

$$z_e = \frac{z_k}{6} \left( 3 - \frac{d_{wg} - d_{wk}}{a_{nom}} \right) \quad (23)$$

$$z_e = \frac{12}{6} (3 - 0) = 6$$

13) Factor de Longitud

$c_7 = 0.8$  (Para perfil 5M con desarrollo efectivo de 350 mm)

14) Factor de engrane del diente

$c_1 = 1$  (Para un número de 6 dientes que engranan)

15) Ancho de correa a través de potencia nominal

Requisito:  $P_u \geq P_B$  /  $P_u$  = Potencia nominal transmisible por un ancho de correa estándar

$$P_u = P_N \times c_1 \times c_7 \quad (24)$$

$P_N$  para el tipo 5M HP a 660 RPM y 12 dientes, escogemos 0.31

$$P_u = 0.31 \times 1 \times 0.8 = 0.248 \text{ kW}$$

Tenemos

$$P_u \geq P_B \quad (25)$$

$$0.248 \text{ kW} \geq 0.03237 \text{ kW}$$

Por ello, la faja cumple con los requisitos de transmisión de potencia.

16) Resultado

**2 Poleas dentadas OptiBelt OMEGA 5M HP 12-5M-9**

**1 Correa dentada OptiBelt OMEGA 5M HP 350 5M HP**

Finalmente, realizamos la evaluación de la potencia del motor para poder trasladar el billete por el sistema de fajas.

Sean las Poleas dentadas OptiBelt OMEGA 5M HP 12-5M-9 con dimensiones principales: Paso = 5mm, Ancho de correa = 9mm y  $D_{\text{contacto}}=17.96$  mm

El material del cual se compone las fajas que entra en contacto con el billete es el neopreno ( $E_{\text{neopreno}}= 7$  MPa)

En base a la geometría de la faja, calculamos la deformación unitaria a la cual está sometida la faja debido al billete. Considerando los datos  $h_s = 3.4$  mm,  $h_t = 1.9$ mm y  $t = 5$  mm

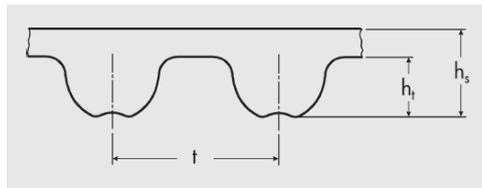


Figura 2. 33 Sección transversal de faja Optibelt OMEGA 5M HP  
Fuente: Optibelt

La deformación unitaria será dada por  $\epsilon = \frac{0.15}{3.4} = 0.0441$  (26)

Y con el módulo de elasticidad del neopreno, calculamos el esfuerzo producido:

$$\sigma = 7 \text{ MPa} \times 0.0441 = 0.3 \text{ MPa} \quad (27)$$

Conociendo que  $\sigma = F/A$ , hallamos el área proyectada como un estimado.

$$A_{\text{proy}} = D_{\text{contacto}} \times \text{Ancho de correa} = 17.96 \times 9 = 161.64 \text{ mm}^2$$

$$\text{Despejando, tenemos: } F_{\text{tens}} = \sigma \times A = 0.3 \text{ MPa} \times 161.64 \text{ mm}^2 = 48.5 \text{ N} \quad (28)$$

Para poder calcular la  $F_{\text{roz}}$  de la faja con el billete, asumimos lo siguiente:  $u_{\text{neopreno-papel}} \sim u_{\text{carton-silicona}} = 0.5$

$$\text{Entonces: } F_{\text{roz}} = u_{\text{neopreno-papel}} \times F_{\text{tens}} = 0.5 \times 48.5 \text{ N} = 24.25 \text{ N} \quad (29)$$

Al colocarse la fuerza a una distancia apróx de 10 mm del centro de la polea, tenemos:

$$T = F_{\text{roz}} \times d = 24.25 \text{ N} \times 10 \text{ mm} = 242.5 \text{ Nmm} = 0.2425 \text{ Nm} \quad (30)$$

Como hemos escogido el motor NEMA 14 modelo 35CM04 con un torque máx. de 0.36 Nm, podemos verificar que si cumple con los requisitos

### 2.4.1.3. Cálculo de selección de Rodamientos para el eje de alimentación

Partimos del cálculo previo de diseño del eje de alimentación en el cual se dimensionó con un diámetro de 5mm. Para ello, consideramos

$$\phi_{\text{eje alimentación}} = 5\text{mm}$$

En base al DCL desarrollado para el dimensionamiento del eje de alimentación, obtenemos la siguiente distribución de fuerzas

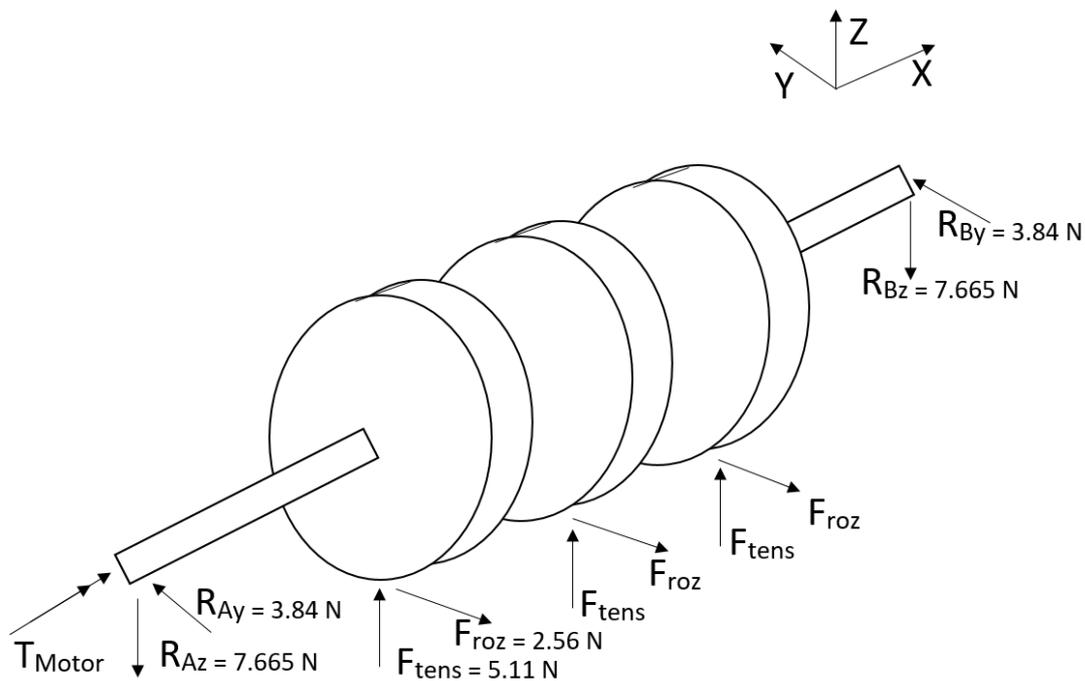


Figura 2. 34 Diagrama de cuerpo libre del eje de alimentación para la selección de rodamientos  
Fuente: Elaboración Propia

En base a las fuerzas respectivamente halladas, procedemos a realizar el cálculo de selección de rodamientos apropiados. Este se realiza bajo la guía del catálogo de rodamientos de la marca SKF (SKF, 2015).

1) Vida útil sugerida

Para máquinas eléctricas portátiles de uso intermitente: 3000 – 8000 h

Escogemos que el rodamiento mínimo debe de cumplir una vida de 5000h de trabajo

2) Tipo de Rodamiento a utilizar

Rodamiento rígido de bolas

3) Datos Principales

Para un diámetro interno de 5mm con carga de  $\sqrt{3.84^2 + 7.665^2} = 8.6 \text{ N}$

$C = 0.468 \text{ kN}$   $d = 5 \text{ mm}$

$C_0 = 0.143 \text{ kN}$   $D = 11 \text{ mm}$

$V = 120000 \text{ rpm}$   $B = 3 \text{ mm}$

$P_u = 0.006 \text{ kN}$   $f_0 = 7.1$

4) De los datos planteados por el problema

$T_{op} = 8\text{h}$

N= 96 rpm

F<sub>confiabilidad</sub>= 95%

Grado de Contaminación: Alto

5) Hallamos la carga equivalente (P)

$$P = x \cdot F_{radial} + y \cdot F_{axial} \quad (31)$$

Hallamos x e y:

Del factor:  $\frac{f_0 \cdot F_{axial}}{C_0} = 0$  (no hay cargas axiales), tenemos  $X_{min}=0.56$ ,  $e_{min}=0.19$ ,  
 $y_{min}=2.3$

$$F_{radial} = \sqrt{7.665^2 + 3.84^2} = 8.6 \text{ N} \quad (32)$$

$$F_{axial} = 0 \text{ N}$$

$$P = 0.56 \times 8.6 = 4.8 \text{ N}$$

$$P = 4.8 \times 10^{-3} \text{ kN}$$

6) L<sub>10</sub>: Vida Nominal (millones de revoluciones)

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^\rho = \left(\frac{0.468}{4.8 \times 10^{-3}}\right)^3 = 926 \ 859.4 \text{ millones de rev.} \quad (33)$$

$\rho = 3$  para rodamientos de bolas

7) L<sub>10h</sub>: Vida Nominal (horas de funcionamiento)

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 \times N} \times L_{10} = \frac{10^6}{60 \times 96} \times 926 \ 859.4 = 160.913 \times 10^6 \text{ horas} \quad (34)$$

8) Vida Nominal Ajustada

$$L_{na} = a_1 \times a_{23} \times L_{10h} \quad (35)$$

Para una confiabilidad del 95% del rodamiento:  $a_1 = 0.64$

Respecto a la calidad de lubricación:  $d_{medio} = (D+d) / 2 = 8 \text{ mm}$

Con  $d_{medio}$ , obtenemos la viscosidad nominal: N= 96 RPM y  $d_{medio} = 8 \text{ mm}$

En la p. 72 del catálogo hallamos la viscosidad nominal  $v_1 = 300 \text{ mm}^2/\text{s}$

9) Grado de viscosidad

Asumiremos un grado de viscosidad ISO VG220 (viscosidad cinética límite = 220  $\text{mm}^2/\text{s}$ )

Asumimos también  $T_{op} = 30^\circ\text{C}$

Con ambos datos hallamos la viscosidad real a temperatura de operación:  $v = 450 \text{ mm}^2/\text{s}$

10) Hallamos k

$$k = \frac{v}{v_1} = \frac{450}{300} = 1.5 \quad (36)$$

11) Hallamos L<sub>na</sub>

Con  $k=1.5$ , según la gráfica k vs  $a_{23}$ , hallamos  $a_{23}=1.4$

Ahora podemos hallar L<sub>na</sub>:

$$L_{na} = a_1 \times a_{23} \times L_{10h} = 144.178 \times 10^6 \text{ h} \quad (37)$$

12) Hallamos L<sub>naa</sub>

$$L_{naa} = a_1 \times a_{skf} \times L_{10} \quad (38)$$

Para obtener  $a_{skf}$ , consideramos el factor  $n_c$ , para un nivel alto de contaminación (severo):  $n_c = 0.1$

Calculamos:  $n_c \times \frac{P_u}{P} = \frac{0.1 \times 0.006}{4.8 \times 10^{-3}} = 0.125$

Para rodamientos radiales de bolas: con  $n_c \times \frac{P_u}{P} = 0.125$  y  $k = 1.5$ , podemos hallar

$$a_{skf} = 0.25 \tag{39}$$

Ahora evaluamos  $L_{naa}$  de la ecuación (38)

$$L_{naa} = a_1 \times a_{skf} \times L_{10} = 148.2975 \times 10^3 h$$

13) Resultado

Como tenemos que

$$L_{10}, L_{na}, L_{naa} \gg \text{Vida útil sugerida}$$

Los rodamientos evaluados cumplen con el criterio de selección.

Respuesta: Rodamientos rígidos de bolas

$$d = 5 \text{ mm}$$

$$D = 11 \text{ mm}$$

$$B = 3 \text{ mm}$$

**2.4.1.4. Cálculo de selección de Rodamientos para el eje de transporte**

Partimos del cálculo previo de selección de fajas para seleccionar un eje de 4mm en base al diámetro interno de la polea. Para ello, consideramos

$$\varnothing_{\text{eje fajas}} = 4 \text{ mm}$$

En base a la selección de la faja, tenemos el siguiente esquema

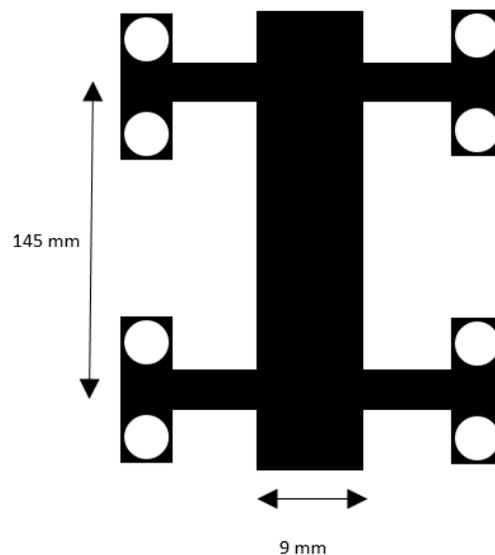


Figura 2. 35 Dimensionamiento del sistema de fajas – rodamientos  
Fuente: Elaboración Propia

En base a la potencia asociada al motor, podemos despejar la fuerza tangencial producida en la polea.

$$P = F \times V \tag{40}$$

$$0.1 \text{ k} = F \times \left( 96 \times \frac{2\pi \text{ rad}}{60 \text{ s}} \times \frac{17.96}{2} \text{ mm} \right)$$

$$F = 1.107 \text{ N}$$

Por otro lado, la presión ejercida entre el billete y la faja se calcula de la siguiente manera

$$\epsilon = \frac{0.15}{\frac{23}{2}} = 0.013, E = 0.4 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_N = E \epsilon = 0.0052 \text{ N/mm}^2 \quad (41)$$

Y la fuerza normal ejercida hacia la polea se determina de esta forma

$$\sigma_N = \frac{F_N}{A}$$

$$A = \phi_{ext} \times \text{Ancho} = 23 \times 9 = 207 \text{ mm}^2$$

$$F_N = 1.0764 \text{ N} \quad (42)$$

$$F_T = u \times F_N = 0.5 \times F_N = 0.5382 \text{ N} \quad (43)$$

Una vez halladas todas las fuerzas, podemos realizar el DCL

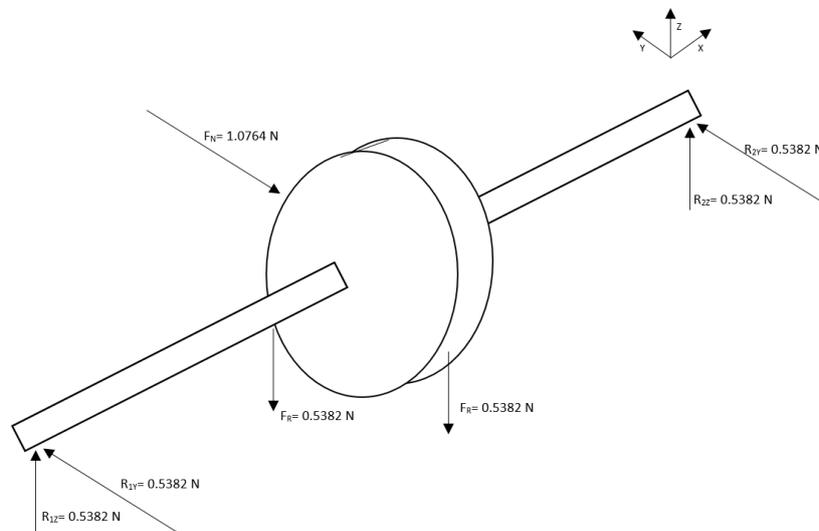


Figura 2. 36 Diagrama de Cuerpo Libre del eje de alimentación  
Fuente: Elaboración Propia

En base a las fuerzas respectivamente halladas, procedemos a realizar el cálculo de selección de rodamientos apropiados. Dicho cálculo también se realiza bajo la guía de selección de rodamientos de la marca SKF (SKF, 2015).

14) Vida útil sugerida

Para máquinas eléctricas portátiles de uso intermitente: 3000 – 8000 h

Escogemos que el rodamiento mínimo debe de cumplir una vida de 5000h de trabajo

15) Tipo de Rodamiento a utilizar

Rodamiento rígido de bolas

16) Datos Principales

Para un diámetro interno de 4mm con carga aproximada de 1N

$C = 0.423 \text{ kN}$   $d = 4 \text{ mm}$

$C_0 = 0.116 \text{ kN}$   $D = 9 \text{ mm}$

$V = 140000 \text{ rpm}$   $B = 2.5 \text{ mm}$

$P_u = 0.005 \text{ kN}$   $f_0 = 6.5$

17) De los datos planteados por el problema

$T_{op} = 8 \text{ h}$

$N = 96 \text{ rpm}$

$F_{confiabilidad} = 95\%$

Grado de Contaminación: Alto

18) Hallamos la carga equivalente (P)

$$P = x \cdot F_{radial} + y \cdot F_{axial} \quad (44)$$

Hallamos x e y:

Del factor:  $\frac{f_0 \cdot F_{axial}}{C_0} = 0$  (no hay cargas axiales), tenemos  $X_{min} = 0.56$ ,  $e_{min} = 0.19$ ,  
 $y_{min} = 2.3$

$$F_{radial} = \sqrt{0.5382^2 + 0.5382^2} = 0.7611 \text{ N}$$

$$F_{axial} = 0 \text{ N}$$

$$P = 0.56 \times 0.7611 = 0.426 \text{ n} \sim 0.5 \text{ N}$$

$$P = 0.5 \times 10^{-3} \text{ kN} \quad (45)$$

19)  $L_{10}$ : Vida Nominal (millones de revoluciones)

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^\rho = \left(\frac{0.423}{0.5 \times 10^{-3}}\right)^3 = 605\,495\,736 \text{ millones de rev.} \quad (46)$$

$\rho = 3$  para rodamientos de bolas

20)  $L_{10h}$ : Vida Nominal (horas de funcionamiento)

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 \times N} \times L_{10} = \frac{10^6}{60 \times 96} \times 605\,495\,736 = 1.0512 \times 10^{11} \text{ horas} \quad (47)$$

21) Vida Nominal Ajustada

$$L_{na} = a_1 \times a_{23} \times L_{10h} \quad (48)$$

Para una confiabilidad del 95% del rodamiento:  $a_1 = 0.64$

Respecto a la calidad de lubricación:  $d_{medio} = (D+d) / 2 = 6.5 \text{ mm}$

Con  $d_{medio}$ , obtenemos la viscosidad nominal:  $N = 96 \text{ RPM}$  y  $d_{medio} = 6.5 \text{ mm}$

En la p. 72 del catálogo hallamos la viscosidad nominal  $v_1 = 305 \text{ mm}^2/\text{s}$

22) Grado de viscosidad

Asumiremos un grado de viscosidad ISO VG220 (viscosidad cinética límite = 220  $\text{mm}^2/\text{s}$ )

Asumimos también  $T_{op} = 30^\circ\text{C}$

Con ambos datos hallamos la viscosidad real a temperatura de operación:  $v = 450 \text{ mm}^2/\text{s}$

23) Hallamos k

$$k = \frac{v}{v_1} = \frac{450}{305} = 1.475 \sim 1.5 \quad (49)$$

24) Hallamos  $L_{na}$

Con  $k=1.5$ , según la gráfica k vs  $a_{23}$ , hallamos  $a_{23}=1.4$

Ahora podemos hallar  $L_{na}$ :

$$L_{na} = a_1 \times a_{23} \times L_{10h} = 0.64 \times 1.4 \times 1.682 \times 10^{11} = 1.507 \times 10^{11} h \quad (50)$$

25) Hallamos  $L_{naa}$

$$L_{naa} = a_1 \times a_{skf} \times L_{10} \quad (51)$$

Para obtener  $a_{skf}$ , consideramos el factor  $n_c$ , para un nivel alto de contaminación (severo):  $n_c = 0.1$

$$\text{Calculamos: } n_c \times \frac{P_u}{P} = \frac{0.1 \times 0.005}{0.5 \times 10^{-3}} = 1 \quad (52)$$

Para rodamientos radiales de bolas: con  $n_c \times \frac{P_u}{P} = 1$  y  $k = 1.5$ , podemos hallar

$$a_{skf} = 1.5 \quad (53)$$

Ahora evaluamos  $L_{naa}$

$$L_{naa} = a_1 \times a_{skf} \times L_{10} = 0.64 \times 1.5 \times 605\,495\,736 = 581.2759 \times 10^6 h \quad (54)$$

26) Resultado

Como tenemos que

$$L_{10}, L_{na}, L_{naa} \gg \text{Vida útil sugerida}$$

Los rodamientos evaluados cumplen con el criterio de selección.

Respuesta: Rodamientos rígidos de bolas

$$d = 4\text{mm}$$

$$D = 9\text{mm}$$

$$B = 2.5\text{mm}$$

## 2.4.2. Simulaciones de resistencia

En la presente sección se realiza una evaluación de cálculo de resistencia de los componentes que se encuentran sometidos a los mayores esfuerzos en el módulo de dispensación.

### 2.4.2.1. Simulación de Resistencia del Soporte Módulo de Dispensación – Dron

La finalidad de esta simulación es demostrar que la placa de fijación del Módulo de Dispensación con el dron es lo suficientemente robusta como para poder soportar las cargas que representa el peso del módulo de dispensación respecto a las agarraderas de la placa con el dron. En la Figura 2. 37 se muestra la vista isométrica de la placa de fijación que se someterá al análisis.



*Figura 2. 37 Vista Isométrica de la placa de fijación del Módulo de Dispensación  
Fuente: Elaboración Propia*

Las propiedades mecánicas del material utilizado, el cual es fibra de carbono, se pueden apreciar en la Tabla 2. 24 a continuación.

Tabla 2. 24 Propiedades Mecánicas de la Fibra de Carbono

Name	CFRP	
General	Mass Density	1.43 g/cm <sup>3</sup>
	Yield Strength	300 MPa
	Ultimate Tensile Strength	577 MPa
Stress	Young's Modulus	133 GPa
	Poisson's Ratio	0.39 ul
	Shear Modulus	47.8417 GPa
Part Name(s)	placa_fijacion_dron.ipt	

Fuente: (Autodesk Inventor Professional 2021, 2020)

Dentro de estas propiedades, cabe resaltar la densidad del material y los esfuerzos de fluencia y el último de rotura.

Para efectos de la simulación, se considera aplicar una carga de 70 N que representa un peso ligeramente mayor al peso total del módulo de dispensación. Esta carga estará colocada sobre los puntos de sujeción de la placa con la jaula del módulo de dispensación. Por otro lado, se asume como apoyo rígido a la unión entre la placa de sujeción con la estructura tubular del dron. En la Figura 2. 38 se aprecia la distribución de dichas fuerzas. Las flechas de color amarillo representan la carga distribuida de 70N y la simbología cuadrada representa los puntos de apoyo fijo.

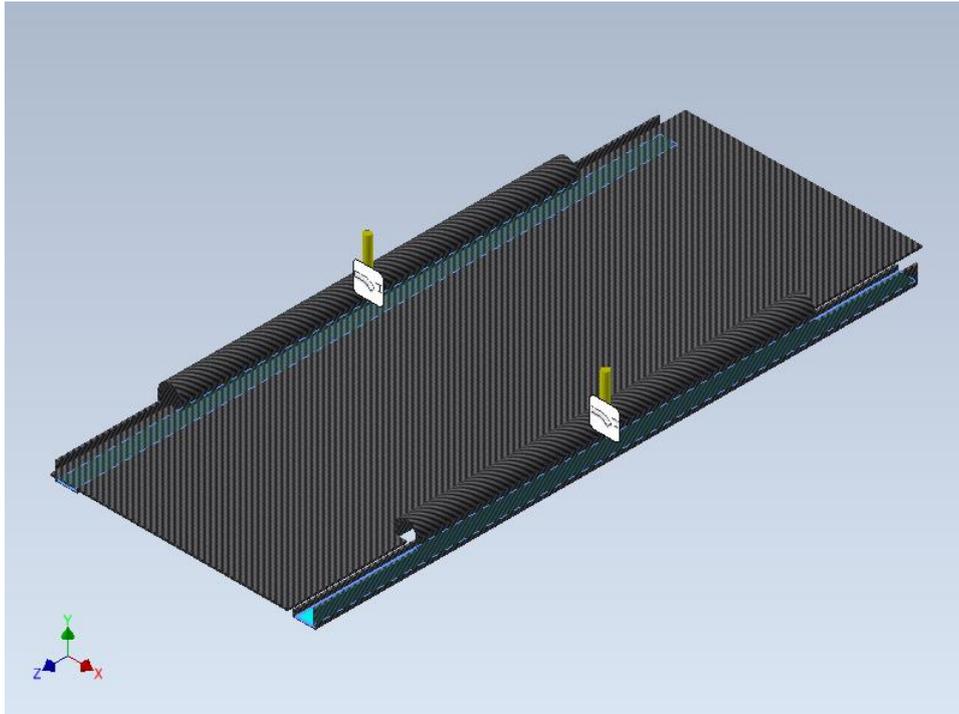


Figura 2. 38 Distribución de fuerzas en la placa de fijación  
Fuente: Elaboración Propia

Una vez realizada la simulación, en la Figura 2. 39 se puede observar los desplazamientos pequeños generados a lo largo de la placa. Se puede apreciar en el indicador que el desplazamiento mayor es de 0.02491 mm, el cual está localizado a un extremo de la sección de agarre con la jaula.

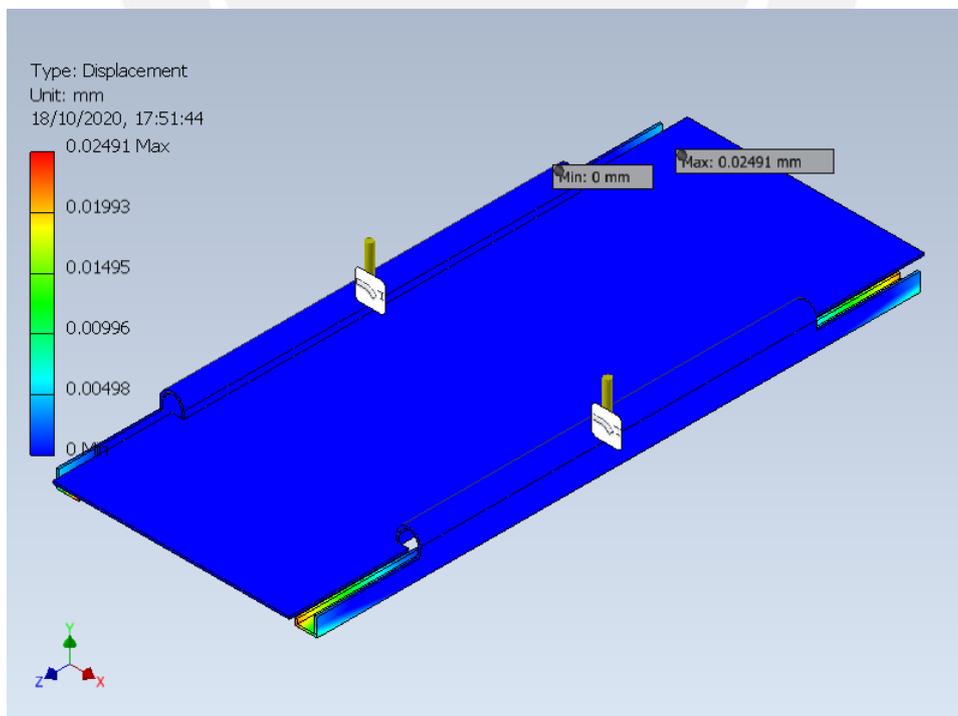


Figura 2. 39 Análisis de desplazamientos de la placa de fijación  
Fuente: Elaboración Propia

Para verificar la validez de que el diseño sea robusto para su uso, en la Figura 2. 40 se puede apreciar el factor de seguridad de la placa de fijación. A lo largo de toda la estructura se observa que presenta un color azul que representa un factor de seguridad de 15, por lo que podemos decir que es bastante segura para el uso que se le dará.

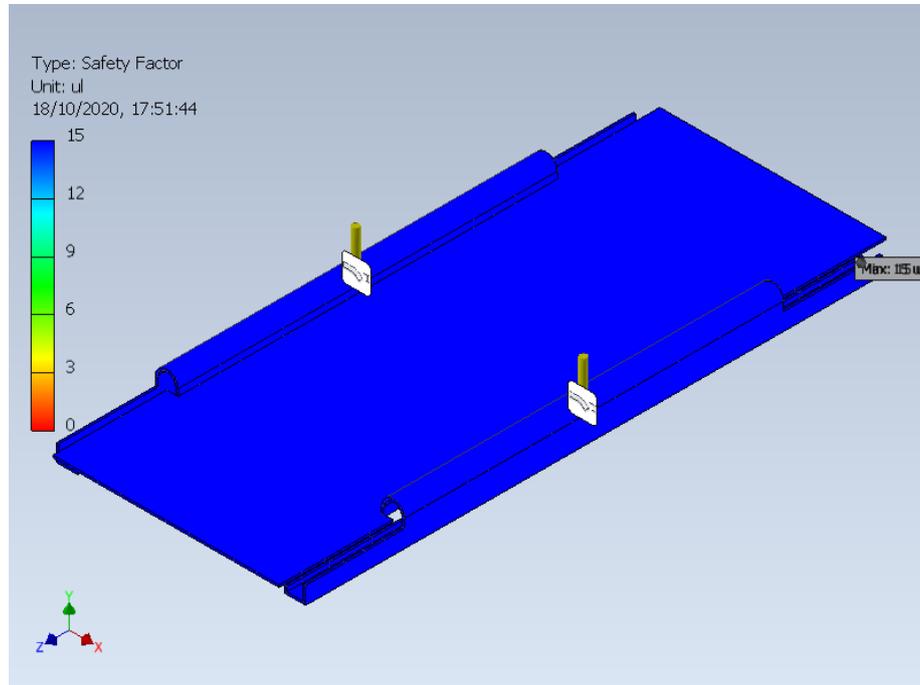


Figura 2. 40 Análisis de factor de seguridad de la placa de fijación  
Fuente: Elaboración Propia

En conclusión, se puede indicar que la placa de fijación es lo suficientemente robusta y adecuada como para poder cumplir con la tarea de unir correctamente al módulo de dispensación con el dron.

#### 2.4.2.2. Simulación de Resistencia de Soporte de pesos de jaula del Módulo de Dispensación

La finalidad de esta simulación es demostrar que la jaula interna del módulo de dispensación es lo suficientemente robusta y apta como para poder soportar todos los pesos y esfuerzos a los que está sometido. En la Figura 2. 41 se muestra la vista isométrica de la jaula del módulo de dispensación que será sometida al análisis.

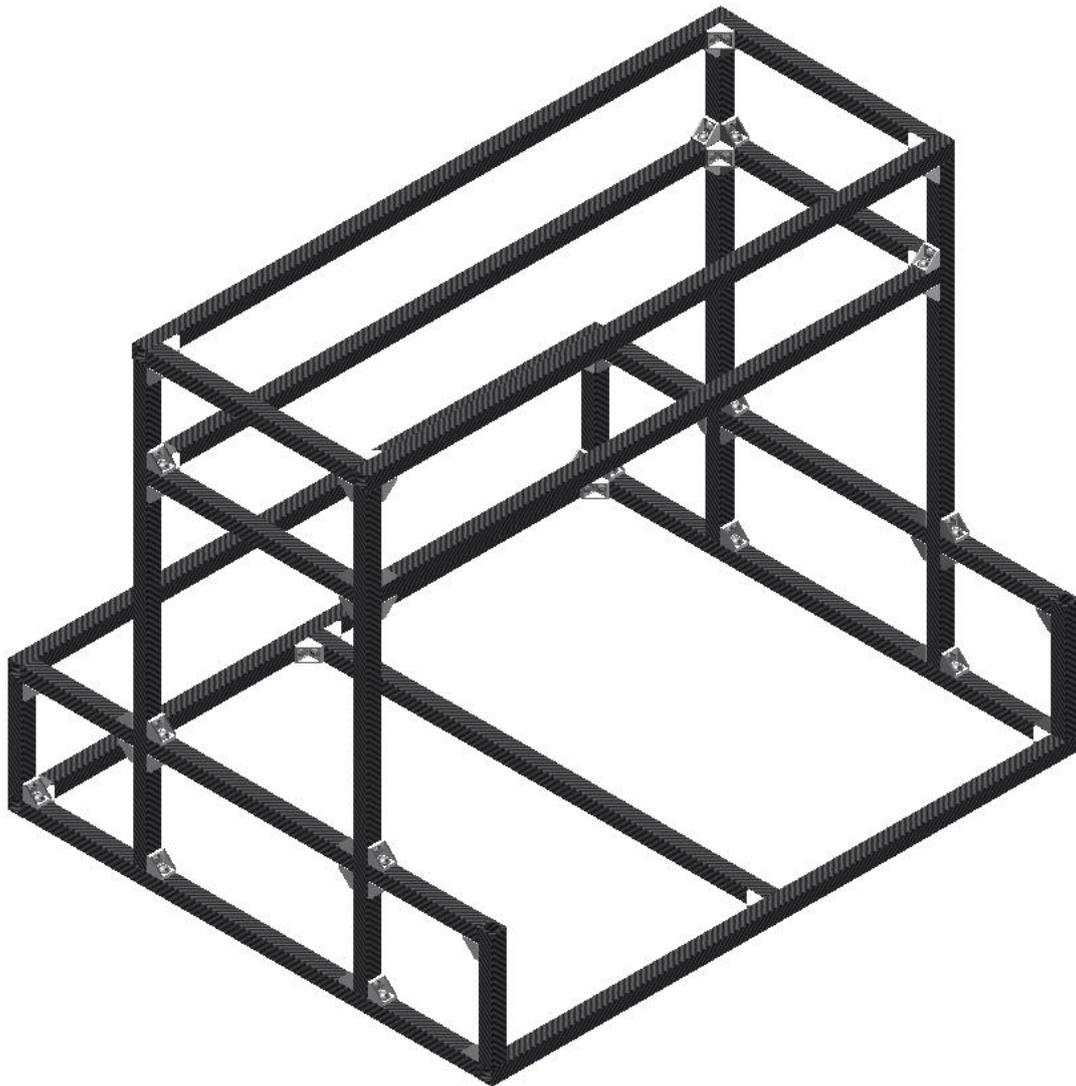


Figura 2. 41 Vista isométrica de la jaula del módulo de dispensación  
Fuente: Elaboración Propia

Las propiedades mecánicas del material utilizado también es fibra de carbono, sus propiedades se pueden apreciar en la Tabla 2. 24 anteriormente mencionada.

Para efectos de la simulación, se considera aplicar una carga de 70 N que representa un peso ligeramente mayor al peso total del módulo de dispensación. Esta carga estará colocada sobre todos los perfiles que forman parte de la base de la jaula. También se considera el propio peso de la estructura como fuerza. Finalmente, se asume como apoyo rígido a la unión entre los perfiles del nivel superior con la placa de sujeción. En la Figura 2. 42 se aprecia la distribución de dichas fuerzas. Las flechas de color amarillo representan la carga distribuida de 70N, la flecha de color rojo representa el peso y la simbología cuadrada representa los puntos de apoyo fijo.

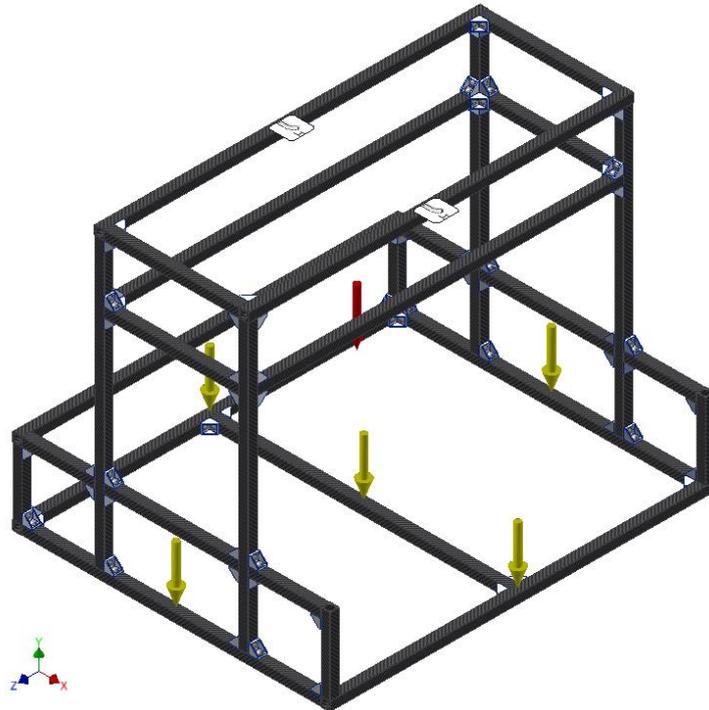


Figura 2. 42 Distribución de fuerzas en la jaula del módulo de dispensación  
Fuente: Elaboración Propia

Una vez realizada la simulación, en la Figura 2. 43 se puede observar los desplazamientos pequeños generados a lo largo de la jaula. Se puede apreciar en el indicador que el desplazamiento mayor es de 0.1203 mm, el cual está localizado en el perfil medio de la base de la jaula.

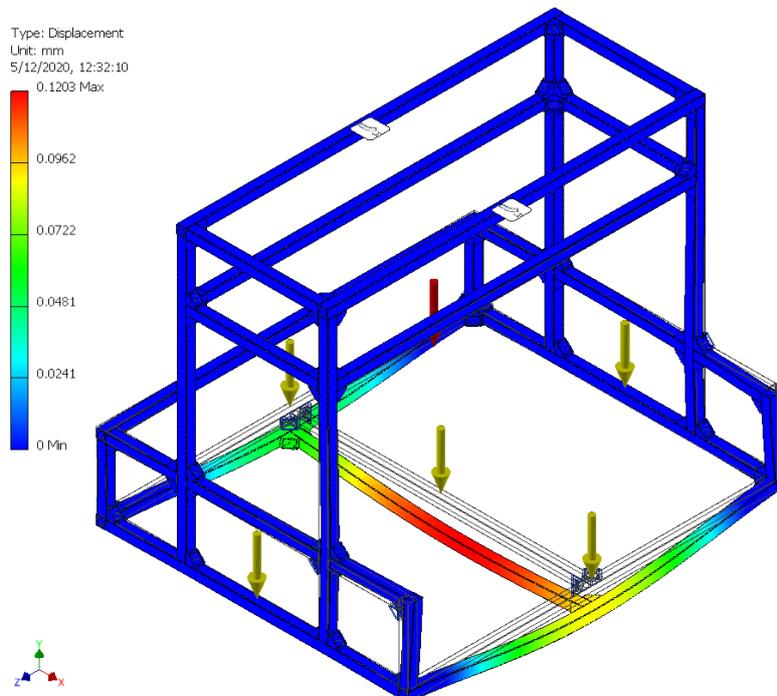


Figura 2. 43 Análisis de desplazamientos de la jaula del módulo de dispensación  
Fuente: Elaboración Propia

Para verificar la validez de que el diseño sea robusto para su uso, en la Figura 2. 44 se puede apreciar el factor de seguridad de la jaula. A lo largo de toda la estructura se observa que presenta un color azul que representa un factor de seguridad de 15, por lo que podemos decir que es bastante segura para el uso que se le dará.

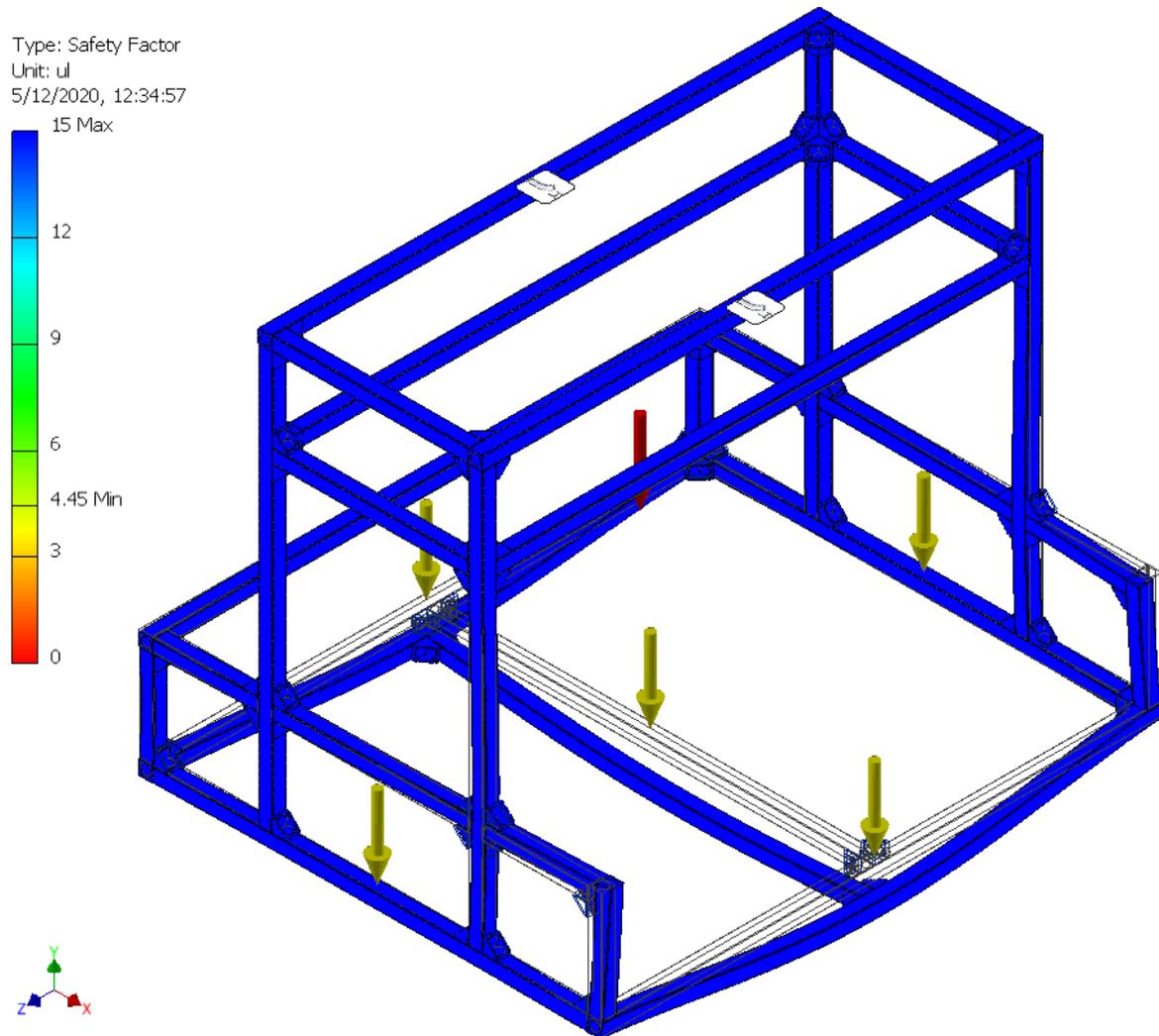


Figura 2. 44 Análisis de factor de seguridad de la jaula del módulo de dispensación  
Fuente: Elaboración Propia

## 2.5. Diseño Eléctrico / Electrónico

### 2.5.1. Diagrama de Conexiones

En la Figura 2. 45 se puede observar el diagrama de conexiones respectivo del sistema Móvil de Dispensación, en el cual se distinguen los diferentes tipos de relaciones existentes entre los componentes internos, tanto del módulo de dispensación, como del dron. De este modo, va a ser posible integrar todas las funcionalidades y lograr el objetivo principal.

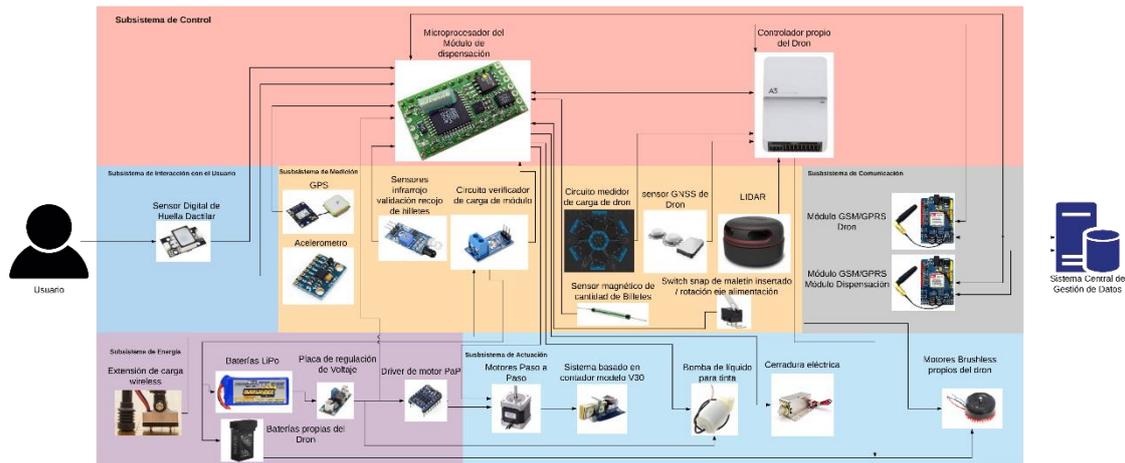


Figura 2. 45 Diagrama de Conexiones del Sistema Móvil de Dispensación de la Solución Óptima  
Fuente: Elaboración Propia

### 2.5.2. Diagramas de Circuitos Eléctricos y Electrónicos para Automatización y Control

La relación de planos eléctricos se encuentra anexada al presente documento como parte del ANEXO C: Relación de Planos.

## 2.6. Cálculo Energético

En la presente sección se analizarán los consumos energéticos generados tanto por el módulo de dispensación, como por el dron, de modo que se podrá dar un estimado de la duración del sistema bajo condiciones específicas.

### 2.6.1. Cálculo energético del Módulo de Dispensación

El cálculo realizado a continuación se realiza con el propósito de conocer la potencia necesaria para poder accionar correctamente al módulo de dispensación. Este cálculo servirá para elegir una batería correctamente.

A continuación, se presenta el balance energético de todos los componentes asociados al consumo energético del módulo de dispensación.

Tabla 2. 25 Consumo energético del Módulo de dispensación

Función	Componente	Cantidad	Corriente de Consumo (mA)	Voltaje de Alimentación (V)	Corriente Total (mA)	Potencia (mW)	Tiempo de uso (h)	Potencia Total (mWh)
Control módulo dispensación	Raspberry Pi 4 4GB RAM	1	2500	5	2500	12500	1	12500
Leer dato Personal	Lector de huella digital FPM10A	1	120	3.3	120	396	1	396
Medir cantidad billetes	Reed Switch MKA-07101	2	1	3.3	2	6.6	1	6.6
Verificar deposito insertado	Switch Snap Action DG13-B1LA	4	1	3.3	4	13.2	1	13.2
Verificar estado de batería	Sensor Tensión FZ0430 (despreciable)	1	0	0	0	0	1	0
Validar Recojo Billetes	Sensor IR SHARP GP2Y0D810Z0F	3	5	3.3	15	49.5	1	49.5
Detectar perturbaciones de vandalismo	Acelerometro ADXL 345	1	0.023	3.3	0.023	0.0759	1	0.0759
enviar/recibir informacion	Módulo A9G GSM/GPRS/GPS	1	2	4	2	8	1	8
Acondicionar Energía	LM350 consumo despreciable	4	0	0	0	0	1	0
Accionamiento de dispensacion	Motor NEMA 14 35CM04	4	2000	9.2	8000	73600	0.5	36800
Accionamiento protocolo emergencia	Driver motor PaP	4	0	22.2	0	0	0	0
	Bomba de Agua 240 L/h	1	350	12	350	4200	0.01	42
	Driver MOSFET bomba agua	1	0	22.2	0	0		
Componente del dron Compartido - Medir Obstaculos	Sensor Lidar SF45/B	1	300	5	300	1500	1	1500
				Corriente total componentes asociados al raspberry	143.023 mA	Total		51315.376 mWh

Fuente: Elaboración Propia

Considerando todos los elementos internos del módulo de dispensación con un consumo considerable a tener en cuenta y añadiendo la carga de procesamiento del sensor Lidar del dron al Raspberry para evitar sobrecargar el controlador de vuelo CUAV, para un tiempo de duración sin carga de 1 hora del módulo en funcionamiento, el consumo energético requiere de una potencia de 51315.376 mWh. Por otro lado, como detalle, el Raspberry puede funcionar a una corriente de 2.5 A mientras que la corriente destinada a energizar otros componentes por medio de él no exceda a 500 mA. En este caso esa corriente es de 143.023 mA, por lo que se puede realizar dicho ajuste.

Considerando la necesidad energética total, escogemos una batería que se adapte a las exigencias.

Tabla 2. 26 Selección de batería apropiada

Función	Componente	Cantidad	Capacidad de Carga (mAh)	Voltaje de Operación (V)	Potencia (mWh)	Duración sistema (h)
Almacenar Energía	Batería Turnigy 6s	1	3000	22.2	66600	1.2978566 h

Fuente: Elaboración Propia

Luego, realizamos una comprobación de la potencia requerida vs la potencia que la batería seleccionada nos ofrece y como resultado nos ofrece una duración del sistema de 1.3 h. Este resultado es satisfactorio puesto que tanto el módulo como el dron necesitarán de energía autónoma básicamente para el periodo de vuelo, puesto que una vez que aterricen en la estación, se procederá con la carga inalámbrica.

## 2.6.2. Cálculo energético del Dron

El cálculo realizado a continuación se realiza con el propósito de conocer la potencia necesaria para poder accionar correctamente al dron. Este cálculo servirá para poder validar que con las baterías que presenta por defecto, el dron será capaz de ejecutar correctamente sus funciones.

Para poder realizar un cálculo aproximado, se tomará en cuenta el uso de algunos datos proporcionados por el fabricante. en el cual, por medio de una curva azul (baterías TB47S) y verde (baterías TB48S) se indica la duración del sistema sometido a un rango de cargas variantes. El dato que se utilizará es el asociado a una carga de 6 kg con el uso de baterías modelo TB47S. La duración del sistema bajo una carga portante de 6 kg es de 16 minutos.

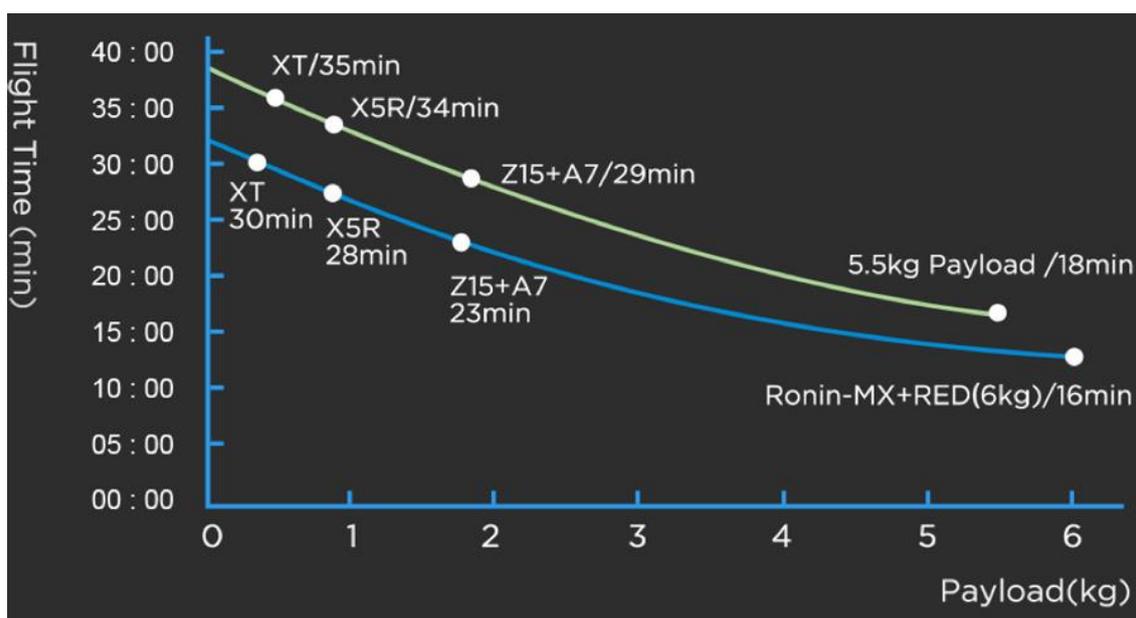


Figura 2. 46 Curva carga portante vs Tiempo de Vuelo  
Fuente: (DJI, 2020c)

A continuación, se presenta el balance energético de todos los componentes asociados al consumo energético del dron.

Tabla 2. 27 Consumo energético del Dron

Función	Componente	Cantidad	Corriente de Consumo (mA)	Voltaje de Alimentación (V)	Corriente Total (mA)	Potencia (mW)	Tiempo de Uso (h)	Potencia Total (mWh)
<b>Componentes Propios del dron</b>								
Control vuelo	DJI A3 Pro Flight Controller	1	3000	9	3000	27000	0.26666667	7200
Medir posición del sistema	Paquete DJI A3 Pro	1	-	-	-	16000	0.26666667	4266.66667
							total	11466.6667
<b>Componentes a reemplazar/colocar</b>								
Control vuelo	CUAV V5+ Autopilot	1	1000	5	1000	5000	0.26666667	1333.33333
Medir posición del sistema	Here+ V2 RTK GNSS (M8P)	1	50	3	50	150	0.26666667	40
Enviar/Recibir Información	Módulo A9G GSM/GPRS/GPS	1	2	4	2	8	0.26666667	2.13333333
							total	1375.46667
Diferencia de potencias		10091.2 mWh						
Consumo componentes originales - Consumo cambio de componentes		10.0912 Wh						

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla mostrada, se puede apreciar la potencia consumida por componentes originales propios del modelo DJI Matrice 600 Pro y la potencia consumida por componentes que reemplazarán los primeros durante un tiempo de vuelo de 16 minutos. Como se puede inferir, se producirá una diferencia en el consumo energético resultante. En base al cálculo realizado, se puede observar que con los componentes de reemplazo se está generando un ahorro energético de 10.0912 Wh. Por ello podemos concluir que como mínimo se cumplirá con el tiempo de vuelo de 16 minutos, con la posibilidad de poder ser mayor.

## **2.7. Diseño de Control**

Los esquemas presentados en esta sección muestran la lógica de control a seguir para poder realizar todas las funciones asociadas al transporte y dispensación del sistema móvil de dispensación.

### **2.7.1. Diagramas de Flujo del Sistema**

En la siguiente sección se presentan los diagramas de flujo del sistema que muestran el funcionamiento completo de este. El sistema se compone de 5 funciones principales, las cuales son las siguientes: el accionamiento del despegue, vuelo aterrizaje del sistema, el accionamiento del proceso de dispensación y la asignación de los destinos de vuelo.

#### **2.7.1.1. Diagrama de Flujo General**

En la Figura 2. 47 se muestra el diagrama de flujo general. El presente diagrama indica el funcionamiento paso a paso que el sistema móvil de dispensación realiza para poder cumplir con un ciclo de dispensación.

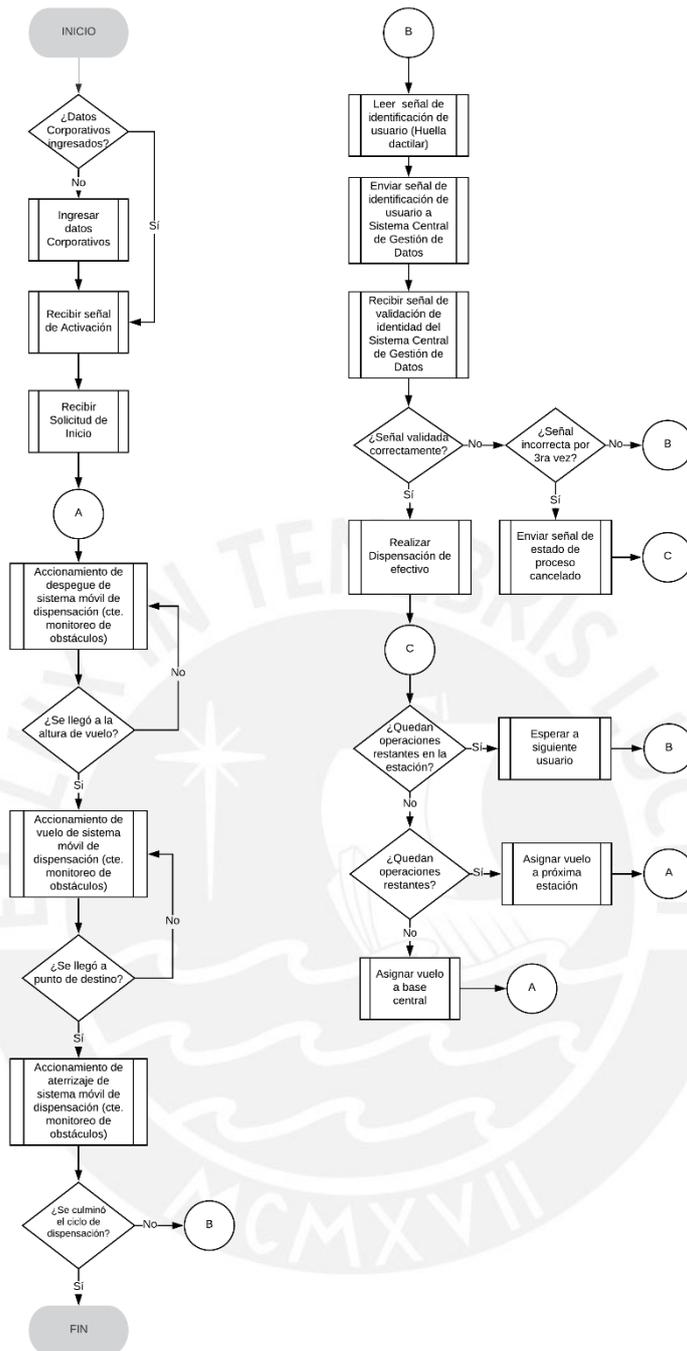


Figura 2. 47 Diagrama de Flujo General del Sistema Móvil de Dispensación  
Fuente: Elaboración Propia

El proceso inicia identificando si los datos corporativos se encuentran ingresados en el sistema móvil de dispensación; es decir, con la verificación de que este se encuentre debidamente identificado dentro del sistema central de gestión de datos. Luego se procede a la espera de la solicitud de inicio para fijar el primer punto de destino. Una vez recibida la solicitud, el sistema procede con el accionamiento del despegue, el cual culmina una vez alcanzada la altura de vuelo. Como siguiente paso, se procede con el accionamiento de vuelo del sistema desde su ubicación inicial hasta la ubicación de destino. Al llegar al punto de destino, se procede con el ciclo de aterrizaje hacia la estación de dispensación. Al aterrizar se evalúa si se culminó con el

ciclo de dispensación, esta evaluación es requerida para poder dar como finalizada la rutina. A continuación, se espera a que el usuario llegue a la estación y se identifique ingresando su huella dactilar en el sensor. Una vez captada dicha información, esta es enviada al sistema central de gestión de datos para proceder con la validación. Después de recibir la validación por parte del sistema central de gestión de datos, en caso de haberse validado la identidad correctamente, se procede a realizar la dispensación de dinero en efectivo; en caso contrario, se solicitará nuevamente la identidad del usuario, por un máximo de tres intentos. En caso que no se valide correctamente la identidad luego de dichos intentos, se cancelará la operación. En caso de haber procedido con la dispensación, se evalúa si restan operaciones pendientes en la estación para quedar a la espera del siguiente usuario. En caso de quedar operaciones en otra estación de dispensación, se procederá con el ciclo de vuelo a dicho punto de destino. En caso de no quedar operaciones restantes, el sistema se dirigirá automáticamente a la base central para dar por finalizado el proceso.

### 2.7.1.2. Diagrama de Flujo Función: Accionamiento de Despegue

Luego de recibida la solicitud de inicio o de próximo destino, el dron se elevará a la altura de vuelo asignada. Para realizar dicha acción, se debe de aplicar una potencia de vuelo mayor a la de desplazamiento. Cabe resaltar que el sistema no iniciará con el vuelo hasta presentar un nivel mayor igual al 90% de carga de energía.

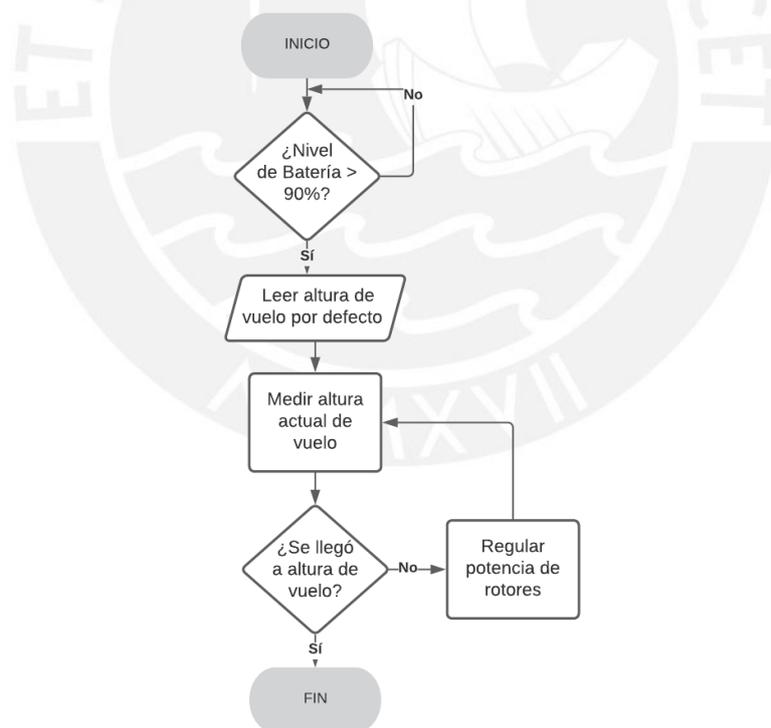


Figura 2. 48 Diagrama de Flujo de Accionamiento de Despegue

Fuente: Elaboración Propia

### 2.7.1.3. Diagrama de Flujo Función: Accionamiento de Vuelo

Al culminar con el ciclo de despegue, el sistema automáticamente entra al modo de vuelo. La primera acción a realizar es leer el punto de destino e inmediatamente seguir la ruta planeada por medio del accionamiento de los rotores del dron. Con cierta frecuencia se realiza una comparación entre la posición actual del sistema y la posición deseada. Mientras ambas posiciones difieran, el sistema seguirá en ruta. Una vez que se haya alcanzado el punto de destino, la presente función se da por culminada.



Figura 2. 49 Diagrama de Flujo de Accionamiento de Vuelo  
Fuente: Elaboración Propia

### 2.7.1.4. Diagrama de Flujo Función: Accionamiento Aterrizaje

Acabado el ciclo de vuelo, se realiza una medición de la posición de vuelo para verificar la altura actual del sistema, posteriormente se realiza un descenso controlado hasta llegar a la posición de aterrizaje. Finalmente, la función finaliza apagando los rotores del sistema.

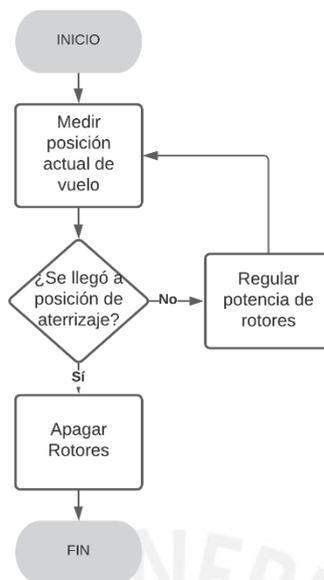


Figura 2. 50 Diagrama de Flujo de Accionamiento de Aterrizaje  
Fuente: Elaboración Propia

### 2.7.1.5. Diagrama de Flujo Función: Accionamiento de Dispensación de Efectivo

Al validar la correcta identidad del usuario, se procede con la dispensación de dinero en efectivo. El proceso inicia leyendo el monto solicitado, luego se mide la cantidad de billetes disponibles al verificar si la señal de estado de carga no indica una baja cantidad de billetes. En base al monto solicitado, se calcula cuantos billetes dispensar por cada una de las maletas para cumplir con dicho monto. Una vez calculado dicho parámetro, se acciona el sistema de alimentación y de transporte respectivamente para comenzar la dispensación de billetes. Cabe resaltar que cada vez que un billete sale de la maleta, este es detectado por un sensor infrarrojo y con ello se incrementa la cuenta llevada. Por otro lado, ambos sistemas funcionan en paralelo, pero en cuanto la cuenta de billetes se complete, el sistema de alimentación se desactivará inmediatamente y el sistema de transporte dará a las fajas una cantidad giros por defecto para poder asegurarse de que el dinero sea correctamente entregado. Luego de dichos giros por defecto, el sistema de fajas también se desactivará.

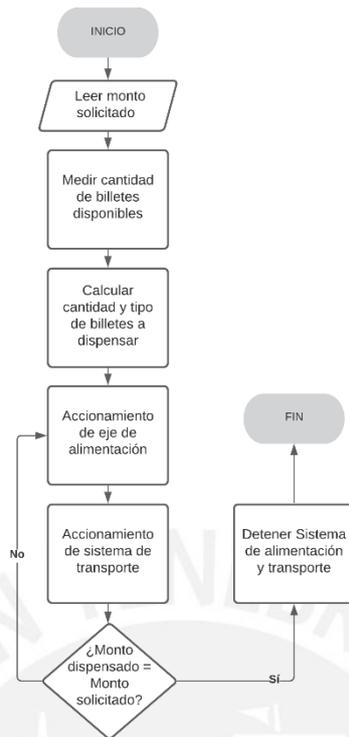


Figura 2. 51 Diagrama de Flujo de Accionamiento de Dispensación de Efectivo  
 Fuente: Elaboración Propia

## 2.7.2. Estrategia de Control

En la presente sección se muestra a detalle la estrategia de control aplicada para cada uno de los actuadores y componentes del sistema para un correcto funcionamiento.

### 2.7.2.1. Estrategia de Control: Módulo de Dispensación

A continuación, se presentan los criterios de control de los subsistemas del módulo de dispensación.

#### Control del Motor Paso a Paso del Eje de Alimentación

El motor de pasos del eje de alimentación puede ser controlado gracias al driver DRV8825, el cual le permite controlar la cantidad de pasos a realizar, el sentido de giro y el encendido/apagado del motor. El switch y la leva brindan la posición inicial luego de cada giro completo; de este modo, el sistema presenta una guía para poder dispensar un billete por cada giro de manera controlada. La acción de control es generada por medio del controlador del módulo de dispensación (Raspberry) a través del driver que controla el giro del motor.

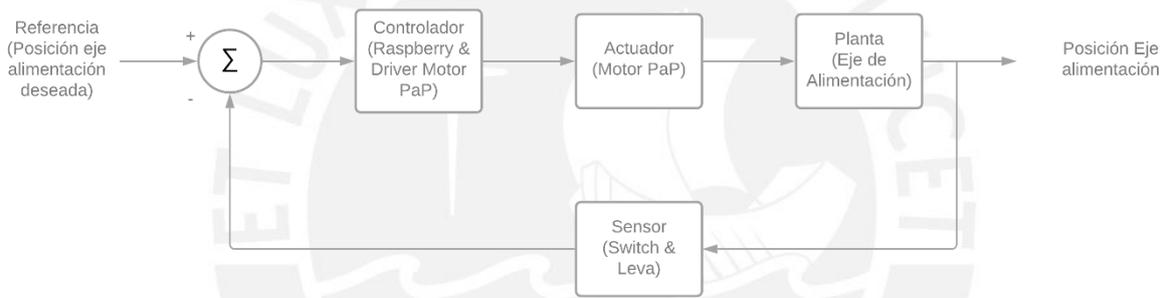


Figura 2. 52 Diagrama de control del motor de pasos del eje de alimentación  
Fuente: Elaboración Propia

#### Control del Motor Paso a Paso del Sistema de Transporte

El motor de pasos que acciona el sistema de transporte, al igual que el motor de pasos del eje de alimentación, es controlador por el mismo driver DRV8825. Para el correcto funcionamiento del lazo, una vez que el sistema sea energizado, el motor se encargará de dar un giro completo de la faja una vez que el sensor infrarrojo detecte la entrada del billete al inicio del sistema de transporte.

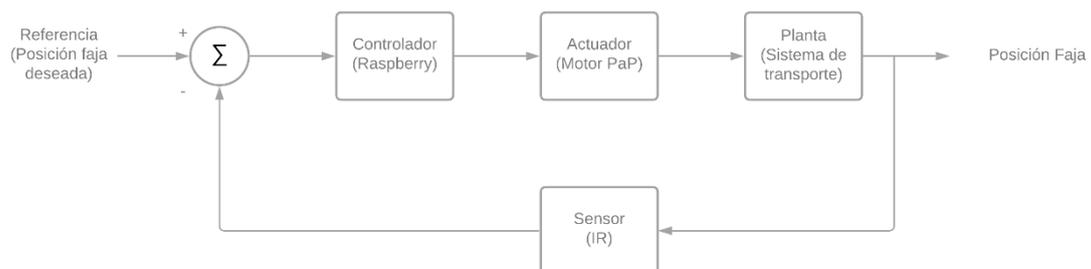


Figura 2. 53 Diagrama de control del motor de pasos del sistema de transporte  
Fuente: Elaboración Propia

## Control de la Bomba de Tinta del Protocolo de Emergencia

La bomba encargada de drenar la tinta para invalidar el contenido transportado (billetes) cuenta con un driver MOSFET IRF520 que facilita su control por medio de una señal digital del controlador de activación/desactivación. La activación de dicha señal es realizada en caso de que los sensores detecten una caída repentina durante el vuelo, la cual se asume como acto vandálico; o en caso que el módulo sea extraído fuera de un perímetro establecido durante el proceso de dispensación, el cual se asume igualmente como un intento de hurto.

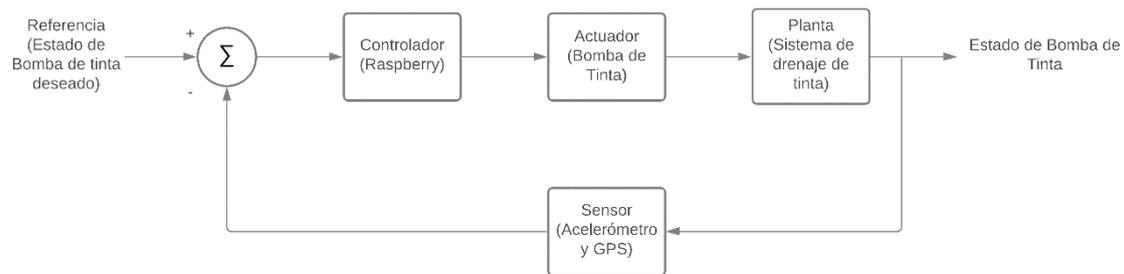


Figura 2. 54 Diagrama de control de la bomba de tinta del protocolo de emergencia  
Fuente: Elaboración Propia

### 2.7.2.2. Estrategia de Control: Dron

A continuación, se presentan los criterios de control de los subsistemas del dron.

#### Control de Posición del Dron

El control de posición del dron es logrado por medio del controlador de vuelo CUAV V5+. El controlador se encarga de enviar la señal de velocidad de los rotores para que el ESC pueda leerla y ejecutarla al rotor. Cabe resaltar que el sistema de propulsión es conocido como el conjunto de ESC, rotor y hélices. Para poder conocer la posición actual del sistema, se realiza una lectura de los sensores GPS y GNSS, y esta es comparada con la posición final deseada para verificar la trayectoria restante de vuelo.

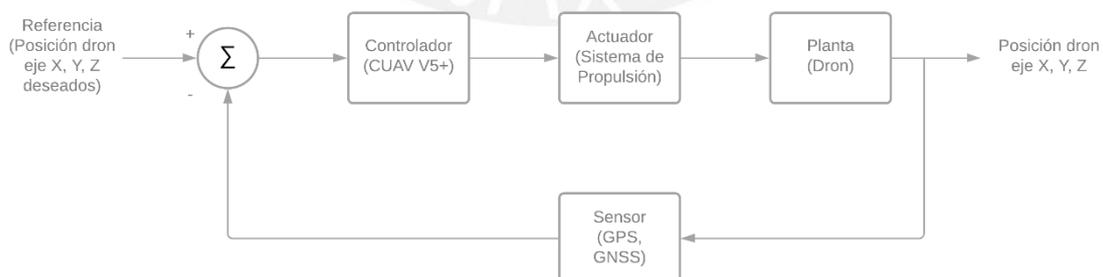


Figura 2. 55 Diagrama de control de posición del dron  
Fuente: Elaboración Propia

## Control de Detección de Obstáculos

El control de detección de obstáculos es logrado gracias a la lectura del sensor Lidar, el cual brinda una nube de puntos de los objetos cercanos detectados en el entorno. El proceso se logra realizando un cálculo de la posición de los objetos del entorno con la posición actual del sistema. Gracias a ello, es posible tomar acciones evasivas correctivas para modificar la trayectoria de vuelo del dron. Cabe resaltar que el procesamiento de la detección de obstáculos es realizado por el controlador del módulo de dispensación (Raspberry Pi 4 Model B+) porque presenta una mayor capacidad de procesamiento que el controlador de vuelo y porque este no es apto para dicha labor. Sin embargo, los resultados son comunicados entre ambos controladores por medio del protocolo I2C para brindar la información al controlador de vuelo de tomar las medidas evasivas.

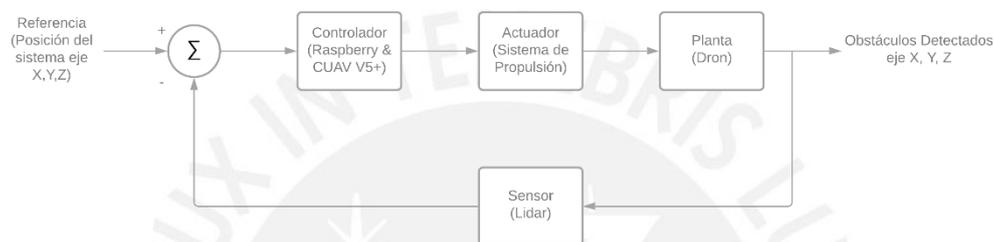


Figura 2. 56 Diagrama de control de detección de obstáculos  
Fuente: Elaboración Propia

## Control de Nivel de Carga de Batería

El control de nivel de carga de batería del dron es realizado por un circuito interno del controlador de vuelo, el cual mide el voltaje de las baterías. A medida que se consume energía de las baterías durante el vuelo, el voltaje va disminuyendo. Con el presente control se verificará que la descarga de las baterías se mantenga dentro de un parámetro seguro y no las exponga a daños mayores. Es por ello que el sistema no se movilizará hacia su siguiente punto de destino hasta tener la carga suficiente.

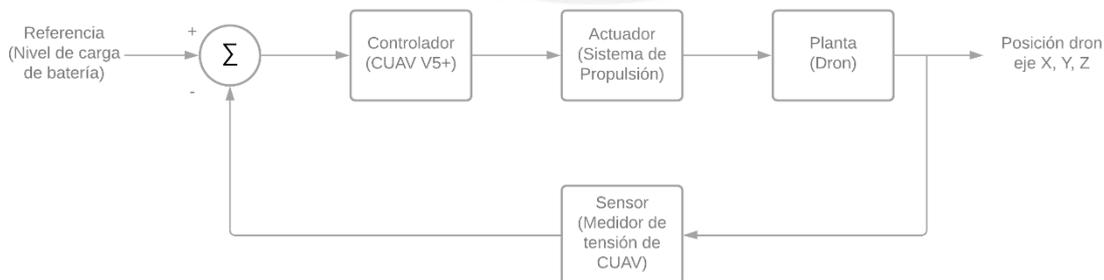


Figura 2. 57 Diagrama de control de nivel de carga de batería  
Fuente: Elaboración Propia

### 2.7.3. Diseño de la interfaz de usuario

En la presente sección se muestra a detalle el diseño gráfico de la interfaz de interacción con el usuario que permite completar un ciclo de dispensación.

La aplicación a desarrollar debe de formar parte de la aplicación base del banco. Es por ello que el acceso a la interfaz debe de aparecer dentro de las opciones de dicha aplicación, tal y como se representa en la Figura 2. 58.

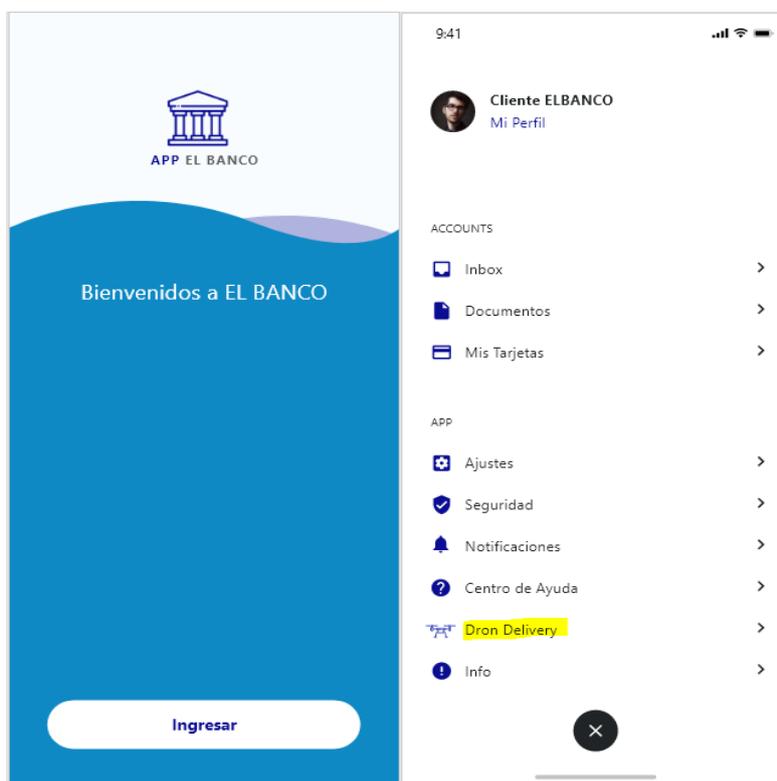


Figura 2. 58 Acceso a la interfaz de interacción con el usuario  
Fuente: Elaboración Propia

Una vez ingresada la opción, en la Figura 2. 60 , se muestra la opción de escoger la estación de dispensación más cercana. Cabe resaltar que la aplicación permite guardar las estaciones más habituales donde el cliente realiza sus operaciones. De esta manera es posible almacenar una estación predeterminada cercana al hogar o al trabajo.

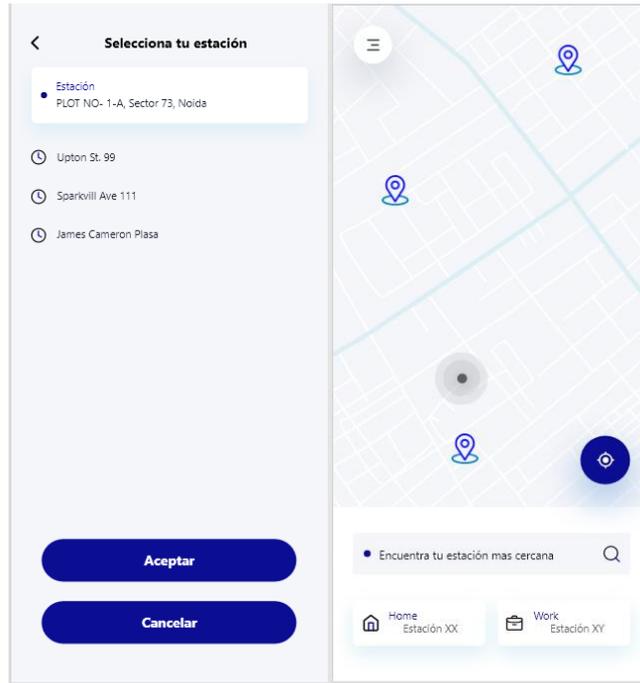


Figura 2. 60 Selección de estación de dispensación  
Fuente: Elaboración Propia

Luego de seleccionada la estación de dispensación, se procede a brindar los detalles de la transacción, como se puede apreciar en la Figura 2. 59. En dicha ventana se debe de ingresar el monto a dispensar y validar que el número de la tarjeta seleccionada sea el adecuado. Debe de considerarse que el monto a ingresar debe de estar en función de los billetes disponibles que porta el sistema en ese momento.



Figura 2. 59 Detalles de la transacción  
Fuente: Elaboración Propia

Al confirmar el monto a dispensar, el sistema central de gestión de datos se encarga de asignar un sistema móvil de dispensación para atender a la solicitud. La trayectoria, así como el tiempo de llegada del sistema móvil pueden ser visualizadas por el usuario en todo momento, tal y como se aprecia en la Figura 2. 61.

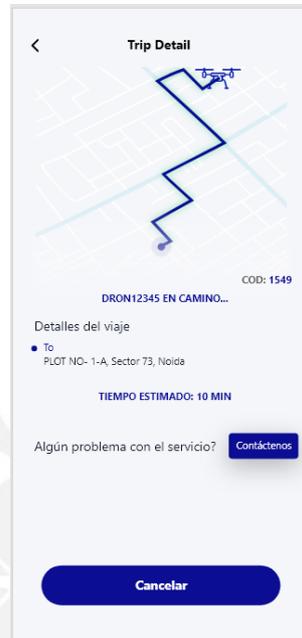


Figura 2. 61 Detalles del viaje  
Fuente: Elaboración Propia

Cuando el sistema móvil se encuentre en la estación de dispensación, una alerta es enviada al usuario para que proceda a ingresar dentro de ella, esto se aprecia en la Figura 2. 62.



Figura 2. 62 Alerta de Llegada del Dron  
Fuente: Elaboración Propia

Para proceder con la transacción, como se muestra en la Figura 2. 63, una alerta es mostrada en la aplicación e indica ingresar la huella dactilar en el lector de huellas del sistema móvil de dispensación.

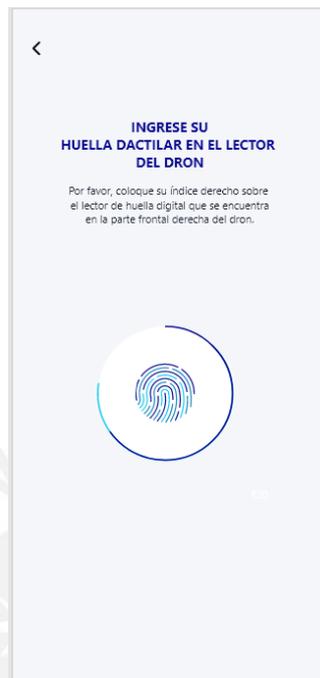


Figura 2. 63 Alerta de ingreso de huella dactilar  
Fuente: Elaboración Propia

Luego de ingresada la huella, el sistema se encarga de realizar la validación de identidad correspondiente y de efectuar el ciclo de dispensación. A lo largo de esta etapa, se muestra la pantalla mostrada en la Figura 2. 64.



Figura 2. 64 Transacción en proceso  
Fuente: Elaboración Propia

Finalmente, una vez realizada correctamente la transacción, se presenta un cuadro resumen con los detalles de dicha operación, el cual puede observarse en la Figura 2. 65.



Figura 2. 65 Transacción realizada  
Fuente: Elaboración Propia

## 2.8. Costos

En esta sección se presenta un resumen de los costos de elaboración del Sistema de Dispensación Móvil. Los costos totales se han dividido en la estimación de costos de componentes mecánicos, costos de componentes electrónicos y de control y en costos de diseño del sistema.

### 2.8.1. Costos del Sistema Mecánico del Módulo de Dispensación

Los costos considerados en el diseño del sistema mecánico son referentes a todos los componentes que forman parte de la estructura, de los actuadores y del costo de operación necesario para su ensamble. En la Tabla 2. 28 se presenta una lista de dichos componentes.

Tabla 2. 28 Costos del Sistema Mecánico del Módulo de Dispensación

Número	Componente	Cantidad	Costo Unitario (s/.)	Total (s/.)
1	Jaula SQR 10x10x400mm	5		
2	SQR 10x10x310mm	3	Longitud de estructura	
3	SQR 10x10x80mm	2	6330	
4	SQR 10x10x75mm	4	Aproximación para compra	
5	SQR 10x10x380mm	2	7000	772.36
6	SQR 10x10x300mm	4	Costo de corte y ensamble	386.18

7	SQR	10x10x140mm	6			
8	SQR	10x10x70mm	2			
9	Resina Epoxi	408 ml	1	26		26
10	Perfil de Esquina	10x10mm	74	4.50		333
11	Ensamble General	Remache DIN 7337 - 4x6 mm	228	56.10	Paquete de 500 pcs	56.10
12					Plancha Base 500x400x1.5mm	421.62
13	Plancha Nivel Inferior		1		Costo de corte y ensamble	210.81
14	Plancha Límite Maleta		1			
15	Plancha Nivel Medio		1		Plancha Base 500x400x1.5mm	421.62
16					Costo de corte y ensamble	210.81
17	Plancha Nivel Superior		1		Plancha Base 400x250x1.5mm	210.80
18					Costo de corte y ensamble	105.40
19	Plancha Frontal		1		Plancha Base 500x400x1.5mm	421.62
20					Costo de corte y ensamble	210.81
21	Plancha Trasera		1		Plancha Base 500x400x1.5mm	421.62
22					Costo de corte y ensamble	210.81
23	Plancha Lateral Izquierda		1		Plancha Base 500x400x1.5mm	421.62
24					Costo de corte y ensamble	210.81
25	Plancha Lateral Derecha		1		Plancha Base 500x400x1.5mm	421.62
26					Costo de corte y ensamble	210.81
27	Placa Fijación Dron		1		Plancha Base 400x250x1.5mm	210.80
28					Costo de corte y ensamble	105.40
29	Componentes HDPE			Filamento Impresora 3D HDPE x1kg		
30				170.20	peso (kg)	peso total (kg)
31	Placa Guía U		1	0.037		0.037
32	Bloque de Cerradura		1	0.02		0.02
33	Contenedor de Tinta		1	0.004		0.004
34	Tapa Superior Maleta		2	0.074		0.148
35	Riel Regulación Izquierdo		2	0.01		0.02
36	Riel Regulación Derecho		2	0.01		0.02
37	Placa Empuje Tapa Inferior de Base		2	0.031		0.062
38			2	0.07		0.14
39	Base Maleta		2	0.15		0.3
40				Total (kg.)		0.751
41						Costo Impresión 3D
						831
42	Ensamble General		1 kg Aluminio 6061			
43					Peso Placa (kg)	

44	Placa Guía	1	12.75	0.083	12.75
45	Transporte Placa Soporte	3			
46	Sensor IR			Costo de Trabajo en Chapa	86
47	Placa Cabina				
48	Dispensacion	1		Plancha Base 500x400x1.5mm	421.62
49	Placa Cabina Dispensacion Bateria	1		Costo de corte y ensamble	210.81
50	Placa Fajas de Transporte	1		Plancha Base 500x400x1.5mm	421.62
51	Placa Sistema de Alimentación	4			
52	Placa Sistema de Transporte	2		Costo de corte y ensamble	210.81
53	Placa Separadora de Maletas	1		Plancha Base 400x250x1.5mm	210.80
54	Placa Sujecion Bateria	1			
55	Placa Sujecion Cerradura	1			
56	Placa Sujeción Sensor Huella Digital	1		Costo de corte y ensamble	105.40
57	Eje de Alimentación	2	35		70
58	Poleas de Alimentacion Correas Dentadas	4	5		20
59	Motor Alimentación	2	10		20
60	Correas Dentadas Motor Transporte	2	10		20
61	Correas Dentadas Transporte	2	25		50
62	Poleas transporte	8	5		40
63	Eje de Transporte	4	6		24
64	Rodamiento Sistema Alimentación	4	2		8
65	Rodamiento Sistema Transporte	8	2		16
66	Cerradura Eléctrica	1	28		28
67	Motor de Pasos Nema 14	4	87.35		349.40
68	Circlip BS 3673	8	1		8
69	Circlip DIN 6799 4	6	1		6
70	Leva Sincronía	2	8		16
71	Pasador Leva	2	2		4
72	Perno AS 1427	16	0.20		3.20
73	Perno ISO 7045 H M2 x 10	8	0.20		1.60
74	Tuerca DIN 439-2 M-2	8	0.20		1.60
75	Perno IFI 513 M2.5x0.45	5	0.20		1
76	Perno ANSI B18.6.7M M2.5x0.45	57	0.20		11.40

77	Perno ANSI B 18.2.4.1M M2.5x0.45	8	0.20	1.60
78	Perno ANSI B18.16.3M m3x0.5	11	0.20	2.20
79	Standoff BSO-M3- 6 ZI	15	3.60	54
80	Perno AS 1427 Z M2.5x6	15	0.20	3
81	Perno ANSI B18.6.7M M3x0.5x8	14	0.20	2.80
82	Perno ANSI B18.6.7M - M3x0.5x20	3	0.20	0.60
83	Bisagra 10mm	6	5	30
84	Imán Neodimio Cinta Adhesiva Doble Cara 50M	2	5	10
85	3M - 5mm Costo de Ensamble del Sistema	1	47	47
86		1	3000	3000
<b>TOTAL (s/.)</b>				<b>12 360.83</b>

*Fuente: Elaboración Propia*

Como se puede observar en la presente tabla, el sistema mecánico presenta un costo de s/. 12 360.83 para su fabricación.

### 2.8.2. Costos del Sistema Electrónico/Control del Módulo de Dispensación

En la Tabla 2. 29 se presenta una lista de los costos de los componentes eléctricos y de control del Módulo de dispensación.

*Tabla 2. 29 Costos del Sistema Electrónico/Control del Módulo de Dispensación*

Número	Componente	Cantidad	Costo Unitario (s/.)	Total (s/.)
1	Raspberry Pi 4 Model B 4GB RAM	1	299	299
2	Lector de Huella Digital FPM10A	1	150	150
3	Reed Switch MKA-07101	2	2.5	5
4	Switch Snap Action DG13-B1LA	4	8.47	33.88
5	Sensor de Tensión FZ0430	1	7.3	7.3
6	Sensor IR SHARP GP2Y0D810Z0F	3	35.19	105.57
7	Acelerómetro ADXL345	1	12	12
8	Módulo A9G GSM/GPRS/GPS	1	75	75
9	Turnigy Graphene Panther 3000mAh 6S 75C Battery Pack	1	250.7	250.7
10	Placa Regulación de Voltaje LM350 MD	1	20	20
11	Driver PaP DRV8825	4	20	80
12	Bomba de Agua MDC-PUMP-240	1	30	30
13	Driver MOSFET IRF520	2	6	12
14	Conector Molex 3 Pin	2	1	2
<b>TOTAL (s/.)</b>				<b>1 082.45</b>

*Fuente: Elaboración Propia*

Según se observa en la presente tabla, el costo de la integración de los componentes electrónicos y de control en el módulo de dispensación presentan un costo de s/.1 082.45.

### 2.8.3. Costos de Configuración del Dron

En la Tabla 2. 30 se presenta una lista de los costos de los componentes necesarios para la correcta configuración del dron.

Tabla 2. 30 Costos de Configuración del Dron

Número	Componente	Cantidad	Costo Unitario (s/.)	Total (s/.)
1	DJI Matrice 600 Pro	1	23705.26	23 705.26
2	CUAV V5+ AutoPilot Controller	1	1051.2	1 051.2
3	Here+ V2 RTK GNSS (M8P)	1	2144.1	2 144.1
4	Lidar SF45/B	1	1604.5	1 604.5
5	Módulo A9G GSM/GPRS/GPS	1	75	75
6	Wibotic Standard Low Power System	1	2334.96	2 334.96
<b>TOTAL (s/.)</b>				<b>30 915.02</b>

Fuente: Elaboración Propia

Según se observa en la presente tabla, el costo total para lograr la configuración del dron del Sistema Móvil de Dispensación presenta un valor de s/. 30 915.02.

### 2.8.4. Costos del Diseño Mecatrónico

En la Tabla 2. 31 se detallan los costos que implican el diseño del sistema, considerando el tiempo de desarrollo y la participación de una persona a cargo.

Tabla 2. 31 Costos del Diseño Mecatrónico

Diseño	costo por hora (s./ h)	horas al día (h / día)	días al mes (día / mes)	Meses	Precio Total (s/.)
Diseño Mecatrónico de Sistema Móvil de Dispensación	20	4	25	10	<b>20 000.00</b>

Fuente: Elaboración Propia

Según la Tabla 2. 31, el costo por honorarios por el diseño en ingeniería mecatrónico del Sistema Móvil de Dispensación es de s/. 20 000.00

### 2.8.5. Costo Total

Finalmente, la inversión final para el desarrollo e implementación del vehículo aéreo no tripulado para la dispensación de dinero en efectivo en billetes presenta un valor de s/. 64 338.30 tal como lo muestra la Tabla 2. 32.

Tabla 2. 32 Costo Total del Sistema

Concepto	Precio Total (s/.)
Costo Mecánico Módulo de Dispensación	12 360.83
Costo Electrónico/Control Módulo de Dispensación	1 062.45
Costo Configuración Dron	30 915.02
Costo Diseño Mecatrónico	20 000.00
<b>TOTAL (s/.)</b>	<b>64 338.30</b>

Fuente: Elaboración Propia



## CONCLUSIONES

- El sistema móvil de dispensación es apto para realizar una correcta dispensación de dinero en efectivo en billetes de manera autónoma.
- El módulo de dispensación cumple con los requerimientos geométricos asociados a las dimensiones limitantes
- El módulo de dispensación cumple con los requerimientos de seguridad y montaje asociados a la robustez en el diseño para proteger al contenido de personas externas y un acceso sencillo y seguro por parte de los operadores para realizar las recargas de dinero en efectivo correspondiente.
- El diseño del módulo de dispensación, asimismo como del dron escogido, son adecuados para un trabajo expuesto al polvo y la humedad de la intemperie gracias al tipo de material escogido para el diseño de su estructura.
- Se estudió el estado de la tecnología contemporáneo tanto de drones (RPA's) como de cajeros automáticos (ATM's) que ayudó en la selección y configuración de un dron capaz de transportar cargas considerables de manera autónoma y en el diseño del módulo de dispensación capaz de dispensar dinero en efectivo en billetes.
- Para justificar el concepto óptimo se realizaron cálculos, simulaciones de resistencia, planos de ensamble, planos de despiece, planos de conexiones eléctricas, electrónicas y esquemas lógicos y de control presentados en el documento y en los anexos.
- El sistema es capaz de realizar ciclos de dispensación en un rango de 3 km a la redonda desde su central de operaciones.
- En base a las estimaciones de costos de diseño de ingeniería, de materiales y componentes, se llegó a un precio de s/. 64 338.30 para la fabricación de un prototipo de sistema móvil de dispensación.
- El diseño del sistema está orientado a la dispensación de dinero en efectivo en billetes; sin embargo, dicho diseño tiene la capacidad de ser adaptado para la dispensación de diferentes notas de dimensiones similares, tales como boletos, tickets, entre otros. Es por ello que tiene el potencial para extender su uso según nuevas necesidades que se presenten en el futuro.

## RECOMENDACIONES

- A comparación con los cajeros automáticos normales, es una alternativa más versátil respecto a la flexibilidad para atender en diferentes puntos de dispensación. Es por ello que el uso del presente sistema es recomendable para atender puntos de mayor afluencia de clientes. También es recomendable para lidiar con la demanda ante la posibilidad de fallo de algún cajero automático en alguna sede, de modo que funciona también como sistema de respaldo.
- El desarrollo de nuevas tecnologías tales como baterías de mayor relación energía/peso y de drones más compactos que sean capaces de cargar mayor peso es de gran ayuda para el rendimiento del sistema.
- El material estructural utilizado en el diseño del módulo de dispensación responde a la necesidad de brindar alta resistencia mecánica y robustez en relación a una baja densidad; sin embargo, dicho material no es completamente impenetrable frente a intentos de asalto o manipulaciones no debidas. Es por ello que se sugiere que durante el proceso de dispensación, la estación de dispensación se encuentre debidamente implementada con un sistema de vigilancia que evite este tipo de inconvenientes.
- En el caso del módulo de dispensación, para evitar la presencia de varios componentes electrónicos, es recomendable el desarrollo de módulos tales que integren todas las funcionalidades necesarias, despreciando aquellas funciones adicionales que ofrecen dichos módulos con la finalidad de ahorrar consumo energético y espacio.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alibaba. (2020). *Mini cerradura eléctrica electromagnética de 12V CC*.  
<https://spanish.alibaba.com/product-detail/dc-12v-mini-small-solenoid-electromagnetic-electric-lock-latch-control-cabinet-drawer-lock-for-diy-project-60694862854.html?spm=a2700.8699010.29.11.1fcd5ca1cBUtZU>
- AllDataSheet. (2020). *LM350 Datasheet (PDF) - ON Semiconductor*.  
<https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/172041/ONSEMI/LM350.html>
- Altigator. (2020). *HERE+ V2 RTK GNSS (M8P)*. <https://drones.altigator.com/here-v2-rtk-gnss-m8p-p-42436.html>
- Arias, K., Sánchez Ríos, M., Betancourt Cortez, F. J., Leguizamón Sierra, G., García, R., & Mendoza Patiño, D. (2018). Estudio de las actividades relevantes en el diseño de productos. Modelo VDI 2221 frente al modelo metodológico I+P+D3. Artículo de revisión. *Revista ESPACIOS*, 39(09), 3–5.  
<https://www.revistaespacios.com/a18v39n09/a18v39n09p22.pdf>
- Arrow. (2020). *SIP-KITNXE001 Samsung ARTIK Development Board*.  
<https://www.arrow.com/es-mx/products/sip-kitnx001/samsung-artik>
- Asbanc. (2017). *Reducción del efectivo en el Perú*.  
<https://www.asbanc.com.pe/prensa/Reduccion-del-uso-del-dinero-en-efectivo-en-el-Peru.pdf>
- Autodesk Inventor Professional 2021. (2020). *AutoDesk Inventor*.  
<https://latinoamerica.autodesk.com/products/inventor/overview?plc=INVPROSA&term=1-YEAR&support=ADVANCED&quantity=1>
- Autopilot. (2020a). *CUAV V5+ Autopilot*.  
[https://docs.px4.io/master/en/flight\\_controller/cuav\\_v5\\_plus.html](https://docs.px4.io/master/en/flight_controller/cuav_v5_plus.html)
- Autopilot. (2020b). *CUAV V5 nano Autopilot*.  
[https://docs.px4.io/master/en/flight\\_controller/cuav\\_v5\\_nano.html](https://docs.px4.io/master/en/flight_controller/cuav_v5_nano.html)
- ClipCarbono. (2020a). *Plancha de fibra de carbono dos caras MATE - 400 x 250 x 1,5 mm*.  
<https://www.clipcarbono.com/es/home/302-plancha-de-fibra-de-carbono-dos-caras-mate-400-x-250-x-15-mm.html>
- ClipCarbono. (2020b). *Tubo cuadrado, exterior (10x10 mm.) - interior redondo (Ø 8 mm.) de fibra de carbono - Longitud 1000 mm*. <https://www.clipcarbono.com/es/home/944-tubo-exterior-cuadrado-10x10-mm-interior-redondo-o-8-mm-de-fibra-de-carbono-longitud-1000-mm.html>
- DigiKey Electronics. (2020a). *D2F-L-A1*.  
<https://www.digikey.com/es/products/detail/omron-electronics-inc-emc-div/D2F-L-A1/368468>
- DigiKey Electronics. (2020b). *DB1C-A1LB*. <https://www.digikey.com/es/products/detail/zf-electronics/DB1C-A1LB/412581>
- DigiKey Electronics. (2020c). *DG13-B1LA*. <https://www.digikey.com/es/products/detail/zf->

electronics/DG13-B1LA/91140

DJI. (2020a). *A3 Pro*. <https://store.dji.com/product/a3-pro>

DJI. (2020b). *D-RTK GNSS*. <https://www.dji.com/d-rtk/info>

DJI. (2020c). *DJI - Matrice 600 Pro*. DJI. <https://www.dji.com/matrice600>

DJI. (2020d). *E2000 TUNED PROPULSION SYSTEM*. <https://www.dji.com/e2000>

DJI. (2020e). *Matrice 600 Series 2170R Folding Propeller Kit (CW/CCW)*.  
<https://store.dji.com/product/matrice-600-2170-folding-propeller-kit-cw-ccw>

DJI. (2020f). *Matrice 600 Series TB47S Intelligent Flight Battery (6PCS)*.  
<https://store.dji.com/product/matrice-600-tb47s-intelligent-flight-battery-6pcs>

DJI. (2020g). *Matrice 600 Series TB48S Intelligent Flight Battery*.  
<https://store.dji.com/product/matrice-600-tb48s-intelligent-flight-battery>

ebay. (2020). *TURNIGY GRAPHENE PANTHER 3000mAh 6S 22.2V 75C-150C LIPO BATTERY XT90 RC HELI EDF*. <https://www.ebay.com/itm/TURNIGY-GRAPHENE-PANTHER-3000mAh-6S-22-2V-75C-150C-LIPO-BATTERY-XT90-RC-HELI-EDF/283840660266?hash=item421638c32a:g:-CAAOSwxOleioTd>

HiFi Electronics. (2020a). *Switch Magnetico 07mm GDI-07 Reed Switch 0.2 Amp @ 100 Volt DC*. <https://hifisac.com/shop/product/sm-07mm-switch-magnetico-07mm-gdi-07-reed-switch-0-2-amp-100-volt-dc-3825?search=reed+switch#attr=>

HiFi Electronics. (2020b). *Switch magnetico 14mm reed switch N abierto MKA14103 0.5A 100VDC*. <https://www.hifisac.com/shop/product/sm-14mmc-switch-magnetico-14mm-reed-switch-n-abierto-mka14103-0-5a-100vdc-6069#attr=>

HiFi Electronics. (2020c). *Switch magnetico 20mm reed switch*.  
<https://hifisac.com/shop/product/sm-20mm-switch-magnetico-20mm-reed-switch-3828#attr=>

Leadshine Technology Co. (2020). *CM en Loop Stepper Motors*.  
<https://www.leadshineusa.com/UploadFile/Down/CM Motors.pdf>

Lighware. (2020a). *LW20/C (100 m)*.  
<https://lightwarelidar.com/collections/frontpage/products/lw20-c-100-m>

Lighware. (2020b). *SF40/C (100 m)*.  
<https://lightwarelidar.com/collections/frontpage/products/sf40-c-100-m>

Lighware. (2020c). *SF45/B (50m)*.  
<https://lightwarelidar.com/collections/frontpage/products/sf45-b>

Llamas, L. (2016). *MEDIR VOLTAJES DE HASTA 25V CON ARDUINO Y FZ0430*.  
<https://www.luisllamas.es/medir-voltajes-de-hasta-25v-con-arduino-y-fz0430/>

Mouser Electronics. (2020a). *GP2Y0A21YK0F*. <https://www.mouser.pe/ProductDetail/Sharp-Microelectronics/GP2Y0A21YK0F?qs=5S%2F4hkdqNNcI0gpWLEuQ8w%3D%3D>

Mouser Electronics. (2020b). *GP2Y0A51SK0F*. <https://www.mouser.pe/ProductDetail/Sharp->

Microelectronics/GP2Y0A51SK0F?qs=Qrpqs4v%252BmsahSKJyPt06pw==

MTLAB SAC. (2020). *MiniBomba Sumergible DC 3-5 V 70-120L/H.*

<https://mtlab.pe/store/minibomba-sumergible-dc-3-5-v-70-120l-h/>

Naylamp Mechatronics. (2020a). *Bomba de agua D1/2" 12VDC 5m 800L/h.*

[https://www.naylampmechatronics.com/motores-dc/446-bomba-de-agua-d12-12vdc-5m-800lh.html?search\\_query=bomba+de+liquido&results=31](https://www.naylampmechatronics.com/motores-dc/446-bomba-de-agua-d12-12vdc-5m-800lh.html?search_query=bomba+de+liquido&results=31)

Naylamp Mechatronics. (2020b). *Bomba de agua sumergible 12VDC 3m 240L/h.*

[https://www.naylampmechatronics.com/motores-dc/260-bomba-de-agua-sumergible-12vdc-3m-240lh.html?search\\_query=bomba+de+liquido&results=30?search\\_query=bomba+de+liquido&results=30](https://www.naylampmechatronics.com/motores-dc/260-bomba-de-agua-sumergible-12vdc-3m-240lh.html?search_query=bomba+de+liquido&results=30?search_query=bomba+de+liquido&results=30)

Naylamp Mechatronics. (2020c). *Cerradura eléctrica 12VDC.*

<https://www.naylampmechatronics.com/actuadores-arduino/533-cerradura-electrica-para-gabinetes.html>

Naylamp Mechatronics. (2020d). *Driver Mosfet IRF520 6A.*

[https://www.naylampmechatronics.com/drivers/239-driver-mosfet-irf520-6a.html?search\\_query=irf520&results=3](https://www.naylampmechatronics.com/drivers/239-driver-mosfet-irf520-6a.html?search_query=irf520&results=3)

Naylamp Mechatronics. (2020e). *Driver PaP DRV8825 1.5A.*

<https://www.naylampmechatronics.com/drivers/126-driver-pap-drv8825.html>

Naylamp Mechatronics. (2020f). *Lector de huella digital 1000H.*

[https://www.naylampmechatronics.com/biometria/290-lector-de-huella-digital.html?search\\_query=lector+huella+digital&results=160](https://www.naylampmechatronics.com/biometria/290-lector-de-huella-digital.html?search_query=lector+huella+digital&results=160)

Naylamp Mechatronics. (2020g). *Lector de huella digital FPM10A.*

[https://www.naylampmechatronics.com/biometria/429-lector-de-huella-digital-fpm10a.html?search\\_query=lector+huella+digital&results=160](https://www.naylampmechatronics.com/biometria/429-lector-de-huella-digital-fpm10a.html?search_query=lector+huella+digital&results=160)

Naylamp Mechatronics. (2020h). *Módulo A7 GSM/GPRS/GPS.*

[https://www.naylampmechatronics.com/comunicacion/323-modulo-a7-gsm-gprs-gps.html?search\\_query=a7&results=6](https://www.naylampmechatronics.com/comunicacion/323-modulo-a7-gsm-gprs-gps.html?search_query=a7&results=6)

Naylamp Mechatronics. (2020i). *Módulo A9G GSM/GPRS/GPS.*

[https://www.naylampmechatronics.com/inalambrico/701-modulo-a9g-gsm-gprs-gps.html?search\\_query=a9g&results=1](https://www.naylampmechatronics.com/inalambrico/701-modulo-a9g-gsm-gprs-gps.html?search_query=a9g&results=1)

Naylamp Mechatronics. (2020j). *Módulo ADXL345 Acelerómetro Digital.*

[naylampmechatronics.com/sensores-posicion-inerciales-gps/528-modulo-adx1345-acelerometro-digital.html?search\\_query=ADXL+345&results=3](https://www.naylampmechatronics.com/sensores-posicion-inerciales-gps/528-modulo-adx1345-acelerometro-digital.html?search_query=ADXL+345&results=3)

Naylamp Mechatronics. (2020k). *Módulo MPU6050, Acelerómetro, Giroscopio I2C.*

[https://www.naylampmechatronics.com/sensores-posicion-inerciales-gps/33-modulo-mpu6050-acelerometro-giroscopio-i2c.html?search\\_query=mpu6050&results=2](https://www.naylampmechatronics.com/sensores-posicion-inerciales-gps/33-modulo-mpu6050-acelerometro-giroscopio-i2c.html?search_query=mpu6050&results=2)

Naylamp Mechatronics. (2020l). *Módulo MPU9250: Acelerómetro, Giroscopio,*

*Magnetómetro I2C.* <https://www.naylampmechatronics.com/sensores-posicion-inerciales-gps/214-modulo-mpu9250-acelerometro-giroscopio-magnetometro-i2c.html>

- Naylamp Mechatronics. (2020m). *Shield SIM900 GSM/GPRS*.  
[https://www.naylampmechatronics.com/arduino-shields/146-shield-sim900-gsm-gprs.html?search\\_query=sim900&results=4](https://www.naylampmechatronics.com/arduino-shields/146-shield-sim900-gsm-gprs.html?search_query=sim900&results=4)
- Optibelt. (2020). *MANUAL TÉCNICO PARA TRANSMISIONES POR OPTIBELT OMEGA HL / OMEGA HP Y OPTIBELT OMEGA CORREA DENTADAS*.  
<https://docplayer.es/116241574-Omega-hl-omega-5m-hp-incluye-manual-tecnico-para-transmisiones-por-optibelt-omega-hl-omega-hp-y-optibelt-omega-correa-dentadas.html>
- Pololu Electronics. (2020). *Pololu Carrier with Sharp GP2Y0D810Z0F Digital Distance Sensor 10cm*. <https://www.pololu.com/product/1134/resources>
- Raspberry Pi. (2020a). *Buy a Raspberry Pi 4 Model B – Raspberry Pi*. Raspberry Pi.  
<https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-4-model-b/>
- Raspberry Pi. (2020b). *Raspberry Pi 3 Model B+*.  
<https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b-plus/?resellerType=home>
- SKF. (2015). *Rodamientos*. <https://epidor.com/documentos/27-Epidor-Technical-Distribution-Catalogo-Rodamientos-SKF.pdf>
- Skysense. (2020). *Indoor Drone Charging Pad And Infrastructure*.  
<https://skycharge.de/indoor-charging-pad>
- TME Electronics. (2020). *SEN-14518 SPARKFUN ELECTRONICS INC*.  
<https://www.tme.com/pe/es/details/sf-sen-14518/sensores-de-posicion/sparkfun-electronics-inc/sen-14518/>
- Wibotic. (2020). *Standard Low Power System*. <https://www.wibotic.com/products/low-power-dev-kit/>

## ANEXOS

ANEXO A. LISTA DE REQUERIMIENTOS

ANEXO B. ESTRUCTURA DE FUNCIONES GLOBAL

ANEXO C. RELACION DE PLANOS



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**  
**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**

**1MTR01 TRABAJO DE FIN DE CARRERA 1**

**Lista de Requerimientos**

**Mayo 2020**

**Vehículo Aéreo No Tripulado para la Dispensación de Dinero en Efectivo en Billetes  
(Dron ATM)**

## **1. LISTA DE REQUERIMIENTOS**

El presente diseño conceptual va a necesitar cumplir con una serie de requerimientos demandados por el entorno y por las necesidades del sistema mismo. La finalidad será cumplir el objetivo general, el desarrollo de un vehículo aéreo no tripulado para la dispensación de dinero en efectivo en Billetes. En la lista se presentan los requerimientos obligatorios (**O**) y a la par algunos requerimientos deseados (**D**) con la finalidad de proponer un diseño más óptimo.

- **Función principal:** Este sistema busca automatizar el reparto de dinero en efectivo en billetes por medio de vehículos aéreos no tripulados (drones) con un rango de cobertura de 3km a la redonda. (**O**)
- **Geometría:** El diseño total de este sistema debe de ser compacto y liviano para poder ser transportable. También se debe de considerar que debe de tener medidas en relación con el dron que lo va a transportar. Dadas estas condiciones, se busca que el sistema presente dimensiones que se encuentren en el rango de 0.4 m x 0.5 m x 0.4 m (**D**). Por otro lado, el peso límite del módulo debe de ser de 6 kg (**O**).
- **Material:** Los materiales a considerar deben de ser livianos (**D**). Según normas estándares internacionales (UL-291) sobre la seguridad física de cajeros automáticos, los materiales de fabricación deben ser resistentes a cargas de impacto, de corte abrasivo y de corte térmico. (Roebbecke, K., 2018) (**D**)
- **Materia:**
  - La materia de ingreso será:
    - Dinero en efectivo por depositar en maletas de almacenamiento (**O**)
  - La materia de salida será:
    - Monto de dinero en efectivo solicitado por el usuario (**O**)
- **Cinemática:** Por ser un sistema automático, se deberá contar con mecanismos capaces de transportar el dinero en efectivo desde las maletas hasta la salida del módulo para la recepción del usuario. (**O**)
- **Fuerzas:** El sistema está diseñado para la dispensación de dinero en efectivo, por lo que los motores utilizados deberán tener la fuerza o el torque suficiente para poder transportar el dinero hacia la salida. Las fuerzas aplicadas deben de ser equilibradas como para no producir atascos de billetes durante el proceso. (**O**)

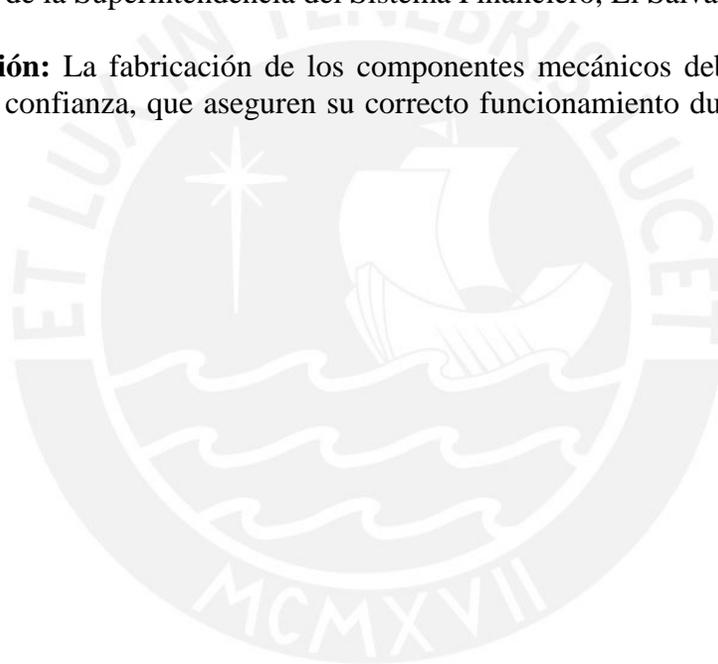
- **Energía:**
  - Las fuentes de energía que ingresan al sistema serán **(O)**:
    - Energía eléctrica: se utilizarán baterías eléctricas para el accionamiento de los sensores, actuadores y controladores del sistema. El voltaje de operación será de 22.2 VDC **(D)**
  - Las fuentes de energía que salen del sistema serán **(O)**:
    - Energía mecánica: el movimiento del flujo de billetes y el movimiento generado por los rotores durante el vuelo producirán energía potencial y cinética.
    - Energía sonora: es producida debido al funcionamiento de los rotores durante el vuelo. También será producto del recorrido de los billetes hacia el destinatario.
    - Energía luminosa: es producida por los actuadores del dron, los cuales revelan su posición por medio de luces de led y también por las luces producidas por el detector de huella digital (dependiendo del modelo).
    - Energía térmica: producto del funcionamiento de los rotores de las hélices del dron y de los actuadores del módulo de dispensación, los cuales liberan calor como parte de su funcionamiento.
  
- **Software:** El software debe proveer las herramientas necesarias para poder controlar y monitorizar el vuelo del sistema en todo momento. Deberá de ser capaz de validar los datos del usuario de manera segura y será responsable de controlar el mecanismo de entrega de dinero en efectivo **(O)**. También ofrecerá al cliente una interfaz sencilla e interactiva durante todo el proceso de la operación de retiro **(D)**. En la aplicación ofrecida al cliente, es necesario mostrar como información el recorrido del dron en tiempo real hasta la llegada a su destino **(O)**.
  
- **Comunicación:** La comunicación entre el usuario y el sistema debe de ser intuitiva para facilitar su uso durante el proceso de aprendizaje **(D)**. La comunicación entre los componentes internos con el servidor debe de ser debidamente asegurada para proteger la integridad del sistema móvil y los datos personales del usuario y de la empresa **(O)**.
  
- **Señales:**

Considerando al sistema como el conjunto de RPA (o dron) más servidor e interfaz gráfica para usuario y supervisor, las señales presentes en el sistema son las siguientes:

  - Las señales que se ingresarán al sistema serán **(O)**:
    - Señal de activación: Esta señal permitirá el flujo de energía eléctrica desde la batería hacia el resto de los componentes del sistema.
    - Señal de sincronización: Esta señal permite sincronizar los datos corporativos del banco al cual va a servir el sistema.
    - Señal de solicitud de inicio: Esta señal indica el inicio de la labor del sistema, en la cual se le indica el lugar y la ruta hacia donde debe de dirigirse para proceder con la transacción.

- Señal de datos personales: Una vez que el sistema llega al módulo, se recibe la presente señal para validar los datos personales y realizar la transacción.
  - Señal de próximo destino: Luego de realizada la transacción, el sistema recibe dicha señal que le indica si tiene un próximo destino o si debe de dirigirse a la central.
  - Señal de reposo: Esta señal es enviada una vez que el RPA se encuentra en la central para entrar/salir del modo de suspensión o reposo.
- Las señales que saldrán del sistema serán (O):
  - Señal de ubicación: señal que es enviada a la central para indicar la ubicación actual del sistema móvil
  - Señal de estado de proceso: será una señal visual que indicará si el sistema se encuentra en operación en caso de estar activado. Además, enviará a la central la notificación si se encuentra en estado de reposo, estado de vuelo, si ha aterrizado, si la transacción está en proceso y si la transacción ha finalizado.
  - Señal de emergencia: esta señal enviará una notificación a la central de que ha ocurrido algún imprevisto en el proceso y activará los protocolos de seguridad.
- **Uso:** El funcionamiento del sistema debe de estar adecuado a un trabajo en zonas urbanas, expuesto al polvo y la humedad (O). El uso del sistema debe de estar adecuado a condiciones ambientales entre 10-35 °C (O). El funcionamiento del sistema debe de ser automático; es decir, una vez generada la solicitud de inicio, el sistema debe de operar sin supervisión humana alguna durante el viaje de ida, el proceso de transacción y el viaje de vuelta (O). Sin embargo, el software permitirá el monitoreo en tiempo real de cada unidad que se encuentre en funcionamiento (O).
- **Control:** Por ser una aeronave no tripulada, el control de esta juega un papel fundamental en su desempeño. Se deberá controlar el encendido y apagado de la aeronave, el desplazamiento, el despegue y aterrizaje, el proceso de expendido de dinero y la validación de datos para realizar la transacción (O).
- **Seguridad:** El diseño del módulo expendedor de efectivo debe de ser seguro para el usuario; es decir, todos los bordes del módulo deben de ser redondos en la medida de lo posible para evitar cortes o golpes considerables a la persona (O). El sistema eléctrico y de control deben de estar protegidos contra agentes ambientales como humedad y polvo en la medida de lo posible para evitar posibles fallas de dicha índole (O). El diseño debe de ser lo suficientemente robusto para evitar que se pueda acceder de manera sencilla a todo el contenido por parte de personas externas (O). Considerar tener un protocolo de seguridad en caso suceda (O). Finalmente, la comunicación del dispositivo con la central debe de estar debidamente protegida a fin de asegurar la privacidad de los datos y de evitar la manipulación de terceros (O).

- **Montaje:** El diseño debe permitir el sencillo y seguro montaje del módulo al dron **(D)**. También debe de considerar un acceso sencillo y seguro por parte de los propietarios para poder retirar las maletas portadoras de efectivo y realizar las recargas correspondientes **(D)**. Además, el módulo de dispensación de dinero en efectivo debe de presentar una estructura de sencillo desmontaje para que el personal de mantenimiento pueda brindarle los cuidados respectivos **(D)**.
- **Mantenimiento:** Es recomendable realizar un mantenimiento preventivo cada cierto plazo establecido, por ejemplo, cada 3 o 4 meses, en el cual se realice la limpieza general de todo el sistema móvil (módulo de dispensación y dron) y se corrobore su correcto funcionamiento **(D)**. Además, el mantenimiento es necesario realizarlo una vez ocurran fallas o se observe al sistema muy empolvado o sucio **(O)**. Durante el proceso de mantenimiento es necesario verificar el estado de funcionamiento de las baterías y reemplazarlas en caso presenten desgaste considerable **(O)**. (Consejo Directivo de la Superintendencia del Sistema Financiero, El Salvador, 2011)
- **Fabricación:** La fabricación de los componentes mecánicos deben de ser de alta calidad y confianza, que aseguren su correcto funcionamiento durante toda su vida útil **(D)**.



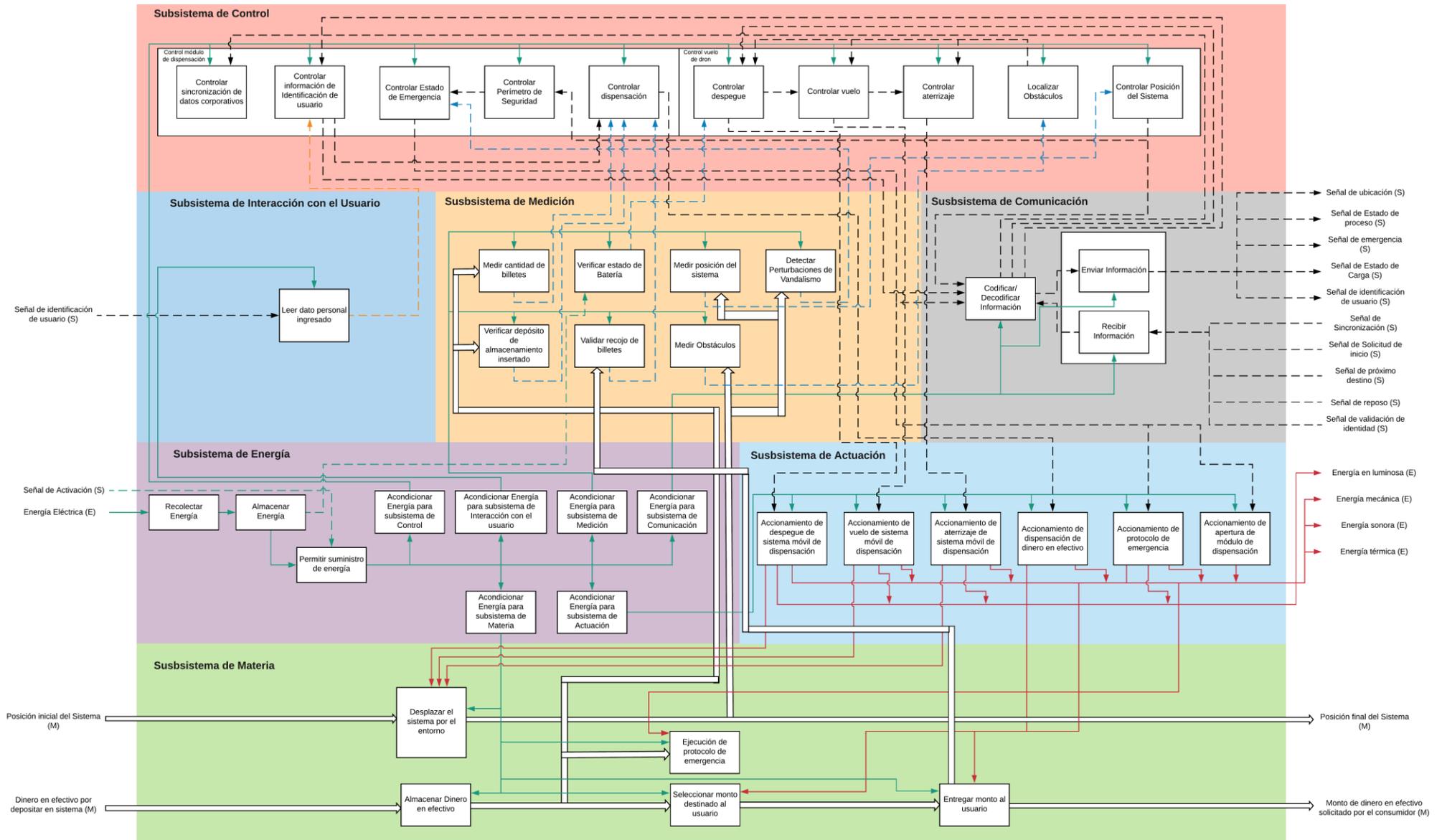
## 2. BIBLIOGRAFÍA:

1. Consejo Directivo de la Superintendencia del Sistema Financiero, El Salvador. (2011). *Normas Para La Seguridad Física De Los Cajeros Automáticos*. Recuperado 6 de mayo de 2020, de [https://www.ssf.gob.sv/html\\_docs/boletinesweb/bjunio2014/contenido/Normas/bancos/NPB4-45.pdf](https://www.ssf.gob.sv/html_docs/boletinesweb/bjunio2014/contenido/Normas/bancos/NPB4-45.pdf)
2. Roebbecke, K. (2018). *Development of New Composite Materials for Secure Storage Units to Increase Burglary Resistance*. Recuperado de [https://etd.auburn.edu/bitstream/handle/10415/6099/Master%20Thesis%20Kai%20Roebbecke%20\(Auburn%20University\).pdf?sequence=2](https://etd.auburn.edu/bitstream/handle/10415/6099/Master%20Thesis%20Kai%20Roebbecke%20(Auburn%20University).pdf?sequence=2)



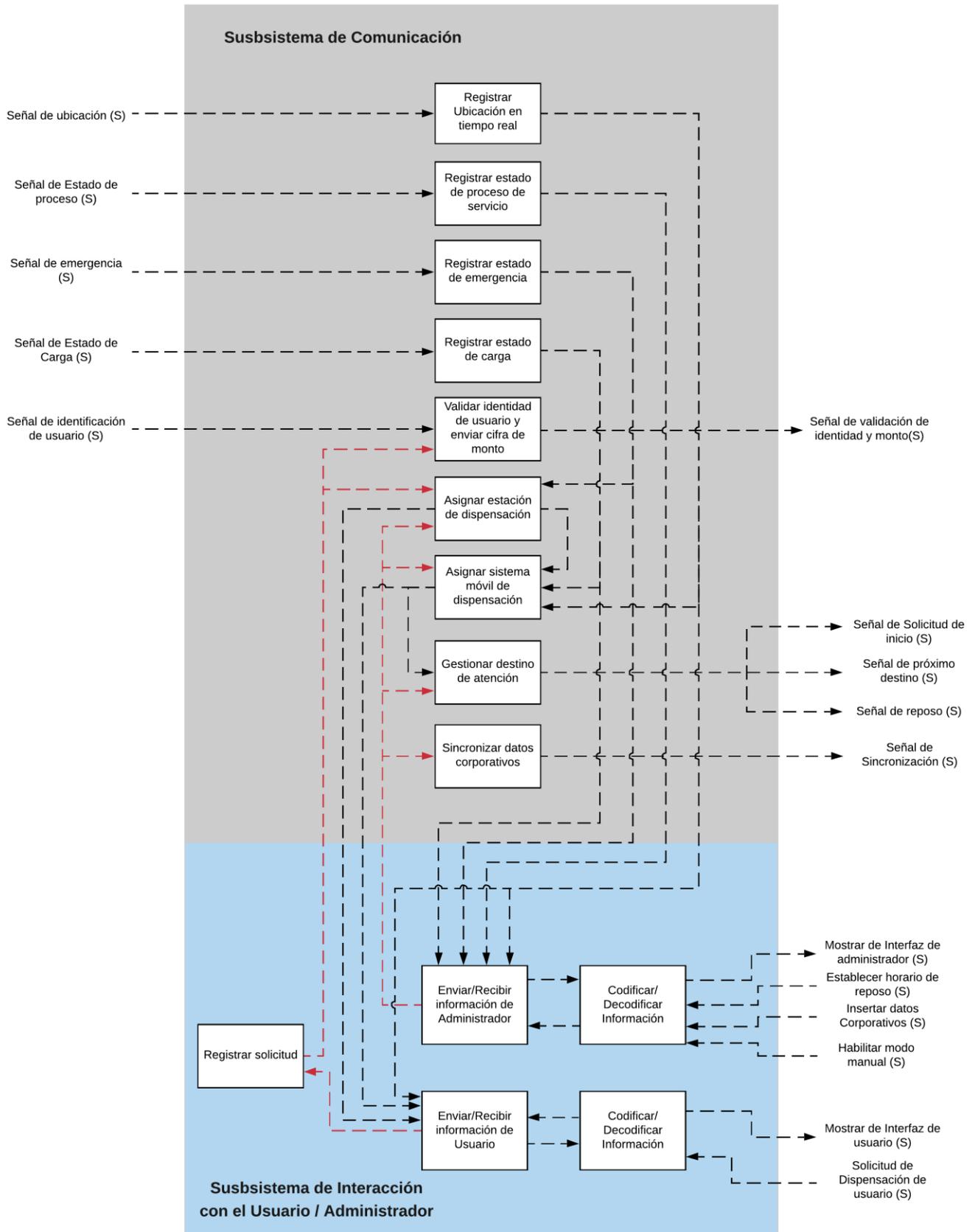
# ANEXO B: ESTRUCTURA DE FUNCIONES GLOBAL

## ESTRUCTURA DE FUNCIONES DEL SISTEMA MÓVIL DE DISPENSACIÓN



ESTRUCTURA DE FUNCIONES DEL SISTEMA MÓVIL DE DISPENSACIÓN

# ESTRUCTURA DE FUNCIONES DEL SISTEMA CENTRAL DE GESTIÓN DE DATOS



ESTRUCTURA DE FUNCIONES DEL SISTEMA CENTRAL DE GESTIÓN DE DATOS

## ANEXO C

### Relación de Planos: Vehículo Aéreo No Tripulado para la Dispensación de Dinero en Efectivo en Billetes (Dron ATM)

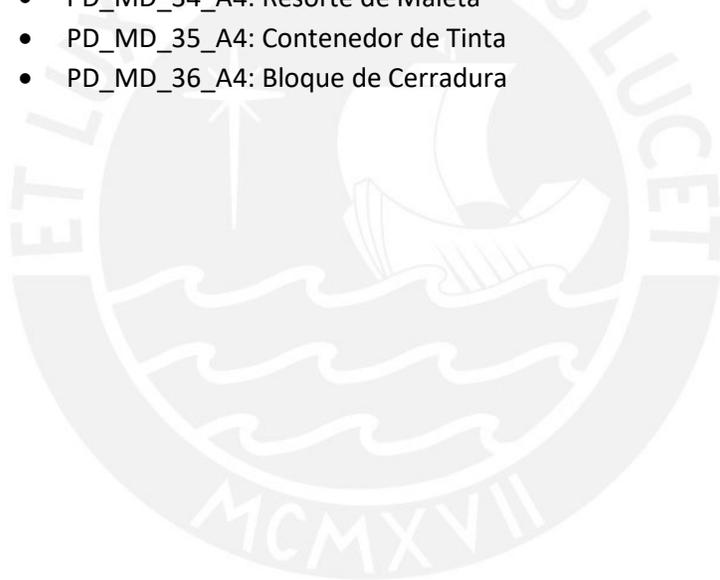
#### 1. Planos Eléctricos:

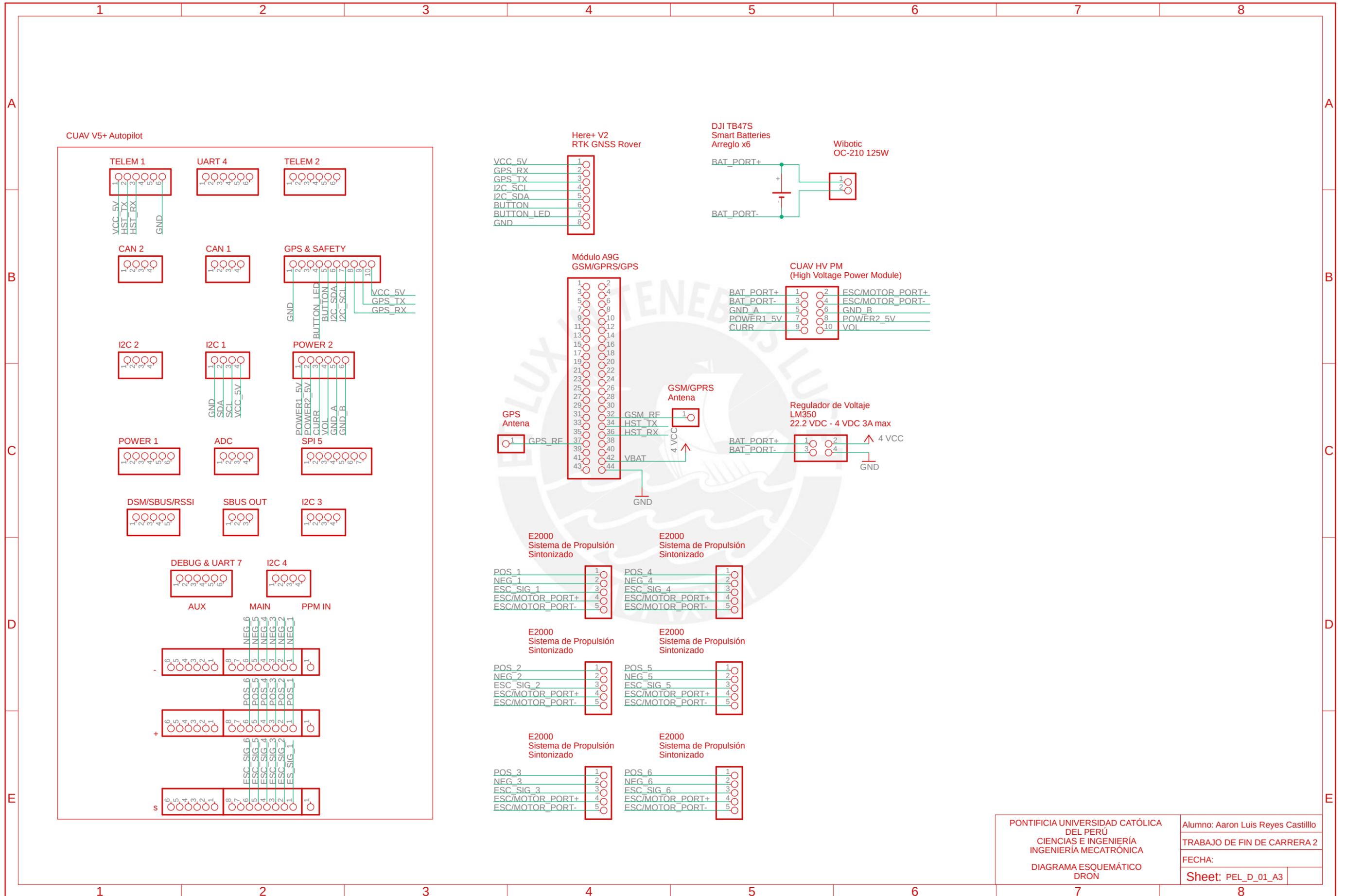
- PEL\_D\_01\_A3: Diagrama Esquemático Dron
- PEL\_D\_02\_A4: Diagrama Esquemático Regulador Voltaje Dron
- PEL\_MD\_01\_A3: Diagrama Esquemático Módulo de Dispensación
- PEL\_MD\_02\_A4: Diagrama Esquemático Regulador Voltaje Módulo de Dispensación
- PB\_D\_01\_A4: Placa Electrónica Regulador Voltaje Dron
- PB\_MD\_01\_A4: Placa Electrónica Regulador Voltaje Módulo de Dispensación

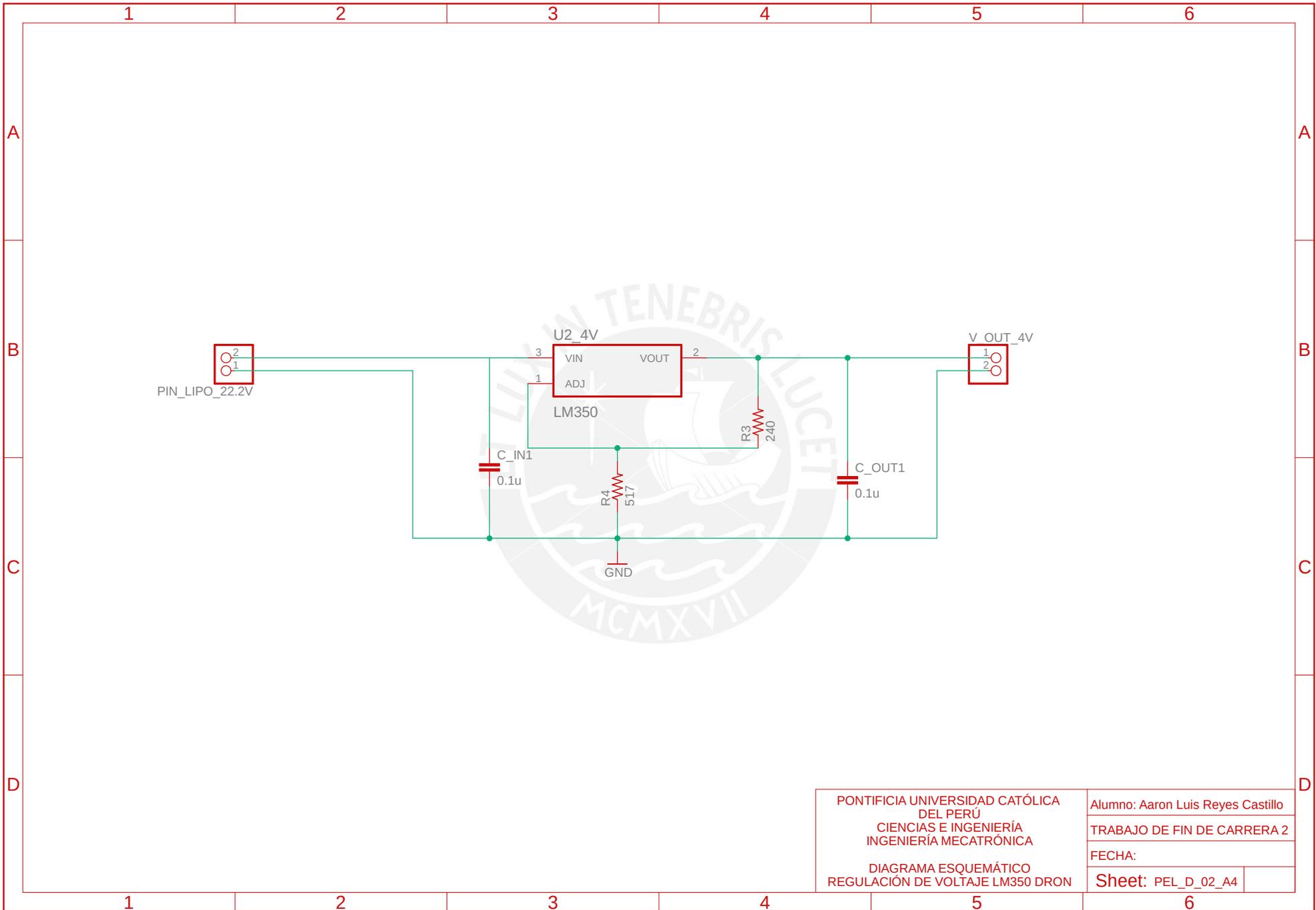
#### 2. Planos Mecánicos:

- PE\_01\_A3: Plano Ensamble Total
- Dron:
  - Planos de Ensamble
    - PE\_D\_01\_A3: Dron
- Módulo de Dispensación
  - Planos de Ensamble
    - PE\_MD\_01\_A1: Módulo de Dispensación
    - PE\_MD\_02\_A3: Jaula
    - PE\_MD\_03\_A3: Maleta
  - Planos de Despiece
    - PD\_MD\_01\_A3: Plancha Nivel Inferior
    - PD\_MD\_02\_A3: Plancha Nivel Medio
    - PD\_MD\_03\_A3: Plancha Nivel Superior
    - PD\_MD\_04\_A3: Plancha Límite Maleta
    - PD\_MD\_05\_A3: Plancha Frontal
    - PD\_MD\_06\_A3: Plancha Trasera
    - PD\_MD\_07\_A3: Plancha Lateral Izquierda
    - PD\_MD\_08\_A3: Plancha Lateral Derecha
    - PD\_MD\_09\_A4: Placa Guía U
    - PD\_MD\_10\_A4: Placa Guía Transporte
    - PD\_MD\_11\_A3: Placa Cabina Dispensación
    - PD\_MD\_12\_A3: Placa Cabina Dispensación Batería
    - PD\_MD\_13\_A3: Placa de Fajas de Transporte
    - PD\_MD\_14\_A4: Placa Sistema Alimentación
    - PD\_MD\_15\_A4: Placa Sistema Transporte
    - PD\_MD\_16\_A4: Placa Separador Maletas
    - PD\_MD\_17\_A4: Placa Sujeción Batería
    - PD\_MD\_18\_A4: Placa Sujeción Cerradura

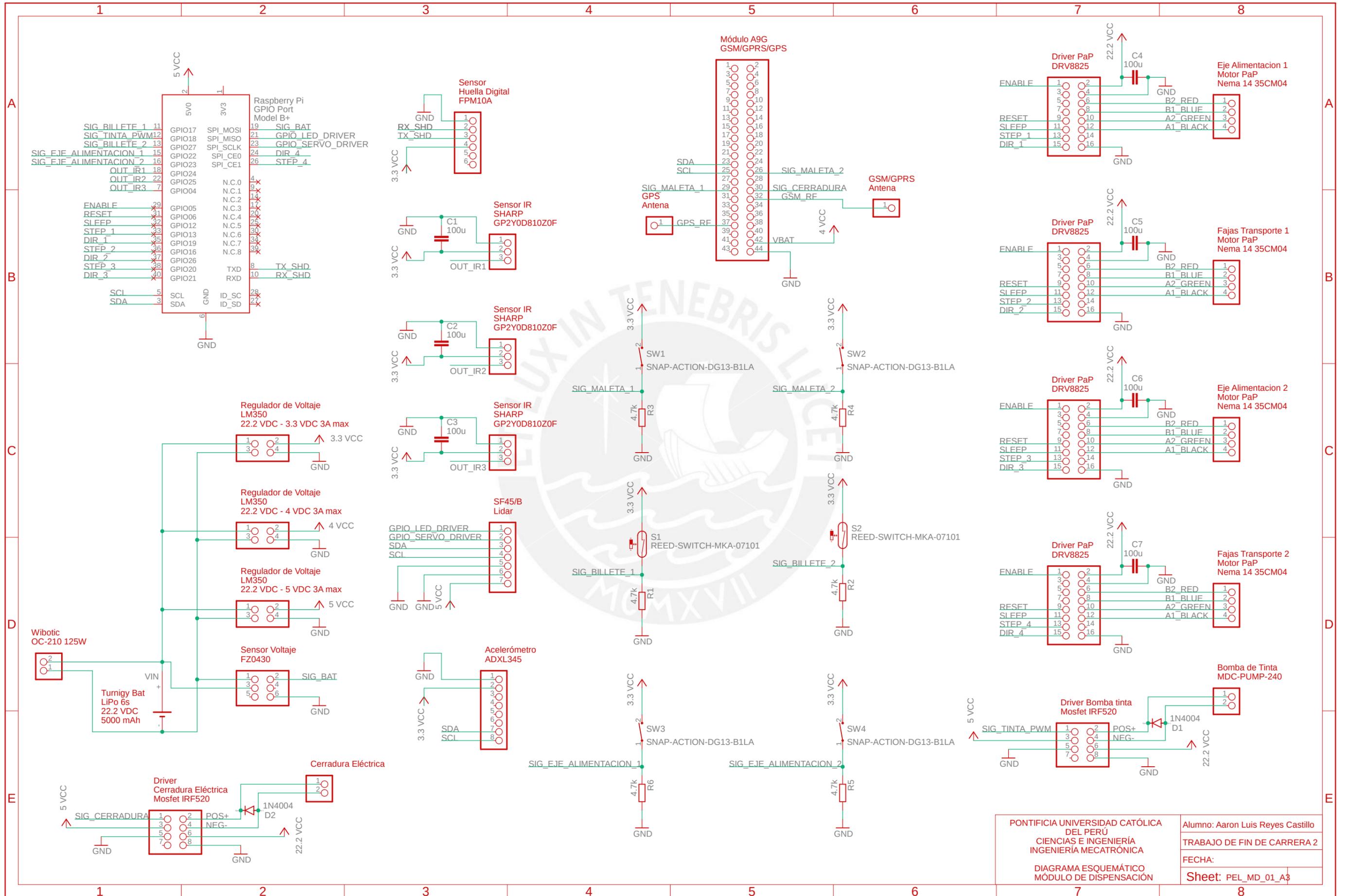
- PD\_MD\_19\_A4: Placa Sujeción Sensor Huella Digital
- PD\_MD\_20\_A3: Placa Fijación Dron
- PD\_MD\_21\_A4: Placa Soporte Sensor Infrarrojo
- PD\_MD\_22\_A4: Eje 4mm
- PD\_MD\_23\_A4: Eje 5mm
- PD\_MD\_24\_A4: Leva Sincronía
- PD\_MD\_25\_A4: Pasador Leva
- PD\_MD\_26\_A4: Polea Alimentación
- PD\_MD\_27\_A4: Silicona Alimentación
- PD\_MD\_28\_A3: Base Maleta
- PD\_MD\_29\_A3: Tapa Inferior Base Maleta
- PD\_MD\_30\_A4: Placa Empuje
- PD\_MD\_31\_A3: Tapa Superior Maleta
- PD\_MD\_32\_A4: Regulador Billetes Izquierdo
- PD\_MD\_33\_A4: Regulador Billetes Derecho
- PD\_MD\_34\_A4: Resorte de Maleta
- PD\_MD\_35\_A4: Contenedor de Tinta
- PD\_MD\_36\_A4: Bloque de Cerradura





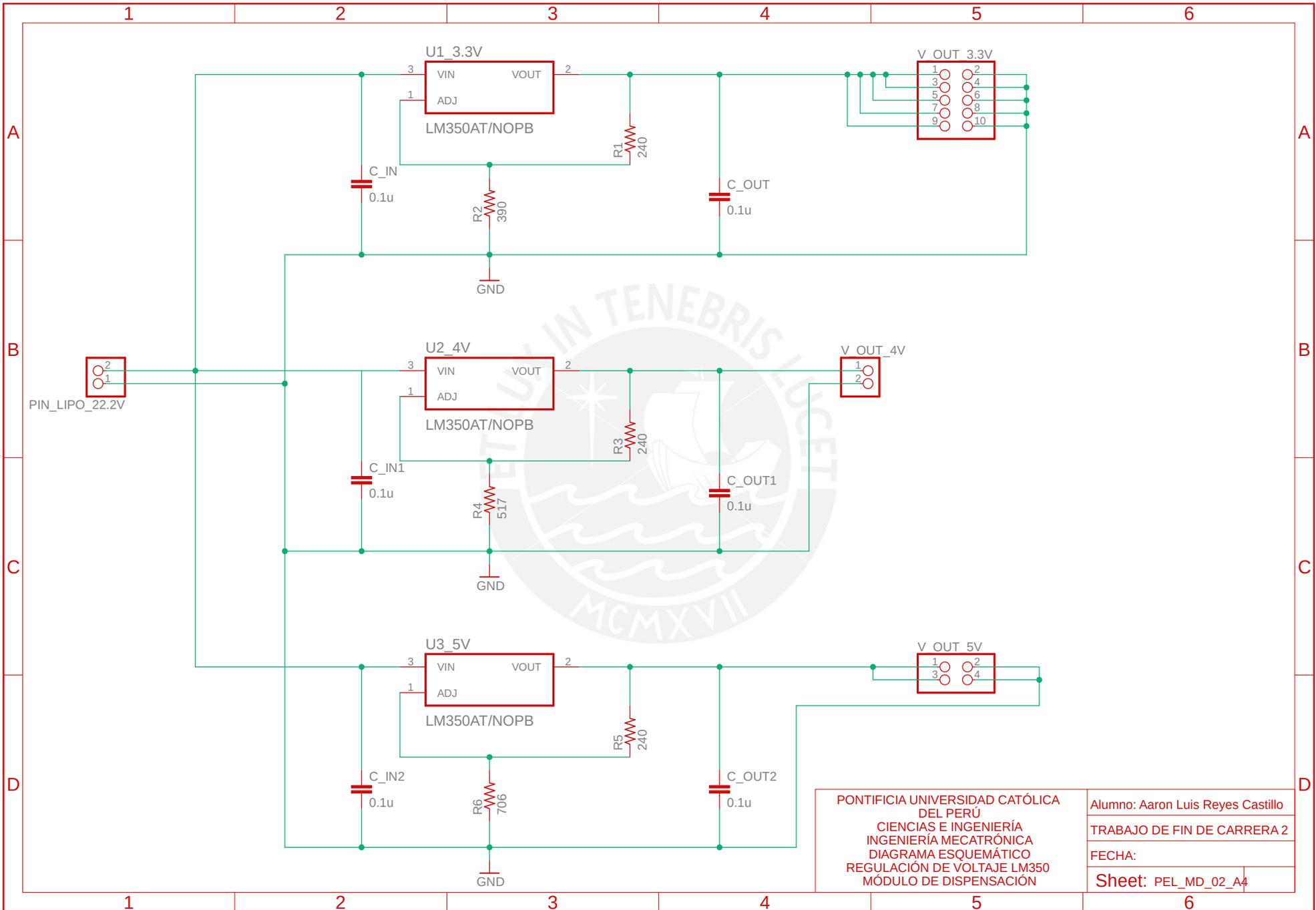


PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERÍA INGENIERÍA MECATRÓNICA	Alumno: Aaron Luis Reyes Castillo	
	TRABAJO DE FIN DE CARRERA 2	
	FECHA:	
	Sheet: PEL_D_02_A4	



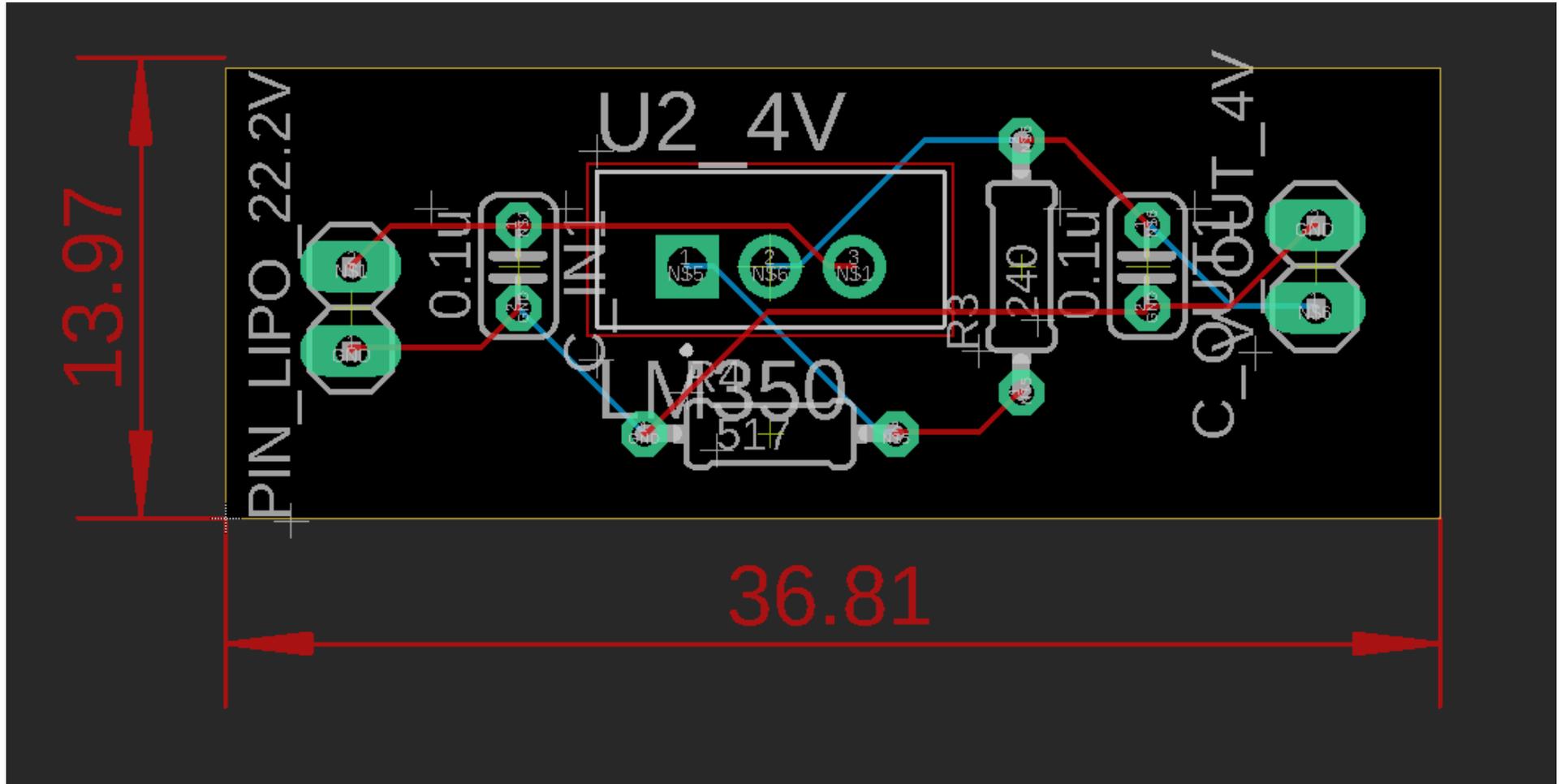
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
 CIENCIAS E INGENIERÍA  
 INGENIERÍA MECATRÓNICA

Alumno: Aaron Luis Reyes Castillo  
 TRABAJO DE FIN DE CARRERA 2  
 FECHA:  
 Sheet: PEL\_MD\_01\_A3



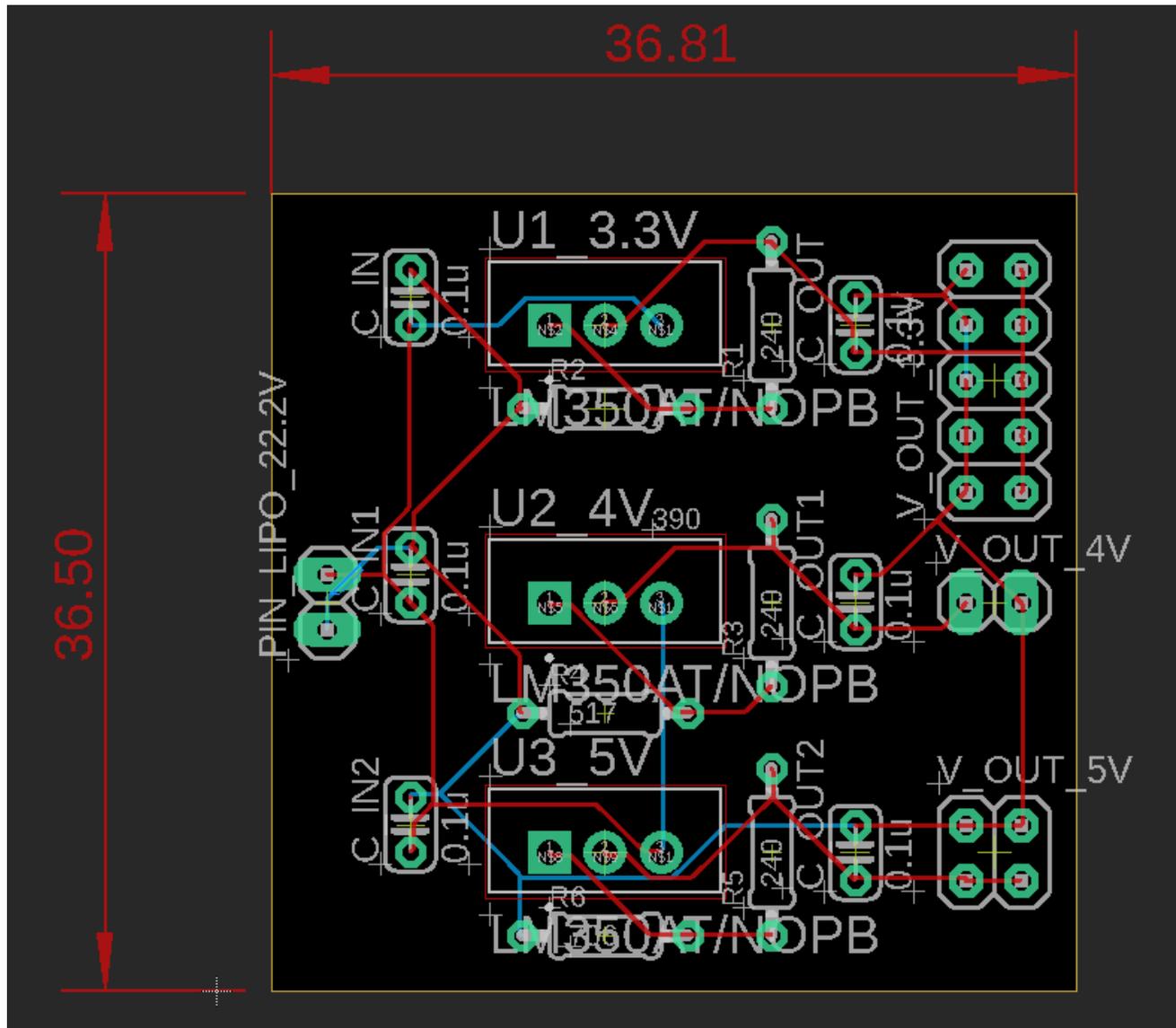
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA  
 DEL PERÚ  
 CIENCIAS E INGENIERÍA  
 INGENIERÍA MECATRÓNICA  
 DIAGRAMA ESQUEMÁTICO  
 REGULACIÓN DE VOLTAJE LM350  
 MÓDULO DE DISPENSACIÓN

Alumno: Aaron Luis Reyes Castillo  
 TRABAJO DE FIN DE CARRERA 2  
 FECHA:  
 Sheet: PEL\_MD\_02\_A4



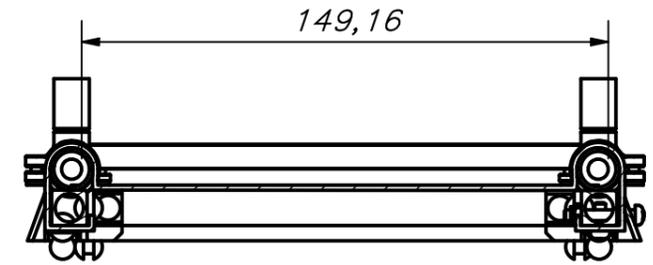
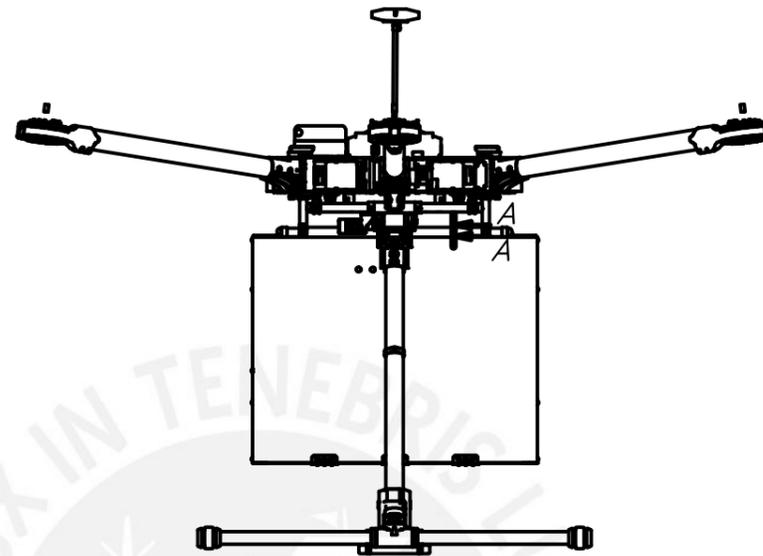
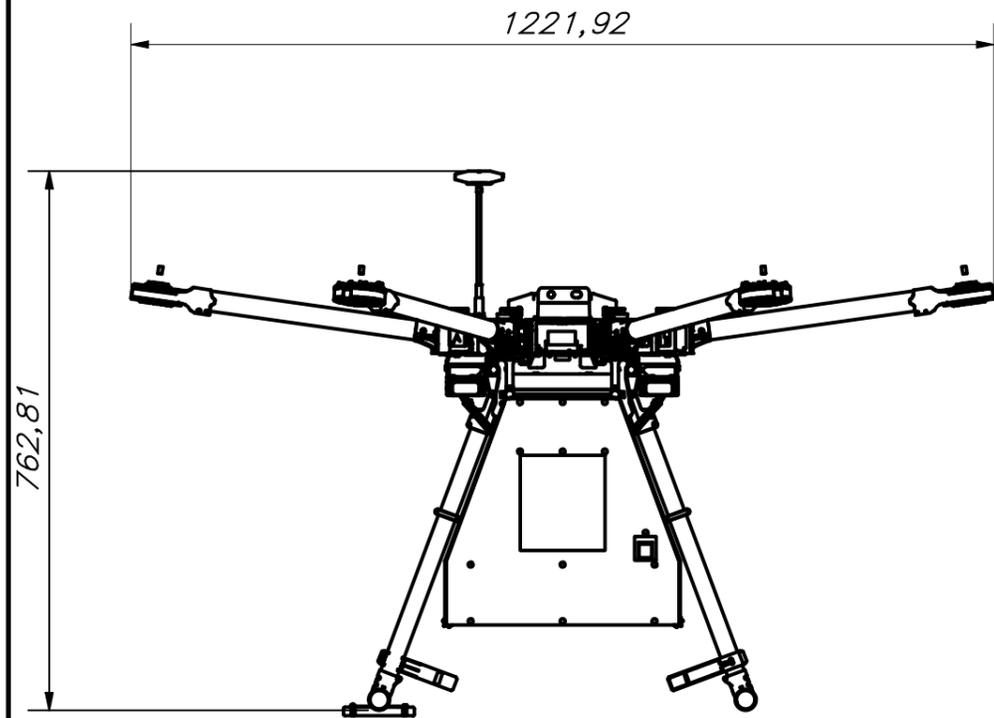
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA  
 DEL PERÚ  
 CIENCIAS E INGENIERÍA  
 INGENIERÍA MECATRÓNICA  
 PLACA ELECTRÓNICA  
 REGULACIÓN DE VOLTAJE LM350  
 DRON

Alumno: Aaron Luis Reyes Castillo  
 TRABAJO DE FIN DE CARRERA 2  
 FECHA:  
 SHEET: PB\_D\_01\_A4

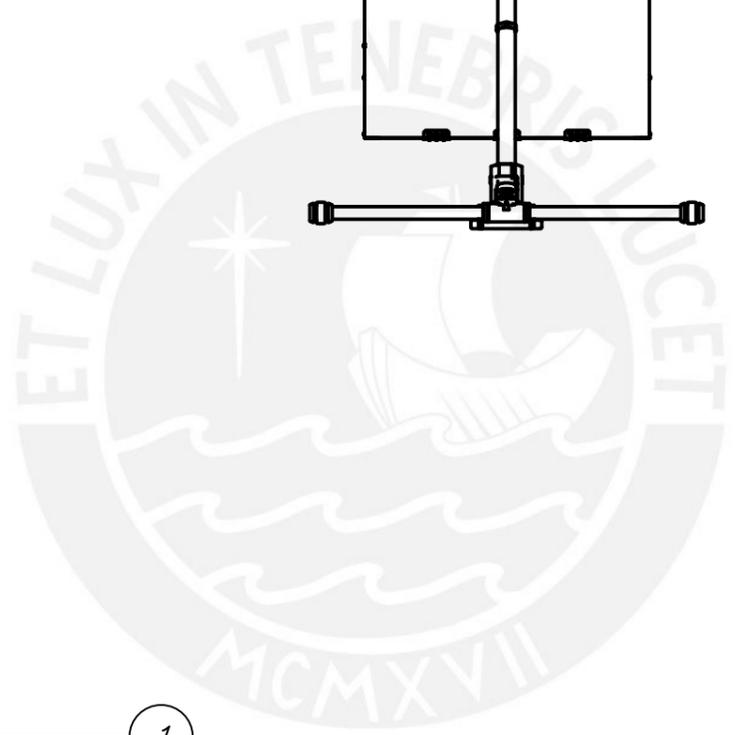
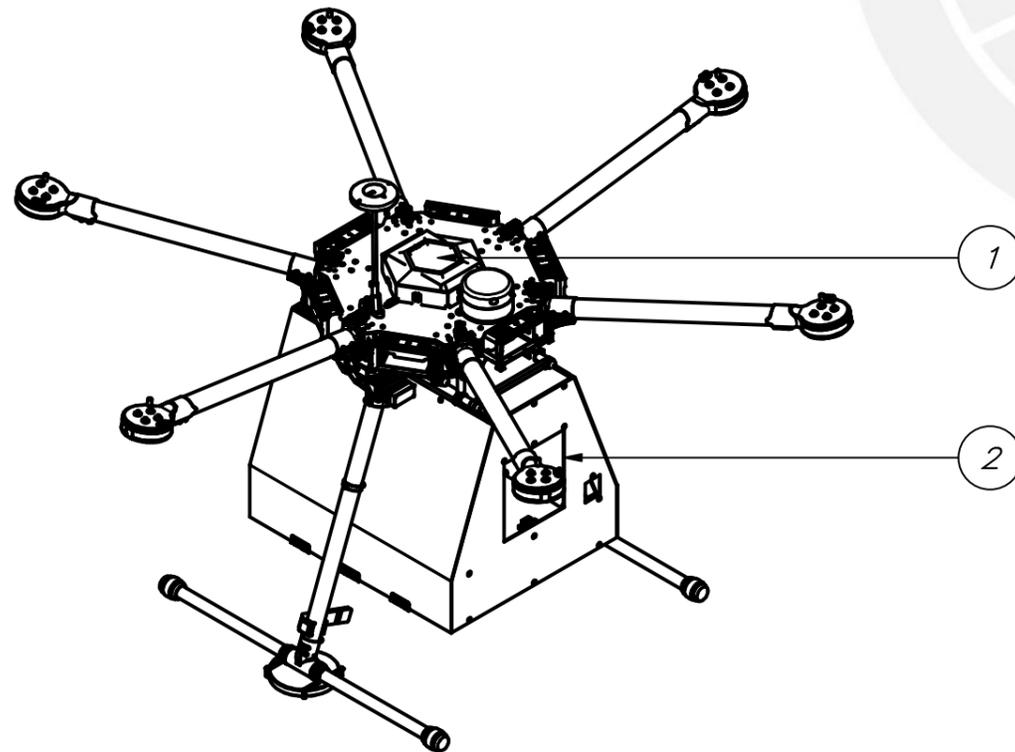


PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA  
 DEL PERÚ  
 CIENCIAS E INGENIERÍA  
 INGENIERÍA MECATRÓNICA  
 PLACA ELECTRÓNICA  
 REGULACIÓN DE VOLTAJE LM350  
 MÓDULO DE DISPENSACIÓN

Alumno: Aaron Luis Reyes Castillo  
 TRABAJO DE FIN DE CARRERA 2  
 FECHA:  
 SHEET: PB\_MD\_01\_A4



CORTE A-A  
(ESCALA 1:2)

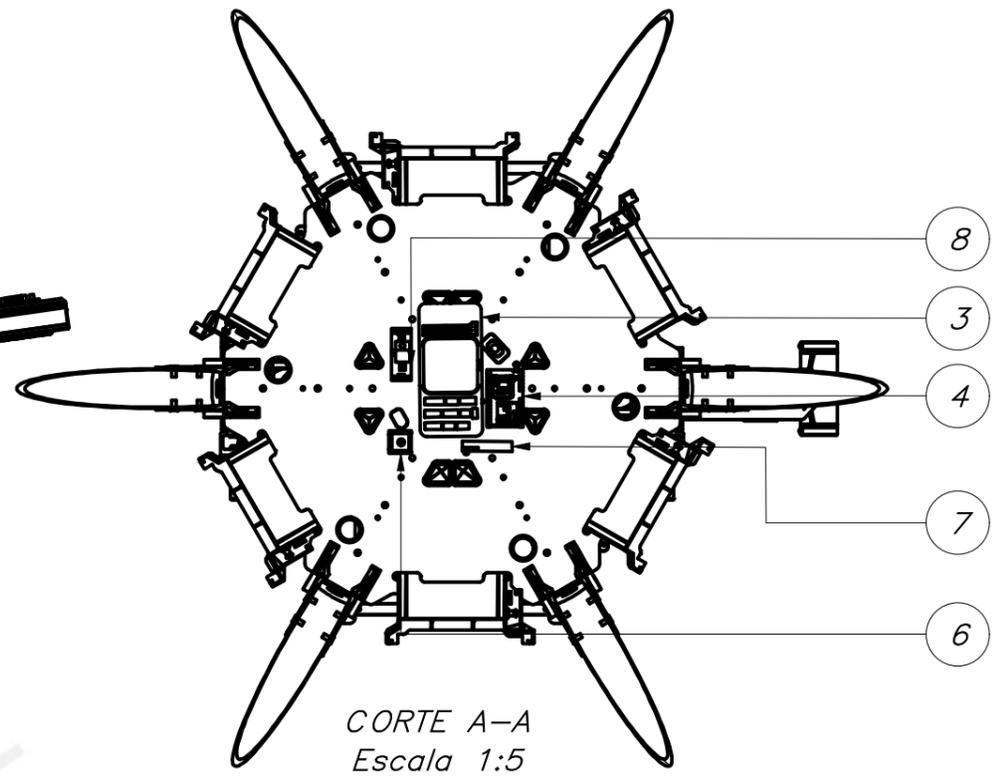
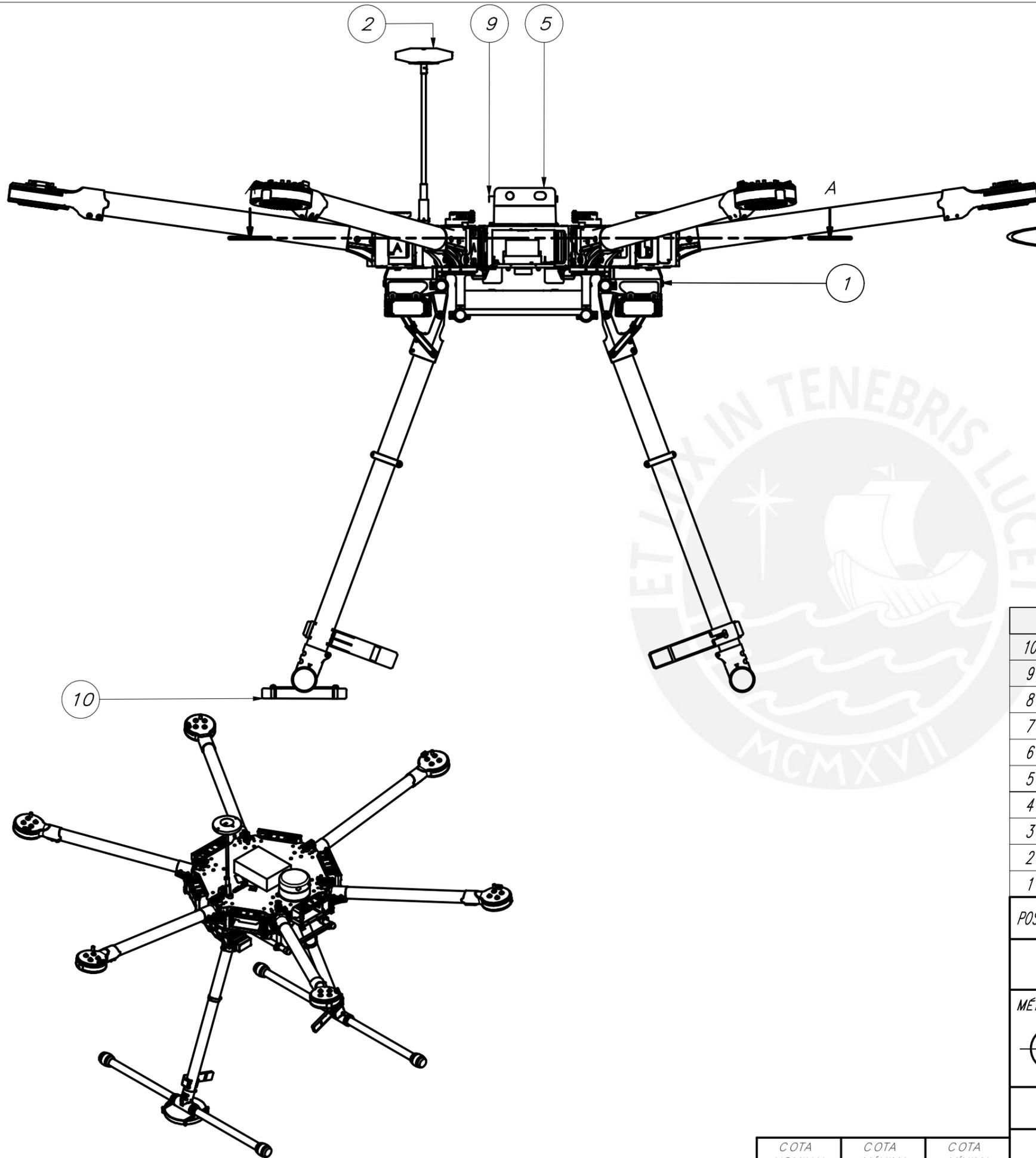


PARTS LIST					
POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES
2	1	Modulo de Dispensación		Varios	PE_MD_01_A3
1	1	Dron		Varios	PE_D_01_A3

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
Ciencias e Ingeniería – Ingeniería Mecatrónica

MÉTODO DE PROYECCIÓN	1MTR02 – 10M3	ESCALA
	Sistema Móvil de Dispensación	1:10
20153202	Reyes Castillo, Aaron Luis	FECHA: 18.12.2020
		LÁMINA: PE_01_A3

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
--------------	-------------	-------------



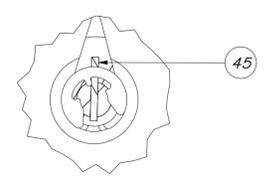
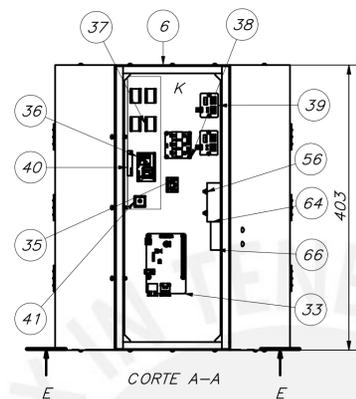
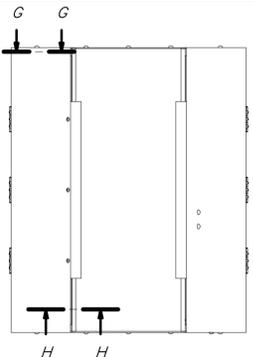
PARTS LIST					
10	1	Wibotic RC 100		Varios	
9	1	Wibotic OC 210		Varios	
8	1	Regulador de Voltaje LM350 de dron		Varios	PEL_D_01_A4
7	1	Antena GSM/GPRS		Varios	
6	1	Antena GPS		Varios	
5	1	LiDAR SF45/B		Varios	
4	1	Módulo A9G GSM/GPRS/GPS		Varios	
3	1	CUAV V5+ AutoPilot		Varios	
2	1	Here+ V2 GNSS Rover		Varios	
1	1	Matrice 600 Pro	Diseño DJI	Varios	

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

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**  
Ciencias e Ingeniería – Ingeniería Mecatrónica

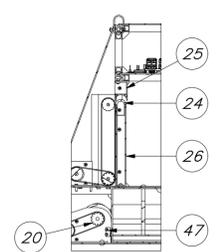
MÉTODO DE PROYECCIÓN	1MTR02 – 10M3	ESCALA
	<b>Dron</b>	<b>1:5</b>
20153202	Reyes Castillo, Aaron Luis	FECHA: 18.12.2020
		LÁMINA: PE_D_01_A3

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
--------------	-------------	-------------

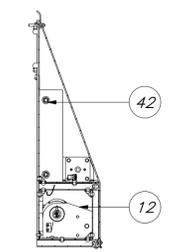


DETALLE K  
ESCALA 1 : 2  
Uniones de componentes con cinta de espuma acrílica 5mm

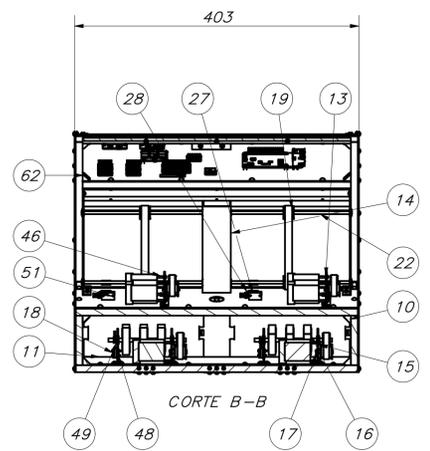
DETALLE J  
ESCALA 2 : 1



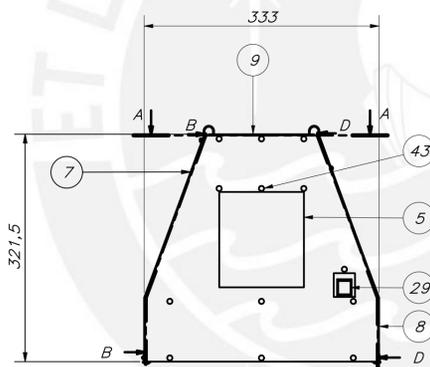
CORTE H-H



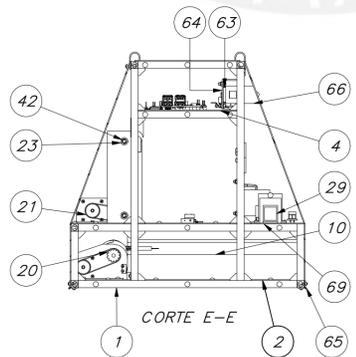
CORTE G-G



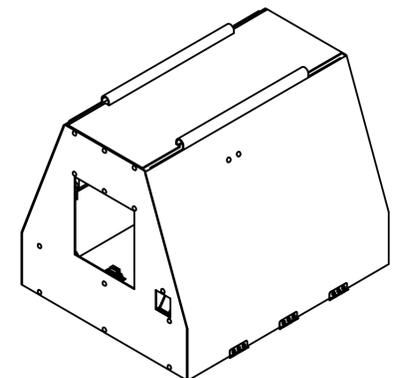
CORTE B-B



CORTE D-D



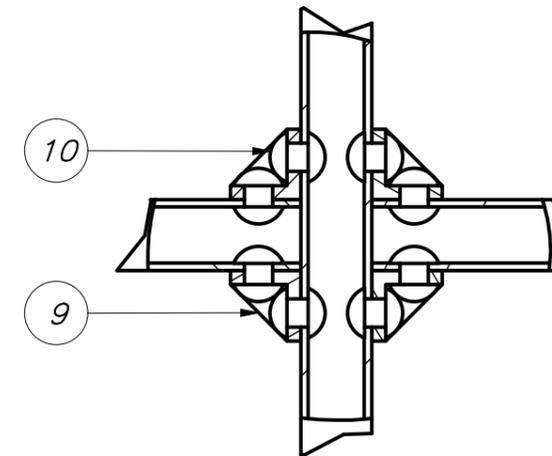
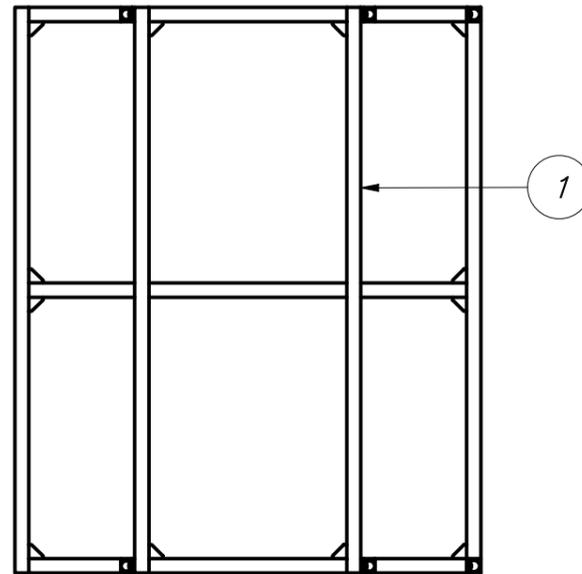
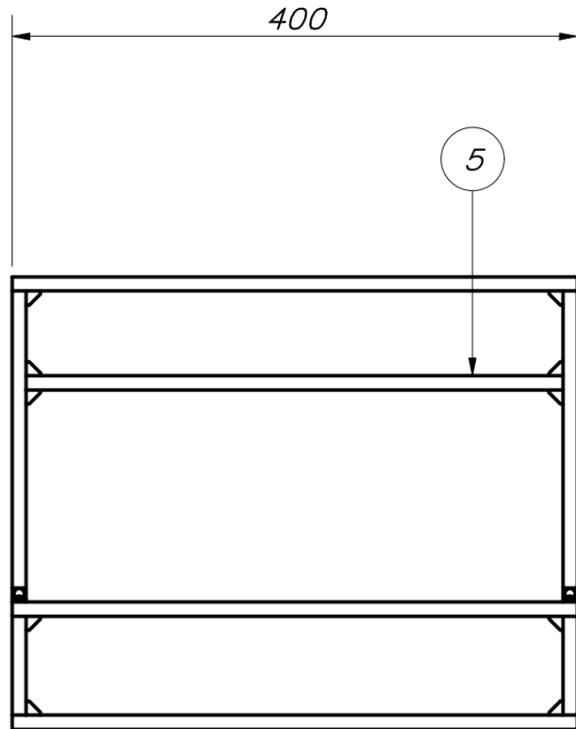
CORTE E-E



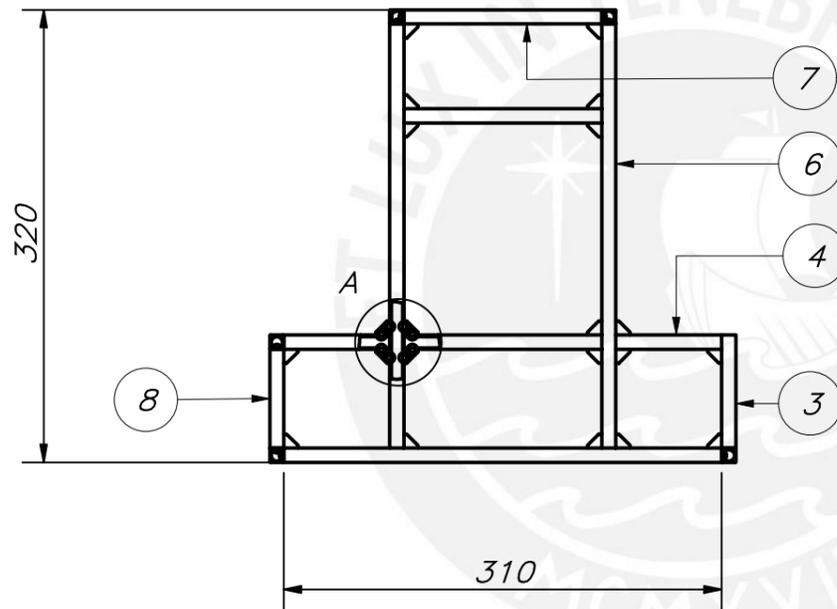
PARTS LIST				
68	1	Batería Turnigy Lipo 3000mAh 6S 75C		Varios
67	3	ANSI B18.6.7M - M3x0.5 x 20, CRPHMSTIM	ANSI B18.6.7M	Steel, Mild
66	1	Bloque de Cerradura		HDPE PD_MD_36_A4
65	6	Bisagra 10mm		Steel, Mild
64	1	Placa Sujeción Cerradura		CFRP PD_MD_18_A4
63	1	Cerradura Eléctrica		Varios
62	74	Perfil Esquina 10mm		Aluminum 6061
61	1	Placa Sujeción Batería		CFRP PD_MD_17_A4
60	14	ANSI B18.6.7M - M3x0.5 x 8, CRPHMSTIM	ANSI B18.6.7M	Steel, Mild
59	1	Placa Sujeción Sensor Huella Digital		CFRP PD_MD_19_A4
58	15	AS 1427 - M2.5 x 6	AS 1427	Steel, Mild
57	15	BSO-M3-6 ZI	PEM	Steel
56	11	ANSI B18.16.3M - Property Class 5 and 10 - Metric M3 x 0.5 Metal Type	ANSI B18.16M	Steel, Mild
55	8	ANSI B 18.2.4.1 M - M2.5 x 0.45	ANSI B 18.2.4.1 M	Steel, Mild
54	57	ANSI B18.6.7M - M2.5x0.45 x 5, CRPHMSTIM	ANSI B18.6.7M	Steel, Mild
53	7	IFI 513 - M2.5x0.45 x 10, CRFCHMSTIM(1)	IFI 513	Steel, Mild
52	4	DIN 439 - M2.5	DIN 439	Steel, Mild
51	5	IFI 513 - M2.5x0.45 x 6, CRFCHMSTIM	IFI 513	Steel, Mild
50	1	Placa Separadora Maletas		CFRP PD_MD_16_A4
49	6	DIN 6799 - 4	DIN 6799	Steel, Mild
48	8	DIN 439 - M2	DIN 439	Steel, Mild
47	8	ISO 7045 - M2 x 10 - 4.8 - H	DIN EN ISO 7045	Steel
46	16	AS 1427 - M2.5 x 16	AS 1427	Steel, Mild
45	2	Pasador Leva		Stainless Steel
44	2	Leva Sincronía		Stainless Steel
43	228	DIN 660 - A 4 x 8	DIN 660	Steel, Mild
42	8	BS 3673-2 - 0.32MS	BS 3673-2	Steel, Mild
41	1	Antena GPS		Varios
40	1	Antena GSM/GPRS		Varios
39	2	Módulo IRFS20N		Varios
38	1	Ensamble LM350 Módulo de Dispensación		Varios
37	4	Driver DRV8825		Varios
36	1	Módulo A9C GSM/GPRS		Varios
35	1	Acelerómetro MPU 6050		Varios
34	1	Sensor de Voltaje FZ0430		Varios
33	1	Raspberry Pi Model B		Varios
32	1	Contenedor Tinta		HDPE PD_MD_35_A4
31	1	Bomba de Agua MDC PUMP 240		Varios
30	1	Placa Cabina Dispensación Batería		CFRP PD_MD_12_A3
29	1	Sensor Huella Digital FPM10A		Varios
28	3	Sensor Sharp IR Digital		Varios
27	3	Placa Soporte Sensor IR		Aluminum 6061 PD_MD_21_A4
26	1	Placa Cabina Dispensación		CFRP PD_MD_11_A3
25	1	Placa Guía U		HDPE PD_MD_09_A4
24	1	Placa Guía Transporte		Aluminum 6061 PD_MD_10_A4
23	8	Bearing FSN 718/4 GB/T 7218-1995	GB/T 7218-1995	Steel, Mild
22	4	Eje de Transporte		Stainless Steel
21	6	Synchronous Pulley2		Steel
20	6	Synchronous Pulley1		Steel
19	6	Synchronous Belt		Rubber
18	4	Switch Snap Action DG13-B11A		Varios
17	4	Stepper Motor Nema 14		Varios
16	2	Eje de alimentación		Varios
15	4	Bearing FSN 718/5 GB/T 7218-1995	GB/T 7218-1995	Steel, Mild
14	1	Placa Fajas de Transporte		CFRP PD_MD_13_A3
13	1	Placa Sistema Transporte		CFRP PD_MD_15_A4
12	4	Placa Sistema Alimentación		CFRP PD_MD_14_A4
11	1	Plancha Límite Maleta		CFRP PD_MD_04_A3
10	2	Ensamble Maleta		PE_MD_03_A3
9	1	Placa Fijación Dron		CFRP PD_MD_20_A3
8	1	Plancha Lateral Derecha		CFRP PD_MD_08_A3
7	1	Plancha Lateral Izquierda		CFRP PD_MD_07_A3
6	1	Plancha Trasera		CFRP PD_MD_06_A3
5	1	Plancha Frontal		CFRP PD_MD_05_A3
4	1	Plancha Nivel Superior		CFRP PD_MD_03_A3
3	1	Plancha Nivel Medio		CFRP PD_MD_02_A3
2	1	Plancha Nivel Inferior		CFRP PD_MD_01_A3
1	1	Jaula		CFRP PE_MD_02_A3

POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES
<b>PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ</b> Ciencias e Ingeniería - Ingeniería Mecatrónica					
MÉTODO DE PROYECCIÓN		1MTR02 - 10M3		ESCALA	
		<b>Módulo de Dispensación</b>		<b>1:5</b>	
20153202		Reyes Castillo, Aaron Luis		FECHA: 18.12.2020	
				LÁMINA: PE_MD_01_A1	

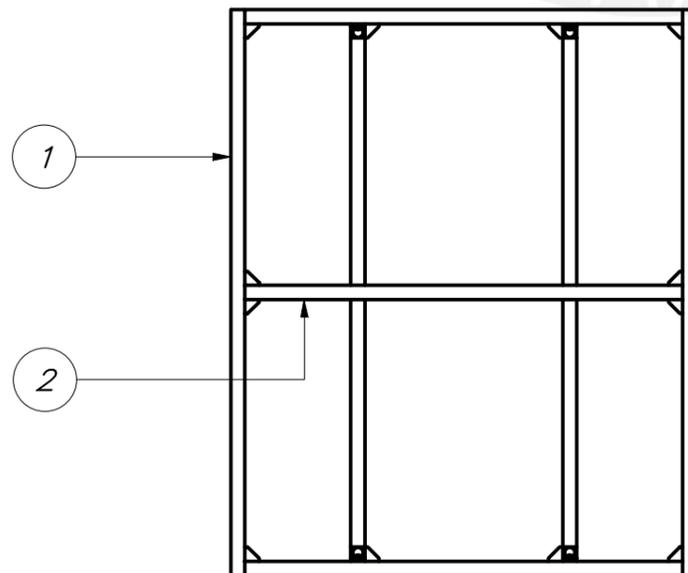
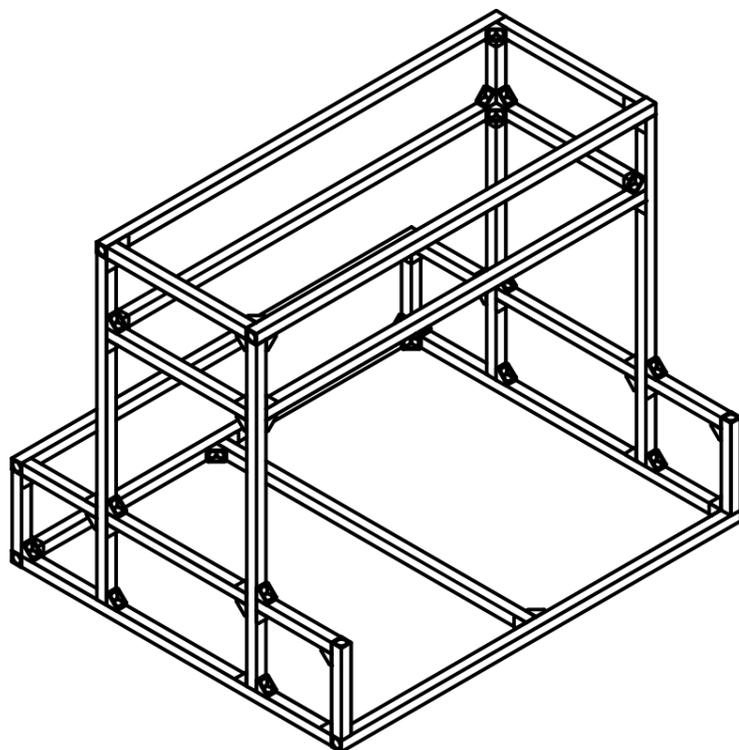
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA



DETALLE A  
ESCALA 1 : 1



Uniones reforzadas por Resina Epoxi



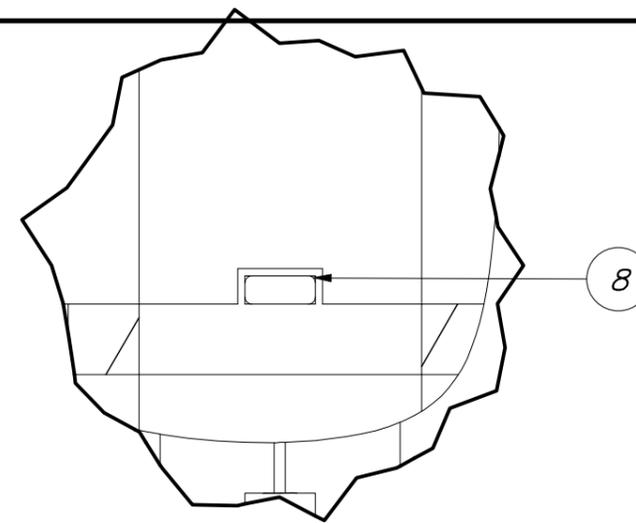
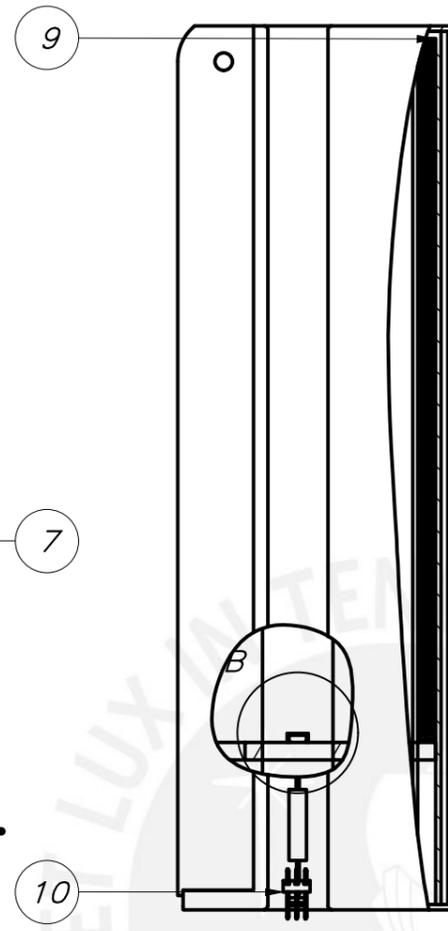
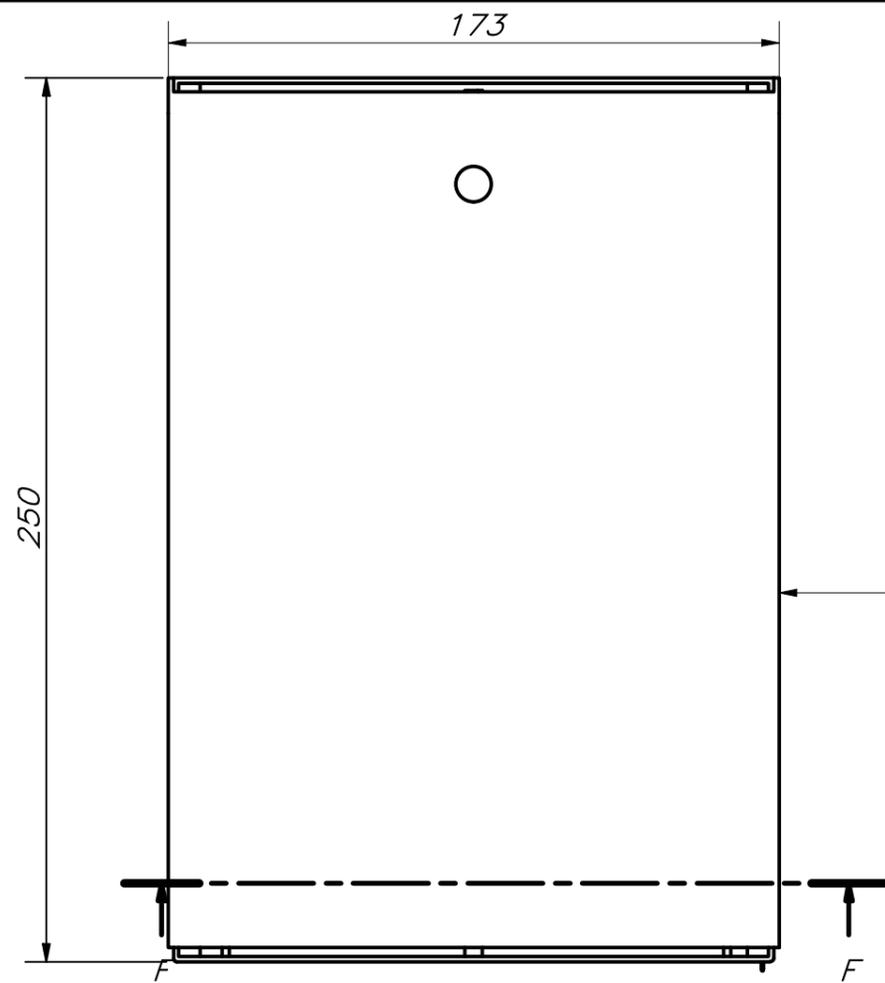
PARTS LIST					
10	144	DIN 660 - A 4 x 8	DIN 660	Steel, Mild	
9	74	Perfil esquina 10mm		Aluminum 6061	
8	2	SQR_10x10x70mm		CFRP	
7	6	SQR_10x10x140mm		CFRP	
6	4	SQR_10x10x300mm		CFRP	
5	2	SQR_10x10x380mm		CFRP	
4	4	SQR_10x10x75mm		CFRP	
3	2	SQR_10x10x80mm		CFRP	
2	3	SQR_10x10x310mm		CFRP	
1	5	SQR_10x10x400mm		CFRP	

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

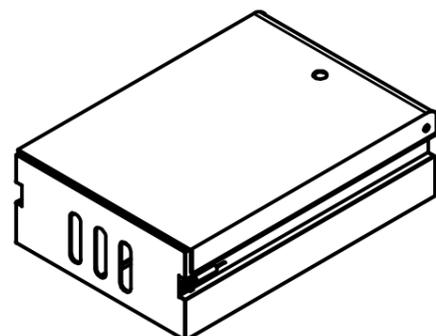
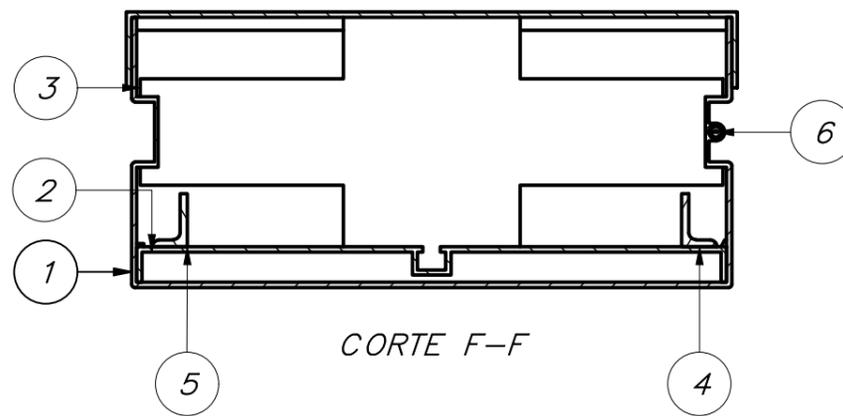
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
Ciencias e Ingeniería - Ingeniería Mecatrónica

MÉTODO DE PROYECCIÓN	1MTR02 - 10M3	ESCALA
	Jaula	1:5
20153202	Reyes Castillo, Aaron Luis	FECHA: 18.12.2020
		LÁMINA: PE_MD_02_A3

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
--------------	-------------	-------------



DETALLE B  
ESCALA 2 : 1



PARTS LIST					
10	1	Conector Molex 3 Pines		Varios	
9	1	Resorte Maleta		Stainless Steel	PD_MD_34_A4
8	1	Iman Neodimio 5x5x2mm		Iron, Ductile	
7	1	Tapa Superior Maleta		HDPE	PD_MD_31_A3
6	1	Reed switch MKA-07101		Varios	
5	1	Regulador de Billetes Izquierdo		HDPE	PD_MD_32_A4
4	1	Regulador de Billetes Derecho		HDPE	PD_MD_33_A4
3	1	Placa Empuje		HDPE	PD_MD_30_A4
2	1	Tapa Inferior Base Maleta		HDPE	PD_MD_29_A3
1	1	Base Maleta		HDPE	PD_MD_28_A3

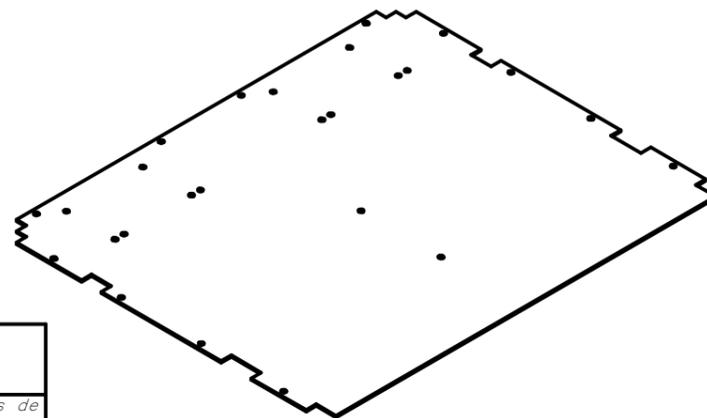
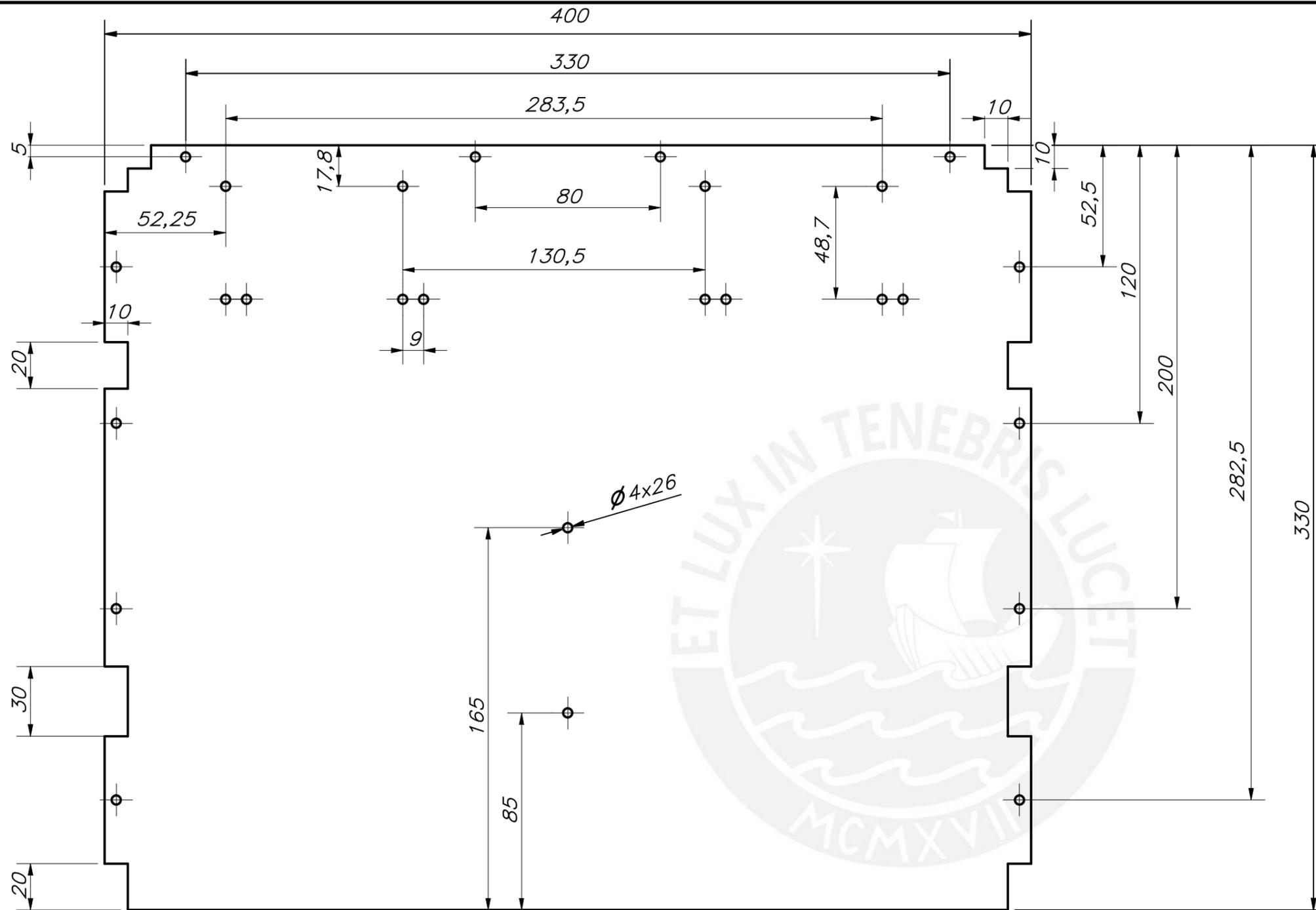
POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES
------	-------	-------------	-------	----------	---------------

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
Ciencias e Ingeniería – Ingeniería Mecatrónica

MÉTODO DE PROYECCIÓN	1MTR02 – 10M3	ESCALA
	<b>Maleta</b>	<b>1:2</b>
20153202	Reyes Castillo, Aaron Luis	FECHA: 18.12.2020

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
--------------	-------------	-------------

LÁMINA:  
PE\_MD\_03\_A3



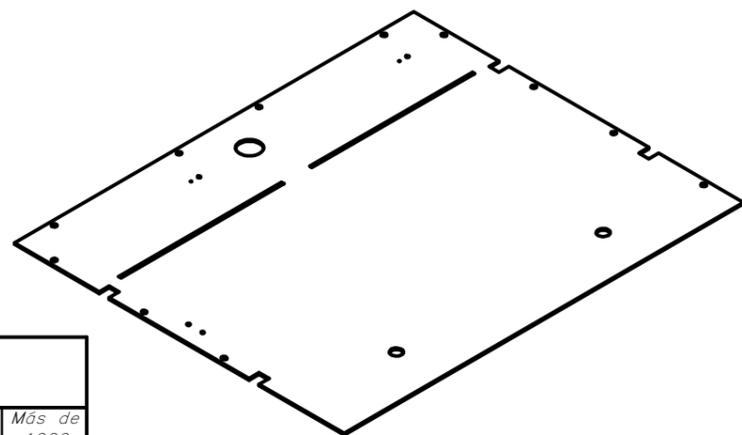
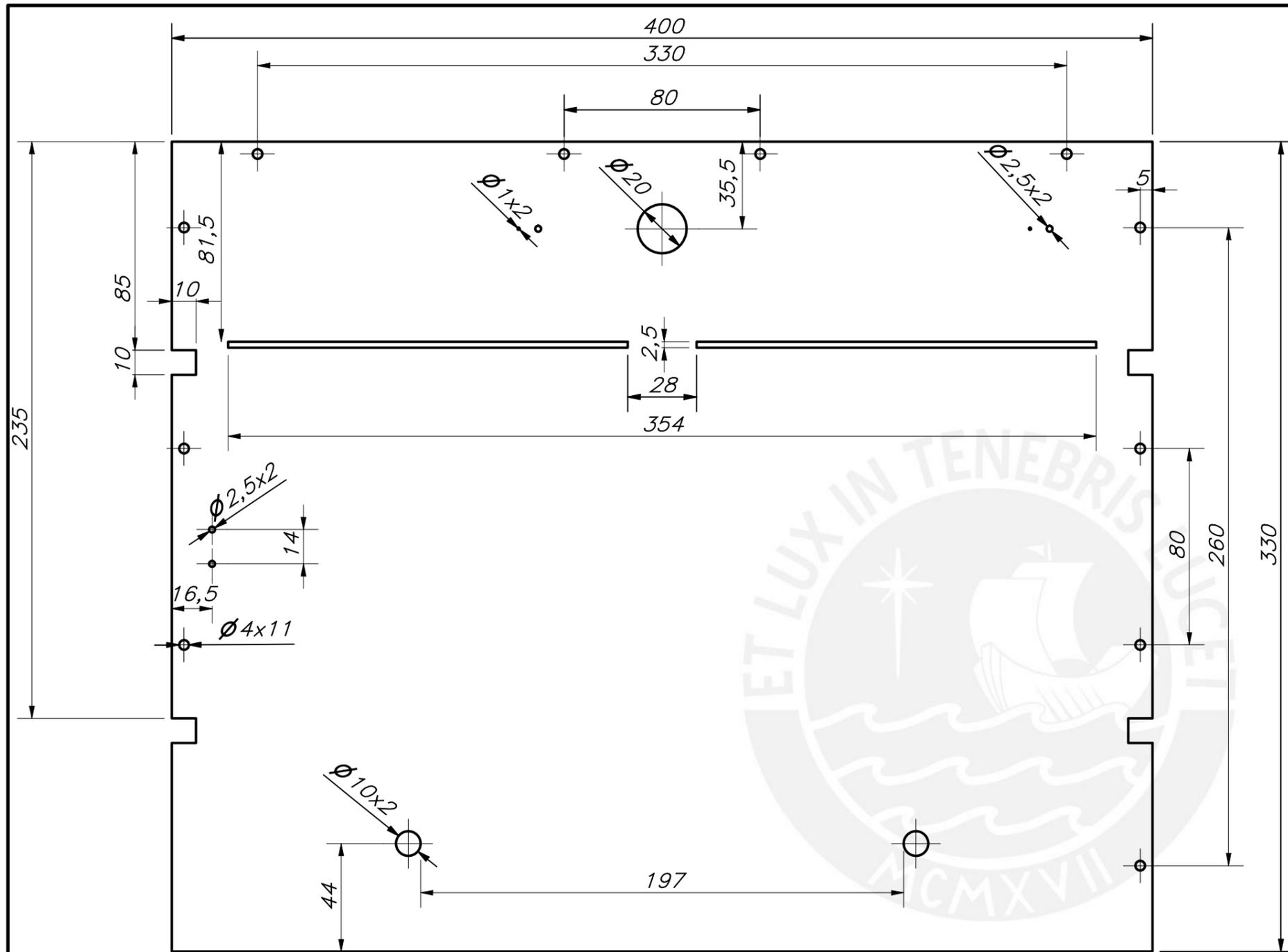
ESPESOR 1.5 mm

ACABADO SUPERFICIAL ✓	TOLERANCIA GENERAL DIN ISO 2768-1 MECANIZADO MEDIO	MATERIAL CFRP
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ Ciencias e Ingeniería - Ingeniería Mecatrónica		
MÉTODO DE PROYECCIÓN ⊕	1MTR02 - 10M3	ESCALA 1:2
20153202	REYES CASTILLO, AARON LUIS	FECHA: 18.12.2020
		LÁMINA: PD_MD_01_A3

TOLERANCIAS DIMENSIONALES  
SEGÚN DIN ISO 2768-1

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	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA



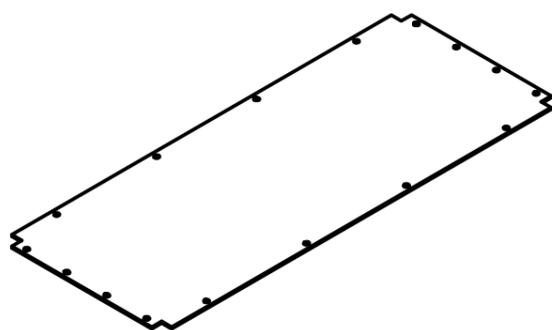
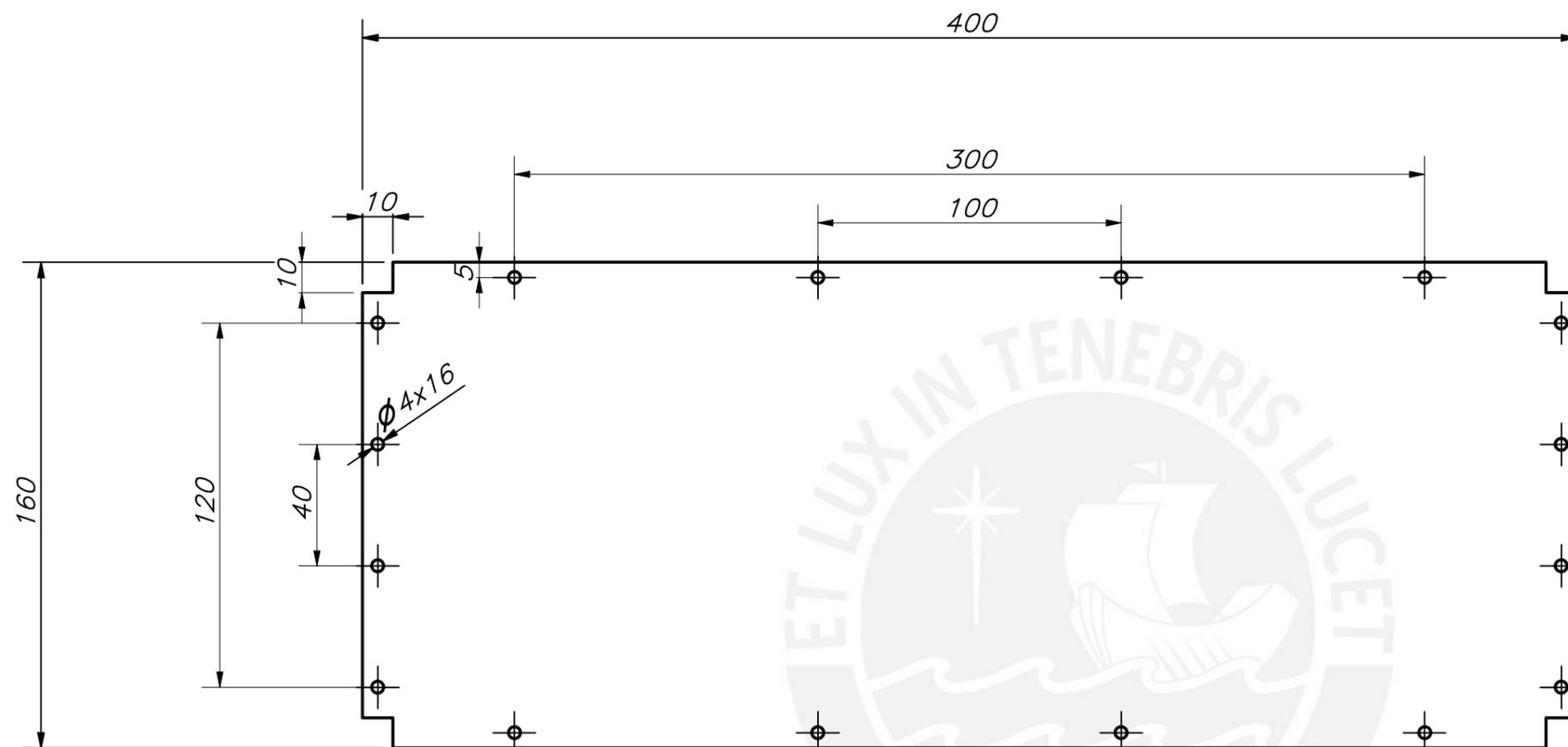
ESPESOR 1.5 mm

ACABADO SUPERFICIAL ✓	TOLERANCIA GENERAL DIN ISO 2768-1 MECANIZADO MEDIO	MATERIAL CFRP
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ Ciencias e Ingeniería - Ingeniería Mecatrónica		
MÉTODO DE PROYECCIÓN ⊕	1MTR02 - 10M3	ESCALA 1:2
20153202	Reyes Castillo, Aaron Luis	FECHA: 18.12.2020
		LÁMINA: PD_MD_02_A3

TOLERANCIAS DIMENSIONALES  
SEGÚN DIN ISO 2768-1

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	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA



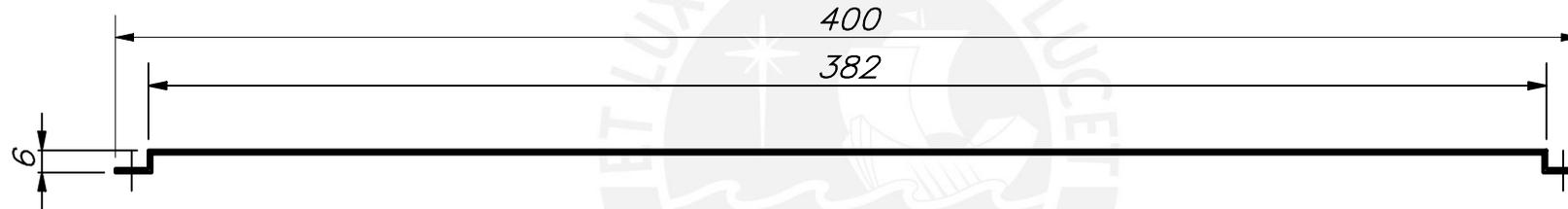
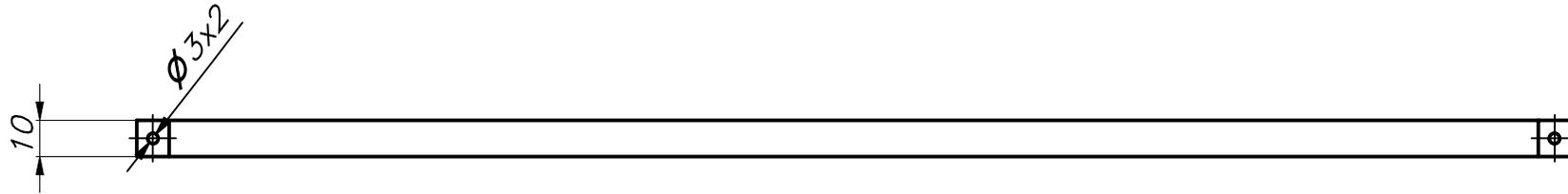
ESPESOR 1.5 mm

ACABADO SUPERFICIAL ✓	TOLERANCIA GENERAL DIN ISO 2768-1 MECANIZADO MEDIO	MATERIAL CFRP
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ <i>Ciencias e Ingeniería – Ingeniería Mecatrónica</i>		
MÉTODO DE PROYECCIÓN ⊕	1MTR02 – 10M3	ESCALA 1:2
21053202	Reyes Castillo, Aaron Luis	FECHA: 18.12.2020
		LÁMINA: PD_MD_03_A3

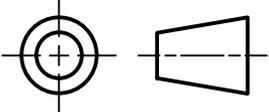
TOLERANCIAS DIMENSIONALES  
SEGÚN DIN ISO 2768-1

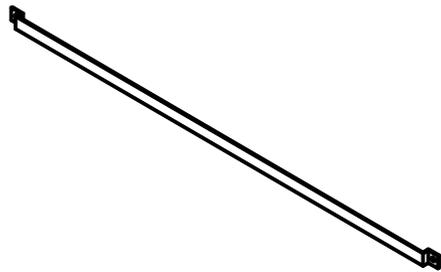
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA



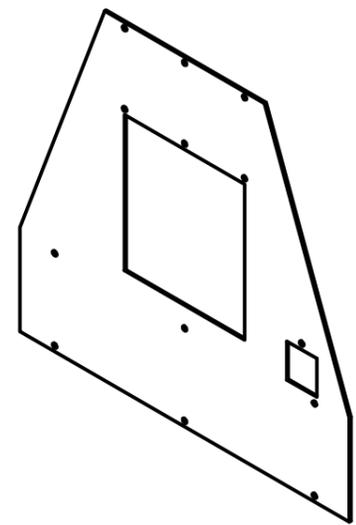
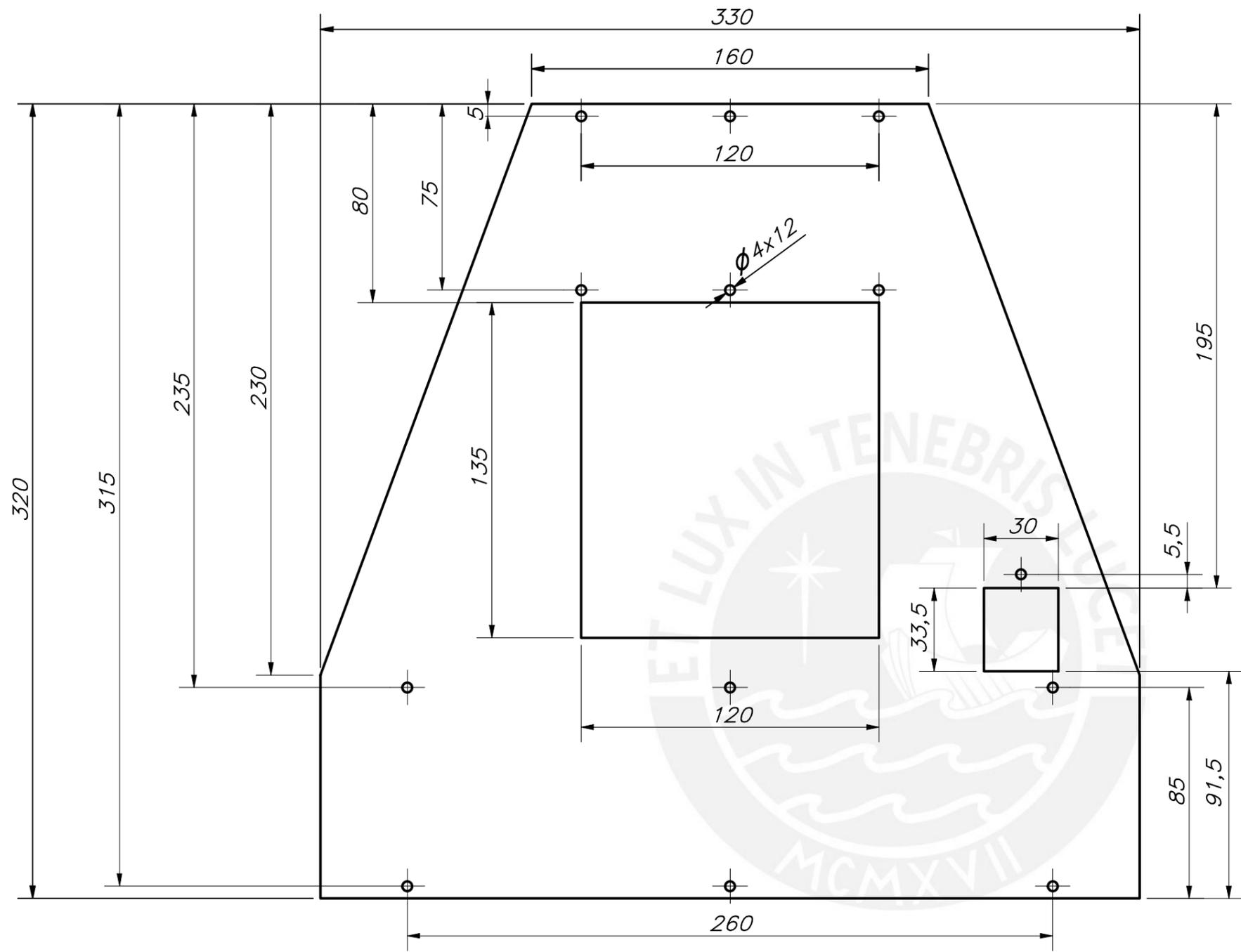
ESPESOR 1 mm

ACABADO SUPERFICIAL ✓	TOLERANCIA GENERAL DIN ISO 2768-1 MECANIZADO MEDIO	MATERIAL CFRP
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ Ciencias e Ingeniería – Ingeniería Mecatrónica		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	1MTR02 - 10M3	ESCALA 1:2
21053202	Reyes Castillo, Aaron Luis	FECHA: 18.12.2020

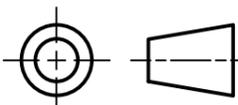


COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
-----------------	----------------	----------------

LÁMINA:  
PD\_MD\_04\_A4

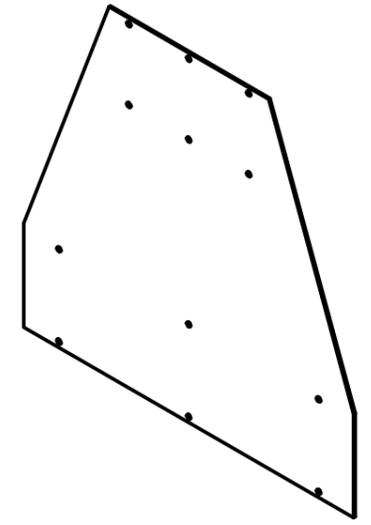
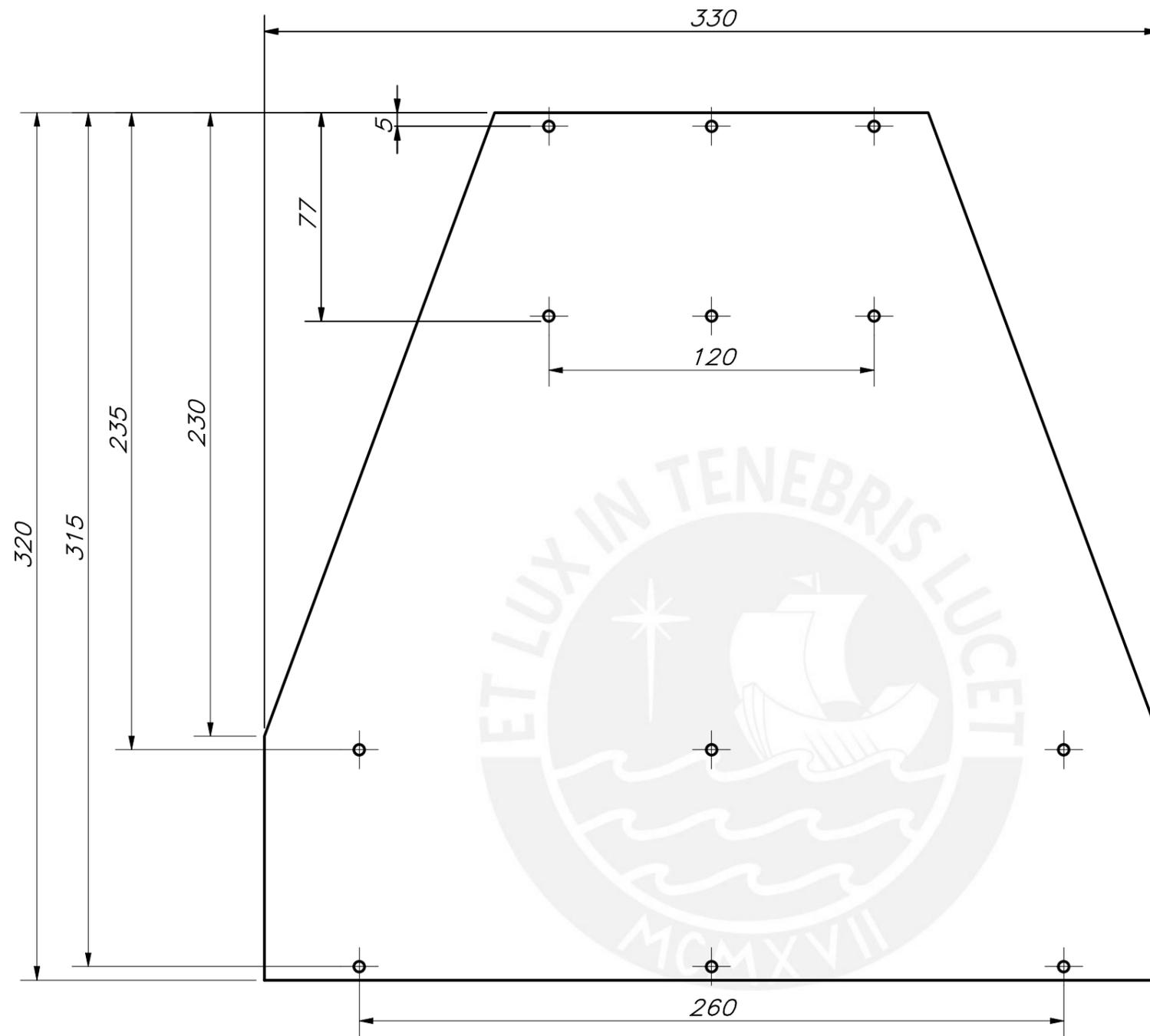


ESPESOR 1.5 mm

ACABADO SUPERFICIAL ✓	TOLERANCIA GENERAL DIN ISO 2768-1 MECANIZADO MEDIO	MATERIAL CFRP
<b>PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ</b> Ciencias e Ingeniería – Ingeniería Mecatrónica		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	1MTR02 – 10M3	ESCALA 2:1
20153202	Reyes Castillo, Aaron Luis	FECHA: 18.12.2020
		LÁMINA: PD_MD_05_A3

TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN ISO 2768-1							
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	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
--------------	-------------	-------------



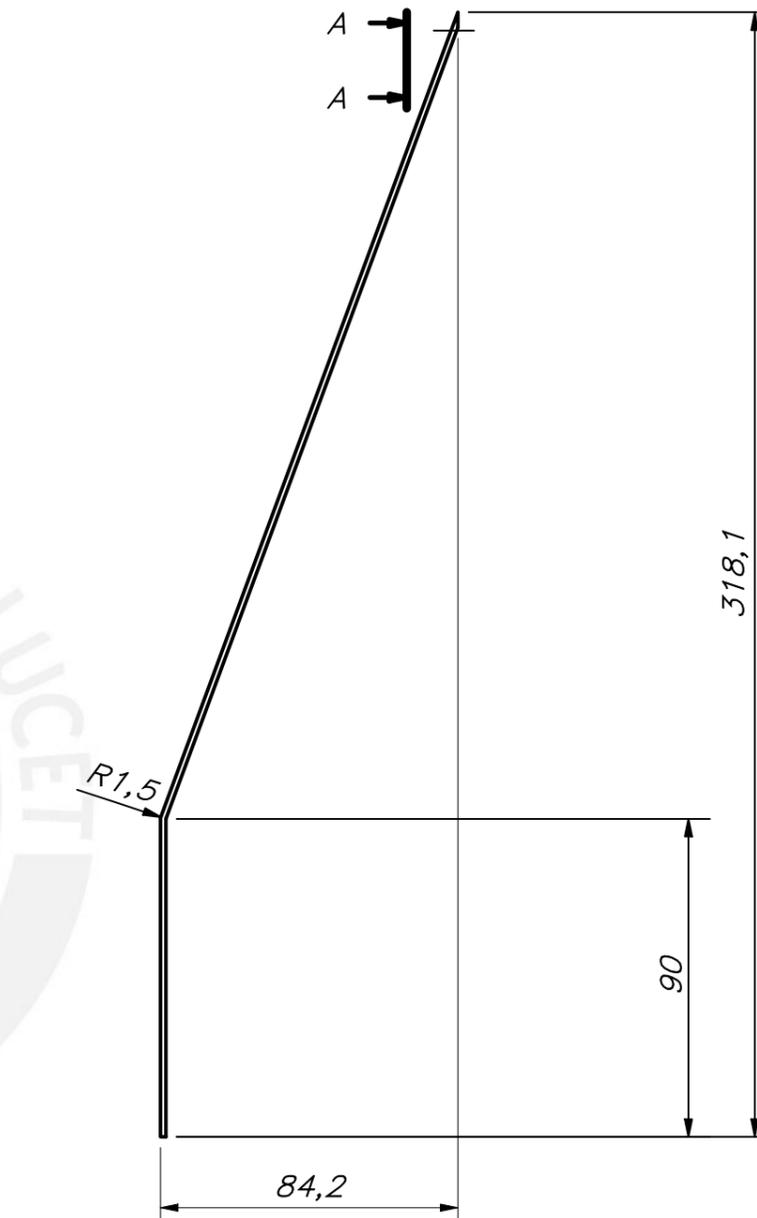
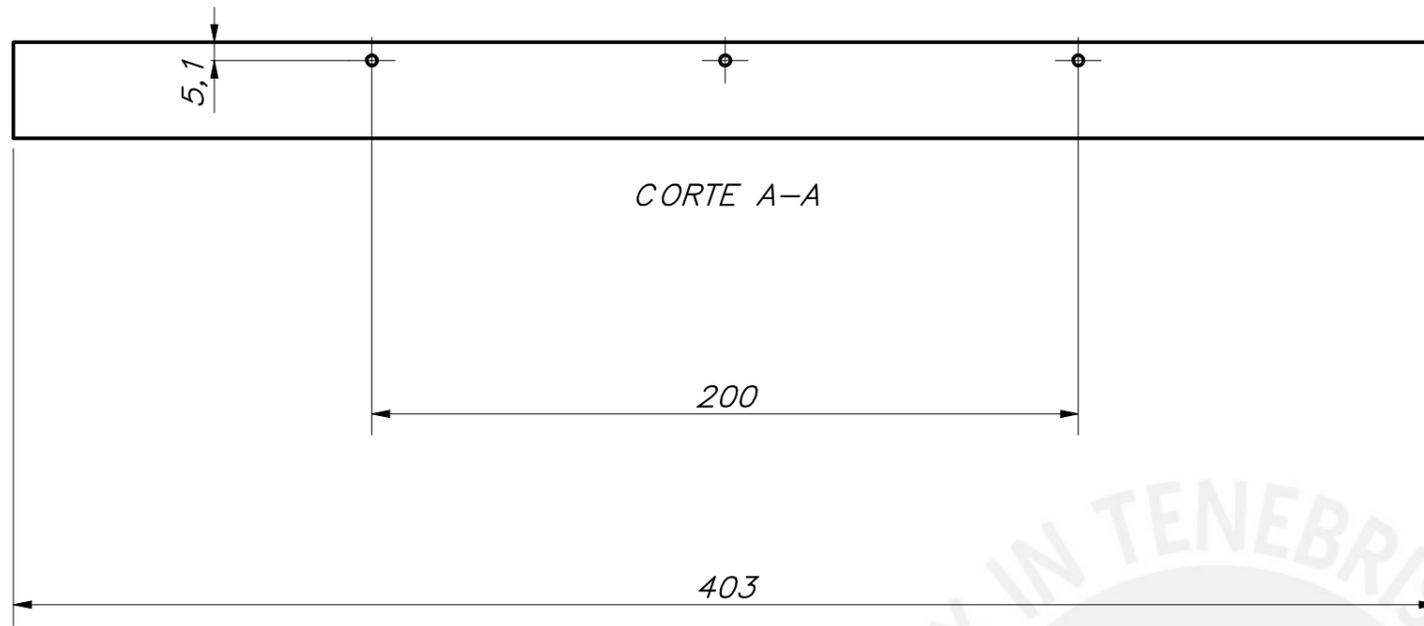
ESPESOR 1.5 mm

ACABADO SUPERFICIAL ✓	TOLERANCIA GENERAL DIN ISO 2768-1 MECANIZADO MEDIO	MATERIAL CFRP
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ Ciencias e Ingeniería - Ingeniería Mecatrónica		
MÉTODO DE PROYECCIÓN ⊕    ▭	1MTR02 - 10M3	ESCALA 2:1
20153202	Reyes Castillo, Aaron Luis	FECHA: 18.12.2020
		LÁMINA: PD_MD_06_A3

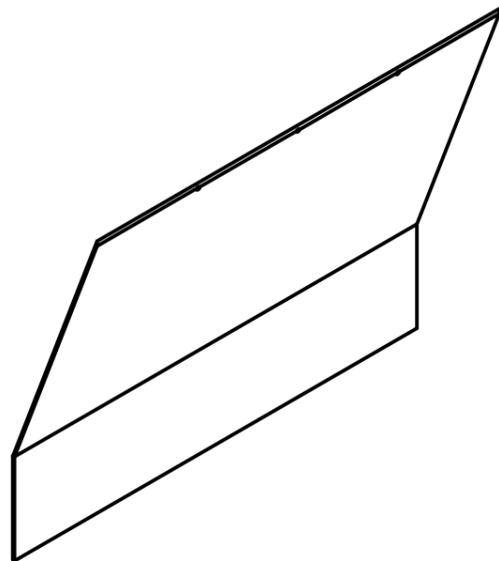
TOLERANCIAS DIMENSIONALES  
SEGÚN DIN ISO 2768-1

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	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA



AGUJEROS NO INDICADOS R4  
 ESPESOR 1.5 mm

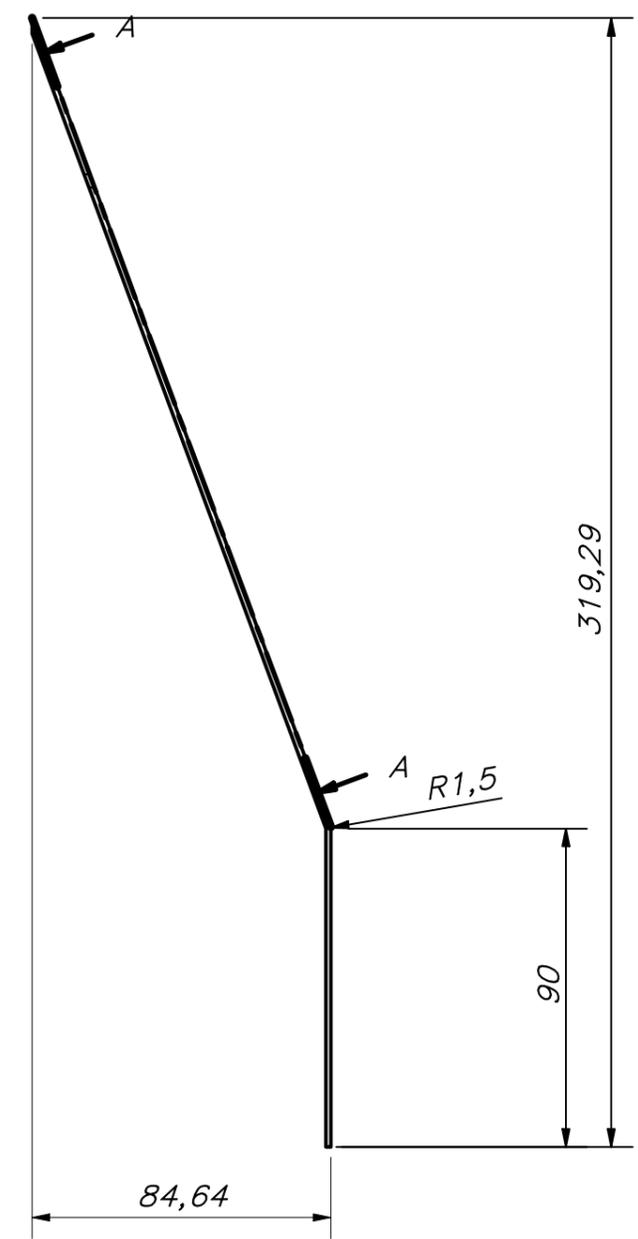
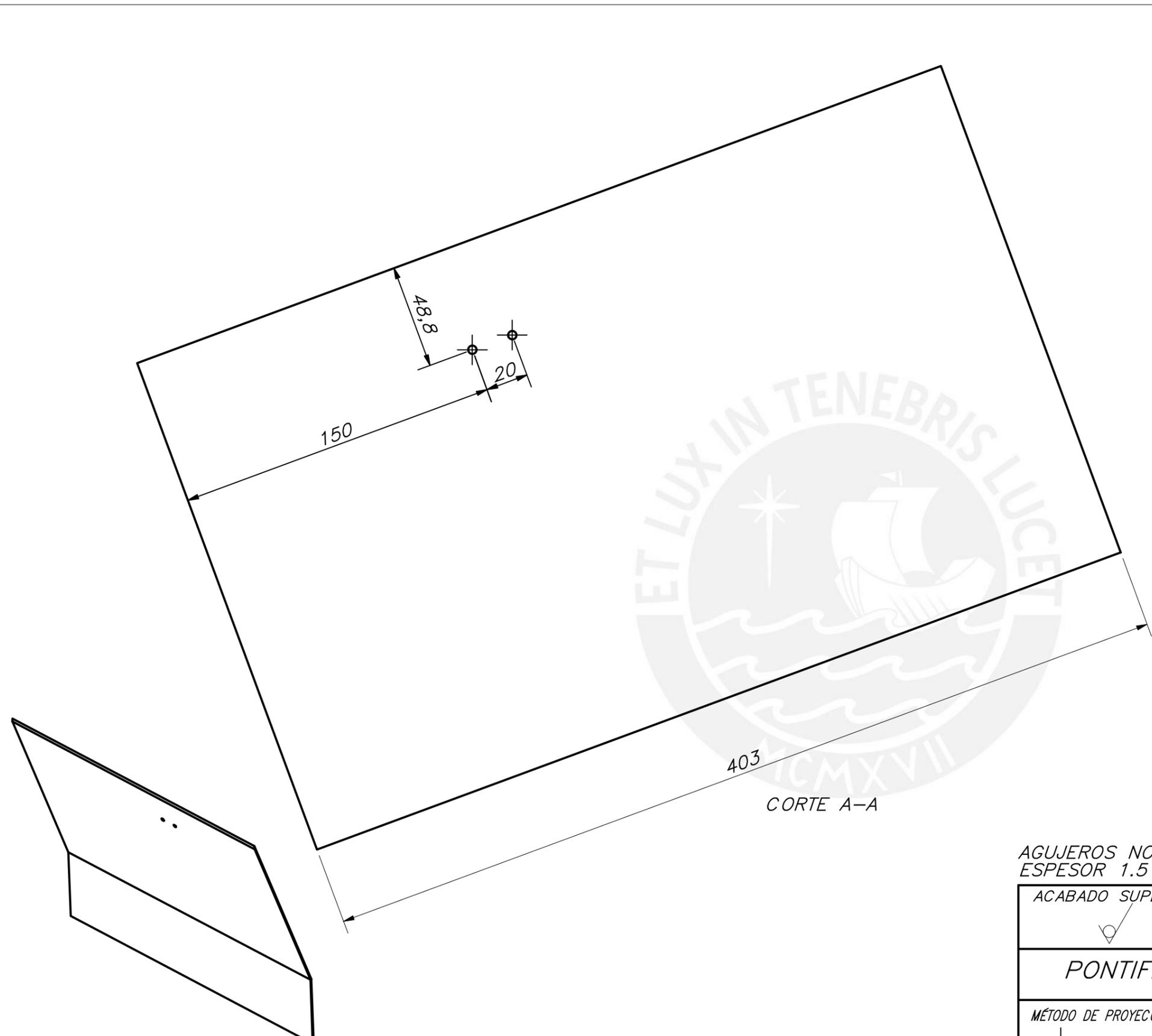


TOLERANCIAS DIMENSIONALES  
 SEGÚN DIN ISO 2768-1

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	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA

ACABADO SUPERFICIAL ✓	TOLERANCIA GENERAL DIN ISO 2768-1 MECANIZADO MEDIO	MATERIAL CFRP
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ Ciencias e Ingeniería - Ingeniería Mecatrónica		
MÉTODO DE PROYECCIÓN ⊕ ⊞	1MTR02 - 10M3 Plancha Lateral Izquierda	ESCALA 1:2
21053202	Reyes Castillo, Aaron Luis	FECHA: 18.12.2020
		LÁMINA: PD_MD_07_A3



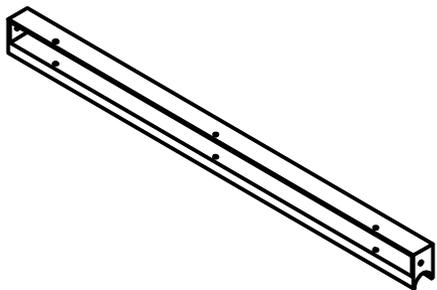
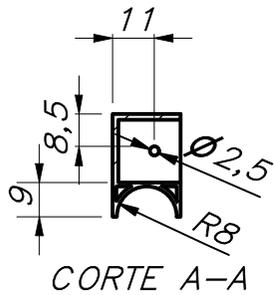
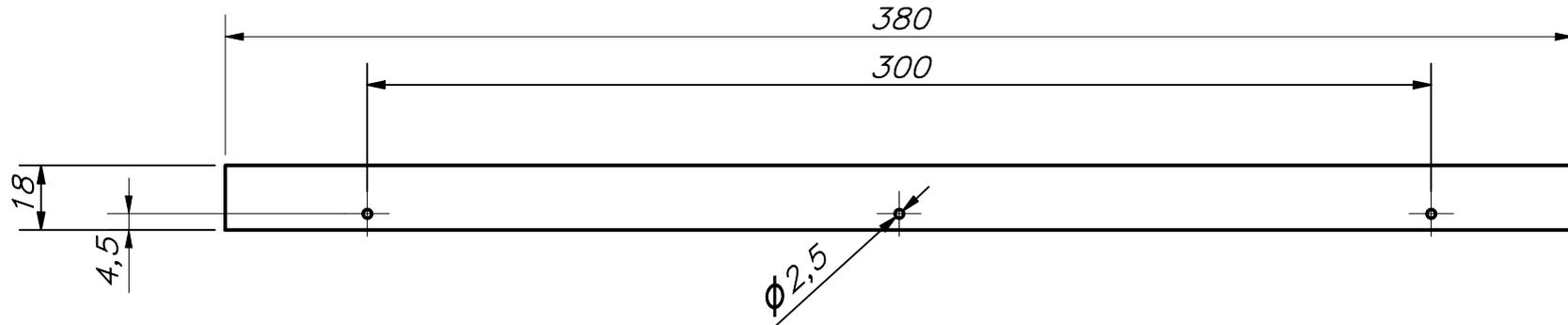
AGUJEROS NO INDICADOS R4  
ESPESOR 1.5 mm

ACABADO SUPERFICIAL ✓	TOLERANCIA GENERAL DIN ISO 2768-1 MECANIZADO MEDIO	MATERIAL CFRP
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ Ciencias e Ingeniería - Ingeniería Mecatrónica		
MÉTODO DE PROYECCIÓN ⊕ ⊞	1MTR02 - 10M3 <b>Plancha Lateral Derecha</b>	ESCALA 1:2
20153202	Reyes Castillo, Aaron Luis	FECHA: 18.12.2020
		LÁMINA: PD_MD_08_A3

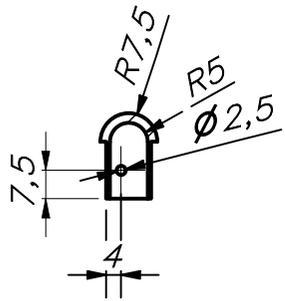
TOLERANCIAS DIMENSIONALES  
SEGÚN DIN ISO 2768-1

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	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2

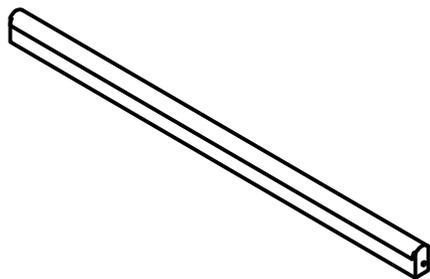
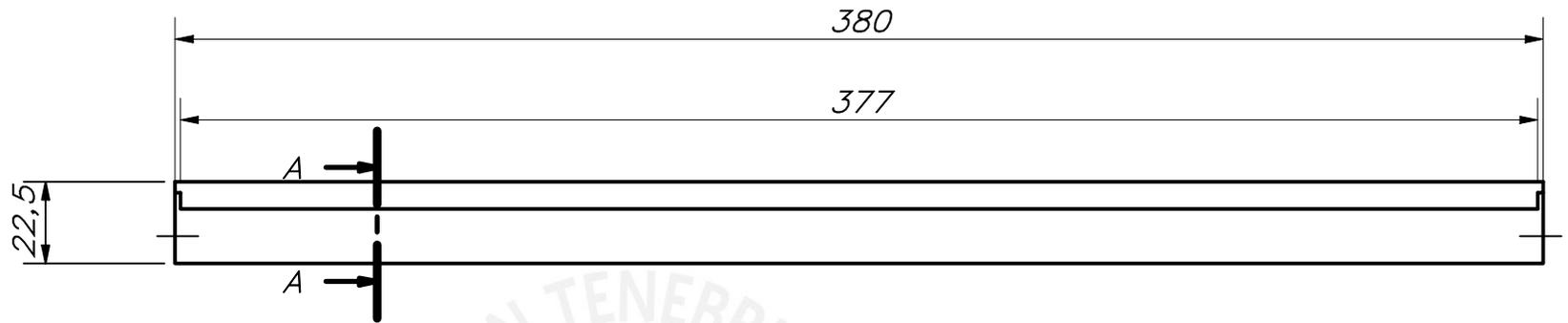
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA



ACABADO SUPERFICIAL ✓	TOLERANCIA GENERAL DIN ISO 2768-1 MECANIZADO MEDIO	MATERIAL HDPE						
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ Ciencias e Ingeniería – Ingeniería Mecatrónica								
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	1MTR02 - 10M3	ESCALA 1:2						
20153202	Reyes Castillo, Aaron Luis	FECHA: 18.12.2020						
<table border="1"> <thead> <tr> <th>COTA NOMINAL</th> <th>COTA MÁXIMA</th> <th>COTA MÍNIMA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </tbody> </table>		COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA				LÁMINA: PD_MD_09_A4
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA						

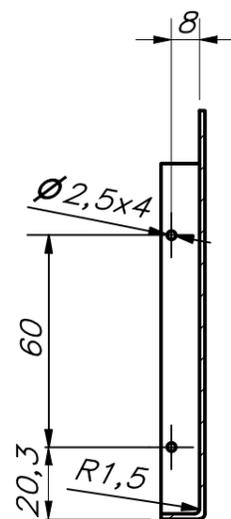


CORTE A-A  
Escala 1:2

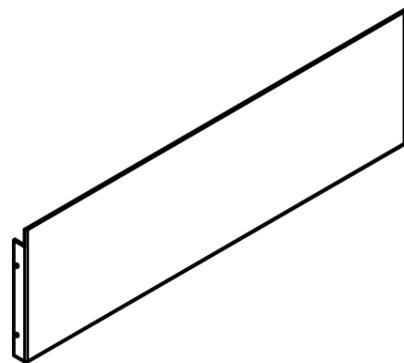
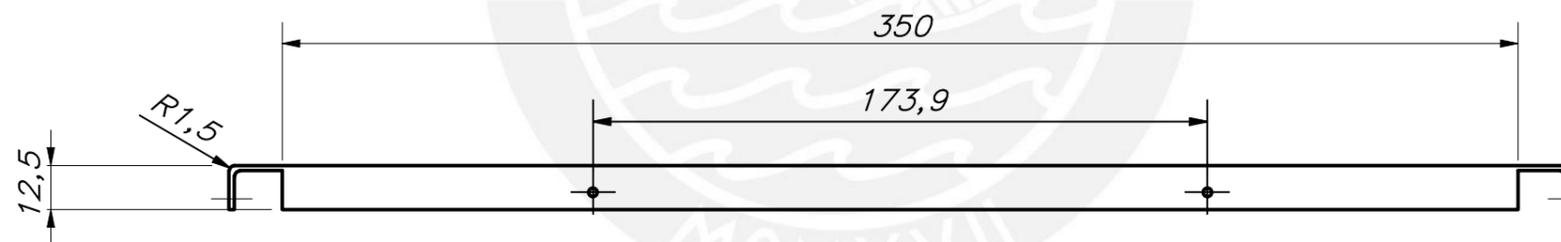
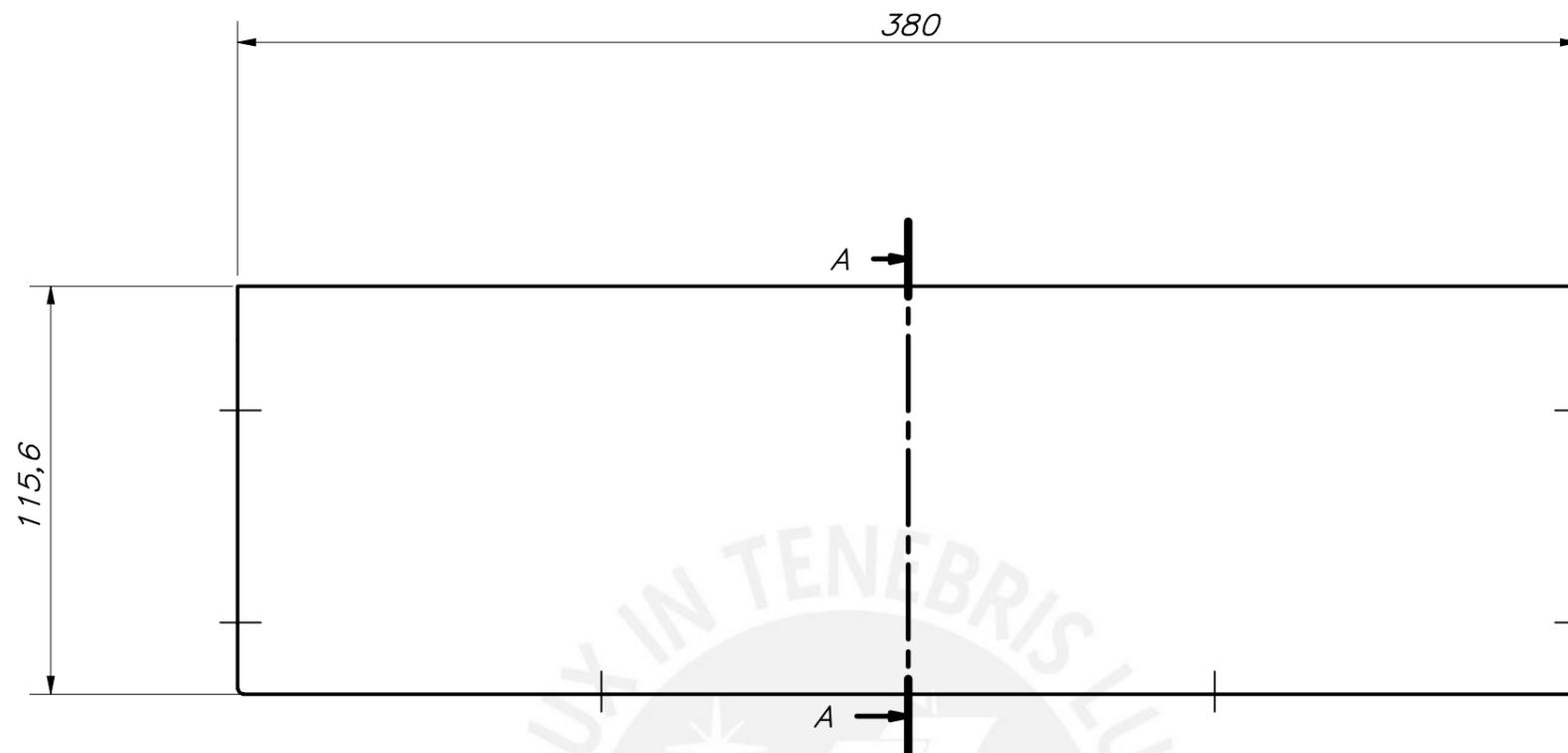


ACABADO SUPERFICIAL 1.6/ ▽	TOLERANCIA GENERAL DIN ISO 2768-1 MECANIZADO MEDIO	MATERIAL Aluminio 6061
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ Ciencias e Ingeniería – Ingeniería Mecatrónica		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	1MTR02 - 10M3	ESCALA 1:2
20153202	Reyes Castillo, Aaron Luis	FECHA: 18.12.2020
		LÁMINA: PD_MD_10_A4

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
-----------------	----------------	----------------



CORTE A-A  
ESCALA 1:2



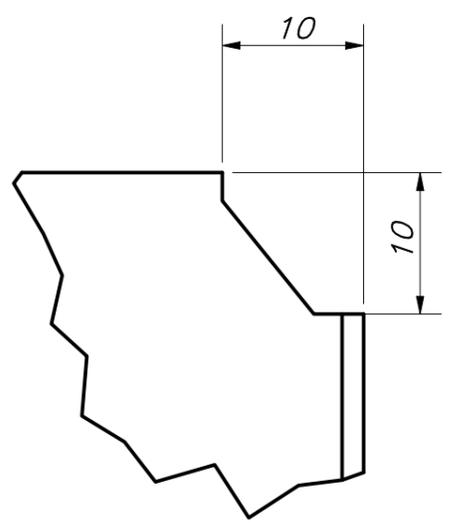
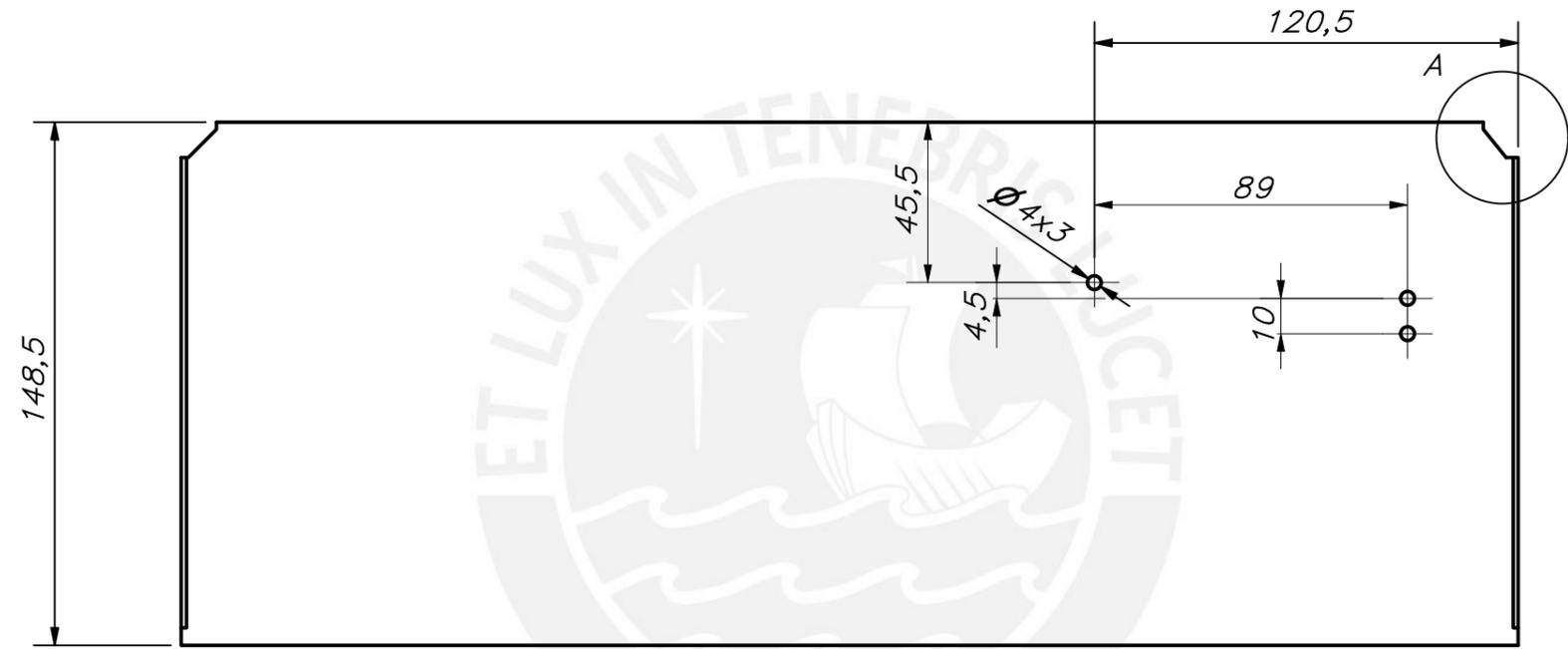
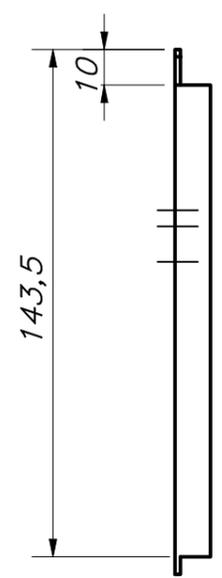
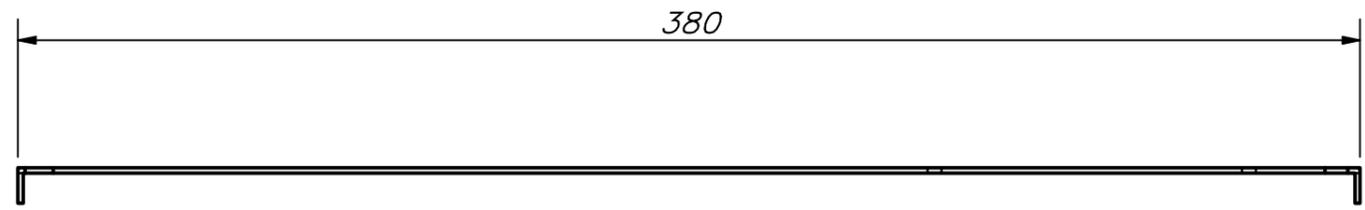
ESPESOR 1.5 mm

ACABADO SUPERFICIAL ✓	TOLERANCIA GENERAL DIN ISO 2768-1 MECANIZADO MEDIO	MATERIAL CFRP
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ Ciencias e Ingeniería - Ingeniería Mecatrónica		
MÉTODO DE PROYECCIÓN ⊕ ⊞	1MTR02 - 10M3 Placa Cabina de Dispensación	ESCALA 1:2
20153202	Reyes Castillo, Aaron Luis	FECHA: 18.12.2020
		LÁMINA: PD_MD_11_A3

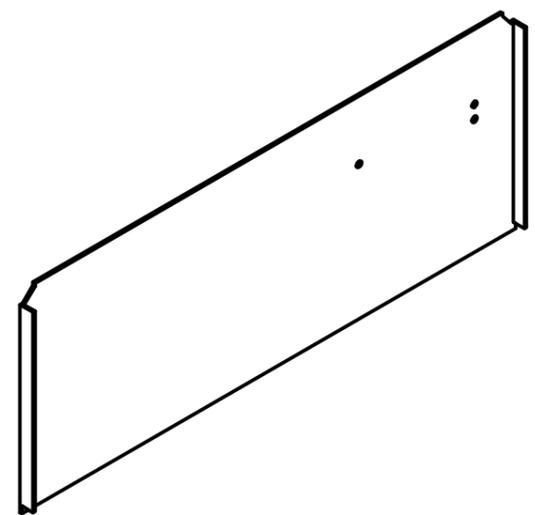
TOLERANCIAS DIMENSIONALES  
SEGÚN DIN ISO 2768-1

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	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA



DETALLE A  
ESCALA 2 : 1

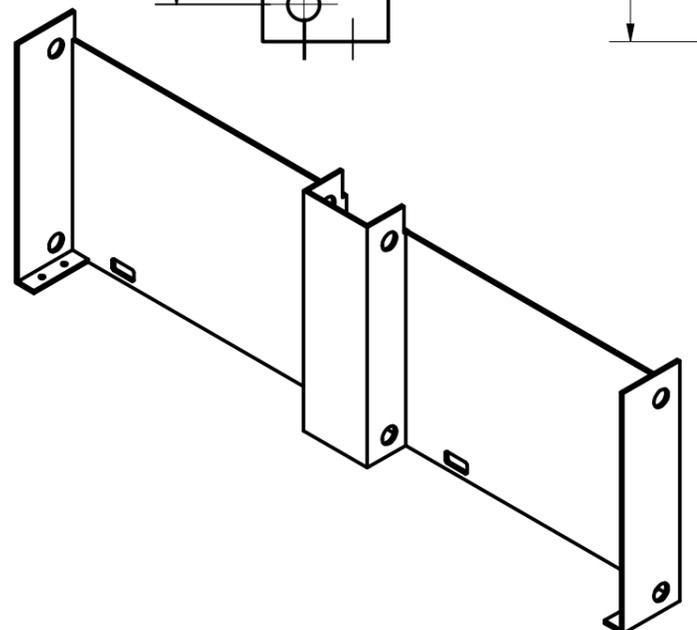
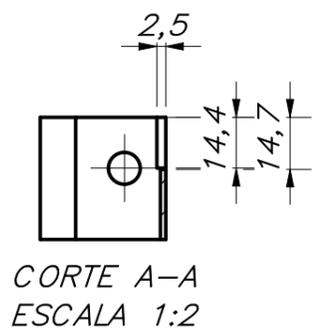
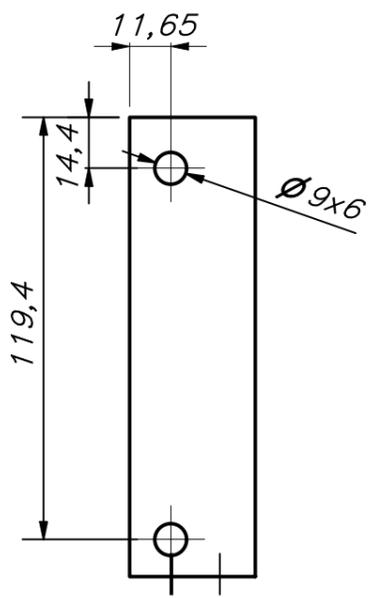
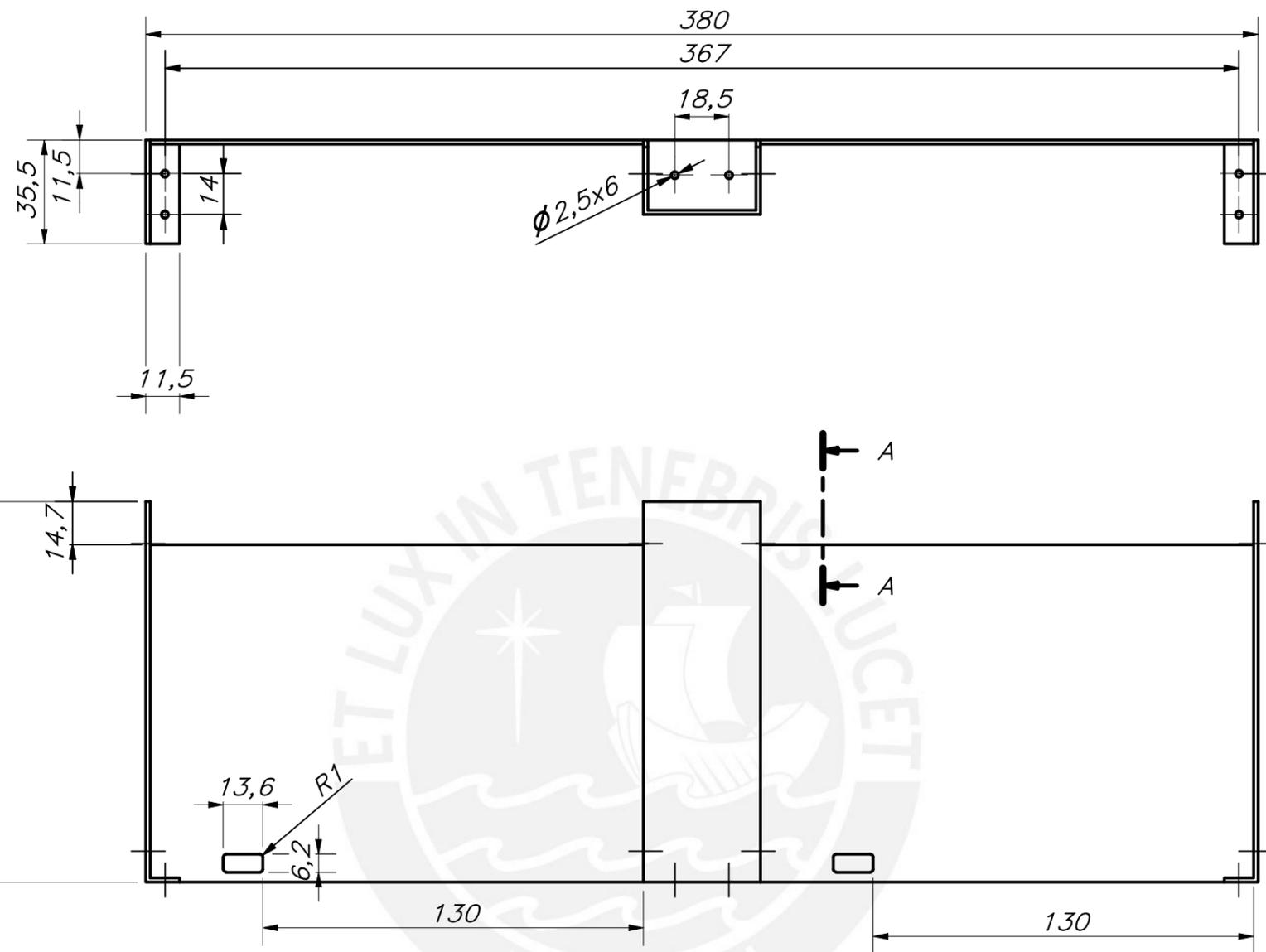


TOLERANCIAS DIMENSIONALES  
SEGÚN DIN ISO 2768-1

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	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA

ACABADO SUPERFICIAL ✓	TOLERANCIA GENERAL DIN ISO 2768-1 MECANIZADO MEDIO	MATERIAL CFRP
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ Ciencias e Ingeniería – Ingeniería Mecatrónica		
MÉTODO DE PROYECCIÓN ⊕ ⊞	1MTR02 – 10M3 Placa Cabina Dispensación Batería	ESCALA 1:2
20153202	Reyes Castillo, Aaron Luis	FECHA: 18.12.2020
		LÁMINA: PD_MD_12_A3



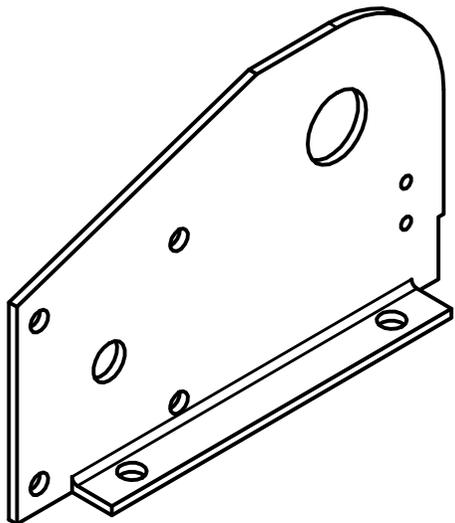
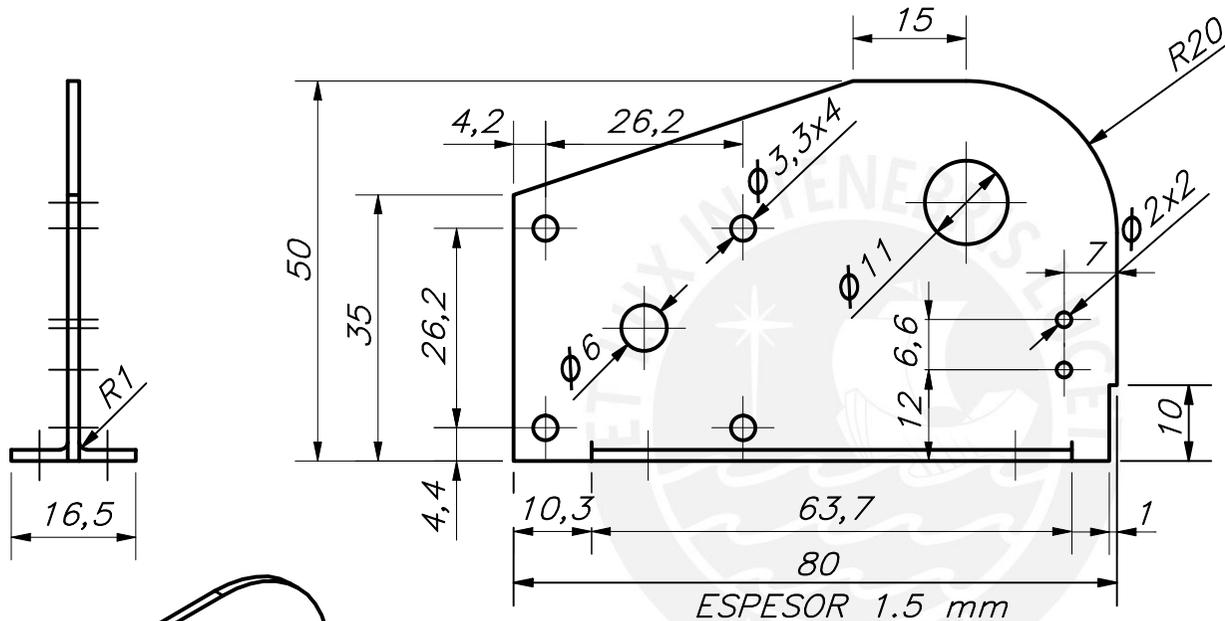
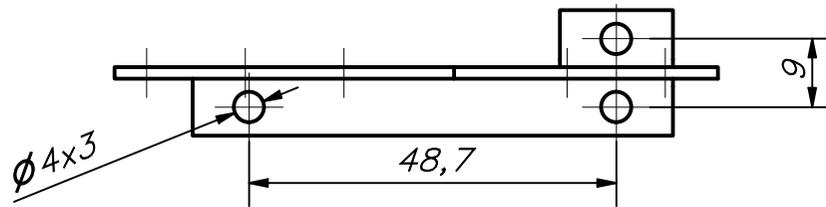
ESPESOR 1.5 mm

ACABADO SUPERFICIAL ✓	TOLERANCIA GENERAL DIN ISO 2768-1 MECANIZADO MEDIO	MATERIAL CFRP
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ Ciencias e Ingeniería - Ingeniería Mecatrónica		
MÉTODO DE PROYECCIÓN ⊕ ⊞	1MTR02 - 10M3 Placa de Fajas de Transporte	ESCALA 1:2
20153202	Reyes Castillo, Aaron Luis	FECHA: 18.12.2020
		LÁMINA: PD_MD_13_A3

TOLERANCIAS DIMENSIONALES  
SEGÚN DIN ISO 2768-1

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	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2

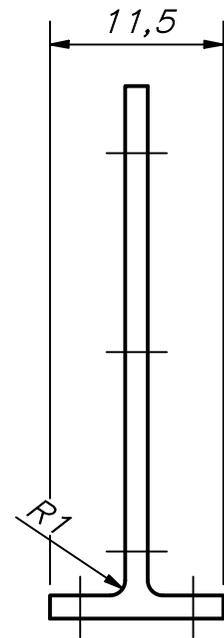
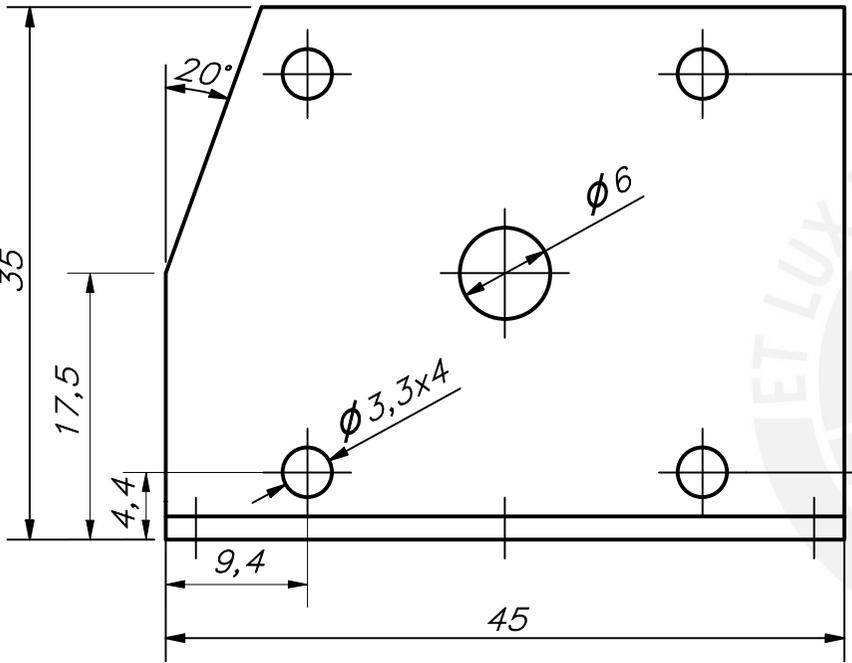
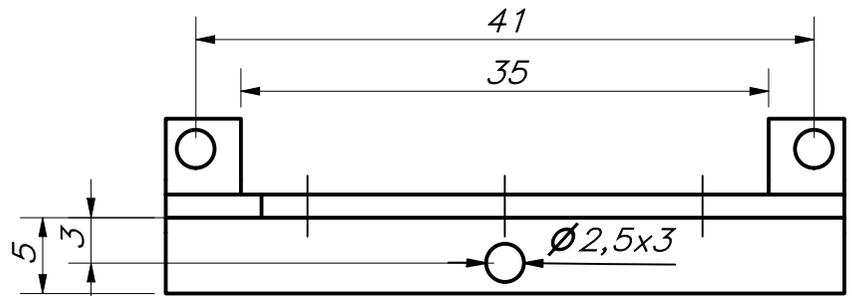
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA



ACABADO SUPERFICIAL ✓	TOLERANCIA GENERAL DIN ISO 2768-1 MECANIZADO MEDIO	MATERIAL CFRP
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ Ciencias e Ingeniería – Ingeniería Mecatrónica		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	1MTR02 - 10M3	ESCALA 1:1
20153202	Reyes Castillo, Aaron Luis	FECHA: 18.12.2020

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
-----------------	----------------	----------------

LÁMINA:  
PD\_MD\_14\_A4



ESPESOR 1.5 mm

ACABADO SUPERFICIAL ✓	TOLERANCIA GENERAL DIN ISO 2768-1 MECANIZADO MEDIO	MATERIAL CFRP
--------------------------	--	------------------

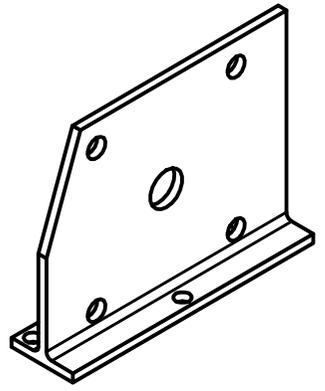
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
Ciencias e Ingeniería – Ingeniería Mecatrónica

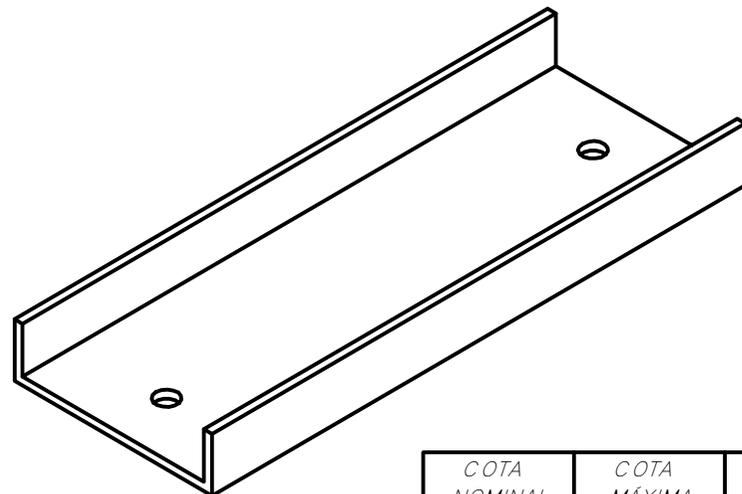
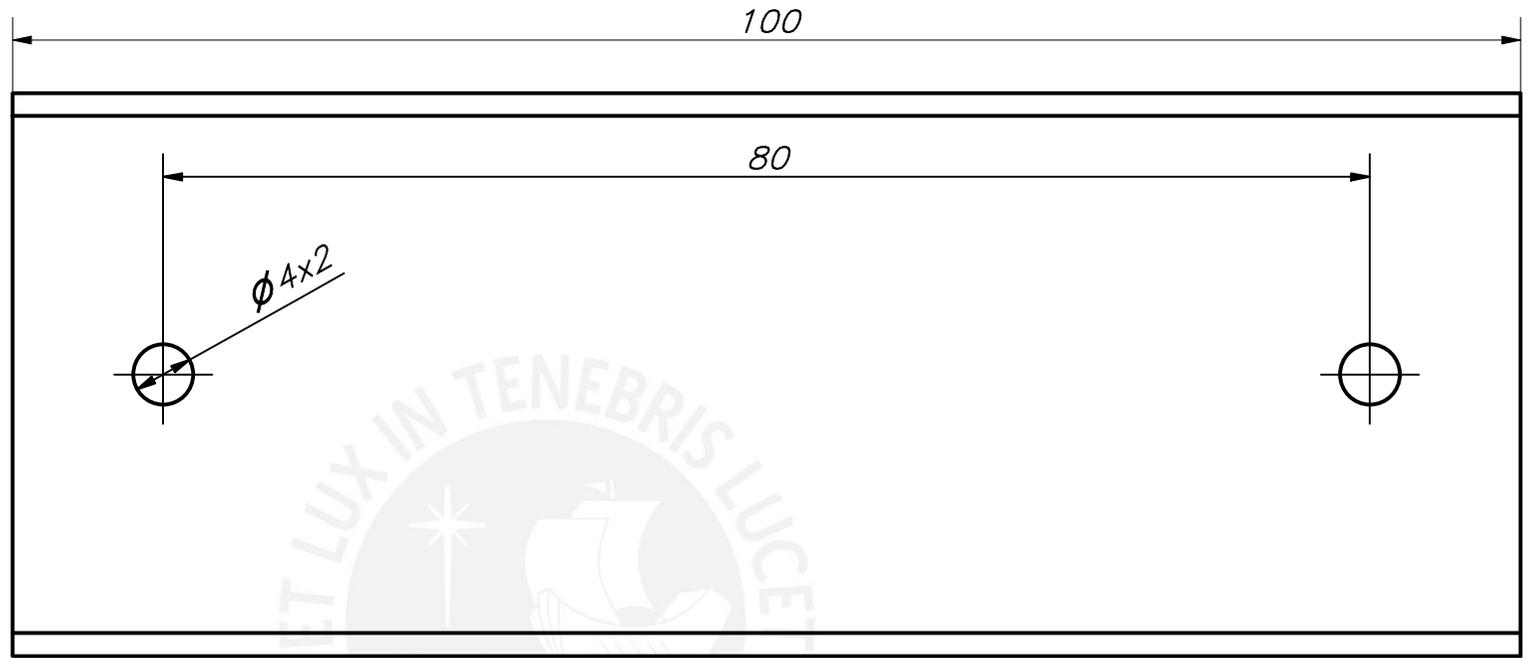
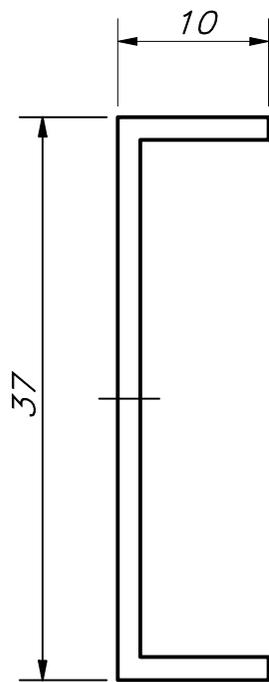
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	1MTR02 - 10M3 <b>Placa Sistema de Transporte</b>	ESCALA <b>1:1</b>
--------------------------	---	----------------------

201523202	Reyes Castillo, Aaron Luis	FECHA: 18.12.2020
-----------	----------------------------	----------------------

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
--------------	-------------	-------------

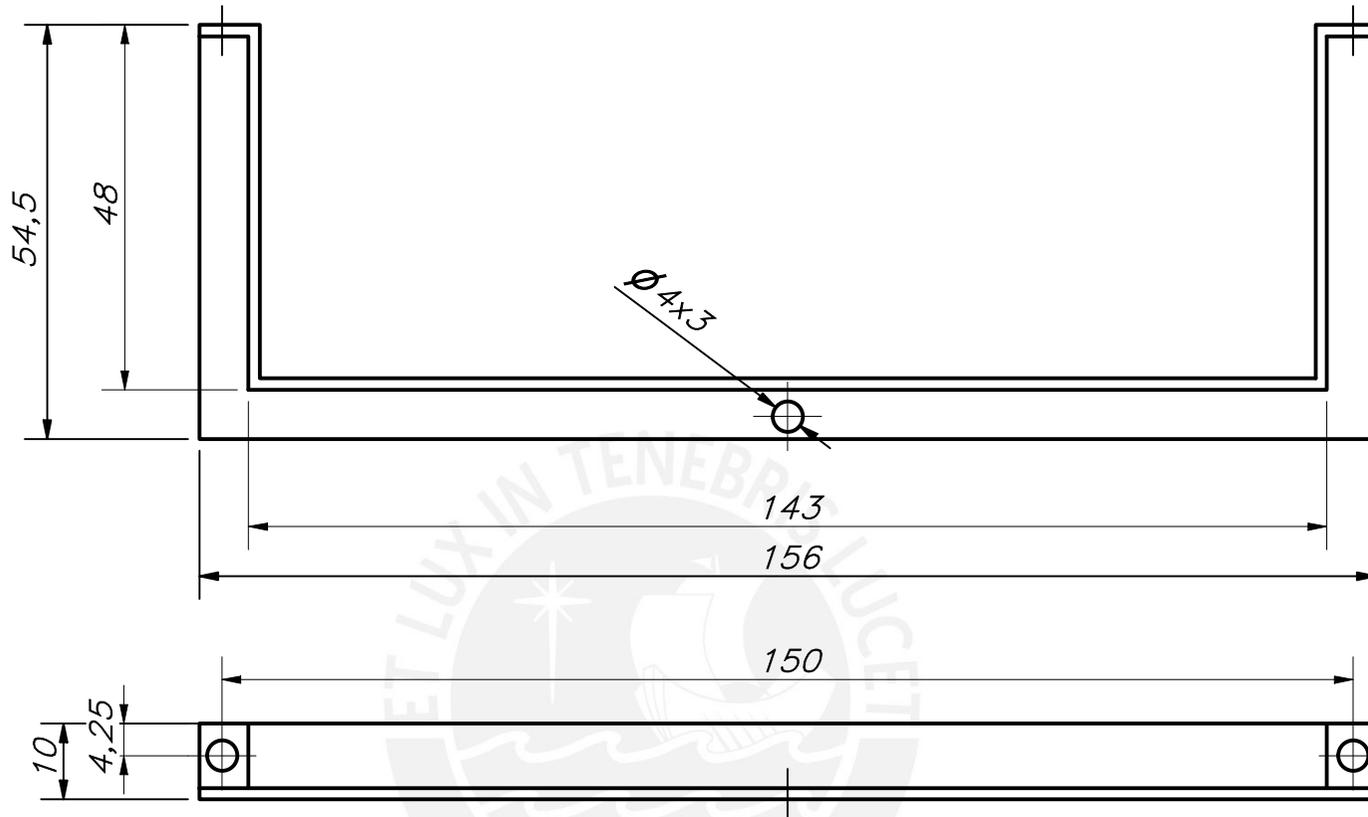
LÁMINA:  
PD\_MD\_15\_A4



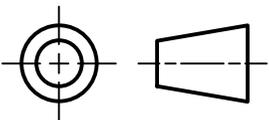


ESPEJOR 1.5 mm

ACABADO SUPERFICIAL 	TOLERANCIA GENERAL DIN ISO 2768-1 MECANIZADO MEDIO	MATERIAL CFRP	
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ Ciencias e Ingeniería – Ingeniería Mecatrónica			
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	1MTR02 – 10M3 <b>Placa Separadora de Maletas</b>	ESCALA 2:1	
20153202	Reyes Castillo, Aaron Luis	FECHA: 18.12.2020	
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA	LÁMINA: PD_MD_16_A4

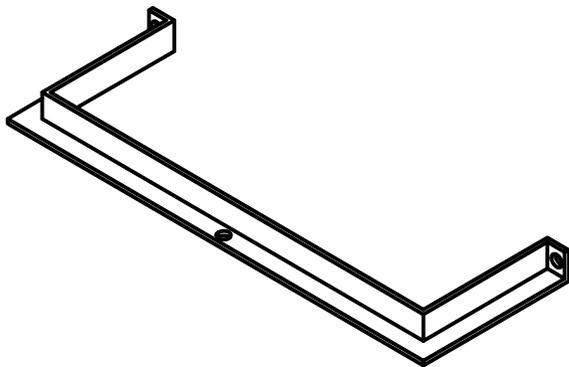


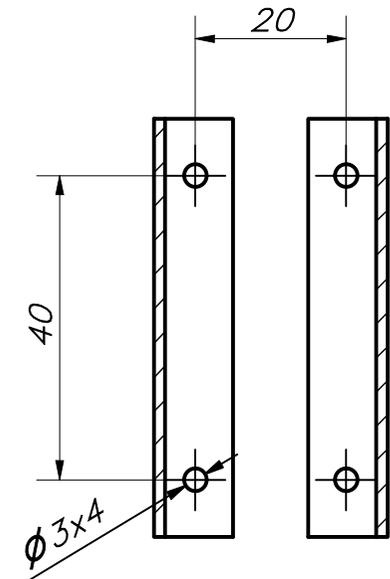
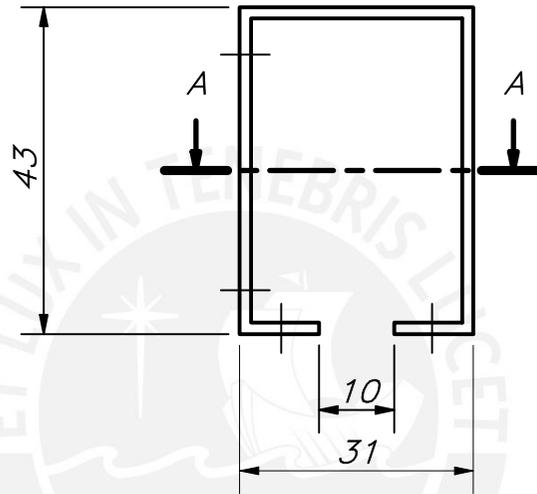
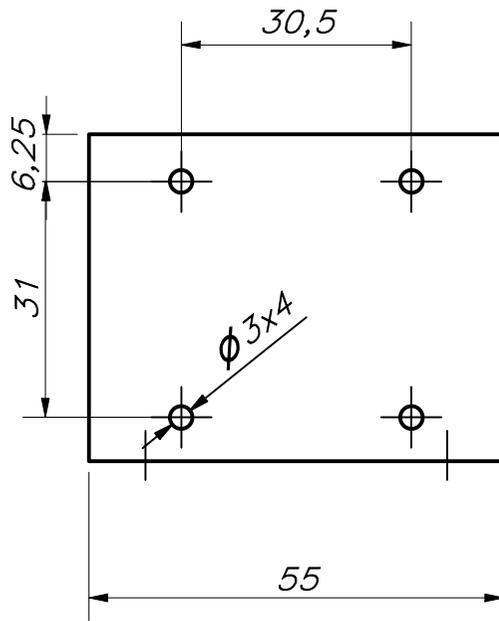
ESPEJOR 1.5 mm

ACABADO SUPERFICIAL ✓	TOLERANCIA GENERAL DIN ISO 2768-1 MECANIZADO MEDIO	MATERIAL CFRP
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ Ciencias e Ingeniería – Ingeniería Mecatrónica		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	1MTR02 - 10M3 Placa de Sujeción de Batería	ESCALA 1:2
20153202	Reyes Castillo, Aaron Luis	FECHA: 18.12.2020

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
-----------------	----------------	----------------

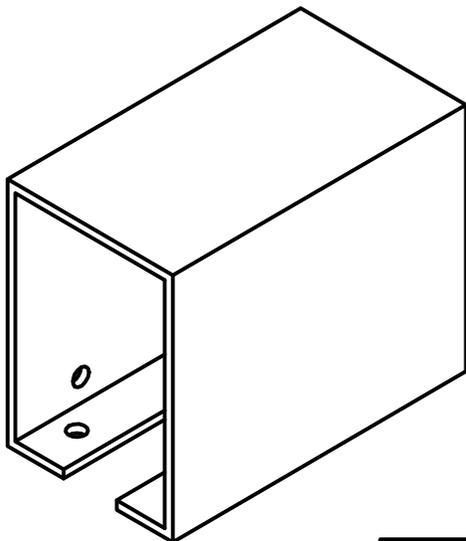
LÁMINA:  
PD\_MD\_17\_A4

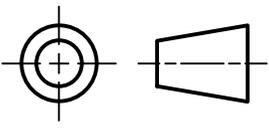




CORTE A-A  
ESCALA 1:1

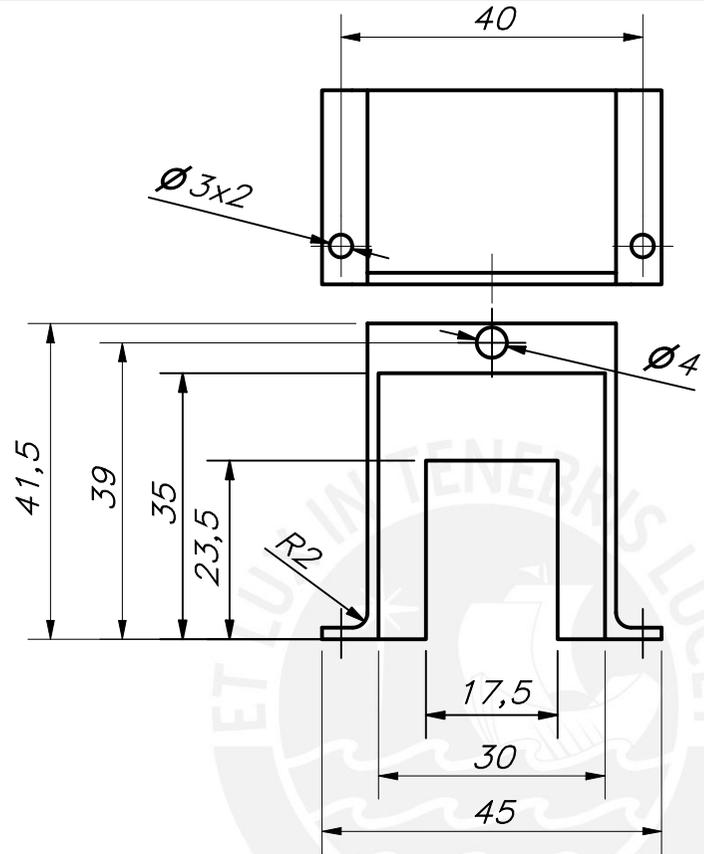
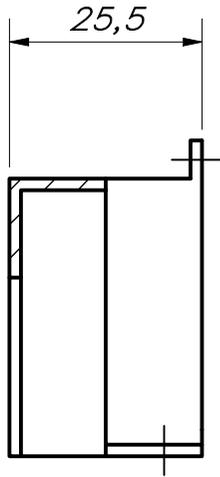
ESPESOR 1.5 mm



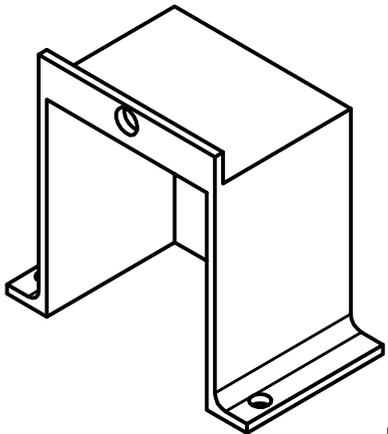
ACABADO SUPERFICIAL ✓	TOLERANCIA GENERAL DIN ISO 2768-1 MECANIZADO MEDIO	MATERIAL CFRP
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ Ciencias e Ingeniería – Ingeniería Mecatrónica		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	1MTR02 - 10M3 <i>Placa de Sujeción de Cerradura</i>	ESCALA 1:1
20153202	Reyes Castillo, Aaron Luis	FECHA: 18.12.2020

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
-----------------	----------------	----------------

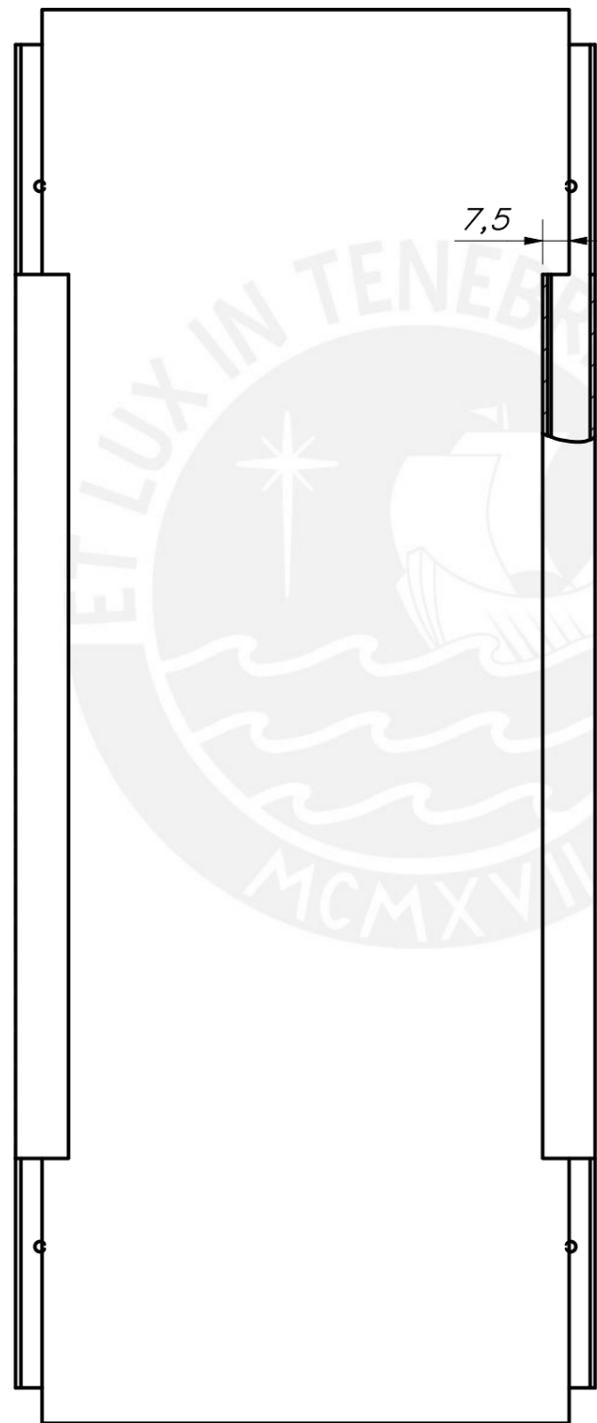
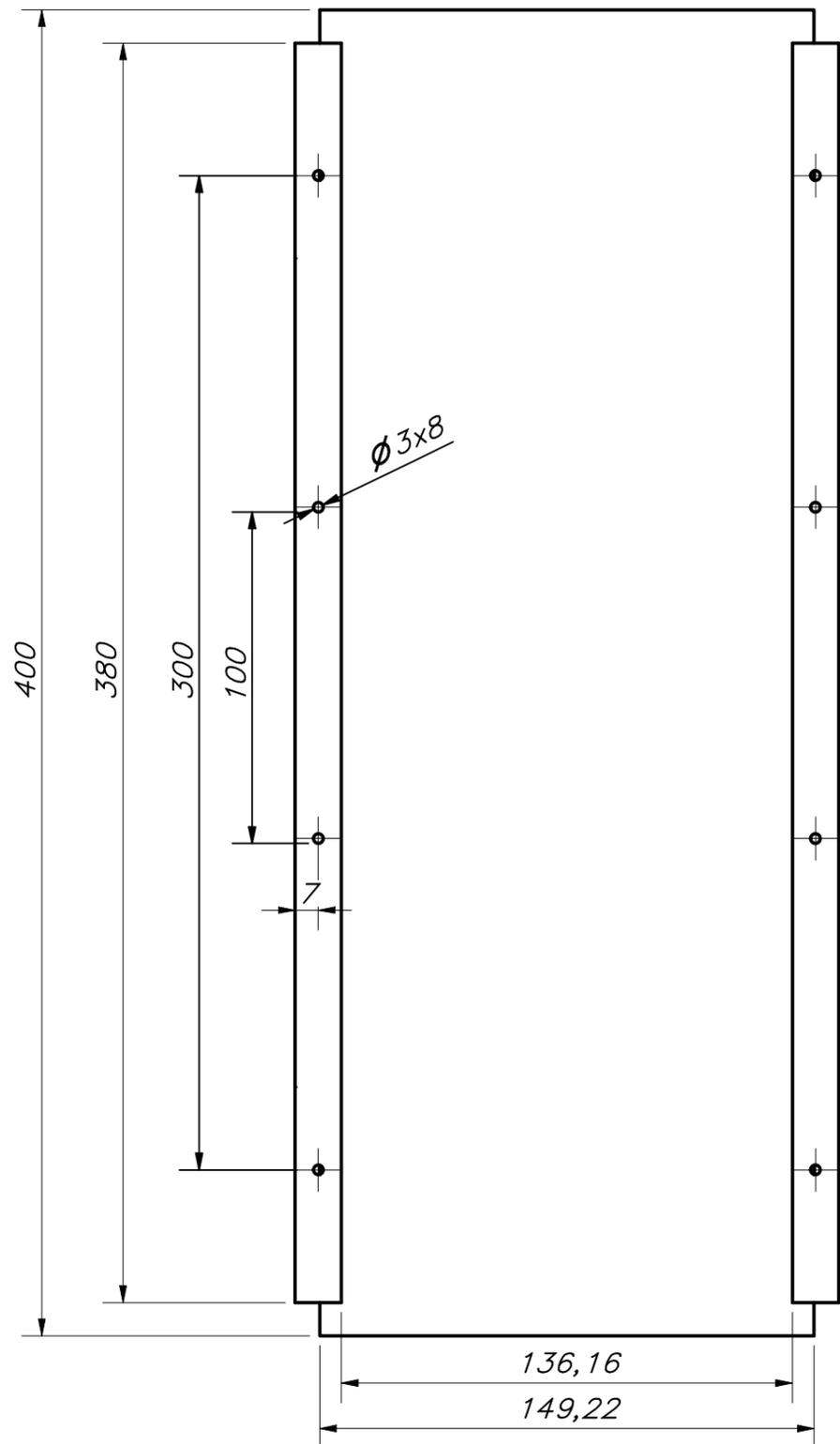
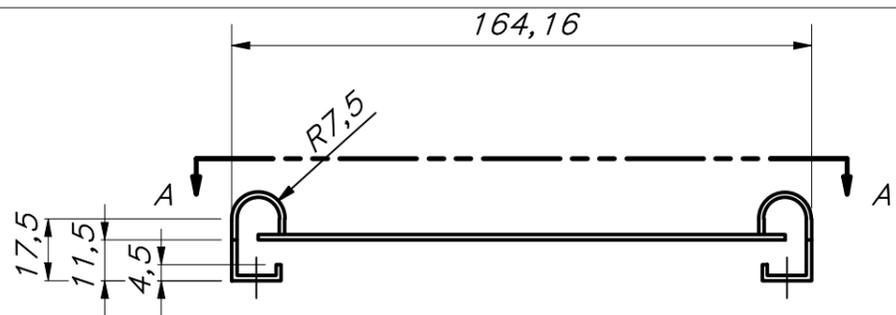
LÁMINA:  
PD\_MD\_18\_A4



ESPESOR 1.5 mm

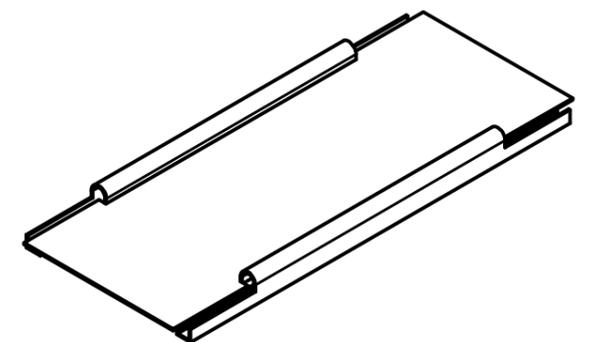


ACABADO SUPERFICIAL 	TOLERANCIA GENERAL DIN ISO 2768-1 MECANIZADO MEDIO	MATERIAL CFRP
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ Ciencias e Ingeniería – Ingeniería Mecatrónica		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	1MTR02 – 10M3 <i>Placa Sujeción Sensor Huella Digital</i>	ESCALA 1:1
20153202	Reyes Castillo, Aaron Luis	FECHA: 18.12.2020
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
		LÁMINA: PD_MD_19_A4

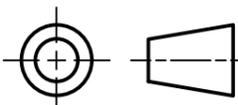


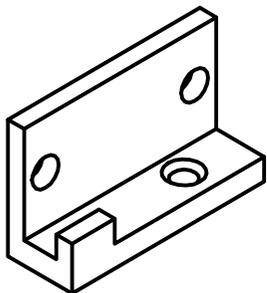
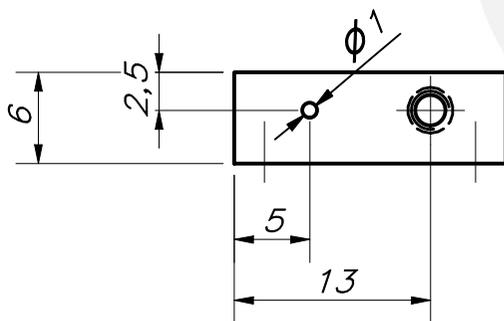
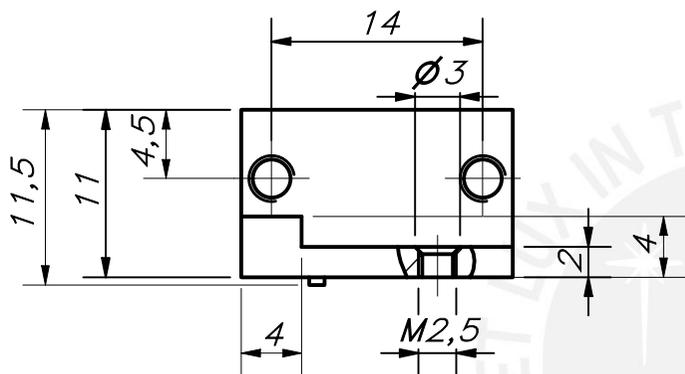
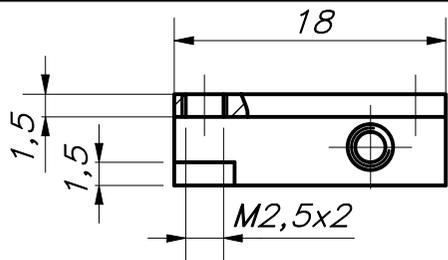
VISTA A-A

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA

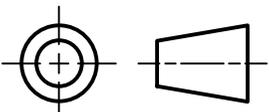


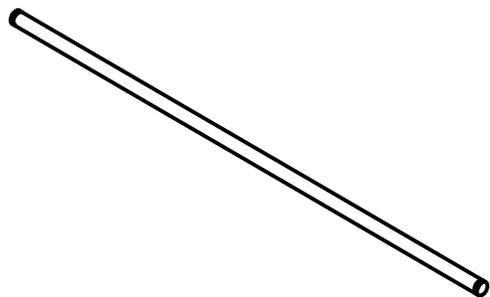
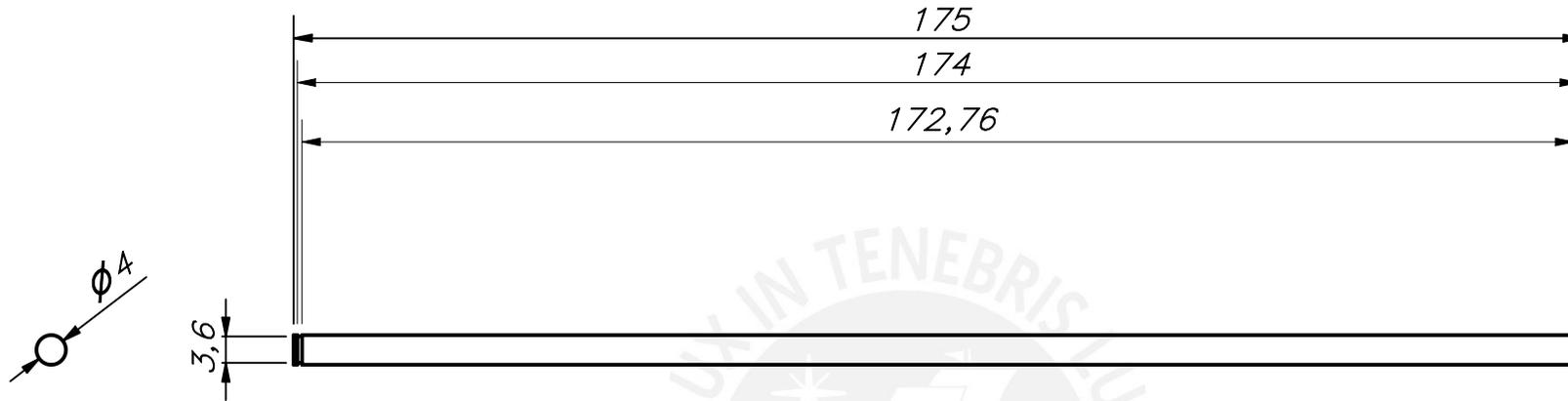
ESPESOR 1.5 mm

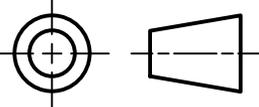
ACABADO SUPERFICIAL ✓	TOLERANCIA GENERAL DIN ISO 2768-1 MECANIZADO MEDIO	MATERIAL CFRP
<b>PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ</b> Ciencias e Ingeniería – Ingeniería Mecatrónica		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	1MTR02 – 10M3	ESCALA 1:2
20153202	Reyes Castillo, Aaron Luis	FECHA: 18.12.2020
		LÁMINA: PD_MD_20_A3

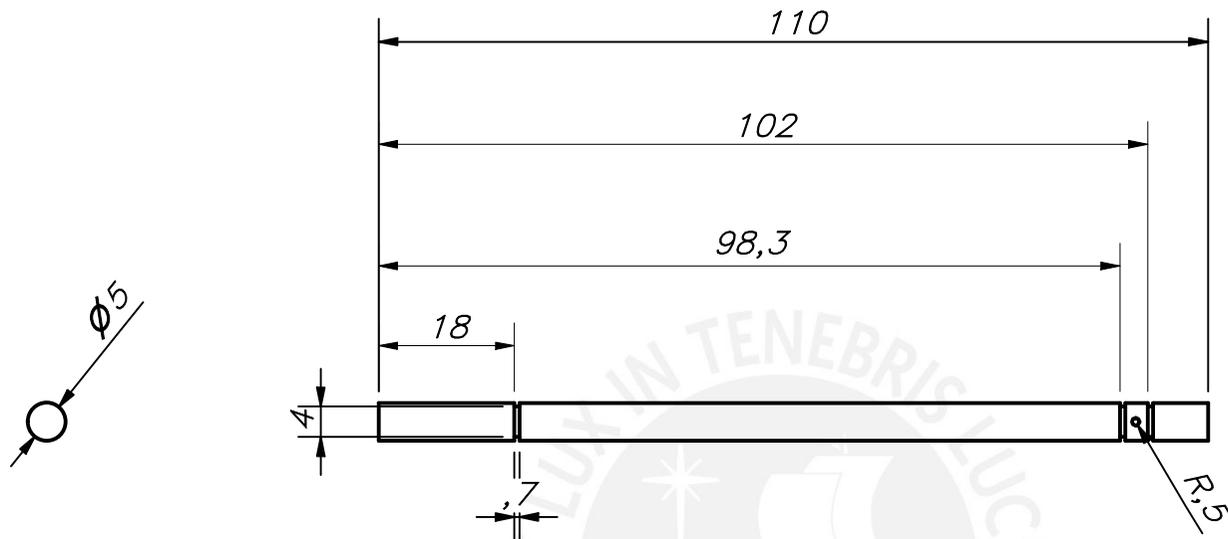


COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA

ACABADO SUPERFICIAL 3.2/	TOLERANCIA GENERAL DIN ISO 2768-1 MECANIZADO MEDIO	MATERIAL Aluminio 6061
<b>PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ</b> Ciencias e Ingeniería – Ingeniería Mecatrónica		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	1MTR02 - 10M3 <b>Placa Soporte de Sensor Infrarrojo</b>	ESCALA 5:1
20153202	Reyes Castillo, Aaron Luis	FECHA: 18.12.2020
		LÁMINA: PD_MD_21_A4



ACABADO SUPERFICIAL 1.6/	TOLERANCIA GENERAL DIN ISO 2768-1 MECANIZADO MEDIO	MATERIAL Acero Inoxidable
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ Ciencias e Ingeniería – Ingeniería Mecatrónica		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	1MTR02 - 10M3 Eje 4mm	ESCALA 1:1
20153202	Reyes Castillo, Aaron Luis	FECHA: 18.12.2020
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
		LÁMINA: PD_MD_22_A4



ACABADO SUPERFICIAL 1.6/	TOLERANCIA GENERAL DIN ISO 2768-1 MECANIZADO MEDIO	MATERIAL Acero Inoxidable
-----------------------------	--	------------------------------

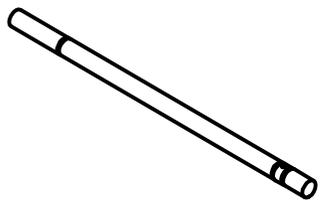
**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**  
Ciencias e Ingeniería – Ingeniería Mecatrónica

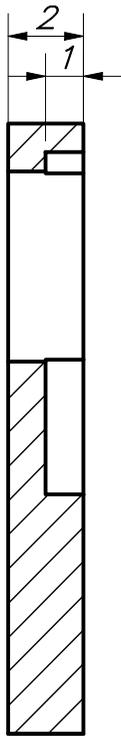
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	1MTR02 - 10M3  <b>Eje 5mm</b>	ESCALA  <b>1:1</b>
--------------------------	-------------------------------------	--------------------------

20153202	Reyes Castillo, Aaron Luis	FECHA: 18.12.2020
----------	----------------------------	----------------------

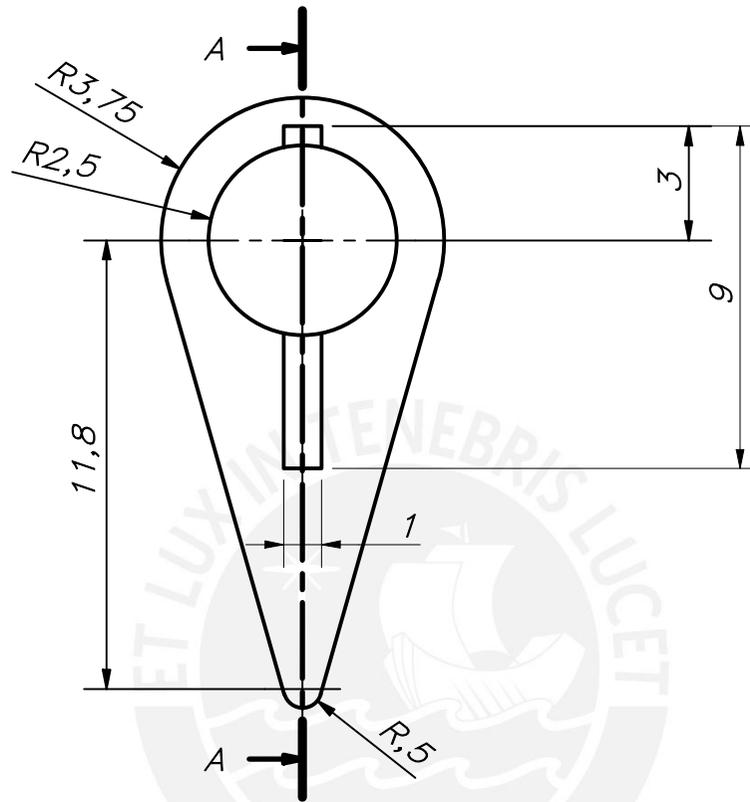
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
-----------------	----------------	----------------

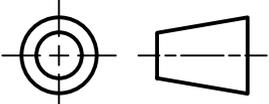
LÁMINA:  
PD\_MD\_23\_A4

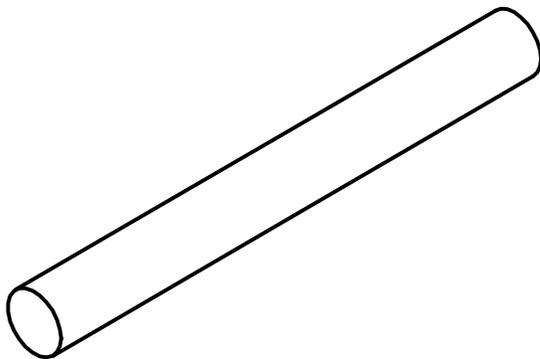
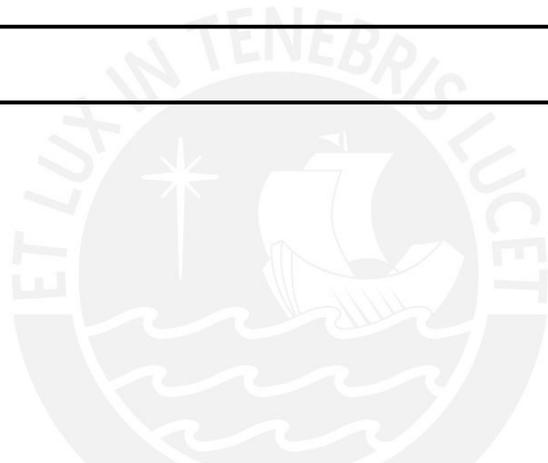
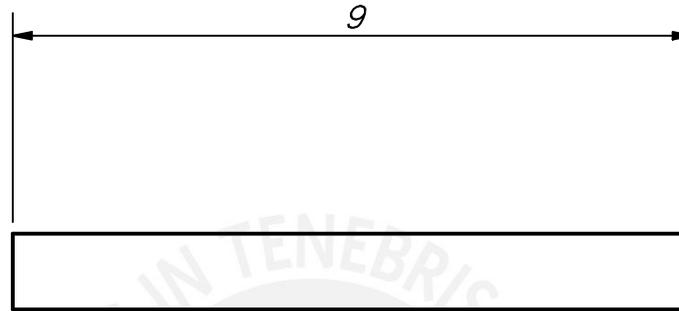
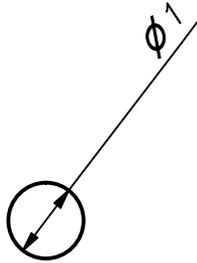




CORTE A-A

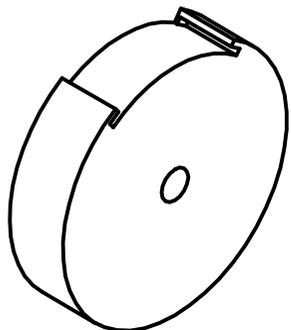
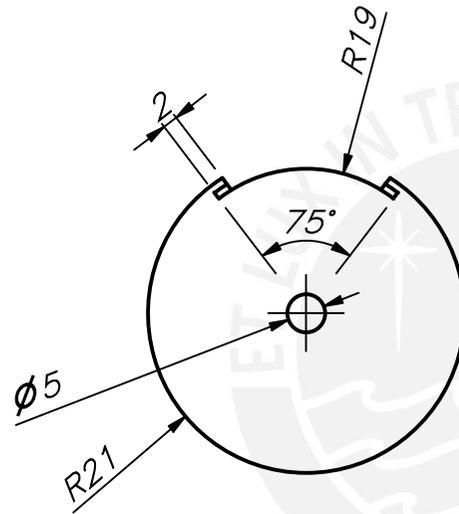
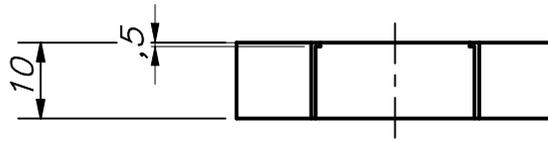


ACABADO SUPERFICIAL 3,2	TOLERANCIA GENERAL DIN ISO 2768-1 MECANIZADO MEDIO	MATERIAL Acero Inoxidable
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ Ciencias e Ingeniería – Ingeniería Mecatrónica		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	1MTR02 - 10M3	ESCALA 5:1
20153202	Reyes Castillo, Aaron Luis	FECHA: 18.12.2020
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
		LÁMINA: PD_MD_24_A4



ACABADO SUPERFICIAL 1.6 	TOLERANCIA GENERAL DIN ISO 2768-1 MECANIZADO MEDIO	MATERIAL <i>Acero Inoxidable</i>
<b>PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ</b> <i>Ciencias e Ingeniería – Ingeniería Mecatrónica</i>		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	1MTR02 – 10M3	ESCALA <b>10:1</b>
20153202	<i>Reyes Castillo, Aaron Luis</i>	FECHA: 18.12.2020
		LÁMINA: PD_MD_25_A4

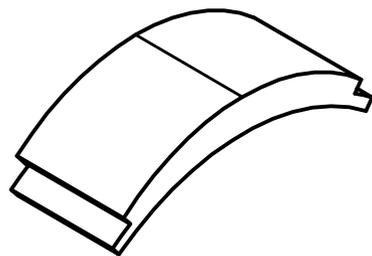
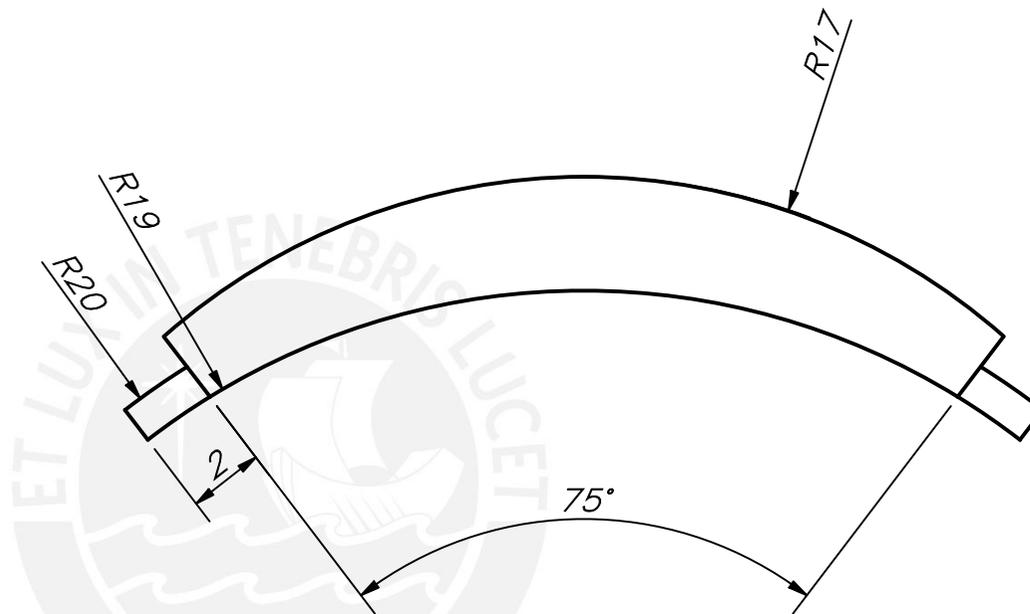
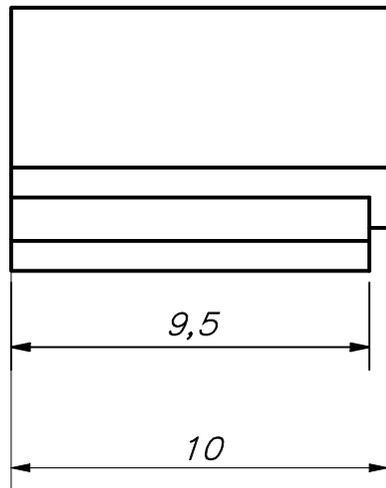
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
-----------------	----------------	----------------

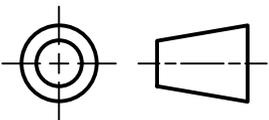


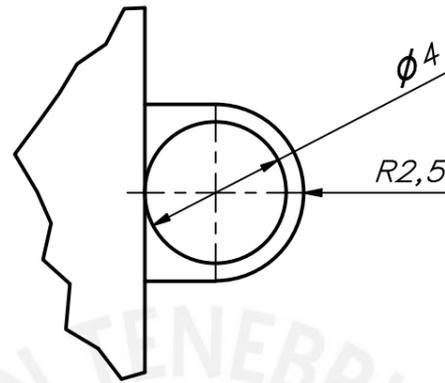
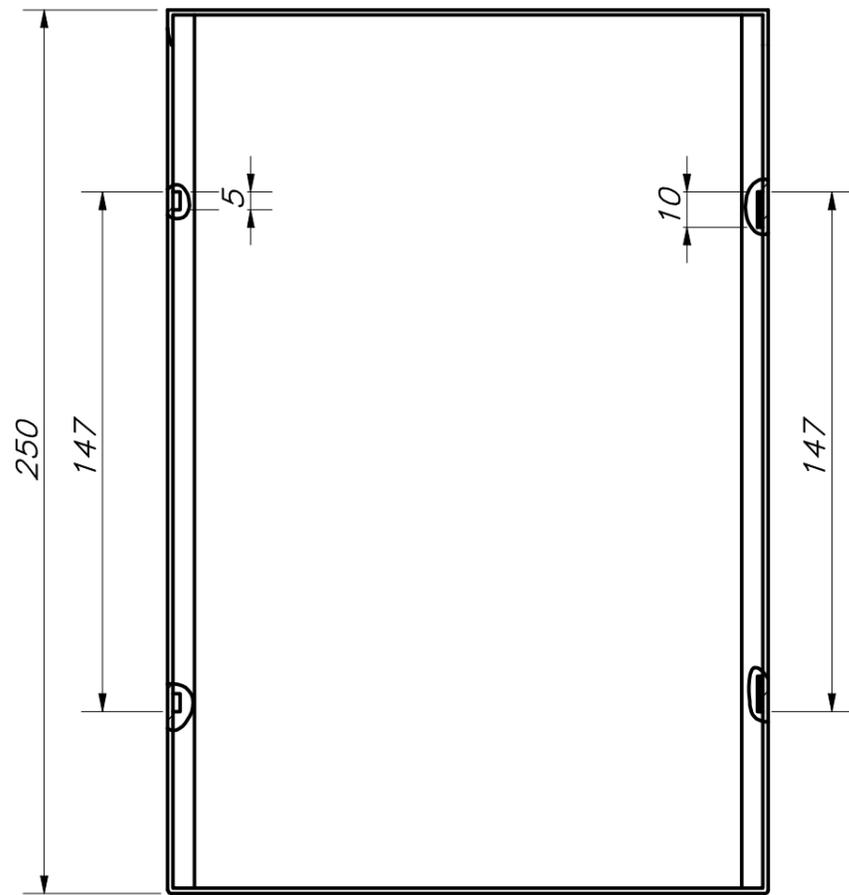
ACABADO SUPERFICIAL ✓	TOLERANCIA GENERAL DIN ISO 2768-1 MECANIZADO MEDIO	MATERIAL HDPE
<b>PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ</b> Ciencias e Ingeniería – Ingeniería Mecatrónica		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	1MTR02 - 10M3	ESCALA 1:1
20153202	Reyes Castillo, Aaron Luis	FECHA: 18.12.2020

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
-----------------	----------------	----------------

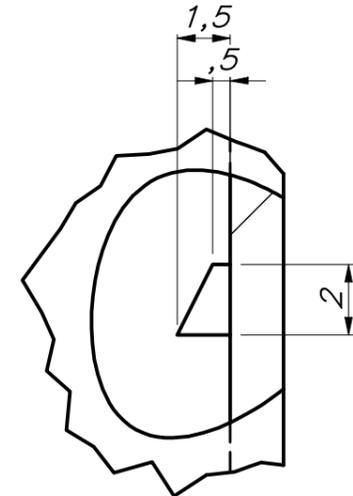
LÁMINA:  
PD\_MD\_26\_A4



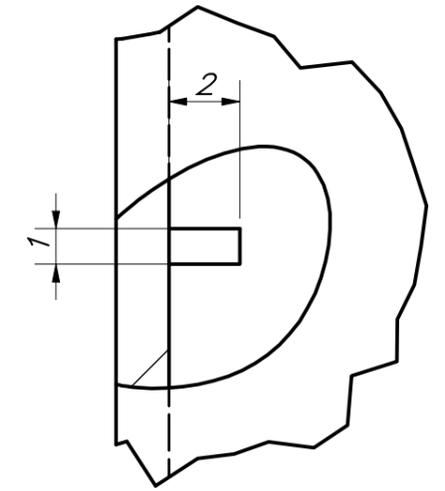
ACABADO SUPERFICIAL ✓	TOLERANCIA GENERAL DIN ISO 2768-1 MECANIZADO MEDIO	MATERIAL <i>Silicona</i>
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ <i>Ciencias e Ingeniería – Ingeniería Mecatrónica</i>		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	1MTR02 - 10M3 <i>Silicona de Alimentación</i>	ESCALA <i>5:1</i>
20153202	<i>Reyes Castillo, Aaron Luis</i>	FECHA: 18.12.2020
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
		LÁMINA: PD_MD_27_A4



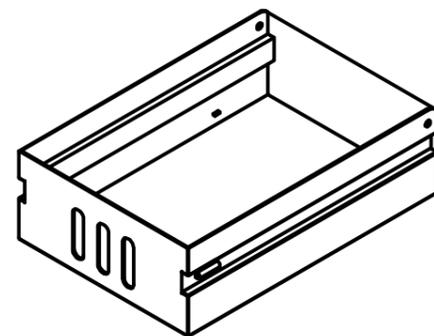
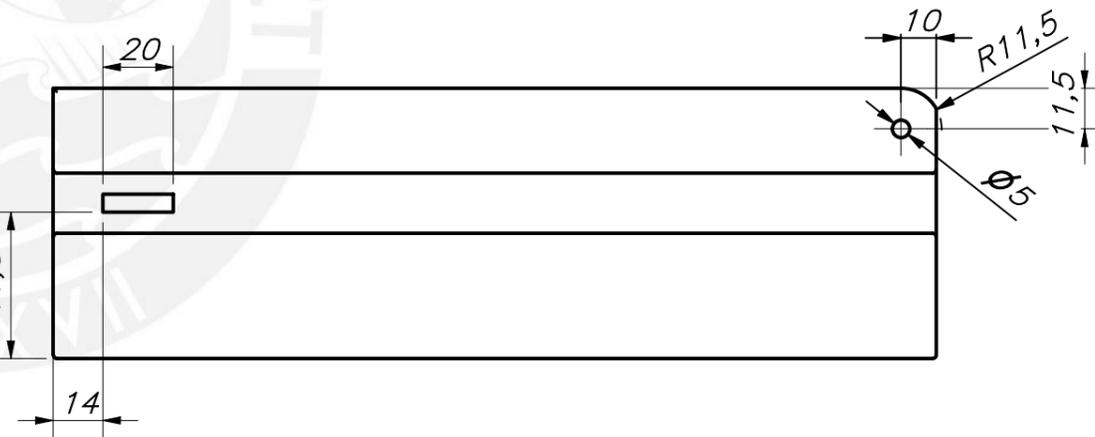
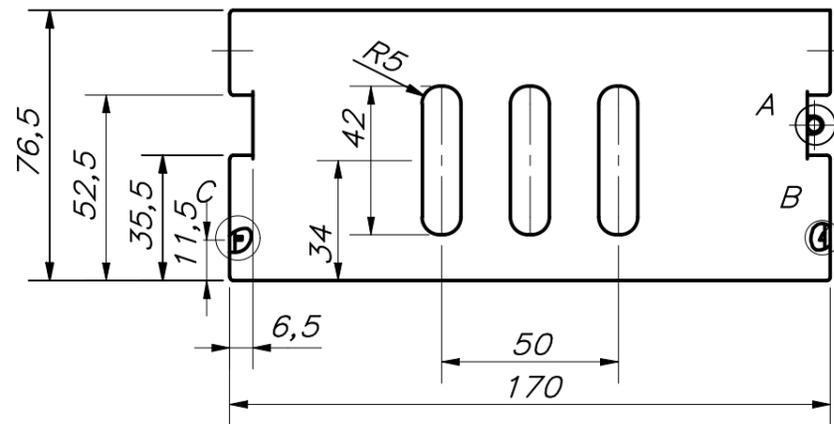
DETALLE A  
ESCALA 5 : 1



DETALLE B  
ESCALA 5 : 1

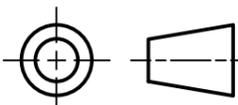


DETALLE C  
ESCALA 5 : 1



Espesor 1.5mm

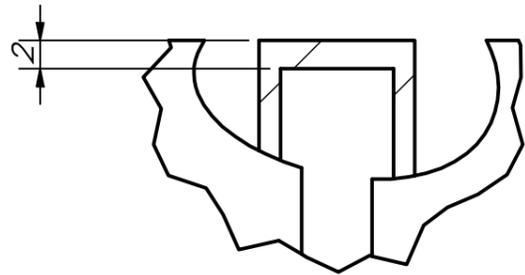
Redondeos no indicados R1

ACABADO SUPERFICIAL ✓	TOLERANCIA GENERAL DIN ISO 2768-1 MECANIZADO MEDIO	MATERIAL HDPE
<b>PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ</b> Ciencias e Ingeniería - Ingeniería Mecatrónica		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	1MTR02 - 10M3	ESCALA 1:2
20153202	Reyes Castillo, Aaron Luis	FECHA: 18.12.2020
		LÁMINA: PD_MD_28_A3

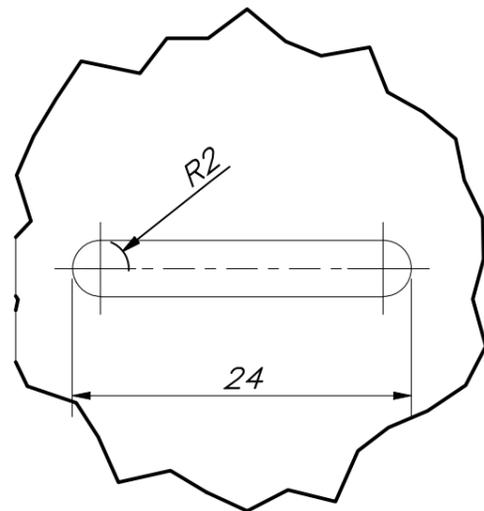
TOLERANCIAS DIMENSIONALES  
SEGÚN DIN ISO 2768-1

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	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2

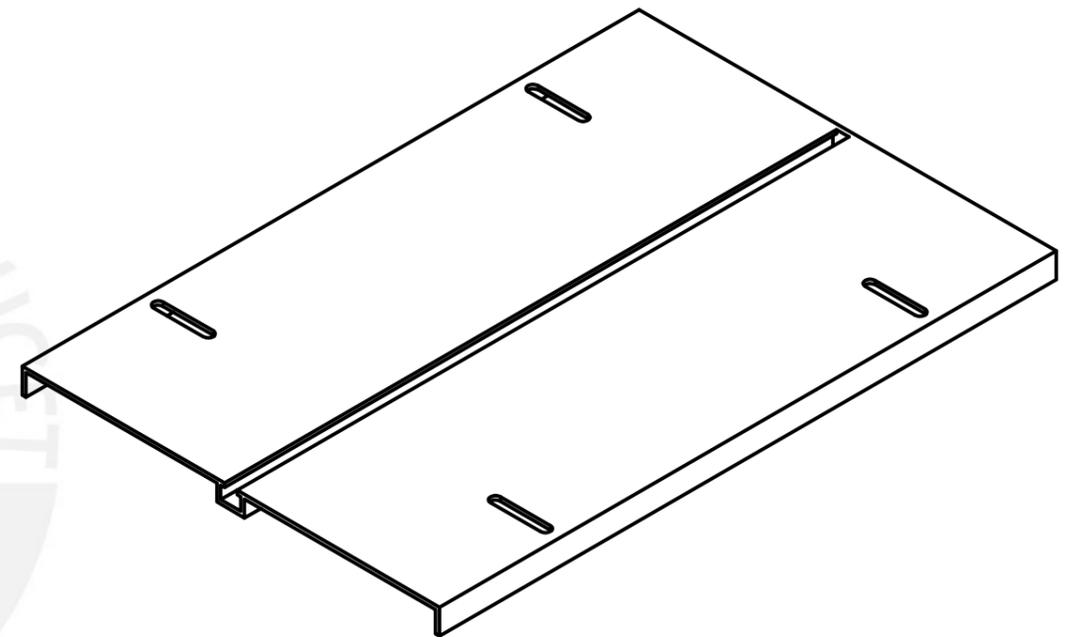
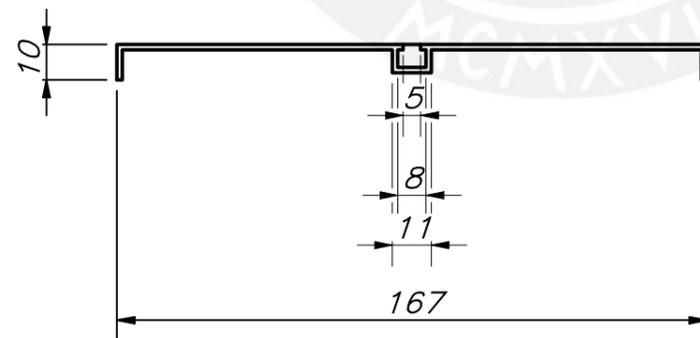
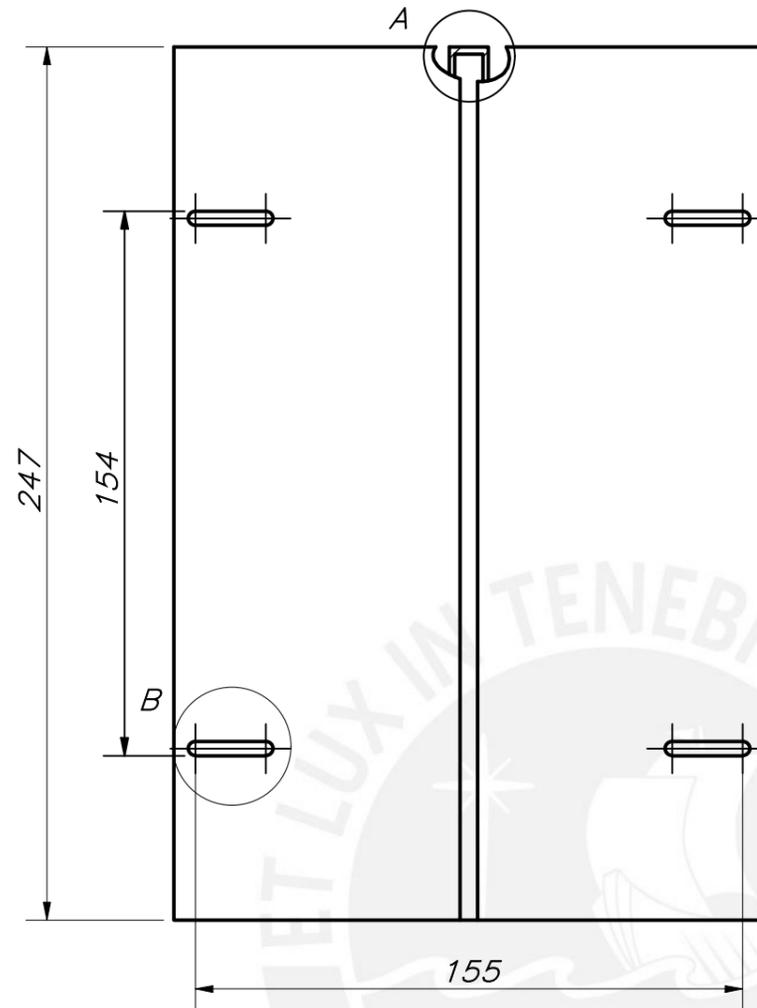
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA



DETALLE A  
ESCALA 2 : 1



DETALLE B  
ESCALA 2 : 1



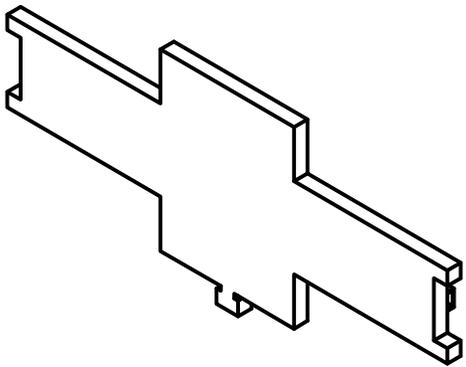
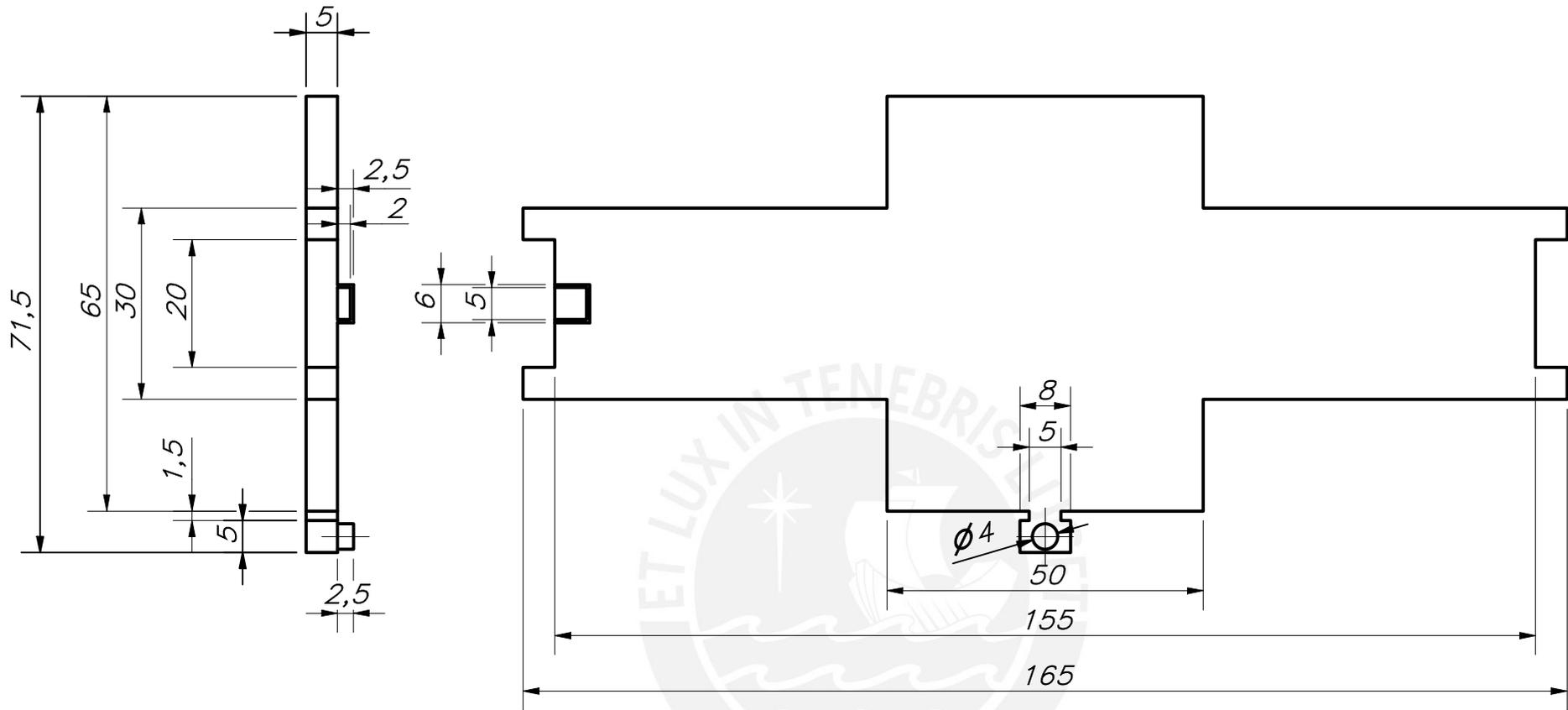
Espesor 1.5mm

ACABADO SUPERFICIAL ✓	TOLERANCIA GENERAL DIN ISO 2768-1 MECANIZADO MEDIO	MATERIAL HDPE
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ Ciencias e Ingeniería - Ingeniería Mecatrónica		
MÉTODO DE PROYECCIÓN ⊕ ⊞	1MTR02 - 10M3 Tapa Inferior de Base de Maleta	ESCALA 1:2
20153202	Reyes Castillo, Aaron Luis	FECHA: 18.12.2020
		LÁMINA: PD_MD_29_A3

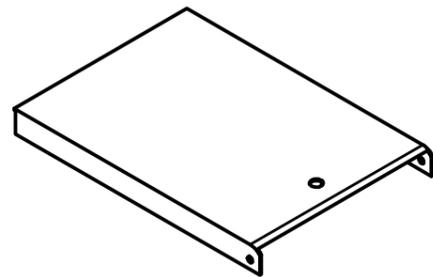
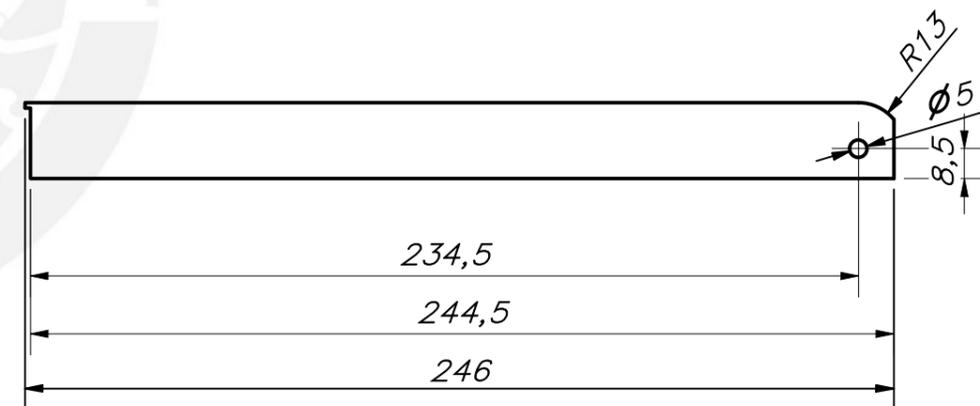
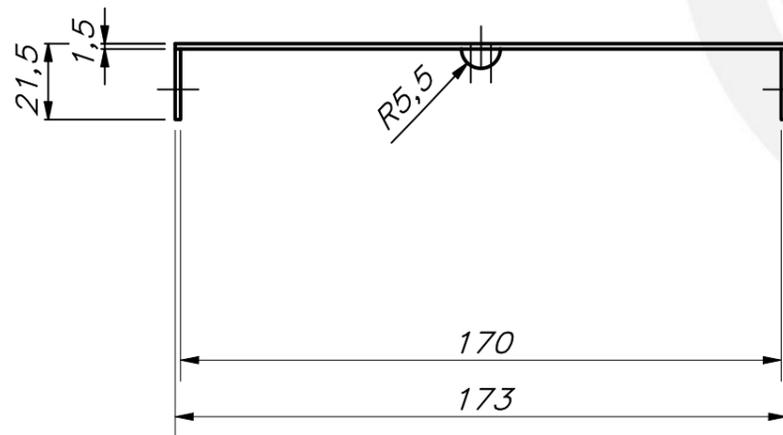
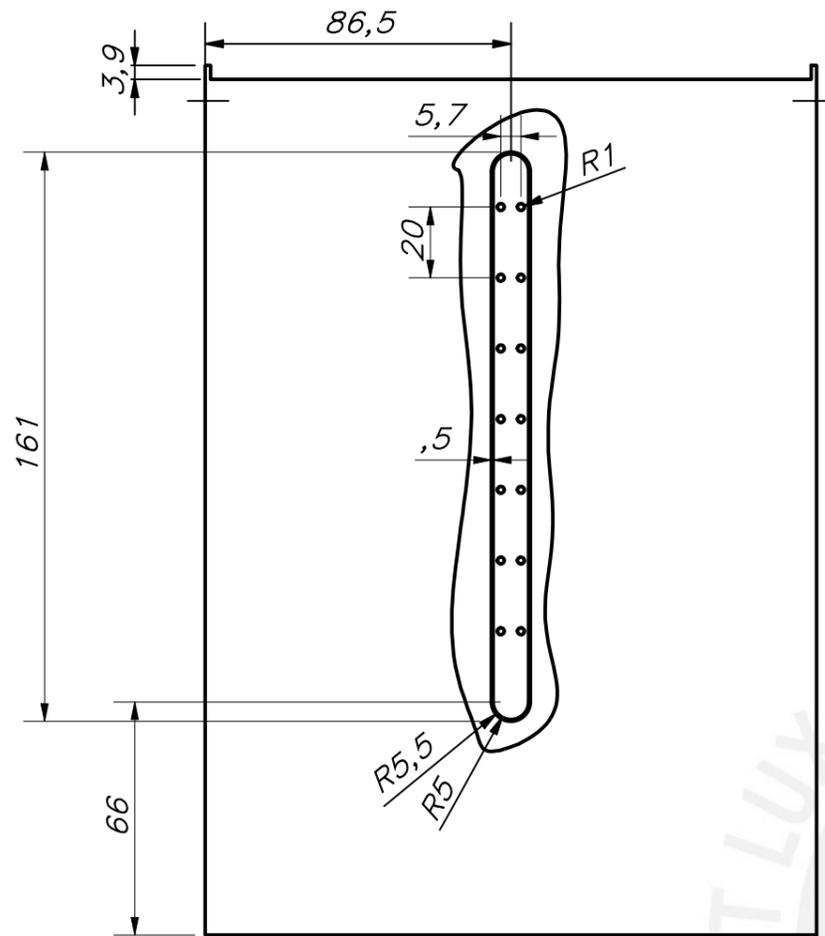
TOLERANCIAS DIMENSIONALES  
SEGÚN DIN ISO 2768-1

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	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA



ACABADO SUPERFICIAL 	TOLERANCIA GENERAL DIN ISO 2768-1 MECANIZADO MEDIO	MATERIAL HDPE
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ Ciencias e Ingeniería – Ingeniería Mecatrónica		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	1MTR02 – 10M3	ESCALA 1:1
20153202	Reyes Castillo, Aaron Luis	FECHA: 18.12.2020
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
		LÁMINA: PD_MD_30_A4

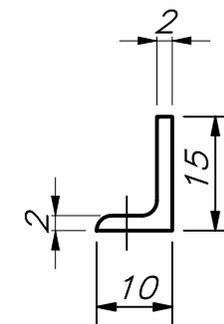
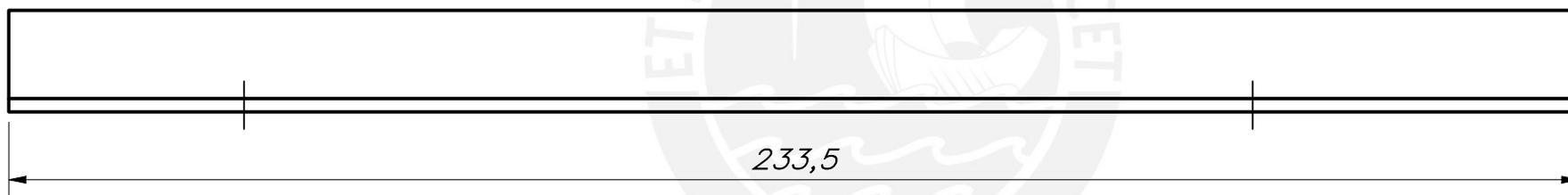
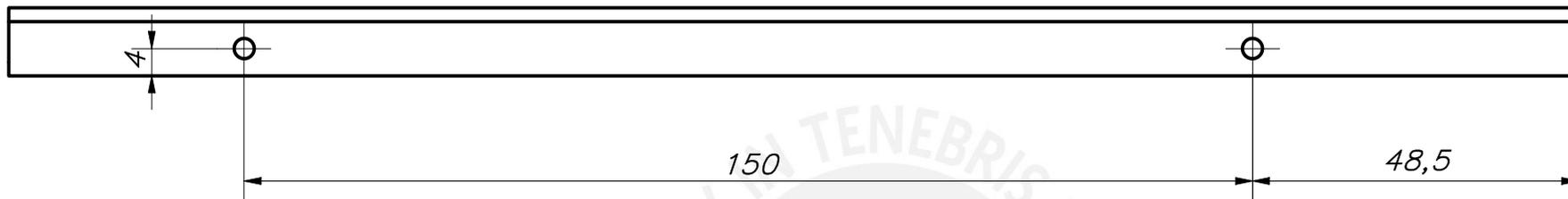


TOLERANCIAS DIMENSIONALES  
SEGÚN DIN ISO 2768-1

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	Más de 400 hasta 1000	Más de 1000 hasta 2000
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2

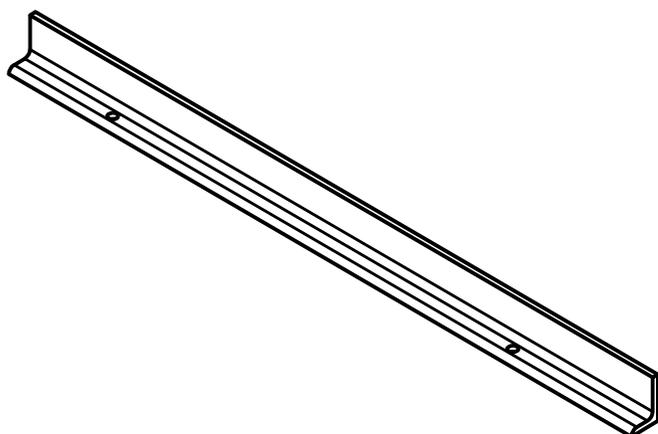
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA

ACABADO SUPERFICIAL ✓	TOLERANCIA GENERAL DIN ISO 2768-1 MECANIZADO MEDIO	MATERIAL HDPE
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ Ciencias e Ingeniería - Ingeniería Mecatrónica		
MÉTODO DE PROYECCIÓN ⊕ ⊞	1MTR02 - 10M3	ESCALA 1:2
20153202	Reyes Castillo, Aaron Luis	FECHA: 18.12.2020
		LÁMINA: PD_MD_31_A3



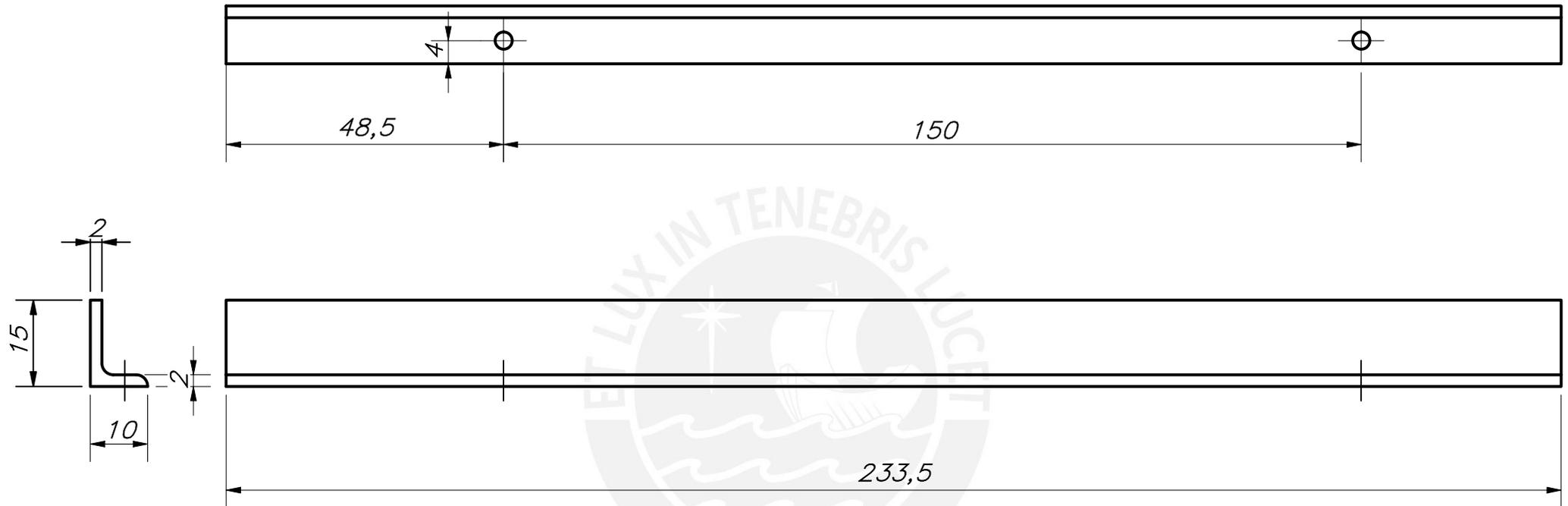
Redondeos no indicados R2

ACABADO SUPERFICIAL 	TOLERANCIA GENERAL DIN ISO 2768-1 MECANIZADO MEDIO	MATERIAL HDPE
<b>PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ</b> Ciencias e Ingeniería – Ingeniería Mecatrónica		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	1MTR02 - 10M3 <b>Regulador Billetes Izquierdo</b>	ESCALA <b>1:1</b>
20153202	Reyes Castillo, Aaron Luis	FECHA: 18.12.2020

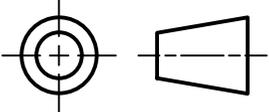


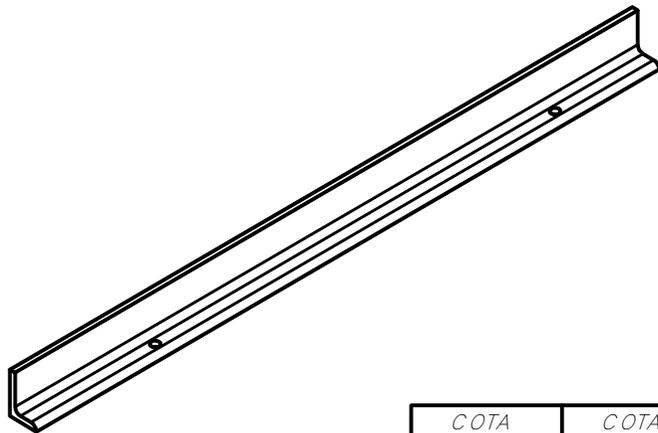
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
-----------------	----------------	----------------

LÁMINA:  
PD\_MD\_32\_A4



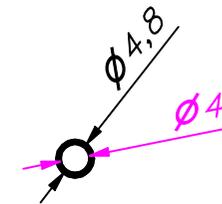
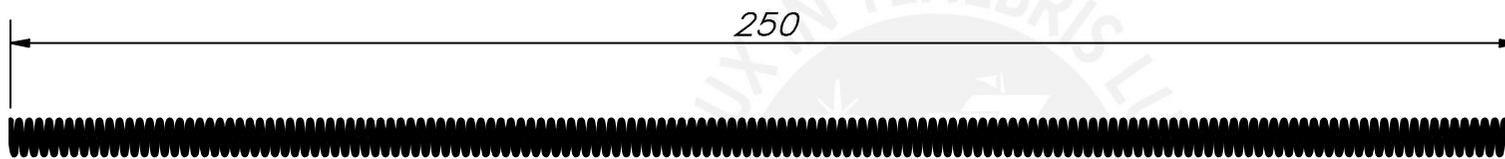
Redondeos no indicados R2

ACABADO SUPERFICIAL ✓	TOLERANCIA GENERAL DIN ISO 2768-1 MECANIZADO MEDIO	MATERIAL HDPE
<b>PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ</b> Ciencias e Ingeniería – Ingeniería Mecatrónica		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	1MTR02 - 10M3 <b>Regulador de Billetes</b> <b>Derecho</b>	ESCALA <b>1:1</b>
20153202	Reyes Castillo, Aaron Luis	FECHA: 18.12.2020

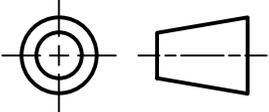


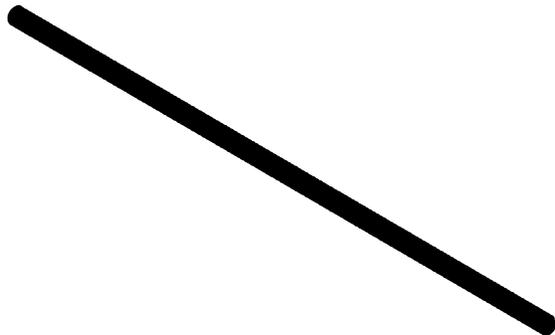
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
-----------------	----------------	----------------

LÁMINA:  
PD\_MD\_33\_A4

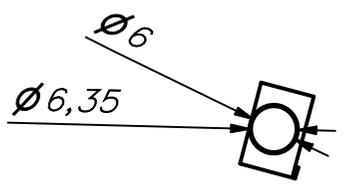
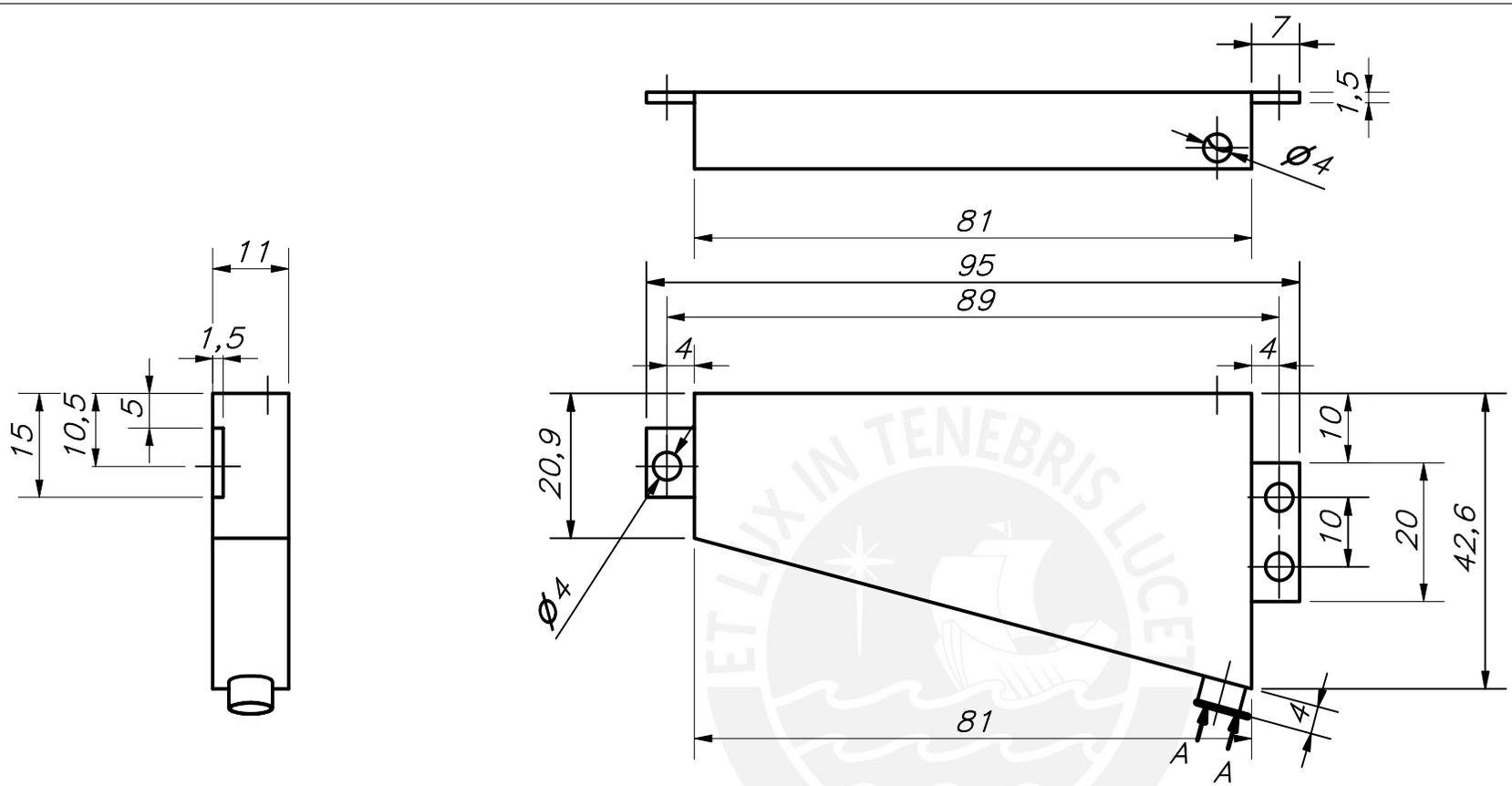


188 Espiras

ACABADO SUPERFICIAL 3.2/ ▽	TOLERANCIA GENERAL DIN ISO 2768-1 MECANIZADO MEDIO	MATERIAL Acero Inoxidable
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ Ciencias e Ingeniería – Ingeniería Mecatrónica		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	1MTR02 - 10M3	ESCALA 1:1
20153202	Reyes Castillo, Aaron Luis	FECHA: 18.12.2020
		LÁMINA: PD_MD_34_A4



COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
-----------------	----------------	----------------



CORTE A-A

Espe<sup>so</sup>r 0.5mm

ACABADO SUPERFICIAL ✓	TOLERANCIA GENERAL DIN ISO 2768-1 MECANIZADO MEDIO	MATERIAL HDPE
--------------------------	--	------------------

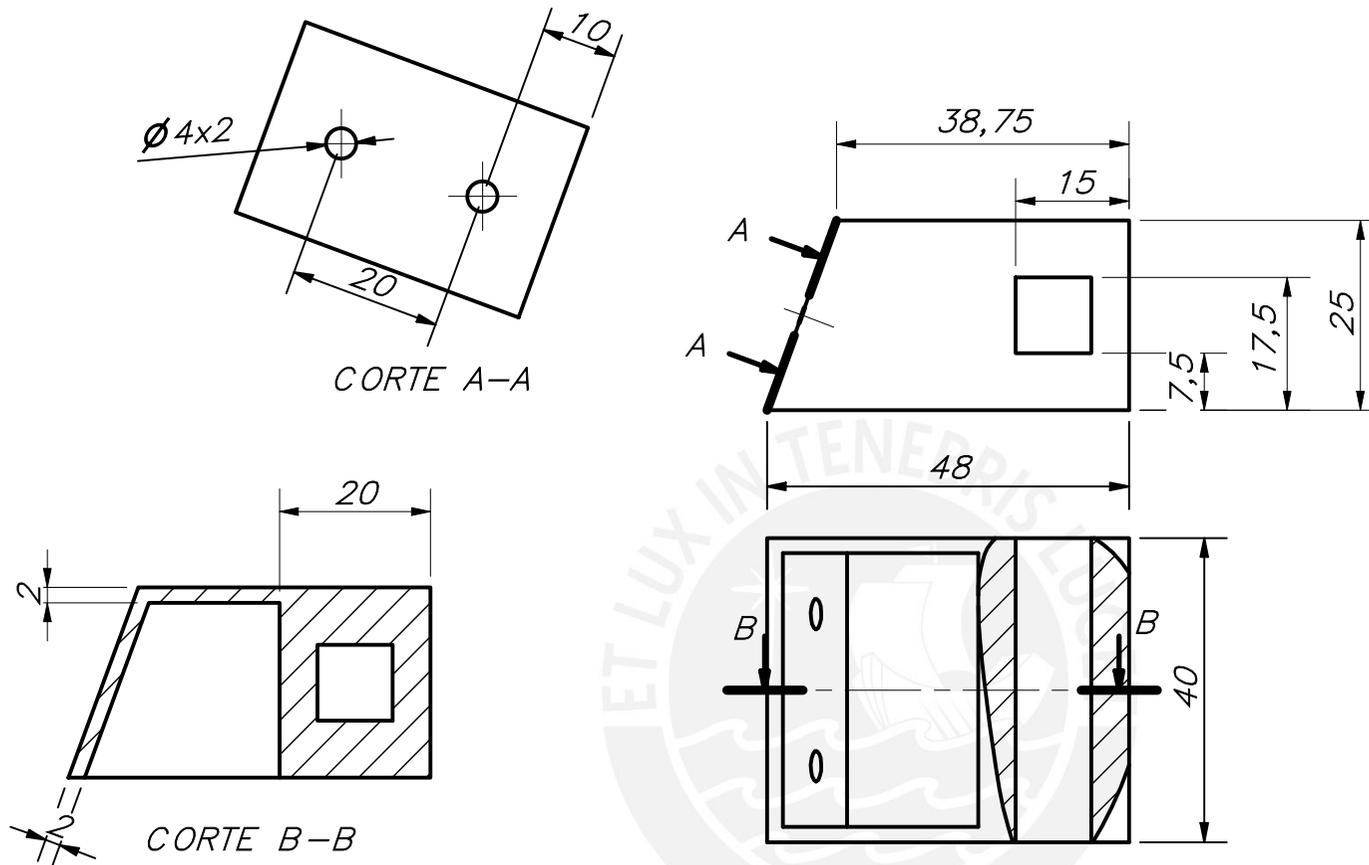
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
Ciencias e Ingeniería – Ingeniería Mecatrónica

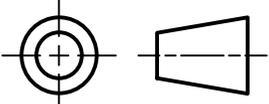
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	1MTR02 - 10M3	ESCALA 1:1
--------------------------	---------------	---------------

21053202	Reyes Castillo, Aaron Luis	FECHA: 18.12.2020
----------	----------------------------	----------------------

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
--------------	-------------	-------------

LÁMINA:  
PD\_MD\_35\_A4



ACABADO SUPERFICIAL ✓	TOLERANCIA GENERAL DIN ISO 2768-1 MECANIZADO MEDIO	MATERIAL HDPE						
<b>PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ</b> Ciencias e Ingeniería – Ingeniería Mecatrónica								
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	1MTR02 – 10M3	ESCALA 1:1						
20153202	Reyes Castillo, Aaron Luis	FECHA: 18.12.2020						
<table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th>COTA NOMINAL</th> <th>COTA MÁXIMA</th> <th>COTA MÍNIMA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </tbody> </table>		COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA				LÁMINA: PD_MD_36_A4
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA						