

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

Facultad de Ciencias e Ingeniería



**PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ**

**Diseño de un sistema portátil tipo cometa para generación de
electricidad**

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

José Iván Ruiz Figueroa

ASESOR: Elizabeth Roxana Villota Cerna, PhD

Lima, julio del 2018



*A mis padres José y Mariella,
a mis hermanos Manuel y Nayeli y
a todos mis familiares que me apoyaron
en todo este camino.*

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por guiarme y darme la fortaleza durante todo este tiempo. Agradezco a la profesora Elizabeth Villota por el tiempo y apoyo dado en todo el proceso de titulación. Agradezco al profesor César Lengua por las revisiones de los planos mecánicos y del diseño, y a todos mis compañeros tesisistas por el apoyo.



RESUMEN

Las energías renovables constituyen un recurso importante en el mundo ya que no contaminan el ambiente en comparación con los recursos fósiles. En el mundo se cuenta con un gran potencial de fuentes de energía renovables como el agua (energía hidráulica), los desechos (biomasa), aire (energía eólica), entre otros. Sin embargo, el potencial total de estas energías no son aprovechadas debido a factores como costos, falta de lugares idóneos para su implementación y factores que pueden afectar en muchos casos el hábitat de los animales. En el Perú, el potencial teórico de energía eólica es de alrededor de 22 000 MW contra una capacidad instalada de 239 MW, lo cual representa 1 % del total que se podría obtener. Las principales barreras para un mayor aprovechamiento del potencial eólico son los costos y la tecnología. Dado que el potencial de energía eólica y su crecimiento está basado en la altura de las torres de los aerogeneradores, su desarrollo se ve impedido por el transporte y la maquinaria necesaria para su instalación a más de 100 m de altura.

Por ello, en el presente trabajo se desarrolla el diseño de un sistema generador de electricidad con una estructura tipo cometa como dispositivo para captar la energía cinética del aire a alturas mayores a 100 m. El diseño cuenta con una cometa que está unida mediante cables a una unidad de control que cuenta con dos motores DC que modifican el perfil de la cometa para controlar su trayectoria. La unidad de control se une también mediante cables a una estación en tierra donde se encuentra un tambor que transmite el movimiento al generador. En la estación en tierra se ubica un motor AC para retornar la cometa una vez que esta haya alcanzado la altura máxima de operación. El generador se conecta a un banco de baterías para almacenar la energía producida. El control de la trayectoria se realiza mediante un control en tiempo real y módulos de posicionamiento, así como sensores de velocidad de viento, sensores de fuerzas, temperatura y voltaje para asegurar la seguridad del sistema.

La metodología del diseño propuesto se delimita a partir del estado del arte encontrado. Luego, se definen los conceptos de solución y se evalúa el concepto de solución óptimo. Se realiza también una evaluación de los sensores y actuadores a usar a partir de los requerimientos establecidos, y se define una estrategia de control para la trayectoria en la generación de energía. El resultado final del diseño se muestra en las ilustraciones del documento y planos.

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

Título : Diseño de un sistema portátil tipo cometa para generación de electricidad
Asesor : Elizabeth Roxana Villota Cerna, PhD
Alumno : José Iván Ruiz Figueroa
Código : 20112453
Tema N° : # 199
Fecha : 02/12/2016

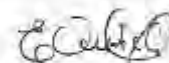


Descripción y Objetivos

Las energías renovables constituyen un recurso importante ya que no contaminan el ambiente en comparación con los recursos fósiles. En el mundo se cuenta con un gran potencial de fuentes de energía renovables como el agua (energía hidráulica), los desechos (biomasa), aire (energía eólica), entre otros. Sin embargo, no se aprovecha el potencial total de estas energías debido a factores como costos, falta de lugares idóneos para su implementación, además de factores que pueden afectar en muchos casos el hábitat de los animales. Es así que en el mundo, en el caso de la energía eólica, se tiene aproximadamente 12 veces más de potencial teórico que la energía actual total necesaria. En el caso de Perú, el potencial teórico de energía eólica con el que se cuenta es de alrededor de 22 000 MW contra una capacidad instalada de 0.7 MW, lo cual representa menos del 1 % del total que se podría obtener.

Por ello, el presente trabajo se basa en el diseño de un sistema generador de electricidad con una estructura tipo cometa como dispositivo para captar la energía cinética del aire a mayores alturas que los aerogeneradores. Esta cometa estará unida a un tambor mediante cables; este tambor a su vez estará acoplado a un generador con el fin de transformar la energía mecánica generada por el desplazamiento de la cometa a energía eléctrica. Finalmente, la energía eléctrica generada se almacenará en un banco de baterías. El sistema generador de electricidad contará con un módulo de posicionamiento (GNSS e INS) para determinar la ubicación de la cometa y así asegurar su control de trayectoria; otros sensores como de velocidad de viento, sensores de fuerzas, de temperatura y de voltaje se utilizarán para la seguridad del sistema.

El documento se divide en cinco capítulos. En el primer capítulo, se presenta la situación problemática que abordará este trabajo, así como los objetivos y alcances. En el segundo capítulo, se presentan los requerimientos del sistema y los conceptos de solución. En el tercer capítulo, a partir del concepto de solución óptimo, se presenta la integración del sistema, además del desarrollo de los diseños mecánicos, electrónicos, eléctricos y de control, los cuales incluyen los principales cálculos, la selección de componentes y planos. En el cuarto capítulo, se muestran los costos de los componentes y de fabricación. Finalmente, en el capítulo cinco, se muestran las conclusiones y recomendaciones del trabajo propuesto.



ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
LISTA DE SÍMBOLOS.....	ix
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Problemática	1
1.2. Definición del problema técnico	3
1.3. Objetivos	4
1.3.1. Objetivo general.....	4
1.3.2. Objetivos específicos.....	5
1.4. Alcances (limitaciones).....	5
1.5. Antecedentes	6
1.5.1. Tecnológico	6
1.5.2. Técnico	8
2. DISEÑO CONCEPTUAL	12
2.1. Requerimientos del sistema mecatrónico.....	12
2.1.1. Requerimientos físicos – mecánicos	12
2.1.2. Requerimientos electrónicos, eléctricos y de control	13
2.2. Estructura de funciones.....	14
2.3. Matriz morfológica	19
2.4. Conceptos de solución	24
2.4.1. Concepto de solución 1	24
2.4.2. Concepto de solución 2	25
2.4.3. Concepto de solución 3	26
2.5. Evaluación técnico-económica.....	27
2.5.1. Evaluación técnica.....	27
2.5.2. Evaluación económica.....	28
3. DISEÑO DEL SISTEMA GENERADOR DE ELECTRICIDAD TIPO COMETA.....	30
3.1. Integración del sistema generador de electricidad tipo cometa.....	30
3.2. Funcionamiento del sistema generador de energía	31
3.3. Diseño mecánico.....	32
3.3.1. Principales cálculos	32
3.3.2. Planos de ensamble	43
3.4. Diseño electrónico y eléctrico.....	48
3.4.1. Diagrama de bloques.....	48
3.4.2. Componentes electrónicos y eléctricos	50

3.4.3. Diagramas eléctricos y electrónicos	68
3.4.4. Diagramas de flujo.....	74
3.5. Diseño de control	80
3.5.1. Arquitectura de control.....	80
4. COSTOS.....	84
4.1. Componentes mecánicos.....	84
4.2. Componentes electrónicos y eléctricos	85
4.3. Costo de fabricación.....	86
4.4. Costo de diseño	87
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	88
REFERENCIAS.....	91
BIBLIOGRAFÍA	92



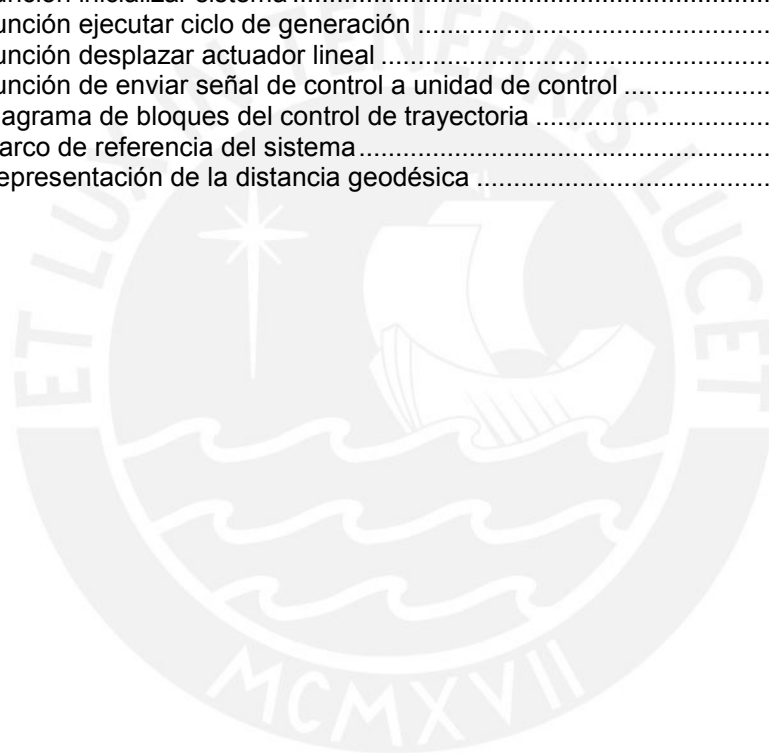
ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Uso actual y potenciales técnicos y teóricos de las principales energías renovables a una escala global	2
Tabla 1.2: Potencia total y capacidad instalada en el Perú	2
Tabla 1.3: Especificaciones técnicas EK30	6
Tabla 1.4: Especificaciones técnicas EK1M	7
Tabla 2.1: Matriz morfológica de la cometa	20
Tabla 2.2: Matriz morfológica de la cometa (continuación)	21
Tabla 2.3: Matriz morfológica de la estación en tierra	22
Tabla 2.4: Matriz morfológica de la estación en tierra (continuación).....	23
Tabla 3.1: Clasificación de los grupos de los cables para máquina de elevación	36
Tabla 3.2: Clasificación según tipo de tambor	37
Tabla 3.3: Factores de seguridad "v" y coeficientes "k" y "c".....	37
Tabla 3.4: Valores de s, r y a, según diámetro del cable.....	38
Tabla 3.5: Requerimientos del sensor de posición	51
Tabla 3.6: Sensores de detección de posición	51
Tabla 3.7: Características adicionales del sensor de posición	52
Tabla 3.8: Requerimientos del sensor de velocidad de viento	52
Tabla 3.9: Sensores de velocidad de viento	52
Tabla 3.10: Características adicionales del sensor de velocidad de viento	53
Tabla 3.11: Requerimientos sensor de temperatura.....	53
Tabla 3.12: Sensores de temperatura.....	53
Tabla 3.13: Características adicionales de sensor de temperatura.....	54
Tabla 3.14: Requerimientos sensor de voltaje y corriente	54
Tabla 3.15: Sensores de voltaje y corriente	55
Tabla 3.16: Características adicionales del sensor de voltaje y corriente	55
Tabla 3.17: Requerimientos sensor de fuerza	55
Tabla 3.18: Sensores de fuerza	56
Tabla 3.19: Características adicionales del sensor de fuerza	56
Tabla 3.20: Módulo de comunicación inalámbrica	56
Tabla 3.21: Características adicionales del módulo de comunicación	57
Tabla 3.22: Requerimientos del motor	57
Tabla 3.23: Requerimientos del generador	58
Tabla 3.24: Motores y generadores	58
Tabla 3.25: Características adicionales del motor	58
Tabla 3.26: Características adicionales del generador	59
Tabla 3.27: Características del encoder del motor y generador	59
Tabla 3.28: Requerimientos del controlador	60
Tabla 3.29: Controladores y sus características	60
Tabla 3.30: Características adicionales del controlador	60
Tabla 3.31: Características adicionales del motor Nema 23	62
Tabla 3.32: Características adicionales del reductor planetario	62
Tabla 3.33: Características del motor brushless.....	63
Tabla 3.34: Características del reductor planetario	63
Tabla 3.35: Características de las baterías Victron Energy.....	64
Tabla 3.36: Características de la batería Zippy	65
Tabla 3.37: Características de la batería nano-tech	65
Tabla 3.38: Características del convertidor de frecuencia	66
Tabla 4.1: Costo de componentes mecánicos importados	84
Tabla 4.2: Costos de componentes electrónicos y eléctricos importados	85
Tabla 4.3: Costos de fabricación del sistema	87
Tabla 4.4: Costo total del sistema propuesto	87

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Sistema generador de electricidad propuesto	4
Figura 1.2: Prueba de EK30	6
Figura 1.3: Prueba de sistema EK1M	7
Figura 1.4: Diagrama del sistema	8
Figura 1.5: Sistema de generación tipo cometa desarrollado por Delft University of Technology	9
Figura 1.6: Fases de la trayectoria de la estructura tipo cometa	10
Figura 1.7: Trayectoria en forma de ocho generada luego de la experimentación del sistema .	10
Figura 1.8: Sistema diseñado por KiteGen	11
Figura 1.9: Gráfica de la generación y uso de energía del sistema.....	11
Figura 2.1: Bloque de la interfaz usuario/sistema	15
Figura 2.2: Bloque de comunicación	15
Figura 2.3: Bloque de sensores	16
Figura 2.4: Bloque de control	16
Figura 2.5: Bloque de potencia	17
Figura 2.6: Bloque de actuadores	17
Figura 2.7: Bloque de mecánica.....	18
Figura 2.8: Bloque de energía.....	18
Figura 2.9: Concepto de solución 1.....	24
Figura 2.10: Concepto de solución 2	25
Figura 2.11: Concepto de solución 3	26
Figura 2.12: Gráfico del análisis técnico-económico.....	29
Figura 3.1: Sistema generador de energía	30
Figura 3.2: Fase de generación (arriba), fase de retorno (abajo)	32
Figura 3.3: Fuerza de tracción	32
Figura 3.4: Plano de perfil de la cometa	33
Figura 3.5: Marco de referencia del sistema	35
Figura 3.6: Parámetros de garganta del tambor	38
Figura 3.7: Solicitud a compresión del tambor	39
Figura 3.8: Fuerza distribuida del peso del cable sobre el tambor	40
Figura 3.9: Soldadura sometida a un momento torsor.....	43
Figura 3.10: Vista isométrica de la estación en tierra del sistema generador de energía	44
Figura 3.11: Vista superior de la estación en tierra.....	45
Figura 3.12: Sección A-A de estación en tierra.....	45
Figura 3.13: Vista superior de actuador lineal.....	46
Figura 3.14: Sección A-A de actuador lineal.....	46
Figura 3.15: Vista isométrica de unidad de control.....	46
Figura 3.16: Vista superior de unidad de control	47
Figura 3.17: Vista posterior de unidad de control	47
Figura 3.18: Diagrama de bloques de los componentes ubicados en la estación en tierra	48
Figura 3.19: Diagrama de bloques de los componentes ubicados en la unidad de control	49
Figura 3.20: Diagrama de bloques de los componentes ubicados en la cometa	50
Figura 3.21: Sensor Spatial.....	51
Figura 3.22: Sensor MS4525DO	53
Figura 3.23: Sensor de temperatura TMP006.....	54
Figura 3.24: Sensor AttoPilot	55
Figura 3.25: Sensor de fuerza XFTC300	56
Figura 3.26: Módulo de comunicación Xbee	57
Figura 3.27: Motor de imanes permanentes	58
Figura 3.28: Generador de imanes permanentes	59
Figura 3.29: Tarjeta Raspberry Pi 2	60
Figura 3.30: Transmisor de célula de carga.....	61
Figura 3.31: Motor Nema 23 acoplado a reductor	61
Figura 3.32: Motor brushless Ballistic	62
Figura 3.33: Reductor planetario Maxon.....	63
Figura 3.34: Baterías de fosfato de hierro y litio Victron Energy.....	64
Figura 3.35: Batería Zippy.....	64
Figura 3.36: Baterías Nano-tech	65

Figura 3.37: Convertidor de frecuencia ACS310	66
Figura 3.38: Contactor TeSys	66
Figura 3.39: Seccionador portafusible	67
Figura 3.40: Estación de pulsadores	67
Figura 3.41: Diagrama de conexión del motor	68
Figura 3.42: Conexiones del raspberry ubicado en la estación en tierra	69
Figura 3.43: Conexión del sensor de temperatura con el raspberry	69
Figura 3.44: Conexión del módulo Xbee con el raspberry	70
Figura 3.45: Conexión del driver del motor paso a paso con el raspberry	70
Figura 3.46: Conexión del convertidor de frecuencia con el raspberry.....	71
Figura 3.47: Conexión de los componentes ubicados en la unidad de control con el raspberry	71
Figura 3.48: Conexión del driver del motor brushless con el raspberry	72
Figura 3.49: Conexión del transmisor de célula de carga con el raspberry.....	72
Figura 3.50: Conexiones de los componentes ubicados en la cometa con el raspberry	73
Figura 3.51: Conexión del sensor de presión con el raspberry	73
Figura 3.52: Diagrama de flujo general, interrupción para carga de baterías e interrupción por falta	75
Figura 3.53: Función inicializar sistema	76
Figura 3.54: Función ejecutar ciclo de generación	77
Figura 3.55: Función desplazar actuador lineal	78
Figura 3.56: Función de enviar señal de control a unidad de control	79
Figura 3.57: Diagrama de bloques del control de trayectoria	80
Figura 3.58: Marco de referencia del sistema.....	81
Figura 3.59: Representación de la distancia geodésica	81



LISTA DE SÍMBOLOS

A	: Área de la cometa [m ²]
A _p	: Área proyectada de la cometa [m ²]
B	: Marco de referencia fijo en la cometa
C	: Punto de la trayectoria más cercano a la posición de la cometa
C _{1,2}	: Coeficientes de ajuste empíricos
C _L	: Coeficiente de sustentación de la cometa
C _D	: Coeficiente de arrastre de la cometa
C _{Dc}	: Coeficiente de arrastre del cable
D	: diámetro del tambor [m]
d _c	: diámetro del cable [m]
E	: eficiencia aerodinámica de la cometa
F _{tracción}	: Fuerza de tracción producido por la cometa [N]
FS	: Factor de seguridad
h _{op}	: Altura de operación de la cometa [m]
H _p	: Altura escalada para cálculo de densidad [Km]
K	: Posición de la cometa proyectada sobre la esfera unitaria
K _p	: ganancia proporcional
l _c	: Longitud de cable [m]
M _{max}	: momento máximo generado en la flexión [N.m]
S	: fuerza de tracción en el tambor [kg]
s	: paso entre canal y canal del tambor [m]
O	: origen del marco de referencia del viento W
P	: Potencia mecánica [W]
v _{app}	: velocidad aparente del viento [m/s]
v _{w,g}	: velocidad del viento a 10 m [m/s]
v _w	: velocidad del viento a la altura de operación [m/s]
v _{w,r}	: velocidad del viento en dirección al cable [m/s]
β	: Ángulo de elevación [°]
φ	: Ángulo de azimuth [°]
ρ	: densidad a la altura de operación [kg/m ³]
ρ ₀	: densidad media al nivel del mar [kg/m ³]
ρ ^C	: Vector de posición normalizado en C
ρ ^K	: Vector de posición normalizado en K
σ _c	: Esfuerzo normal de compresión [Pa]
σ _{f1}	: Esfuerzo normal de flexión originado por la tracción del cable [Pa]

- σ_{f2} : Esfuerzo normal de flexión originado por el peso del cable [Pa]
 σ_f : Esfuerzo de flexión total [Pa]
 τ_t : Esfuerzo cortante por torsión [Pa]
 $\sigma_{1,2}$: Esfuerzo principales [Pa]
 σ_{eq} : Esfuerzo equivalente [Pa]
 α : Coeficiente para aplicaciones "On-shore"
 χ : Ángulo medido entre x_s y el vector de velocidad de K
 $\chi_{c,k}$: Ángulo medido entre t_k y x_s en K
 χ_{cmd} : Ángulo de dirección de vuelo comandado



1. INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo, se presenta la situación problemática que busca resolver esta tesis. Además, se presenta la definición del problema técnico, los objetivos generales y específicos, y el alcance. Finalmente, se presenta un recuento de los estudios tecnológicos y técnicos desarrollados.

1.1. Problemática

Las energías renovables son un recurso importante en comparación a los sistemas de energías fósiles disponibles debido a que son sinónimo de sostenibilidad y suministro seguro para los países [2].

Entre las fuentes de energías renovables se encuentran la energía de biomasa, energía geotermal, energía hidroeléctrica, energía oceánica, energía solar y energía eólica. En la tabla 1.1, se muestran las cantidades que se usan para generar electricidad provenientes de energías renovables, estas cantidades están expresadas en exajoules ($EJ = 10^{18} J$). Se destacan dos términos importantes, el potencial técnico y el potencial teórico. Este último hace referencia a cuanta cantidad de energía se puede obtener dadas las condiciones geográficas de una región, mientras que el potencial técnico, se refiere a cuanta energía se puede generar considerando las limitaciones para poder aprovechar esta energía, por ejemplo, la disponibilidad de campo para instalar una torre de turbina de viento. La mayoría de estos tipos de energías renovables producirían mucho más que la cantidad del consumo de energía actual si se considerara el valor teórico potencial, incluso considerando sólo el valor técnico potencial, se podría satisfacer la demanda actual de energía [3].

De la tabla 1.1 se aprecia lo siguiente, la energía geotermal cuenta con un potencial teórico de 140 millones EJ, mientras que el potencial técnico corresponde a 5 000 EJ, el cual es 10 veces más que el consumo actual de energía. Sin embargo, este último valor, el cual corresponde al potencial técnico, se ve aún más reducido cuando se considera los altos costos de perforación y la accesibilidad de las capas de la corteza. Luego, en el caso de la energía eólica, esta tiene un potencial teórico que es 12 veces mayor que la energía actual necesaria, y su potencial técnico es el 10% del potencial teórico. [3].

*Tabla 1.1: Uso actual y potenciales técnicos y teóricos de las principales energías renovables a una escala global
Fuente: [3]*

Potenciales técnicos y teóricos globales (Unidades:EJ)			
Fuente	Uso actual	Potencial Técnico	Potencial Teórico
Energía de biomasa	50	250	2 900
Energía geotermal	2	5 000	140 000 000
Energía hidráulica	10	50	150
Energía oceánica	-	-	7 400
Energía solar	0.2	1 600	3 900 000
Energía eólica	0.2	600	6 000
Total	62.4	7 500	143 916 450

En el Perú, el potencial que se tiene para producir electricidad a partir de energías renovables es alto dado las diferentes condiciones climáticas. Como se aprecia en la tabla 1.2, el mayor potencial que se tiene proviene de la energía hidráulica y la eólica, siendo la energía hidráulica la que mayor capacidad instalada tiene con 6248.41 MW de un potencial total 58 937 MW, mientras que la energía eólica cuenta con una capacidad instalada de 239 MW de un potencial total de 22 000 MW [4].

*Tabla 1.2: Potencia total y capacidad instalada en el Perú
Fuente: [4]*

Fuente	Potencial total (MW)	Capacidad instalada (MW)
Energía hidráulica	58 937	6 248.41
Energía eólica	22 000	239
Energía solar	Costa: 5 a 6 kWh/m ² al día	7.92
	Sierra: 5.5 a 6.5 kWh/m ² al día	
	Selva: 4.5 a 5.5 kWh/m ² al día	
Energía de biomasa	Indefinido	27.4
Energía geotérmica	3 000	0

Según el atlas eólico del Perú, el país cuenta con un excelente recurso eólico, lo cual ha generado que se aprobaran más de 60 concesiones para realizar estudios relacionados al desarrollo de centrales eólicas. Entre los departamentos con buenas condiciones para el desarrollo energético eólico se encuentran Ica, Cajamarca, Piura y Lambayeque, siendo Ica el departamento con mayor potencial [5].

Sin embargo, a pesar del gran potencial que se tiene en el Perú y en el mundo, las torres de turbinas, tecnología usada para el aprovechamiento de la energía

eólica, tienen varias limitaciones. En primer lugar, los costos de instalación son altos (sólo un 80% del costo total son componentes de la torre y costo de mano de obra) comparados con los rendimientos teóricos que tienen estos sistemas que son alrededor del 25% de la energía máxima producible. En segundo lugar, en comparación con otros sistemas de energías renovables, para producir la misma energía que una hidroeléctrica, como por ejemplo la de Corpus Christi (2 880 MW), ubicado entre Paraguay y Argentina, y considerando su bajo rendimiento teórico, se deberían instalar 4 320 torres de 2 MW cada una, lo cual significa tener un gran terreno y con buenas condiciones de viento. Finalmente, dado su diseño fijo a tierra y la altura con la que cuentan las torres (normalmente de 50 m a 80 m), la velocidad con la que se cuenta no es constante, por lo que generan cambios permanentes de tensión y producción de armónicos [6] [7].

Por todo esto, se debe plantear el objetivo de aprovechar, mediante otras alternativas, las fuentes de las energías renovables en el Perú, sobre todo la energía eólica dado su potencial total y poca capacidad instalada. El presente trabajo se centra en resolver el problema del aprovechamiento de la energía eólica, presentando una alternativa diferente a las torres de turbina.

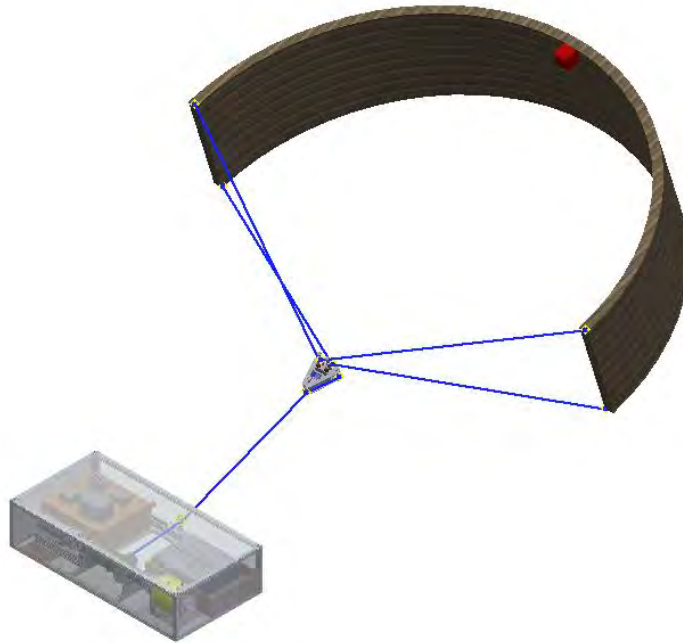
1.2. Definición del problema técnico

El aprovechamiento de la energía eólica supone trabajar a elevadas alturas y zonas despejadas para que se tenga una mejor condición del viento. En ese sentido, el presente trabajo consiste en una estructura tipo cometa como dispositivo para captar la energía cinética del aire. La cometa estará unida a una unidad de control que controlará la trayectoria de la cometa mediante dos motores. La unidad de control se unirá a una estación en tierra donde se encuentra un tambor acoplado a un generador para transmitir el movimiento y generar energía, y almacenarla en un banco de baterías. En la estación en tierra también se encuentra un motor para retornar la cometa una vez que esta haya alcanzado la altura máxima de operación. También se cuenta con sensores de posición, velocidad del viento, fuerza, voltaje y corriente para el control de trayectoria y la seguridad del sistema.

El sistema generador de electricidad propuesto (figura 1.1) puede alcanzar elevadas alturas dado que sólo depende de la longitud de cable disponible y de

cuan robustas sean la estructura y el sistema de control. Además, este sistema cuenta con sensores para monitorear los estados de la cometa (posición de la estación, velocidad del motor, fuerza de los cables, entre otros) y para monitorear los estados de la estación en tierra (posición, velocidad del motor, entre otros).

Para el diseño del sistema se debe considerar que operará en el departamento de Ica, ya que se tiene velocidades medias de vientos de 5 m/s a 10 m/s durante el año, la densidad de potencia media por metro cuadrado llega hasta 800 W/m² a 100 m de altura, y la rugosidad del terreno es casi cero debido a que no hay presencia de árboles y vegetación [5]. Además, la zona será de fácil acceso y de suelo plano ya que el sistema irá montado sobre la caja de una camioneta. Finalmente, la aplicación que se tendrá es “On-shore”, es decir, en tierra.



*Figura 1.1: Sistema generador de electricidad propuesto
Fuente: Propia*

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

El objetivo general del presente trabajo es diseñar un sistema de generación de electricidad basado en una estructura tipo cometa que aproveche mejor la fuente de energía proveniente del viento a grandes alturas, con bajo costo de fabricación e instalación y que se pueda transportar e instalar fácilmente aprovechando las diferentes condiciones climatológicas en diferentes lugares.

1.3.2. Objetivos específicos

- Realizar una revisión bibliográfica que permita definir los requerimientos físico-mecánicos, los requerimientos electrónicos, eléctricos y de control del diseño del sistema.
- Desarrollar el concepto de solución óptimo del sistema en base a los requerimientos, limitaciones, consideraciones mecánicas, electrónicas y de control.
- Diseñar el sistema mecánico que cumpla con la función de captar energía eólica y transmita esta energía a través de mecanismos.
- Plantear estrategias de control que permitan que el sistema realice las etapas de generación de energía (“*reel out*”) y de retorno (“*reel in*”) de una manera automática.
- Realizar el diseño electrónico y eléctrico mediante la selección de los sensores, actuadores y componentes de potencia, para gestionar las diferentes variables a controlar en el sistema.
- Estimar un costo del sistema a partir del estudio de los componentes mecánicos, electrónicos y eléctricos, así como un estudio de los costos de diseño y fabricación.

1.4. Alcances (limitaciones)

El presente trabajo se basa sólo en el diseño de un generador de electricidad con una estructura tipo cometa, mas no en la implementación de un prototipo, por lo que no se contará con resultados experimentales sino sólo con datos en base a simulaciones tomados de fuentes reconocidas.

1.5. Antecedentes

A continuación, se detallan los diseños que se encontraron en la revisión bibliográfica, estos provienen de productos comerciales y patentes, los cuales se agrupan con el término de tecnológico, y por otro lado artículos técnicos y tesis, agrupados con el término de técnico.

1.5.1. Tecnológico

1.5.1.1. EK30 [8]

EK30 (figura 1.2) es una plataforma de investigación desarrollada por EnerKite. Este sistema ha completado más de 100 horas en operación constante. Además, el sistema es transportado a través de un camión, en el cual se encuentra la estación de generación y las baterías. La altura de operación se encuentra entre 100 m a 300 m, el tamaño de la cometa es de 15 m² a 30 m², su masa es de 5 kg a 10 kg y genera una potencia nominal de 30 kW como se muestra en la tabla 1.3.

Tabla 1.3: Especificaciones técnicas EK30
Fuente: [8]

Especificaciones técnicas EK30	
Potencia nominal	30 kW
Altitud de operación	100 m a 300 m
Tamaño de ala	15 m ² a 30 m ²
Masa de ala	5 kg a 10 kg
Velocidad nominal	9 m/s a 12 m/s
Velocidad mínima del viento	3 m/s
Batería	600 V, 84 Ah



Figura 1.2: Prueba de EK30
Fuente: [8]

1.5.1.2. EK1M [8]

EK1M (figura 1.3) es un generador de electricidad mediante energía eólica portable desarrollado por EnerKite que genera una energía nominal de 500 kW, con lo cual se espera que en un futuro se tenga tarifas de (3.5 a 6) ct/kWh a partir de este producto. Este sistema es ideal para campos mineros, grandes compañías mineras y en caso de desastre, se puede usar como fuente de energía por un periodo de tiempo. Su altura de operación es de 300 m y cuenta con una longitud de cuerda de 800 m. Además, cuenta con un contenedor donde se almacenan las baterías de 40 pies de largo y con un área del ala de 125 m² como se muestra en la tabla 1.4.

Tabla 1.4: Especificaciones técnicas EK1M
Fuente: [8]

Especificaciones técnicas EK1M	
Potencia nominal	500 kW
Voltaje	400 VAC
Velocidad nominal	8,5 m/s
Área de ala	125 m ²
Velocidad mínima del viento	3 m/s
Velocidad máxima del viento	25 m/s
Altura de operación	300 m
Longitud de línea de cuerda	800 m
Tamaño	container de 40 pies
Rendimiento	2,3 GWh/a
LCOE	4,6 ct/kWh
Almacenamiento opcional	500 kWh

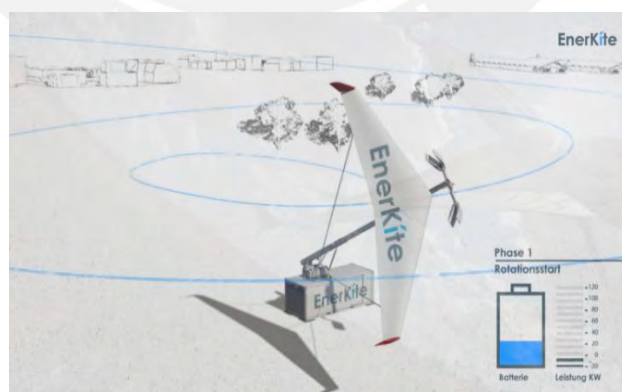


Figura 1.3: Prueba de sistema EK1M
Fuente: [8]

- 1.5.1.3. Sistema y método para aprovechar la fuerzas de arrastre y sustentación en un estructura de captura de viento (“System and method for altering drag and lift forces on a wind capturing structure”) [9]

En la figura 1.4, se puede apreciar el diagrama del sistema, el cual está conformado por la cometa, la línea de cable principal, una estructura puesta en tierra, la cual tiene incorporado un tambor, un sistema de engranajes, un orientador para la línea principal, y finalmente un generador.

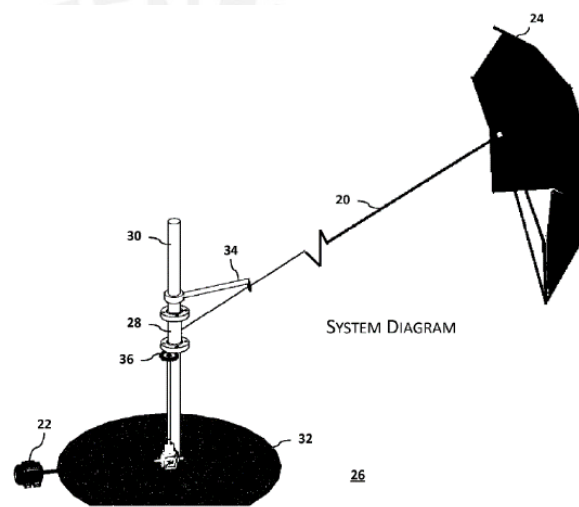


Figura 1.4: Diagrama del sistema
Fuente: [9]

Lo que caracteriza este diseño es la posición del tambor que ata y desata la cuerda para las fases de generación y recuperación. Además, el sistema cuenta con un sistema de deslizamiento en la parte de la cometa, justo en la unión de la línea de cables principal con las otras que llegan hasta los extremos de la cometa. Este sistema de deslizamiento permite bloquear o deslizar las líneas de los cables para la etapa de generación y la etapa de retorno, respectivamente.

1.5.2. Técnico

- 1.5.2.1. Diseño de un sistema de control distribuido de una cometa de potencia: (“Design of a Distributed Kite Power Control System”) [10]

Este sistema (figura 1.5) fue desarrollado por la Universidad Técnica de Delft y está formado por una estación en tierra, una línea de cables y la cometa. El diseño desarrollado es totalmente automático y cuenta con computadores, sensores y actuadores para controlar y medir las diferentes variables que necesita el sistema.

El sistema de control está formado por una interfaz de usuario, el cual muestra la posición frontal y de planta de la cometa, así como la altitud a la que se encuentra la cometa, la velocidad con la que se está impulsando la cometa para la generación de energía, la energía generada, entre otros. Luego, mediante un modelado de máquina de estados finitos (FSM), se muestra información en la interfaz de usuario del inicio, de la etapa de generación y retorno (figura 1.6).

Además, este sistema cuenta con comandos para controlar tanto la trayectoria de vuelo de la cometa y el tambor donde se enrolla la cuerda. Finalmente, se cuenta con el generador y los sensores, tanto en la unidad de control ubicado justo debajo de la cometa y en la estación en tierra.



*Figura 1.5: Sistema de generación tipo cometa desarrollado por Delft University of Technology
Fuente: [10]*

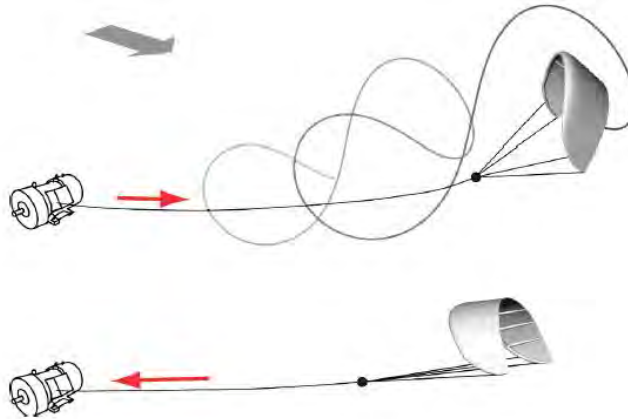


Figura 1.6: Fases de la trayectoria de la estructura tipo cometa
Fuente: [10]

Mediante el uso de un control distribuido, el sistema de control fue probado en más de 15 vuelos durante 2 horas en cada uno. En la figura 1.7, se muestra la trayectoria de la cometa de estudio, dicha cometa tuvo un área de 25 m², una velocidad del viento de 2.8 m/s y se encontraba a una altura de 6 m.

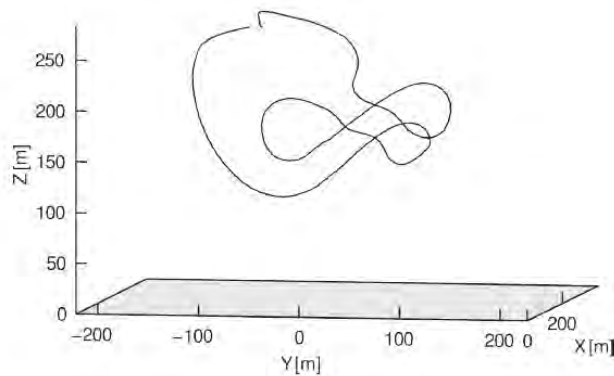


Figura 1.7: Trayectoria en forma de ocho generada luego de la experimentación del sistema
Fuente: [10]

1.5.2.2. Cometa de potencia para generación de energía mediante energía eólica (“Power kites of Wind Energy Generation”) [11]

Este diseño está conformado por una estación en tierra, dos líneas de cuerda y la cometa, como se muestra en la figura 1.8. La cometa realiza un movimiento en forma de ocho para evitar que las cuerdas se enreden.

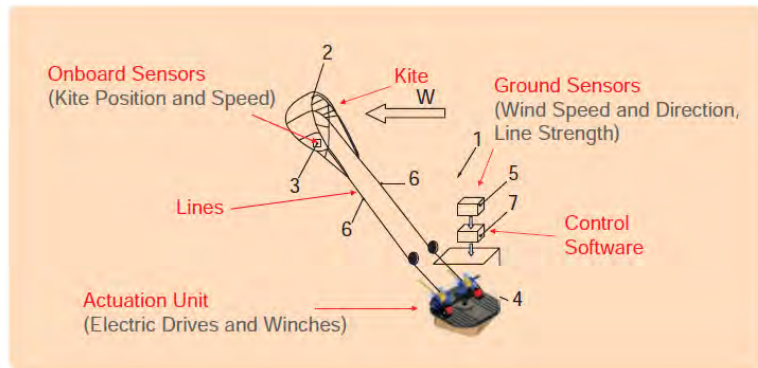


Figura 1.8: Sistema diseñado por KiteGen
Fuente: [11]

Debido a que se quiere aprovechar la mayor cantidad de energía en la etapa de generación, KiteGen usa un modelo de control predictivo no lineal (MPC), con el fin de maximizar la función de control sin dejar de satisfacer las limitaciones. Adicional a esto, debido a la necesidad de tener un control en tiempo real, utiliza también un modelo de control predictivo rápido con un muestreo de 0.1 s.

De las simulaciones de pruebas se obtuvo una potencia de 11.8 kW, el cual es el término medio de la figura 1.9. Además, se presentan dos colores en la gráfica, la de color verde representa la energía que se generó y la de color rojo representa la energía que se usó para enrollar de nuevo el cable y empezar un nuevo ciclo. La cometa de prueba era de 100 m² y tenía una cuerda de 300 m de longitud.

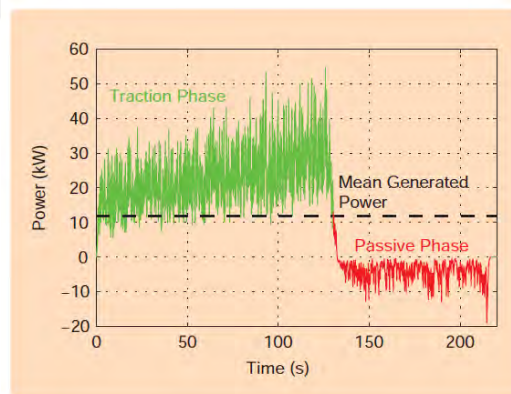


Figura 1.9: Gráfica de la generación y uso de energía del sistema
Fuente: [11]

2. DISEÑO CONCEPTUAL

2.1. Requerimientos del sistema mecatrónico

En este capítulo, se desarrolla la lista de exigencias del presente trabajo, el cual se realizó en base a la bibliografía revisada, así como las necesidades que se identificaron y limitaciones del mercado local. Dicha lista se encuentra dividida en una lista de los aspectos físicos-mecánicos y una lista de los aspectos electrónicos, eléctricos y control. Además, al final de cada requerimiento se visualiza entre paréntesis la letras E o D, las cuales hacen referencia a que se trata o bien de un exigencia o un deseo, respectivamente. En el Anexo A, se muestra la lista completa de los requerimientos del sistema. La función principal del sistema propuesto deberá ser la siguiente: captar la energía cinética del aire mediante una estructura tipo cometa, transformar la energía mecánica a energía eléctrica y almacenar dicha energía en un banco de baterías, la potencia nominal debe ser 13 kW y con ello tendrá un tiempo de carga máximo de una hora.

2.1.1. Requerimientos físicos – mecánicos

Los requerimientos físicos – mecánicos se realizaron en base a requerimientos de geometría, cinemática, energía, seguridad, fabricación, montaje y fuerzas, así como de la función principal, mantenimiento e instalación.

- El sistema está conformado por una estación en tierra, las líneas de cables y la cometa. Para la estación en tierra se establecen dimensiones de máximas de 2.5 m de largo, 1.5 m de ancho, y 1 m de altura. Para las longitudes de las líneas de cables, se estable una longitud de 500 m como máximo y finalmente, se establece un área de cometa no mayor a 30 m². Además, la altura de operación máxima del sistema deberá ser 150 m. (E)
- La estación en tierra será fija y la cometa tendrá un movimiento lineal en los planos x, y, z. La velocidad de operación de la cometa deberá ser máximo de 10 m/s y tendrá un ángulo de elevación de 0° a 90°. (E)

- La estación de tierra del sistema tendrá una masa máxima de 500 kg, mientras que la cometa más la unidad de control tendrán una masa máxima de 30 kg, y la fuerza de tensión máxima de los cables será 4 000 N. (E)
- El sistema deberá estar compuesto por materiales del mercado local para evitar costos de importación y deberá poder fabricarse en talleres locales. (D)
- Para la fabricación del sistema, se deberá tener en consideración las normas relacionadas a la energía en el sector rural y rendimientos de los aerogeneradores, IEC 62257 y IEC 61400, respectivamente. (D)
- La estación en tierra del sistema deberá ser de materiales como aluminio, acero, u otros, mientras que la cometa deberá ser de materiales como nylon, poliéster, kevlar u otros. (D)
- El sistema deberá ser desmontable en por lo menos dos partes para su fácil transporte. (E)
- El sistema deberá realizar las etapas de generación y retorno de una manera automática. (E)
- El sistema deberá permitir el fácil acceso a la partes de mayor desgaste para su fácil mantenimiento o reemplazo de dichas partes. (E)
- El sistema deberá contar con soportes para su transporte, así como los dispositivos como botoneras o pantallas, deberán estar al alcance del operario. (D)

2.1.2. Requerimientos electrónicos, eléctricos y de control

Los requerimientos electrónicos, eléctricos y de control se realizaron en base a los requerimientos de energía, algoritmos de control y señales.

- El sistema usará baterías recargables como fuente para almacenar la energía que se generará, así como para alimentar los diferentes componentes eléctricos y electrónicos del sistema. (E)
- El sistema contará con un aislamiento eléctrico de la estructura y aislamiento de la parte de control y potencia como medida de seguridad del sistema con el usuario y con los mismos componentes. (D)
- El sistema contará con sensores de velocidad (viento y motor), sensores de posición (cometa, unidad de control y estación en tierra) y sensores de temperatura, corriente y voltaje para monitorear el estado de las baterías. (E)
- El sistema deberá tener un algoritmo de control de velocidad de los motores, de los ángulos de elevación y de azimuth de la cometa, y de la trayectoria deseada para la cometa. (D)
- El operario interactuará con el sistema a través de una interfaz que le permitirá iniciar y detener el sistema, además de visualizar algunos parámetros como potencia generada, estado de baterías, entre otras. (D)

2.2. Estructura de funciones

De acuerdo a lo establecido en los requerimientos del sistema, se define la estructura de funciones del mismo. Esta se divide en los siguientes bloques: interfaz con el usuario, sensores, control, comunicación, potencia, actuadores, mecánica y energía. Cada uno de estos bloques, a excepción de la interfaz con usuario, se divide en un conjunto de funciones para la estación en tierra (color celeste) y otro para la cometa (color azul).

A continuación, se explica cada uno de los bloques de funciones. En el anexo B, se muestra la estructura de funciones completa.

Interfaz con el usuario

El usuario podrá interactuar con el sistema mediante una laptop, en la cual podrá definir ciertos parámetros iniciales. Además, como se aprecia en la figura 2.1, se

recibirá datos de los parámetros que están conectados a la estación en tierra, la cual también recibe parámetros de los componentes ubicados en la cometa, con el fin de que el usuario pueda visualizar el estado de los sensores, la trayectoria en tiempo real de la cometa y el estado de las baterías.

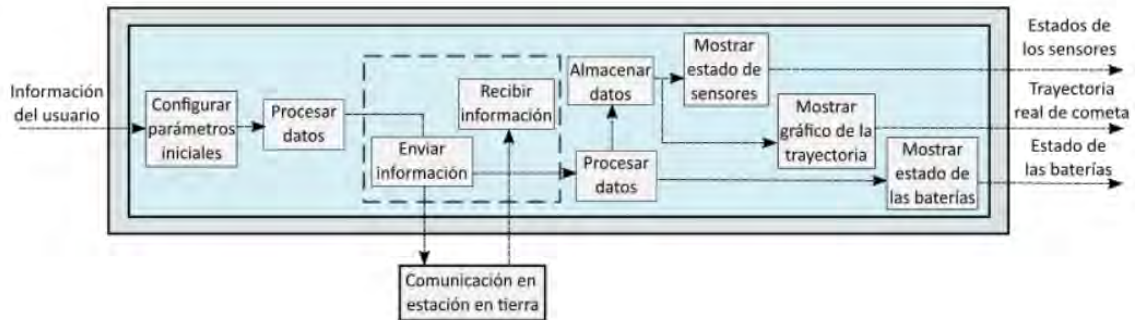


Figura 2.1: Bloque de la interfaz usuario/sistema
Fuente: Elaboración Propia

Comunicación

En el bloque de comunicación (figura 2.2), se muestra la interacción de dicho bloque con la interfaz del usuario, el control, sensores y potencia. El sistema cuenta con dispositivos de comunicación en la cometa y estación en tierra. Para este último, se aprecian dos bloques con el mismo color celeste ya que se cuenta con dispositivos para la comunicación laptop-controlador y controlador-estación en tierra. Además, los dispositivos ubicados en la cometa envían la información de los sensores para que se haga el procesamiento en tierra.

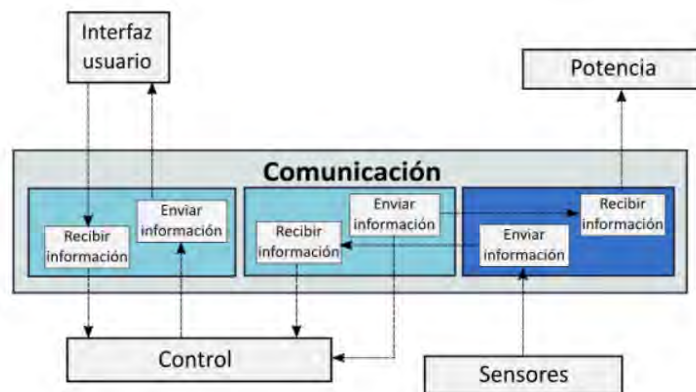


Figura 2.2: Bloque de comunicación
Fuente: Elaboración propia

Sensores

En este bloque (figura 2.3), se detallan todos los sensores que se utilizan en el sistema. En la estación en tierra, se requiere la medición, para un posterior

control, de la velocidad del viento; la posición angular y velocidad del motor; la temperatura, voltaje y corriente para ver el estado del motor, generador y baterías. En la cometa, se requiera la medición, para un posterior control, de la velocidad del viento; la longitud y fuerza del cable; la posición y orientación de la cometa; el estado de direccionamiento (etapa de generación o retorno), voltaje y corriente de los motores y baterías.

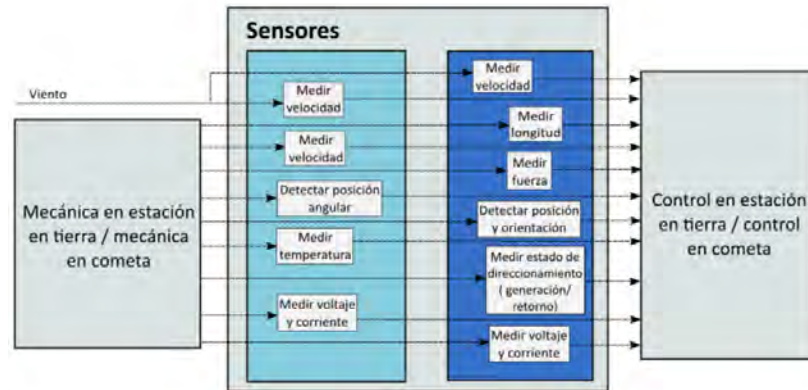


Figura 2.3: Bloque de sensores
Fuente: Elaboración propia

Control

En el control del sistema y procesamiento de la información (figura 2.4), se reciben datos tanto de los sensores conectados directamente al controlador y de los dispositivos de comunicación que envían los datos de los sensores. El procesamiento en general del sistema se realiza en la estación en tierra, por lo que este bloque de control interactúa con la parte de comunicación. El objetivo del control del sistema es controlar los ángulos de elevación y azimuth de la cometa, estimar la trayectoria deseada y medir la trayectoria real, con el fin de corregir esta última. Con esta información, se mandan señales a los dispositivos de potencia y comunicación, con el fin de accionar el motor o detenerlo y poder visualizar las trayectorias y estados de los sensores en la interfaz con el usuario.

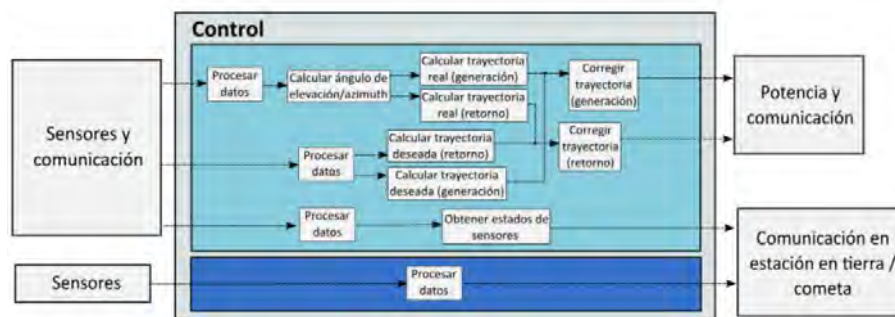


Figura 2.4: Bloque de control
Fuente: Elaboración propia

Potencia

En este bloque de potencia del sistema (figura 2.5), se muestran los dispositivos (drivers) ubicados tanto en la estación en tierra como en la cometa, que a través del envío de señales, accionarán los actuadores una vez que hayan recibido información del control.

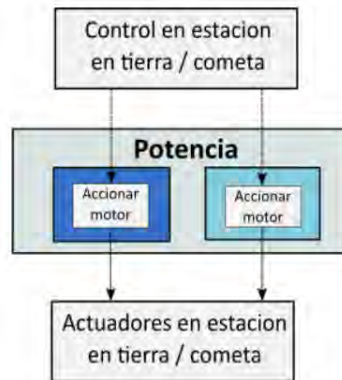


Figura 2.5: Bloque de potencia
Fuente: Elaboración propia

Actuadores

En el bloque de actuadores (figura 2.6), se detallan los dispositivos que transformarán la energía eléctrica a mecánica (motores). Estos, dependiendo de las señales de los dispositivos de potencia, accionarán los sistemas de transmisión que a su vez están conectados a tambores y uniones acopladas ubicadas tanto en la estación en tierra como en la cometa.

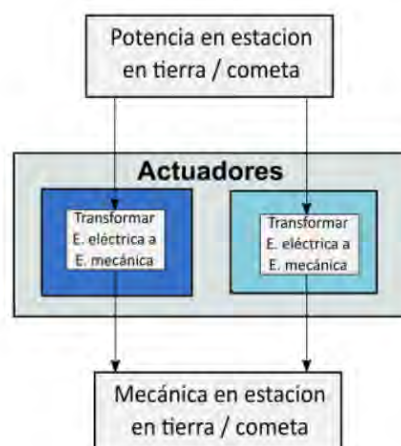


Figura 2.6: Bloque de actuadores
Fuente: Elaboración propia

Mecánica

En el bloque de mecánica (figura 2.7), se detalla el funcionamiento del sistema dependiendo de la etapa en la que esté (generación o retorno). Para la etapa de generación, una vez que se haya accionado el motor, se transmite dicha potencia para direccionar los cables y poder captar la energía cinética del viento. Mientras se realiza la captura, se transmite la energía a través de los cables con el fin de convertir la energía cinética a rotacional (tambor). Luego, esta energía rotacional se transmite hacia el generador, para finalmente almacenar la energía. En cuanto a la etapa de retorno, una vez recibidas las señales de que el sistema ya llegó al final de la etapa de generación, se acciona el motor para retornar toda la estructura hasta la posición inicial y volver a empezar otro ciclo.

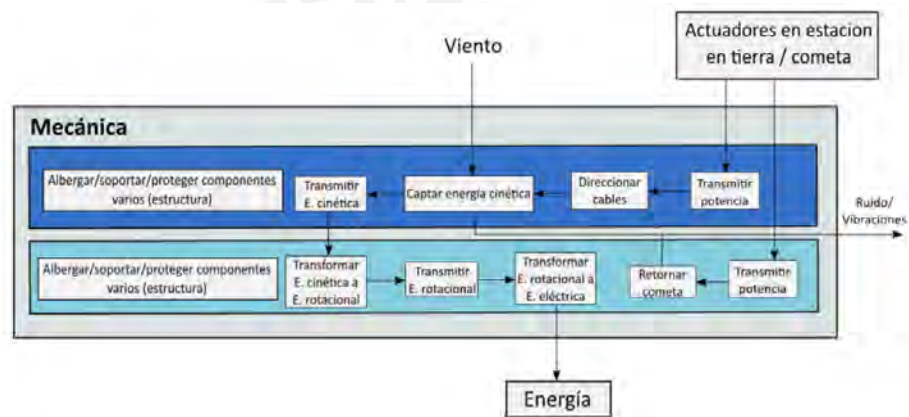


Figura 2.7: Bloque de mecánica
Fuente: Elaboración propia

Energía

En este bloque (figura 2.8), se detalla los diferentes componentes que energizarán los drivers de los motores, sensores, procesadores y módulos de comunicación, ubicados tanto en la estación en tierra como en la cometa. Además, en el bloque de la estación en tierra (color celeste), el bloque de mecánica, que representa básicamente al generador, se une al bloque de convertir energía (inversor) para que finalmente se almacene la energía.

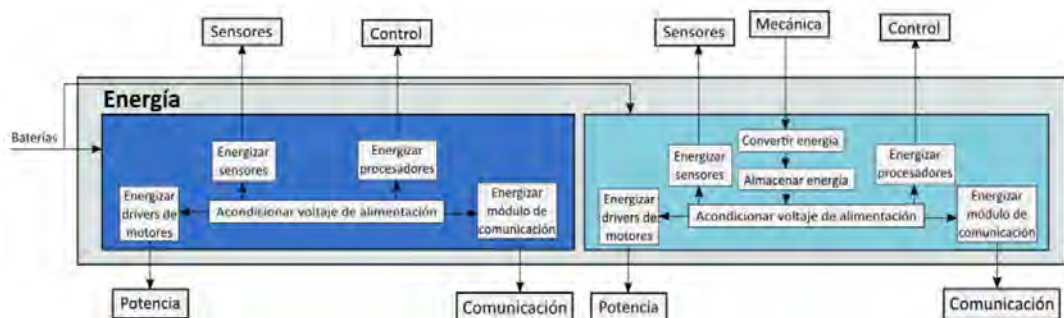





Figura 2.8: Bloque de energía
Fuente: Elaboración propia

2.3. Matriz morfológica

En base a la estructura de funciones antes desarrollada, se elabora la matriz morfológica con los diferentes componentes que pueden realizar las funciones de los dominios de comunicación, sensores, control, actuadores, potencia, mecánica y energía. Para cada uno de estos dominios se desarrolla una matriz.

Además, se desarrolla tres alternativas en general para el sistema, las cuales se han separado en un análisis de alternativas para el sistema conformado por la cometa y otros análisis para la estación en tierra.

Concepto de solución 1	
Concepto de solución 2	
Concepto de solución 3	

Cometa

En las tablas 2.1 y 2.2, se muestran las matrices morfológicas de los componentes que se ubican en la cometa y unidad de control.

Tabla 2.1: Matriz morfológica de la cometa
Fuente: Elaboración propia


















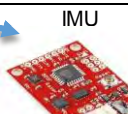












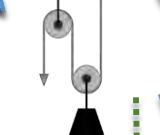














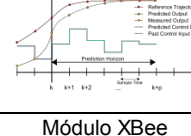
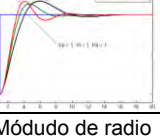
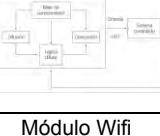



Tipo		Función	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
COMETA					
Energía		Energizar componentes	Baterías Li-Po 	Baterías LiFePo4 	Baterías Ni-MH 
		Medir velocidad del viento	Anemómetro 	Veleta 	Tubo de pitot 
Sensores		Medir longitud del cable	Encoder absoluto 	Encoder incremental 	Encoder lineal 
		Medir fuerza del cable	Célula de carga de tensión 	Célula de carga hidráulica 	Célula de carga neumática 
		Detectar posición	Sensor GNSS 	Receptor GPS 	Localización vía GSM 
		Detectar orientación	Magnetómetro 	Acelerómetro 	IMU 
		Medir corriente/voltaje	Sensor de corriente con efecto Hall 	Sensores de corriente inductivos 	Sensor resistivo de intensidad (Shunt) 
Potencia		Accionar motor (driver)	Arreglo de mosfets 	Arreglo de ICs I s 	
Actuadores		Transformar energía eléctrica a energía mecánica	Motor paso a paso 	Motor DC 	Motor sin escobillas 

Tabla 2.2: Matriz morfológica de la cometa (continuación)
Fuente: Propia

Mecánica	Transmitir potencia		Transmisión directa (acople) 	Transmisión por fajas 	Transmisión por engranajes 
	Direccionar cables		Nudos 	Poleas 	
	Captar energía cinética		Cometa de avión infable 	Cometa tipo hoja ("Foil kites") 	Cometa con borde de ataque inflable 
	Transmitir energía cinética		Cable de prolipropileno alta resistencia 	Cable de polietileno 	Cable de nylon multifilamento 
	Albergar/ soportar/ proteger componentes		BOSQUEJOS DE LA ESTRUCTURA EN CADA CONCEPTO DE SOLUCIÓN		
Control	Hardware	Almacenar datos	Arduino 	Raspberry Pi 	BeagleBone 
	Lenguaje de programación	Procesar datos	Lenguaje C++ 	Lenguaje en tiempo real 	Python 
	Software	Almacenar datos	Memoria externa 	Base de datos 	
		Procesar datos	Control predictivo 	Control PID 	Control difuso 
Comunicación	Enviar/recibir información		Módulo XBee 	Módulo de radio frecuencia (RF) 	Módulo Wifi 

Estación en tierra

En las tablas 2.3 y 2.4, se presentan las matrices morfológicas de los componentes ubicados en la estación en tierra.

Tabla 2.3: Matriz morfológica de la estación en tierra
Fuente: Propia


































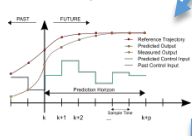
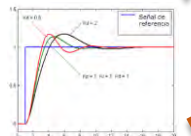
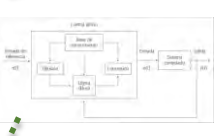



Tipo		Función	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	
ESTACIÓN EN TIERRA						
Energía		Almacenar energía y energizar componentes	Baterías Li-Po 	Baterías LiFePo4 	Baterías Ni-MH 	
			Medir velocidad del viento	Anemómetro 	Veleta 	Tubo de pitot 
Sensores	Medir posición y velocidad de motores	Encoder absoluto 		Encoder incremental 	Encoder lineal 	
		Medir temperatura		Termistores 	Termocuplas 	Detectores de temperatura resistivos (RTD) 
				Medir corriente/voltaje	Sensor de corriente con efecto Hall 	Sensores de corriente inductivos 
Potencia		Accionar motor (driver)	Arreglo de mosfets 		Arreglo de IGBTs 	

Tabla 2.4: Matriz morfológica de la estación en tierra (continuación)
Fuente: Propia

Actuadores		Transformar energía eléctrica a energía mecánica	Motor AC 	Motor DC 	Motor paso a paso 
		Transformar energía rotacional a energía eléctrica	Generador síncrono 	Generador asíncrono 	Generador de corriente continua 
Mecánica		Trasmitir potencia	Transmisión directa (acople) 	Transmisión por fajas 	Transmisión por engranajes 
		Albergar/ soportar/ proteger componentes	BOSQUEJOS DE LA ESTRUCTURA EN CADA CONCEPTO DE SOLUCIÓN		
Control	Hardware	Almacenar datos	Arduino 	Raspberry Pi 	BeagleBone 
	Lenguaje de programación	Procesar datos (Calcular ángulos de elevación/azimuth, calcular trayectorias de generación y retorno, corregir trayectorias de generación y retorno)	Lenguaje C++ 	Lenguaje en tiempo real 	Python 
	Software	Almacenar datos	Memoria externa 	Base de datos 	
		Procesar datos	Control predictivo 	Control PID 	Control difuso 
Comunicación		Enviar/recibir información	Módulo XBee 	Módulo de radio frecuencia (RF) 	Módulo Wifi 

2.4. Conceptos de solución

En base a las alternativas desarrolladas en la matriz morfológica, se desarrollaron tres conceptos de solución en base a la función que se desea del sistema. Posteriormente, se analiza cuál es la solución óptima en base al análisis de ciertos criterios.

2.4.1. Concepto de solución 1

Esta solución (figura 2.9) se basa en el control de la cometa mediante dos cables desde la estación en tierra [11]. Estos cables, los cuales están hechos de polietileno, están conectados a dos tambores que a su vez están conectados, mediante un juego de engranajes, a dos máquinas eléctricas de corriente directa, que cumplen la función de un motor/generador, alternando su uso dependiendo de la fase y la trayectoria. Además, este sistema, al ser fijo en tierra, cuenta con poleas que giran en su propio eje con el fin de seguir la trayectoria deseada. La cometa que se usa para esta solución es una cometa tipo "foil".

Este sistema cuenta con un arreglo de magnetómetros y un receptor GPS para monitorear tanto la orientación como la posición de la cometa, los cuales están ubicados en la parte interior de la cometa. En cuanto a las baterías, la etapa de potencia (arreglo de IGBTs) y los sensores para monitorear la velocidad (veleta), temperatura (detectores de temperatura resistivos), corriente y voltaje (sensores inductivos) de los diferentes componentes, se ubican en la estación en tierra.

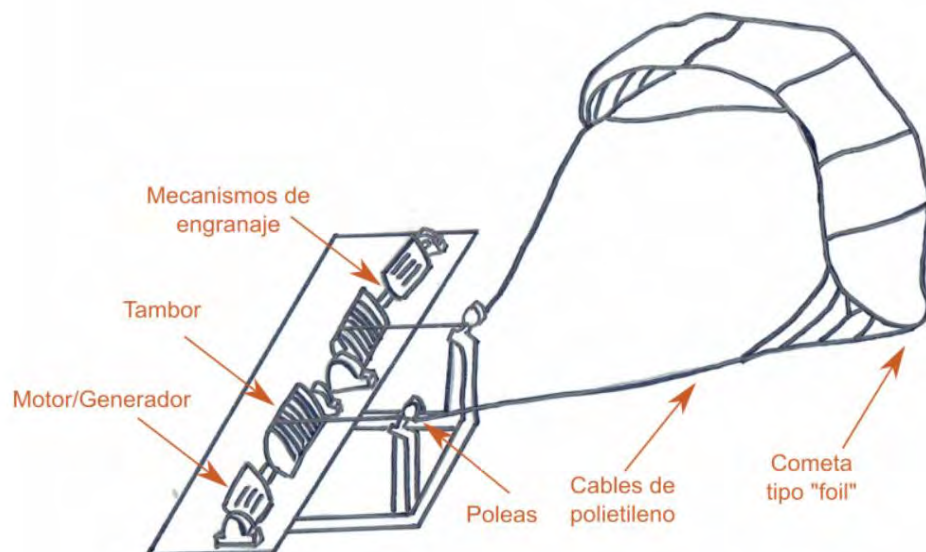


Figura 2.9: Concepto de solución 1
Fuente: Elaboración propia

2.4.2. Concepto de solución 2

Esta solución (figura 2.10), se basa en el control de la cometa mediante una unidad de control en el aire, la cual conecta la estación en tierra y la cometa [12]. La estación en tierra consiste en un generador, un motor y un tambor. El generador y motor son del tipo de imanes permanentes usados comúnmente en aerogeneradores. La transmisión motor-tambor y generador-tambor se realiza mediante una conexión directa con acoples. Además, entre el tambor y el generador se cuenta con un embrague de rueda libre con el fin de disponer de solo un sentido de giro, es decir, que se transmita movimiento rotacional al rotor del generador solo cuando el sistema se encuentre en la fase de generación. Esto ayuda a aumentar la eficiencia del generador al usarse solo en un sentido [12].

En la estación en tierra, también se cuenta con una polea que gira en su propio eje para seguir la trayectoria de la cometa. El cable es de un material llamado prolipropileno de alta resistencia (Dyneema). En cuanto a los componentes de la unidad de control, se cuenta con motores y pequeños tambores que direccionan los cables tanto para seguir la trayectoria deseada en forma de ocho en la etapa de generación, como para realizar la etapa de retorno. La cometa es de tipo borde de ataque inflable (“Leading edge inflatable”). Finalmente, para la localización de la cometa se usa un módulo de posicionamiento el cual incluye un módulo INS (“Inertial Navigation System”) y un sensor GNSS (“Global Navigation Satellite System”).

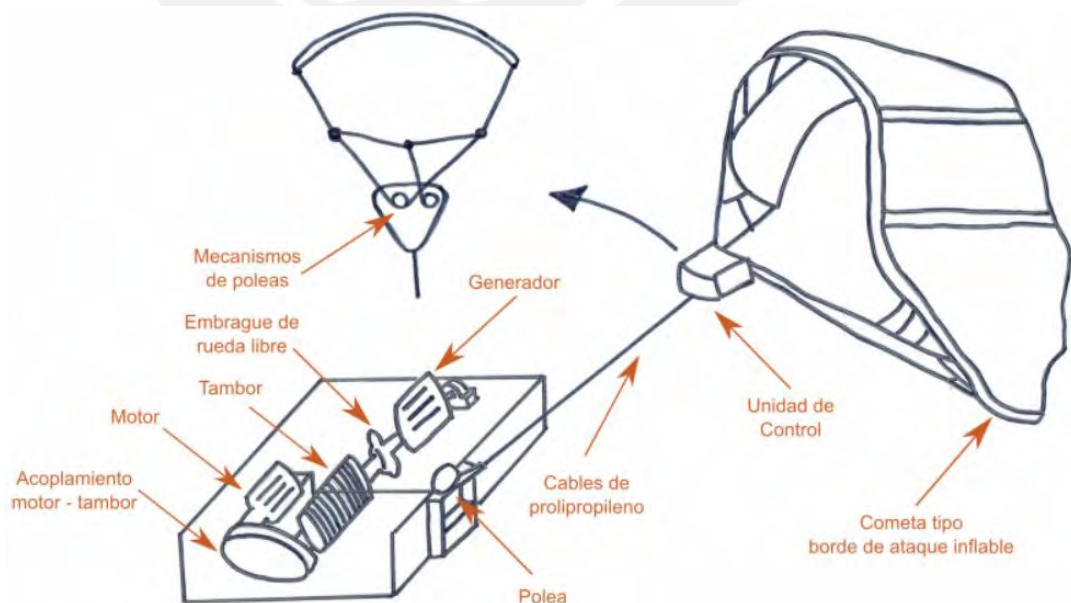


Figura 2.10: Concepto de solución 2
Fuente: Elaboración propia

2.4.3. Concepto de solución 3

Esta solución (figura 2.11), se basa en el control de la cometa mediante tres cables desde la estación en tierra [8]. Para ello se cuenta con tres máquinas eléctricas asíncronas, las cuales funcionan como motor/generador, y tres tambores. Los cables de dos de estos pasan por dos poleas fijas a la estación en tierra, mientras que el otro tambor se une directamente a la parte delantera de la cometa, con el fin de retornar la cometa lo más rápido posible y con el menor uso de energía en la etapa de retorno.

La cometa que se usa en esta solución es una cometa de avión inflable. Para dirigir la cometa, la estación en tierra es móvil y gira entorno a su propio eje, con el fin de dirigir la cometa en la etapa de generación de energía con la ayuda también de los cables unidos en los extremos de la cometa. El cable que se usa es de nylon multifilamento. En cuanto a los sensores, se usan un juego de acelerómetros y localización vía GSM (“Global System for Mobile”) para detectar la ubicación y orientación.

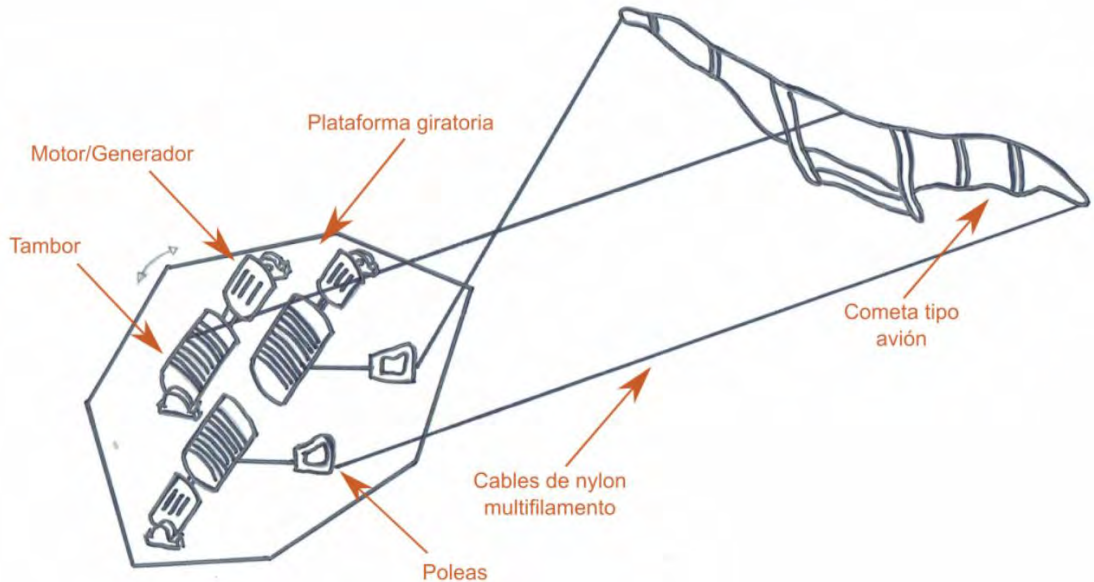


Figura 2.11: Concepto de solución 3
Fuente: Elaboración propia

2.5. Evaluación técnico-económica

Para cada concepto de solución, se realiza la evaluación técnico-económica en base a la recomendación VDI 2225. La tabla con la información detallada se encuentra en el anexo C.

2.5.1. Evaluación técnica

Para esta evaluación, se considera los siguientes criterios:

- Función principal
- Operación
- Control
- Energía
- Seguridad

Las valoraciones están en el rango de 1 a 4, siendo la valoración de 4 como la mayor y 1 como la menor. Las valoraciones para los criterios son las siguientes:

- La función principal, energía, control y seguridad tiene una valoración de 4
- La operación tiene una valoración de 3

Concepto de solución 1:

Este concepto cumple con la función principal de generar energía. En cuanto a la operación y control, cumple el propósito aunque no es la óptima, ya que se usa dos cables desde tierra, lo cual limita la forma en que se puede controlar la cometa. En cuanto a energía, al usar dos motores/generadores, se considera aceptable, aunque para retornar la cometa se genera una fuerza de arrastre considerable debido a los cables que parten desde tierra. En cuanto a seguridad, este concepto, así como los otros, cuenta con un chasis que albergan todos los componentes.

Concepto de solución 2:

Este concepto cumple con la función principal de generar energía, siendo mejor que la primera opción. En cuanto a la operación y control, se considera también mejor que la primera debido a que realiza un control de la cometa desde un sistema en el aire (unidad de control). Además, al usar una línea de cable desde tierra, la fuerza de arrastre es menor que la solución 1, lo cual permite que se invierta menos energía en la etapa de retorno; por ello, tiene un mejor uso de la energía que las otras opciones.

Concepto de solución 3:

Este concepto cumple con la función de generar energía. Sin embargo, tiene una operación y control más complejo que los otros debido a que se controla desde tierra mediante tres cables, lo que genera además que la fuerza de arrastre sea mayor a las otras soluciones y, con ello, más energía usada en la etapa de retorno. Además, al tener una base rotatoria, a pesar de que se use un chasis para albergar los componentes, no se considera más segura que las otras opciones por la misma función de girar.

2.5.2. Evaluación económica

Los criterios para esta evaluación son los siguientes:

- Costo de materiales
- Costo de mantenimiento

Así como en la evaluación técnica, las valoraciones están en el rango de 1 a 4, siendo la valoración de 4 como la mayor y 1 como la menor. Para cada uno de estos criterios se considera una puntuación de 3.

Concepto de solución 1:

Debido al uso principalmente de dos motores/generadores y dos tambores, este concepto tiene un costo de materiales aceptables. En cuanto al costo de

mantenimiento, debido al uso de un juego de engranajes y del uso de motores/generadores, este concepto tiene un costo de mantenimiento mediano.

Concepto de solución 2:

Debido al uso principalmente de un motor y un generador por separado, además de un solo tambor, este concepto tiene un costo menor que los otros conceptos. Además, el costo de mantenimiento es bajo porque se tiene mejor eficiencia al usar un motor y generador por separado, y además porque usa una conexión directa entre el generador y tambor.

Concepto de solución 3:

Debido al uso principalmente de tres motores/generadores y tres tambores, este concepto tiene un mayor costo de materiales. Además, al usar un sistema de transmisión mediante engranajes, el costo de mantenimiento es mayor.

En la figura 2.12, se muestra los resultados de los tres conceptos según los criterios y valoraciones antes mencionados. El concepto óptimo es el que se acerca más a la recta. Como se aprecia, el concepto de solución 2 es el que más se acerca a los valores técnicos y económicos deseados.

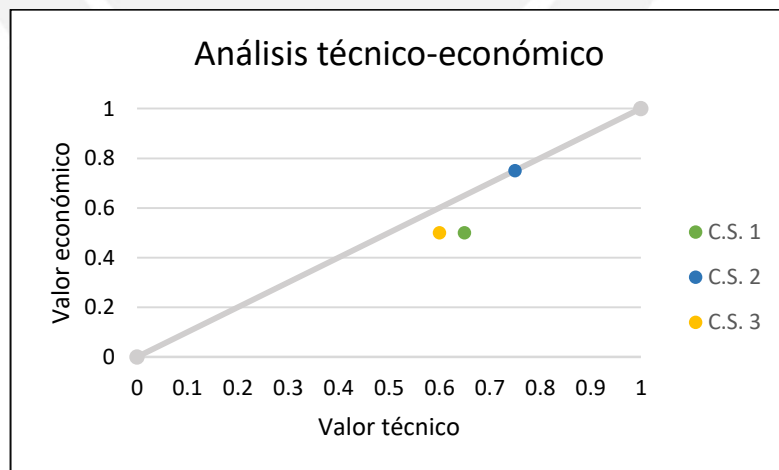


Figura 2.12: Gráfico del análisis técnico-económico
Fuente: Elaboración propia

3. DISEÑO DEL SISTEMA GENERADOR DE ELECTRICIDAD TIPO COMETA

En este capítulo, se desarrolla el diseño óptimo a partir del análisis realizado en el capítulo anterior. En primer lugar, se presenta la integración del diseño mecánico, electrónico-eléctrico y de control. En segundo lugar, se presenta el diseño mecánico, el cual incluye algunos cálculos principales, la selección de los componentes y una descripción de los planos de ensamble y sub-ensambles. Luego, se presenta el diseño electrónico y eléctrico, que comprende la selección de componentes, los diagramas esquemáticos y eléctricos, y los diagramas de flujo. Finalmente, se presenta el diseño de control que abarca la estrategia de control. Los cálculos que no se muestran en este documento, así como hojas de datos, se muestran en los anexos D, E y F.

3.1. Integración del sistema generador de electricidad tipo cometa

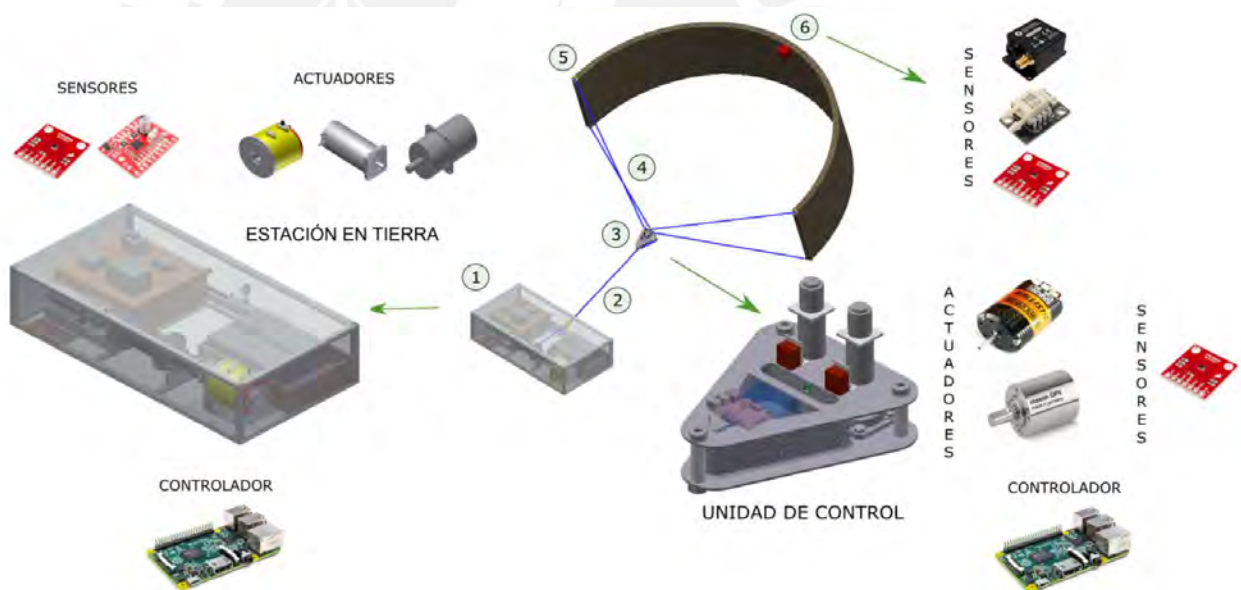


Figura 3.1: Sistema generador de energía
Fuente: Propia

En la figura 3.1, se muestra el sistema propuesto integrado, el cual se compone de seis partes. La primera (1) es la estación en tierra, la cual contiene principalmente el tambor donde irá enrollado el cable, el motor, el generador, el sistema de potencia y de almacenamiento de energía. Además, en la estación en tierra se hará el procesamiento de los algoritmos requeridos. La segunda (2) es el cable principal (Dyneema) el cual conecta el tambor con la unidad de control

(3). Esta última tiene la función de direccionar la cometa para generar la trayectoria deseada y para modificar el perfil de la cometa, para lo cual tiene dos motores acoplados a unas poleas. En una de las poleas están conectados, mediante unos cables secundarios (4), los extremos delanteros de la cometa (5), mientras que en la otra polea, están conectados los extremos traseros de la cometa. Finalmente, en esta última, se sitúa una pequeña caja (6) que contiene los componentes necesarios para detectar la posición de la cometa y la velocidad del viento. El procesamiento se realiza mediante dos Raspberry Pi ubicados en la estación en tierra y la unidad de control.

3.2. Funcionamiento del sistema generador de energía

En primer lugar, se debe verificar que todos los componentes estén bien conectados, los cables principales y secundarios no tengan ningún nudo, y, principalmente, que el enrollamiento del cable esté sin ningún nudo ni inclinación con respecto a la polea que lo direccionará, ya que esto puede generar fuerzas axiales indeseadas en el eje principal.

Luego, para iniciar la etapa de generación, se lleva la cometa a aproximadamente 15 m de distancia de la estación de tierra para elevarla manualmente. A partir de este momento, la cometa empezará a elevarse siguiendo una trayectoria en forma de ocho (figura 3.2) con el fin de evitar que los cables se enreden. La cometa llegará hasta una altura aproximada máxima de 100 m, para luego empezar la etapa de retorno. El valor de la altura a la cual está la cometa se logra debido a que se tiene un módulo que contiene un sensor GNSS (Sistema global de navegación por satélite) y un INS (Sistema de navegación inercial), los cuales dan como resultado la posición donde se encuentra la cometa.

La etapa de retorno empieza cuando se llega a la máxima altura de operación. En ese momento, la unidad de control, a través de los reductores acoplados a unos motores, modificará el perfil de la cometa con el fin de retornarla con menor energía que la que se generó inicialmente. El perfil de la cometa debe ser de la forma como se muestra en la segunda imagen de la figura 3.2. Finalmente, la cometa llegará hasta una altura mínima de aproximadamente 50 m para luego volver al perfil que tenía y generar de nuevo energía.

Las etapas de generación y retorno descritas anteriormente se repetirán hasta que las baterías se carguen. Para ello, se lleva un control del voltaje y corriente que se tiene en las baterías. Una vez que las baterías estén cargadas, si hubiese una carga conectada en la estación en tierra, esta será alimentada directamente de la energía que se va generando.

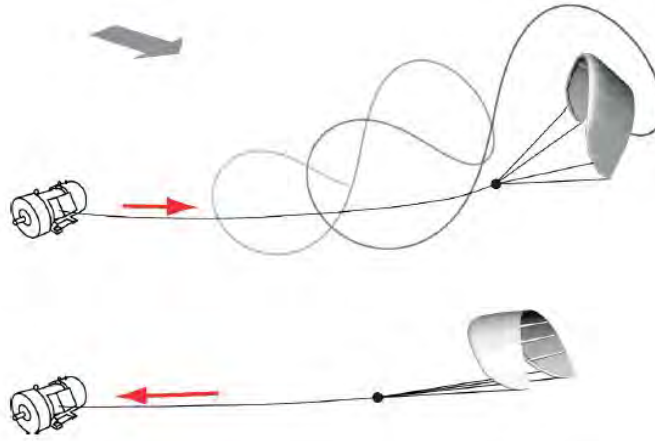


Figura 3.2: Fase de generación (arriba), fase de retorno (abajo)
Fuente: Propia

3.3. Diseño mecánico

3.3.1. Principales cálculos

Cálculo de la fuerza de tracción

Para este cálculo, se toma como referencia el análisis hecho en [13]. La fuerza máxima que se quiere hallar es la mostrada en la figura 3.3.

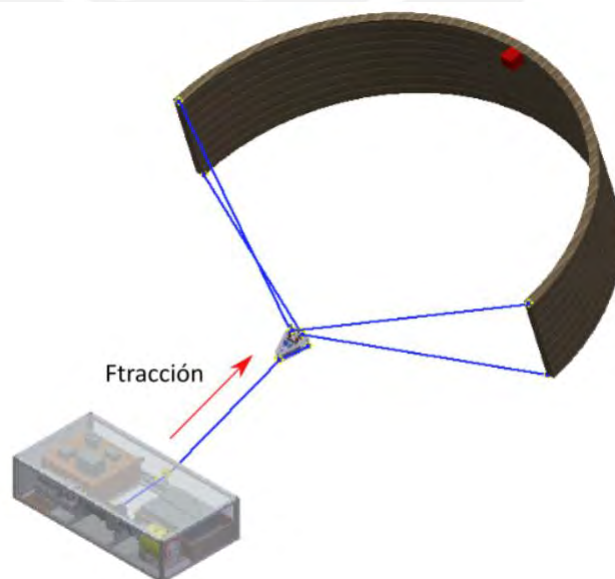


Figura 3.3: Fuerza de tracción
Fuente: Propia

Se cuentan con los siguientes parámetros:

Área de la cometa: $A = 15 \text{ m}^2$.

Área proyectada de la cometa: $A_p = 9 \text{ m}^2$.

Coefficiente de sustentación: $C_L = 1.2$.

Coefficiente de arraste: $C_D = 0.2$.

Diámetro del cable: $d_c = 0.004 \text{ m}$.

Coefficiente de arrastre del cable: $C_{Dc} = 1.2$.

Altura de operación: $h_{op} = 100 \text{ m}$.

Longitud del cable: $l_c = 300 \text{ m}$.

Con estos datos, se hallarán primero algunos parámetros en base a los siguientes modelos del sistema:

a. Modelo atmosférico

En primer lugar, se halla la velocidad del viento a la altura de operación del sistema. Para este cálculo se usará la ley de cuadrados mínimos [2]. Se tiene como datos la altura de operación (100 m), y la velocidad del viento a 10 m. Este último dato se obtiene en base a los datos del atlas eólico del Perú. En la figura 3.4, se muestra la velocidad del viento (v_w) y la velocidad efectiva del viento en dirección al cable ($v_{w,r}$) en una vista de perfil de la cometa.

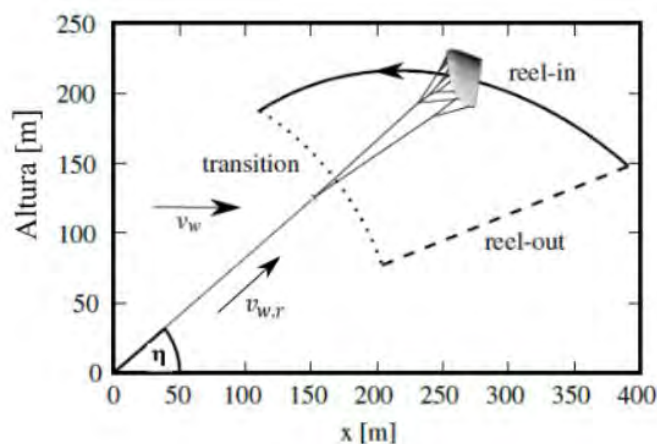


Figura 3.4: Plano de perfil de la cometa
Fuente: [13]

$$\text{Velocidad del viento a 10 m: } v_{w,g} = 5 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

Coefficiente para aplicaciones en tierra "On-Shore": $\alpha = \frac{1}{7}$.

La velocidad a la altura de operación se define según la siguiente expresión:

$$v_w = v_{w.g} * \left(\frac{h_{op}}{10 \text{ m}} \right)^\alpha = 6.9 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

Ahora, se halla la densidad del aire tomando un valor de temperatura constante de 15 °C, y la constante de la altura escala para el cálculo de la densidad (H_ρ) y densidad media al nivel del mar (ρ_0) según [14]. Donde:

Altura escalada para cálculo de densidad: $H_\rho = 8.55 \text{ km}$.

Densidad media al nivel del mar: $\rho_0 = 1.225 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.

$$\rho = \rho_0 * e^{\left(\frac{-h_{op}}{H_\rho} \right)} = 1.211 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}.$$

b. Rendimiento aerodinámico:

Se define "E" como la eficiencia aerodinámica de la cometa y es igual a la relación entre el coeficiente de sustentación (C_L) y coeficiente de arrastre (C_D) más el coeficiente de arrastre efectivo del cable (C_D^t) [15].

$$E = \frac{C_L}{C_D + C_D^t}$$

El coeficiente de arrastre efectivo del cable se puede definir aproximadamente a partir de su longitud, diámetro, área proyectada de la cometa y el coeficiente de arrastre con respecto a la dirección del viento. Debido a que el cable está fijo en un extremo al tambor y en movimiento a la velocidad de la cometa al otro extremo, en base a simulaciones dadas en [13], solo el 31 % del total del coeficiente de arrastre efectivo se considera para el cálculo del rendimiento aerodinámico. Por ello, E se define de la siguiente manera:

$$E = \frac{C_L}{C_D + \frac{0.31 * l_c * d_c * C_{DC}}{A_p}} = 4.8.$$

Ahora, se halla la velocidad del viento efectiva en dirección al cable, para ello se considera el marco de referencia del sistema de la figura 3.5, en donde se muestra el plano fijo en el punto O (estación en tierra), el plano TkS^2 en la unidad de control y el plano K' en la cometa. Además, se muestran el ángulo de elevación (η) y el ángulo de azimuth (ξ).

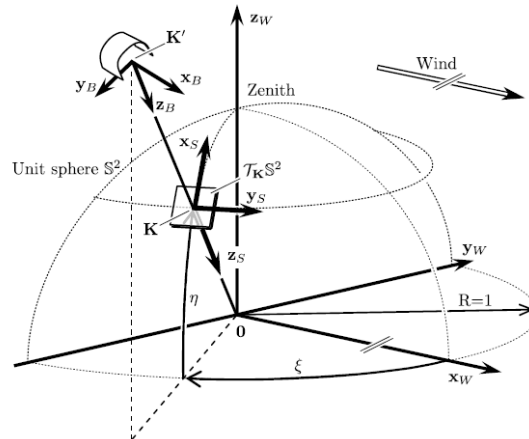


Figura 3.5: Marco de referencia del sistema
Fuente: [13]

Para el cálculo la velocidad máxima del viento en dirección al cable se toma los valores máximos de los ángulos de elevación y azimuth. Para el ángulo de elevación máximo se toma un valor máximo permisible de 55° para que opere el sistema y cero para el ángulo azimuth.

Ángulo de elevación: $\eta = 55^\circ$.

Ángulo de azimuth: $\xi = 0^\circ$.

$$v_{w,r} = v_w * \cos(\eta) * \cos(\xi) = 3.98 \frac{m}{s}$$

Finalmente, con este valor de velocidad máxima se hallan la fuerza de tracción máxima y la potencia máxima que puede generar el sistema.

$$F_{tracción} = \frac{1}{2} * \rho * A_p * C_L * E^2 * \left(1 + \frac{1}{E^2}\right)^{\frac{3}{2}} * v_{w,r}^2$$

$$F_{tracción} = 2558 N.$$

$$P = \frac{2}{27} * \rho * A * C_L * E^2 * \left(1 + \frac{1}{E^2}\right)^{\frac{3}{2}} * v_w^3$$

$$P = 13.3 kW.$$

Diseño del tambor de arrollamiento

Para el diseño del tambor se considerará las sugerencias de [16], que propone el diseño de tambores para cables para funciones de máquina elevadoras, cabrestantes para Obras Públicas y almacenamientos de cables con tensiones reducidas. Esta última se toma de referencia para el tambor a diseñar. El diámetro y el largo del tambor se elegirán en base al total de la longitud de cable a usar. Para ello, se tiene en cuenta que el diámetro de cable es inferior a los usados en las aplicaciones del texto citado. Además, se diseña el tambor para que permita el arrollamiento del cable en varias capas debido a la longitud limitada del sistema. A continuación, se muestra el diseño del tambor.

a. Diámetro del tambor

Este parámetro se elige en base a la norma DIN 4310, en donde se encuentran reglas para el dimensionamiento de tambores y cables. Para ello, se distinguen cinco grupos según la frecuencia del movimiento y la importancia de la carga (tabla 3.1).

*Tabla 3.1: Clasificación de los grupos de los cables para máquina de elevación
Fuente: [16]*

Grupo	Frecuencia de los movimientos	Importancia de la carga
I	Movimiento de precisión	Sin precisar
II	Movimiento poco frecuente	Raramente plena carga
	Movimiento frecuente	Raramente plena carga
III	Movimiento poco frecuente	Plena carga
IV	Movimiento frecuente	Plena carga
V	Movimiento frecuente	Todas las cargas en la industria siderúrgica.

En la tabla 3.2, se muestra la clasificación de los tambores según su aplicación.

Tabla 3.2: Clasificación según tipo de tambor
Fuente: [16]

	Tipo de aparato	Movimiento	Grupo	Observaciones
1	Polipasto y cabrestantes manuales	Cabrestante	II	
2	Puente grúa de central	Cabrestante	II	
3	Puente grúa para locomotoras	Cabrestante	II o III	III si trabaja normalmente a plena carga
4	Puente grúa de taller y de parque de pequeña potencia	Cabrestante	II o III	ver 3
5	Puente grúa de taller y de parque de gran potencia	Cabrestante auxiliar	II o III	
		Cabrestante principal	II	
6	Puente grúa de montaje	Cabrestante	II	
7	Puentes grúa de fundición	Cabrestante	II o III	Ver 3, grupo IV o V para las grúas de colada
8	Grúas de suspensión para máquinas de remachar	Cabrestante	II o III	
9	Grúas de astillero	Cabrestante	II o III	Ver 3
10	Grúas gigantes(también flotantes)	Variación de alcance	I	Grupo III o IV en el caso de riesgos elevados
		Cabrestante	I o II	
11	Grúas giratorias	Variación de alcance	I	
	a) Trabajo con gancho	Cabrestante	II o III	Ver 3
	b) Con cuchara prensora	Cabrestante	III o IV	IV si trabaja normalmente con cuchara. Las poleas de la cuchara tendrán el mismo diámetro que las otras
12	Grúas de canteras	Cabrestante	III	
13	Pórticos de descarga	Traslación del carro	I	

El diámetro del tambor se define como la siguiente expresión:

$$D = c * \sqrt{S}$$

Donde:

D : Diámetro primitivo del tambor en mm

S : Tracción máxima sobre un ramal del cable en kg

c : Coeficiente según tabla 3.3

En la tabla 3.3, se muestra los valores del coeficiente “ c ” en base al grupo identificado. Para este diseño se considera al tambor en el grupo II.

Tabla 3.3: Factores de seguridad “ v ” y coeficientes “ k ” y “ c ”
Fuente: [16]

Grupo	Cable		Tambor	Polea	Polea de compensación
	Valores de v para 160 Kg./mm ²	k	c	c	c
	Para cables de 160 y 180 Kg./mm ²				
I	5,5 a 6	0,30 a 0,32	5 a 6	5,5 a 7	4,5 a 5
II	5,5 a 6	0,30 a 0,32	6 a 7	7 a 8	4,5 a 5
III	6 a 7	0,32 a 0,34	7 a 8	8 a 10	5 a 6
IV	7 a 8	0,34 a 0,37	8 a 9	9 a 12	6 a 7,5
V	8 a 9,5	0,37 a 0,4	8 a 9	9 a 12	6 a 7,5

Entonces, para un grupo II (cabrestantes), se escoge un valor de “c” igual a 7, y tomando S igual a 2558 N como el valor de tracción máxima para la generación de energía hallado anteriormente.

$$D = 7 * \sqrt{\frac{2558}{9.8}} = \mathbf{114 \text{ mm}}$$

Sin embargo, como se usará un diámetro de cable menor a los usados en la norma DIN 4130 (mayores a 10 mm), se elige un diámetro mayor de tambor igual a 180 mm. Este valor deberá ser verificado en el análisis de esfuerzos.

b. Geometría de la garganta del tambor

En la figura 3.6 y tabla 3.4, se muestran los valores de la garganta del tambor según el diámetro del cable.

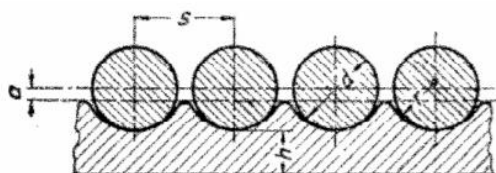


Figura 3.6: Parámetros de garganta del tambor
Fuente: [16]

Tabla 3.4: Valores de s, r y a, según diámetro del cable
Fuente: [16]

Diámetro del cable (mm)	10	13	16	19	22	27	33	40	44
s	12	15	18	22	25	31	37	45	49
r	5,5	7	9	10,5	12	15	18	22	24
a	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	5	6

Para este diseño se considera los valores de la tabla 3.4, donde se muestra el paso entre espiras (s), radio (r) y distancia del centro del cable al canal ranurado del tambor (a). Si bien el diámetro de cable que se usará es de 4 mm y en la tabla se muestra los valores para un diámetro mínimo de 10 mm, se usará la tendencia que hay entre los valores según el diámetro del cable. Entonces, se eligen los siguientes valores:

$$s = \mathbf{6 \text{ mm.}}$$

$$r = \mathbf{2.5 \text{ mm.}}$$

$$a = \mathbf{0.5 \text{ mm.}}$$

c. Longitud del tambor

La longitud del tambor se calcula tomando en cuenta que debido al tamaño del sistema, y con ello del tambor, el cable deberá alojarse en el tambor en varias capas. Esta longitud se define con la siguiente ecuación, la cual depende del paso entre espiras (s), la longitud del cable y el diámetro del tambor.

$$L_{tambor} = s * \left(\frac{L_{cable}}{\pi * D} + 3 \right)$$

$$L_{tambor} = 6 * \left(\frac{300}{\pi * 0.18} + 3 \right)$$

$$L_{tambor} = 3201 \text{ mm}$$

Ahora, esta longitud de tambor debería usarse si el cable estuviera distribuida en el tambor solo en una capa. Sin embargo, para este caso el cable se podrá enrollar como máximo 10 veces. Por lo que la longitud del tambor sería la siguiente.

$$L_{tambor} = \frac{3201}{10} = 320.1 \text{ mm}$$

Finalmente, se diseña el tambor con una longitud mayor e igual a 350 mm.

d. Espesor de garganta

El tambor se encuentra sometido a torsión; a un esfuerzo de flexión, originado por la tracción del cable; y a una esfuerzo de compresión, causado por el apriete del cable. En la figura 3.7, se muestra la sección del tambor con el cable enrollado

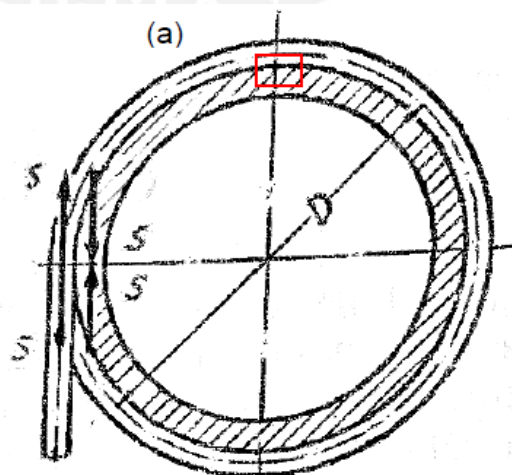


Figura 3.7: Solicitación a compresión del tambor
Fuente: [16]

Para el cálculo de los esfuerzos presentes en el tambor se toma como dato la fuerza de tracción máxima hallada anteriormente que es igual a 2558 N. Además, se asumirá el valor del espesor (5 mm) y se comprobará que no falle. En cuanto al factor de seguridad, se deberá cumplir que tenga un valor mayor a 2.

c1. Esfuerzo normal de compresión

Se calcula el esfuerzo de compresión, según la siguiente fórmula aproximada, donde “h” y “s”, son las mismas constantes definidas anteriormente.

$$\sigma_c = \frac{F_{tracción}}{h * s}$$

$$\sigma_c = \frac{2558}{5 * 6} = \mathbf{85.27 MPa.}$$

c2. Esfuerzo normal de flexión

Se calcula el esfuerzo de flexión originado por la tracción del cable, según la siguiente expresión.

$$\sigma_{f1} = 0.96 * F_{tracción} * \sqrt[4]{\frac{1}{D^2 * h^6}}$$

$$\sigma_{f1} = \mathbf{16.37 MPa.}$$

Además, debido al propio peso del cable, se genera un esfuerzo de flexión, según la siguiente expresión. El momento generado será multiplicado por 10 debido al número de vueltas del cable sobre el tambor.

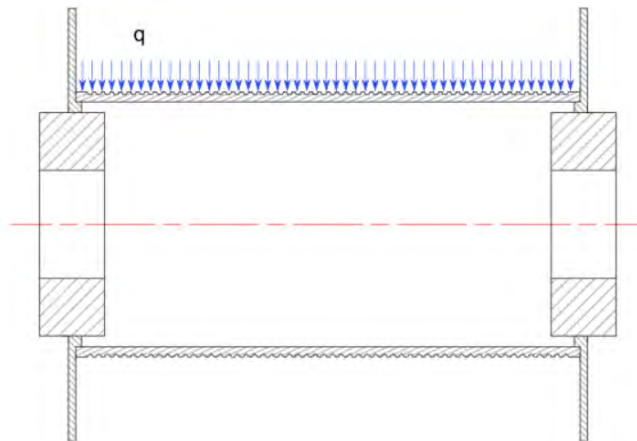


Figura 3.8: Fuerza distribuida del peso del cable sobre el tambor
Fuente: Propia

$$\sigma_{f2} = \frac{32 * M_{max} * d_{ext}}{\pi * (d_{ext}^4 - d_{int}^4)}$$

Donde:

M_{max} = momento máximo generado en la flexión.

$$q = \frac{g_t * l_{cable}}{l_{tambor}}$$

$$M_{max} = 10 * \frac{q * l_{tambor}^2}{8}$$

l_{cable} : longitud total del cable (300 m)

l_{tambor} : longitud del tambor (0.35 m)

g_t : masa: $0.011 \frac{kg}{m}$.

$$M_{max} = \frac{10 * 0.011 * 9.81 * 300 * 0.35}{8} = 14.16 \text{ N} * \text{m}.$$

$$\sigma_{f2} = \frac{32 * 14163 * 180}{\pi * (180^4 - 170^4)} = 0.12 \text{ MPa}.$$

Por tanto, el esfuerzo de flexión total es igual a:

$$\sigma_f = 16.37 + 0.12 = 16.49 \text{ MPa}.$$

c3. Esfuerzo cortante por torsión

Finalmente, se calcula el esfuerzo de torsión generado al enrollar el cable según la siguiente ecuación.

$$\tau_t = \frac{16 * M_{max} * d_{ext}}{\pi * (d_{ext}^4 - d_{int}^4)}$$

Donde:

$$M_{max} = F_{tracción} * \frac{d_{ext}}{2}$$

$$M_{max} = 2558 * \frac{0.18}{2} = 230.22 \text{ N} * \text{m}.$$

$$\tau_t = \frac{16 * 230220 * 180}{\pi * (180^4 - 170^4)} = 1 \text{ MPa}.$$

c4. Esfuerzo equivalentes

Una vez obtenido los esfuerzos de compresión, flexión y torsión, se hallan los esfuerzos principales según la siguiente ecuación.

$$\sigma_{1,2} = \frac{\sigma_f + \sigma_c}{2} \pm \frac{\sqrt{(\sigma_f + \sigma_c)^2 - 4 * (\sigma_f * \sigma_c - \tau_t^2)}}{2}$$

Se obtiene los siguientes valores de esfuerzos, con ellos se calcula el esfuerzo equivalente según Von Mises con la siguiente ecuación.

$$\sigma_1 = 85.28 \text{ MPa.}$$

$$\sigma_2 = 16.48 \text{ MPa.}$$

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 * \sigma_2}$$

$$\sigma_{eq} = 78.35 \text{ MPa.}$$

El material del tambor será de acero A36 debido a sus propiedades de soldabilidad y maquinabilidad. Este acero cuenta con una resistencia a la fluencia de 250 MPa, con este valor se halla el factor de seguridad, el cual es mayor a 2, valor que se buscaba inicialmente. Además, como se sugiere en [16] y [17], para un servicio más exigido como plenas cargas, choques o sobrecargas, se disminuye el esfuerzo admisible en un 20 %, con ello se obtiene lo siguiente:

$$\sigma_{eq} < \frac{\sigma_{adm} * 0.8}{FS}$$

$$FS = \frac{250 * 0.8}{78.35} = 2.5$$

e. Cálculo del cordón de soldadura del tambor con las tapa laterales

El tambor a diseñar estará compuesto por el tubo donde se alojará el cable y de las formas constructivas definidas en los puntos anteriores. Este tubo, estará soldado en ambos lados con las tapas y con los cubos diseñados en base al elemento de transmisión de torque a usar, el cual es un elemento de

sujeción cónica. En la figura 3.9, se muestra la ubicación donde se soldará. Se utiliza la expresión del esfuerzo torsor en soldaduras circulares, la cual se muestra a continuación.

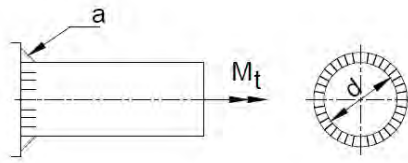


Figura 3.9: Soldadura sometida a un momento torsor
Fuente: [18]

$$\tau_t = \frac{M_{max} * r}{I_o} = \frac{16 * M_{max} * (d + 2a)}{\pi * [(d + 2a)^4 - d^4]}$$

Para este cálculo se asumirá un valor de cordón igual a 3 mm y luego se verificará mediante el cálculo del factor de seguridad, el cual deberá ser mayor a 3.5.

$$\tau_t = \frac{16 * 230220 * (186)}{\pi * [(186)^4 - 180^4]} = \mathbf{1.48 MPa.}$$

Ahora, se toma como material base el acero de designación S235 (Euronorma), el cual tiene un esfuerzo de fluencia igual a 235 MPa. Con este valor se obtiene un valor de factor de seguridad mucho mayor a lo requerido inicialmente.

3.3.2. Planos de ensamble

Estación en tierra

En la figura 3.10, se muestra la vista isométrica de la estación en tierra del sistema generador de energía. Esta está cubierta de planchas de fibra de vidrio en las partes laterales, frontal y superior, mas no en la parte de la trasera. Las medidas del sistema son de 2090 mm x 505 mm x 1085 mm.

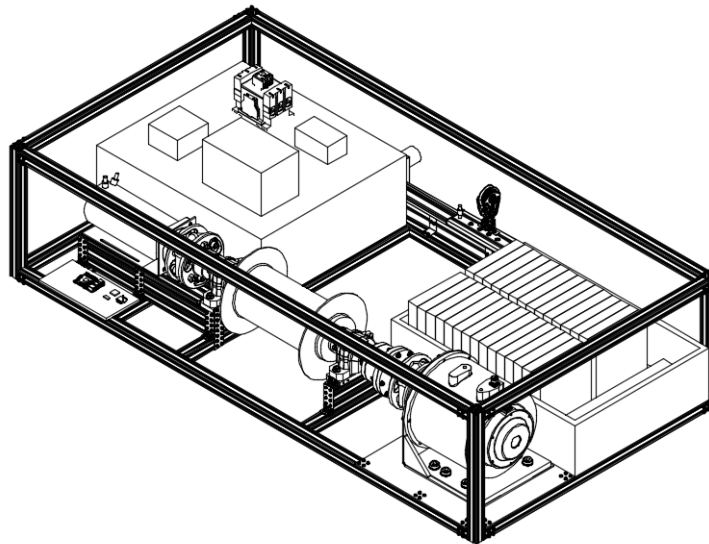


Figura 3.10: Vista isométrica de la estación en tierra del sistema generador de energía
Fuente: Propia

En las figuras 3.11 y 3.12, se muestran la vista superior y la sección A-A, respectivamente. En la primera, se destaca cuatro componentes principales. El número uno hace referencia a la estructura principal que está comprendida por perfiles extruidos de aluminio. El número 27 hace referencia al tambor en el cual irá enrollado el cable para que salga en dirección a la polea que se encuentra en la parte superior, la cual es parte del actuador lineal (42). Este último, se desplazará mientras se desenrolla el cable del tambor con el fin de mantener el cable siempre paralelo a la dirección de salida y evitar que este se enrede. Finalmente, el número 52 señala al banco de baterías (8 en total) que está comprendida por baterías de fosfato de hierro y litio. Además, en la zona B se ubica la parte de potencia del sistema para el motor que comprende el contactor, convertidor de frecuencia, seccionador y estación de pulsadores. En la figura 3.12, se destaca el motor (18) y el generador (10). Ambos están acoplados directamente con el árbol de transmisión (26) mediante acoples flexibles. Para mayor detalle, consultar los planos anexados donde se muestran todos los elementos.

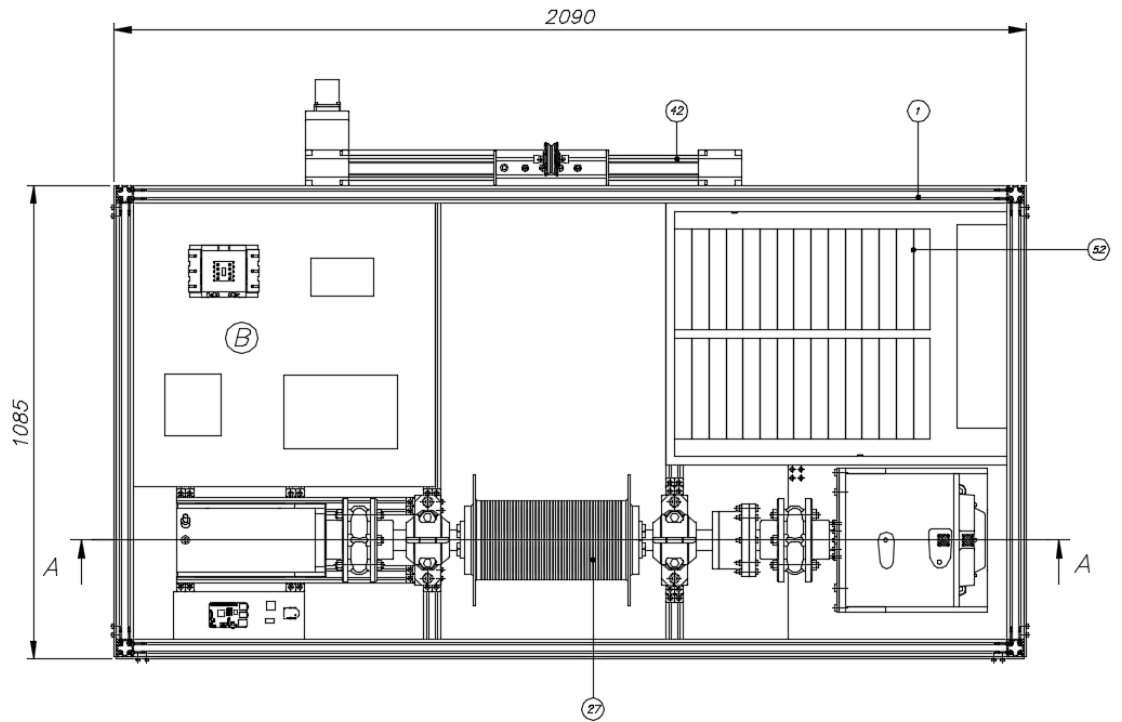


Figura 3.11: Vista superior de la estación en tierra
Fuente: Propia

SECCIÓN A-A

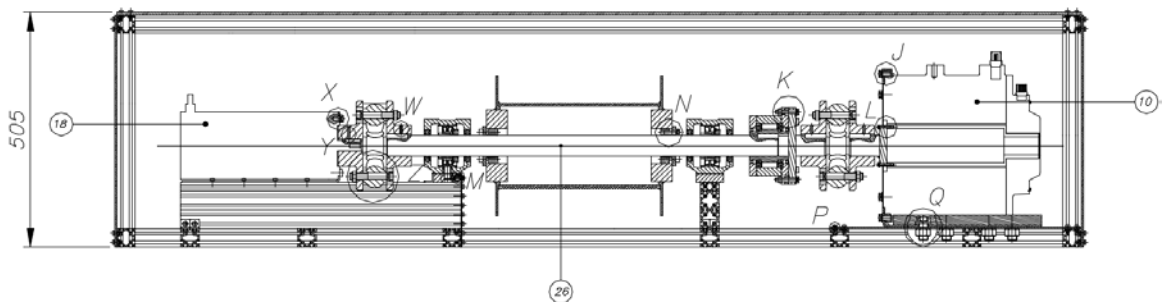


Figura 3.12: Sección A-A de estación en tierra
Fuente: Propia

Subsistema actuador lineal

En las figuras 3.13 y 3.14, se muestran las vistas superior y la sección A-A del subsistema actuador lineal, el cual, como se mencionó, tiene como función mantener la salida del cable paralelo a la dirección de salida. Para dicho fin este actuador lineal cuenta con un sistema de transmisión que lo comprende un motor paso a paso (16), un reductor planetario (14) y una faja síncrona (3). Sobre la estructura principal (1), se desplaza un soporte tipo bloque (4), en el cual se encuentra la polea (19). Para mayor detalle, consultar los planos anexados donde se muestran todos los elementos.

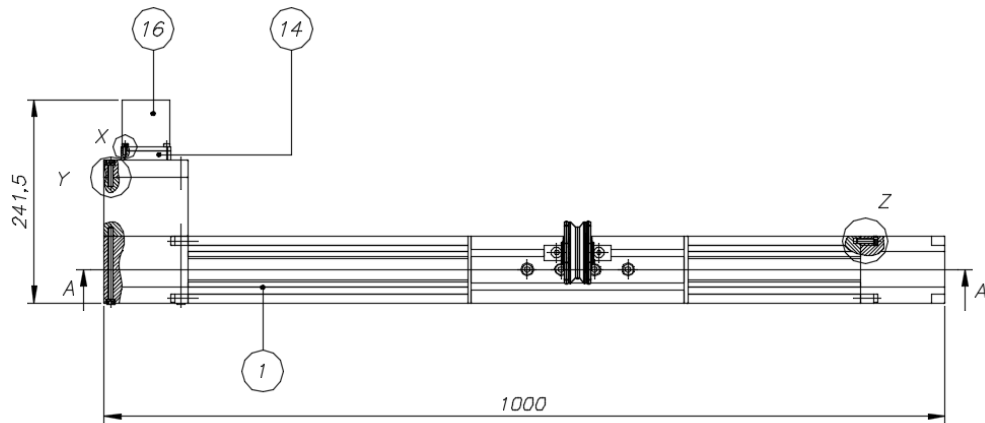


Figura 3.13: Vista superior de actuador lineal
Fuente: Propia

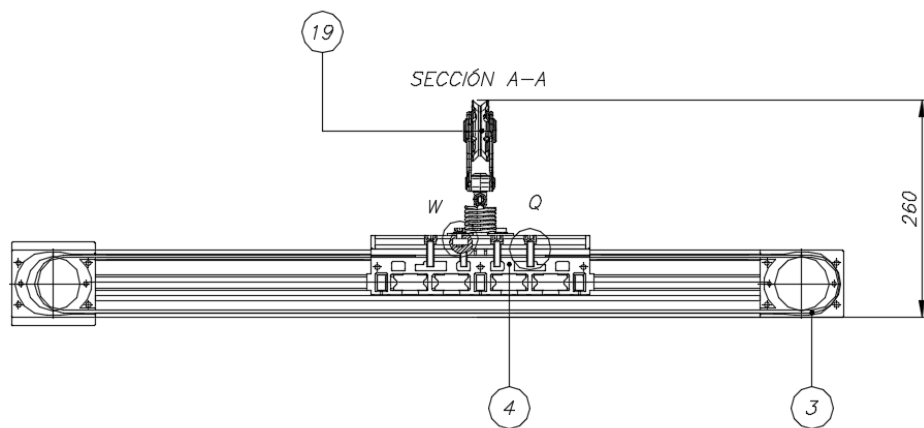


Figura 3.14: Sección A-A de actuador lineal
Fuente: Propia

Unidad de control

En la figura 3.15, se muestra la vista isométrica de la unidad de control, la cual tiene como función principal direccionar la cometa en las etapas de generación y retorno.

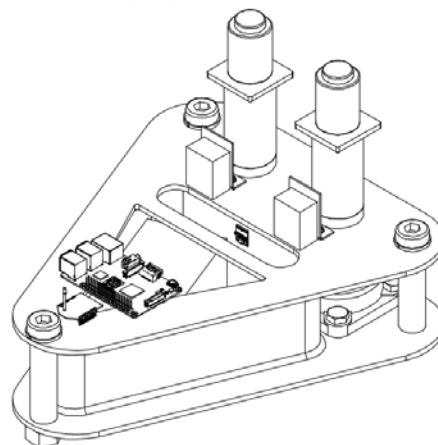


Figura 3.15: Vista isométrica de unidad de control
Fuente: Propia

En las figuras 3.16 y 3.17, se muestran las vistas superior y posterior de la unidad de control. Sobre la estructura principal (1), la cual está soldada, se une, mediante uniones atornilladas, el reductor planetario (6) y el motor sin escobillas (7). Ambos están acoplados directamente mediante un árbol de transmisión a un tambor (9). Como se aprecia se tiene en total dos poleas, dos reductores y dos motores, cada uno de ellos forma un sistema de transmisión.

Este sistema tiene como función direccionar la cometa en dos etapas: etapa de generación y etapa de retorno. En la etapa de generación, si se aprecia la vista posterior (figura 3.17), en el tambor del sistema de transmisión de la parte izquierda se enrolla un cable que va hacia los dos extremos de la cometa con el fin de direccionarla para formar una trayectoria en forma de ocho. Este tipo de trayectoria tiene como propósito que los cables de la cometa no se enreden cuando se está generando energía [13]. En la etapa de retorno, en la polea del sistema de transmisión de la parte derecha se enrolla un cable que va hacia los extremos de la cometa con el fin de modificar la forma de la cometa para evitar un consumo de energía mayor al que se generó. Para mayor detalle, consultar los planos anexados donde se muestran todos los elementos.

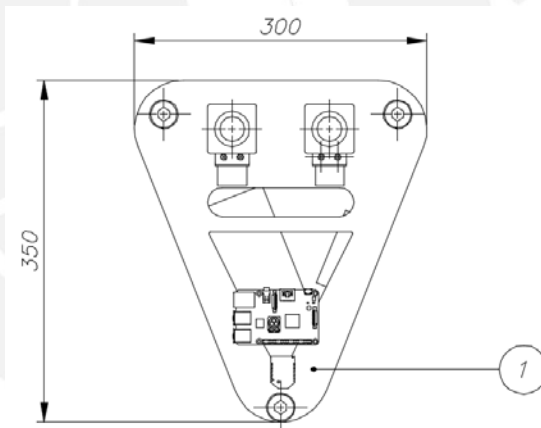


Figura 3.16: Vista superior de unidad de control
Fuente: Propia

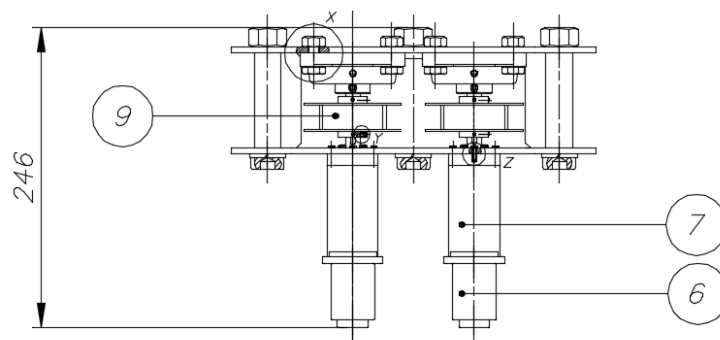


Figura 3.17: Vista posterior de unidad de control
Fuente: Propia

3.4. Diseño electrónico y eléctrico

En primer lugar, se desarrolla el diagrama de bloques con los diferentes componentes de energía, sensores y actuadores, así como la manera en que estarán conectados. Luego, se desarrolla la selección de dichos componentes.

3.4.1. Diagrama de bloques

En la figura 3.18, se presenta las conexiones de los diferentes componentes electrónicos ubicados en la estación en tierra. El procesamiento se realizará por medio de un Raspberry Pi 2 debido al nivel de procesamiento que tiene, además de que acepta programación en tiempo real. A esta tarjeta, estarán conectados el módulo Xbee, el sensor infrarrojo de temperatura, el sensor voltaje y el convertidor de frecuencia (ACS310), el cual se conectará con el motor de imanes permanentes (145 ST); finalmente, se muestra la conexión del generador (300 ST) a un convertidor AC/DC y luego a las baterías de fosfato de hierro y litio. Además, se muestran los pines de cada dispositivo unido al Raspberry.

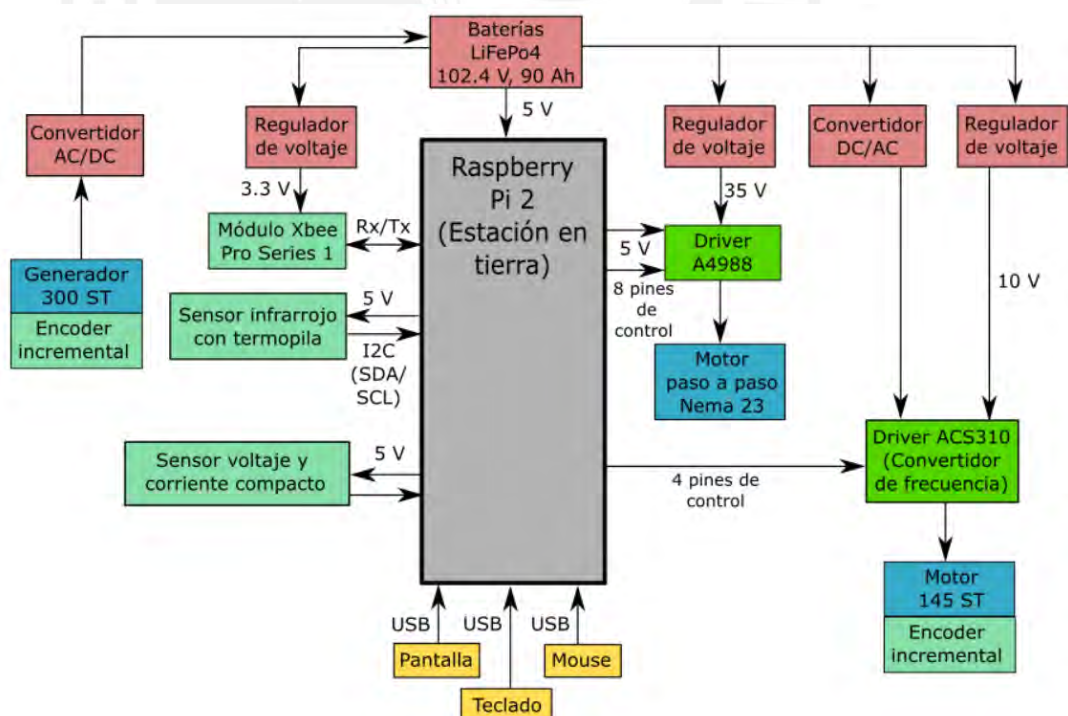


Figura 3.18: Diagrama de bloques de los componentes ubicados en la estación en tierra
Fuente: Propia

En la figura 3.19, se muestran las conexiones de los diferentes dispositivos electrónicos ubicados en la unidad de control, la cual está ubicada debajo de la estructura de la cometa. En la unidad de control, se tendrán principalmente los motores que en este caso serán dos motores sin escobillas (“brushless”), cada uno estará conectado mediante dos cables a los extremos de la cometa. Para ejecutar el procesamiento se tiene una tarjeta Raspberry Pi 2, al cual también estarán conectados un módulo Xbee, un sensor de temperatura infrarrojo para monitorear la temperatura de los motores y la célula de carga para medir la fuerza en el cable.

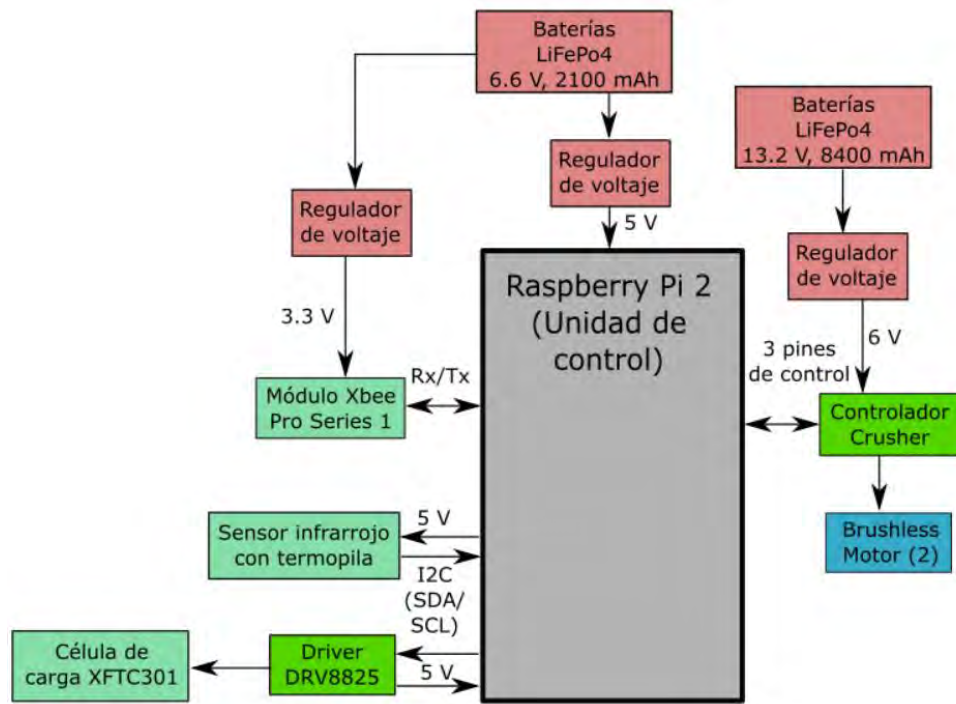


Figura 3.19: Diagrama de bloques de los componentes ubicados en la unidad de control
Fuente: Propia

En la figura 3.20, se muestran las conexiones de los diferentes componentes electrónicos ubicados en la cometa. El procesamiento se realizará por medio de una tarjeta raspberry Pi 2, al cual estarán conectados el módulo IMU/GNSS (Spatial), el sensor de presión (MS4525DO) y el módulo Xbee. Estos componentes se ubican en la cometa debido a que se necesitan que estén direccionados directamente hacia el cielo y fuera de cualquier campo magnético, en el caso de módulo Spatial; y en la misma dirección que la cometa, en el caso del sensor de presión.

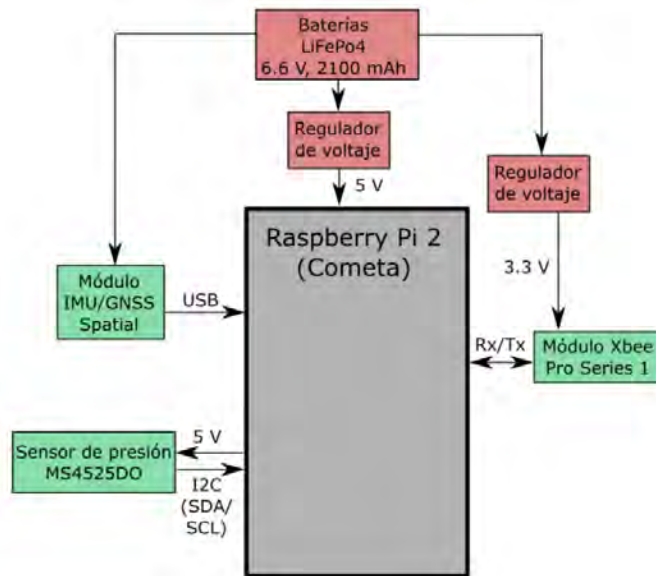


Figura 3.20: Diagrama de bloques de los componentes ubicados en la cometa
Fuente: Propia

3.4.2. Componentes electrónicos y eléctricos

La selección de componentes se realiza en base a los criterios definidos tanto en la lista de requerimientos como en la estructura de funciones.

Sensores

Módulo de determinación de posición

Este módulo permitirá conocer el estado de la posición, velocidad, aceleración y orientación de la cometa. Este dispositivo puede estar compuesto por un GPS o GNSS, y una unidad de medición inercial. Ambos, al estar integrados, permiten que se tengan medidas más exactas. Además, estos dispositivos cuentan con un sensor de presión que permiten llevar un control de dicha variable. Esta, es mayormente empleada cuando se trata de sistemas aéreos.

Las variables mencionadas anteriormente permiten que se pueda llevar un control de la posición de la estación en tierra, así como de la cometa. En la tabla 3.5, se muestran los parámetros requeridos para el sistema.

Tabla 3.5: Requerimientos del sensor de posición
 Fuente: www.sparkfun.com/pages/accel_gyro_guide

Criterio	Valor
Número de variables de medición	10
Rango del acelerómetro	$> \pm 8g$
Rango del giroscopio	$> \pm 360 \text{ }^\circ/s$
Rango del magnetómetro	$> \pm 1.5 \text{ Gauss}$
Rango del sensor de presión	$< 100 \text{ kPa}$
Peso	$< 100 \text{ g}$

En la tabla 3.6, se muestran tres sensores que cumplen con por lo menos tres de los parámetros requeridos. Como se aprecia, el sensor que cumple con todos los requerimientos es el sensor modelo Spatial de Advanced Navigation (figura 3.21). Este cuenta además con un filtro avanzado más robusto que el filtro Kalman y una batería propia que le permite funcionar hasta 48 horas. Algunos parámetros adicionales de este sensor se muestran en la tabla 3.7.

Tabla 3.6: Sensores de detección de posición
 Fuente: <https://www.advancednavigation.com.au>
 Fuente: www.inertiallabs.com
 Fuente: www.vectornav.com

Sensor	Número de variables	Rango del acelerómetro	Rango del giroscopio ($^\circ/s$)	Rango del magnetómetro (Gauss)	Rango de sensor de presión (kPa)	Masa (g)
VN-200	10	$\pm 16g$	± 2000	± 2.5	1 - 120	49
Spatial	10	$\pm 2g, \pm 4g, \pm 16g$	$\pm 250, \pm 500, \pm 2000$	$\pm 2, \pm 4, \pm 8$	10 - 120	37
INS-P	10	$\pm 8g$	± 450	± 1.6	1 - 110	280



Figura 3.21: Sensor Spatial
 Fuente: <https://www.advancednavigation.com.au>

Tabla 3.7: Características adicionales del sensor de posición
Fuente: <https://www.advancednavigation.com.au/>

Características Adicionales	
Voltaje de alimentación	(5 a 36) V
Comunicación	RS232
Dimensiones	30 mm x 40.6 mm x 24 mm

Medición de velocidad del viento

La medición de la velocidad del viento se puede realizar de forma directa con dispositivos como los anemómetros y veletas; también esta medición se puede realizar de forma indirecta midiendo la presión con instrumentos como tubos de Pitot y tubos de Prandtl. Para este sistema, la medición de la velocidad del viento se hará mediante la medición de la presión. En la tabla 3.8, se muestra la variable requerida para la elección de este instrumento.

Tabla 3.8: Requerimientos del sensor de velocidad de viento

Criterio	Valor
Velocidad	< 15 m/s

En la tabla 3.9, se muestran los diferentes tipos de instrumentos seleccionados. Para este sistema se elige el sensor de presión MS4525DO (figura 3.22) debido a su rango de medición y peso. Además, este sensor cuenta con las características adicionales mostradas en la tabla 3.10.

Tabla 3.9: Sensores de velocidad de viento
Fuente: <http://www.eagletreesystems.com/>
Fuente: www.digikey.com

Sensor	Rango
Tubo de cuatro orificios en forma de L	< 3 m/s
Microsensor V3	< 150 m/s
MS4525DO	< 100 m/s

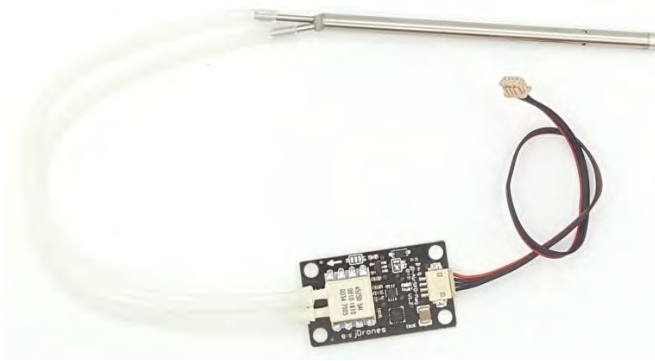


Figura 3.22: Sensor MS4525DO
Fuente: www.digikey.com

Tabla 3.10: Características adicionales del sensor de velocidad de viento
Fuente: www.digikey.com

Características Adicionales	
Voltaje de operación	(2.7 a 5.5) V
Máxima presión	300 psi
Masa	3 g

Sensor de temperatura

Este sensor será usado para monitorear las baterías ubicadas tanto de la estación en tierra como de la unidad de control en el aire, debido a la eficiencia que se busca que trabajen cada uno de ellos. En la tabla 3.11, se muestra el requerimiento que se busca.

Tabla 3.11: Requerimientos sensor de temperatura

Criterio	Valor
Rango de temperatura	0 °C a 80 °C

En la tabla 3.12, se muestran tres tipos de sensores con sus respectivos rangos.

Tabla 3.12: Sensores de temperatura
Fuente: www.sparkfun.com
Fuente: www.digikey.com

Sensor	Rango
MAX31855K	(-200 a +700) °C
TMP102	(-25 a +85) °C
TMP006	(-40 a +125) °C

Se seleccionó el sensor TMP006 (figura 3.23) ya que tiene una precisión alta, y su modo de funcionamiento no requiere estar en contacto con el componente a medir, debido a que usa una termopila que absorbe la energía infrarroja emitida

Tabla 3.15: Sensores de voltaje y corriente
Fuente: www.sparkfun.com

Sensor	Máximas mediciones
AttoPilot	90 A, 51.8 V
ACS712	30 A
LTC4150	50 mV

El sensor que se eligió es el sensor de voltaje y corriente de la marca AttoPilot (figura 3.24), el cual cuenta con los siguientes datos técnicos mostrados en la tabla 3.16.



Figura 3.24: Sensor AttoPilot
Fuente: www.sparkfun.com

Tabla 3.16: Características adicionales del sensor de voltaje y corriente
Fuente: www.sparkfun.com

Características Adicionales	
Máxima corriente	178.8 A
Máximo voltaje	51.8 V
Dimensiones	4 mm x 15 mm x 19 mm

Sensor de fuerza

Este sensor es usado para medir la fuerza de tracción del cable y así evitar fuerzas elevadas en el cable. En la tabla 3.17, se muestra el valor mínimo que se requiere del sensor.

Tabla 3.17: Requerimientos sensor de fuerza

Criterio	Valor
Rango	(0 a 4) kN

En la tabla 3.18, se muestra los tres tipos de sensores seleccionados. Si bien los tres cumplen con el parámetro del rango que se requiere, por configuración se selecciona el sensor XFTC300 (figura 3.25). En la tabla 3.19, se muestran algunos datos técnicos adicionales.

Tabla 3.18: Sensores de fuerza
 Fuente: www.te.com
 Fuente: www.sensores-de-medida.es

Sensor	Rango	Tipo
XFTC300	(0 a 10) kN	Rosca macho
Serie TS	(0 a 5) kN	Tipo S
Serie TC4	(0 a 5) kN	Rosca hembra



Figura 3.25: Sensor de fuerza XFTC300
 Fuente: www.te.com

Tabla 3.19: Características adicionales del sensor de fuerza
 Fuente: www.te.com

Características Adicionales	
Voltaje de alimentación	10 V
Precisión	± 0.5
Material	Acero inoxidable

Módulo de comunicación inalámbrica

Debido a que se tiene una estación en tierra y la cometa, debe haber una comunicación entre estos dos sistemas. Una de las alternativas es una conexión directa mediante un cable. Sin embargo, esto aumentaría el peso y fuerza de arrastre. Por ello, lo que se propone es una transmisión inalámbrica entre la estación en tierra y la cometa. Además, el procesamiento de todos los datos tomados de los sensores se realizará en la estación en tierra. En la tabla 3.20, se muestran los diferentes módulos de comunicación.

Tabla 3.20: Módulo de comunicación inalámbrica
 Fuente: www.sparkfun.com

Sensor	Rango	Tasa de transmisión
XBee (Pro Series 1)	1500 m	256 Kbps
Wifi (RN-131C)	100 m	1 Mbps
Bluetooth (RN-42)	20 m	3 Mbps

Se seleccionó el módulo XBee Pro Series 1 (figura 3.26) debido a que cuenta con un rango mayor de comunicación, el cual es necesario debido a la altura que operará la cometa. Además, estos módulos permiten tener una comunicación simple y confiable con un módulo, ya sea con una computadora o microcontrolador que cuente con un puerto serial. Finalmente, esta serie de módulos no necesita una configuración inicial. En la tabla 3.21, se muestra algunas de las características del módulo Xbee Pro Series 1.



Figura 3.26: Módulo de comunicación Xbee
Fuente: www.sparkfun.com

Tabla 3.21: Características adicionales del módulo de comunicación
Fuente: www.sparkfun.com

Características Adicionales	
Voltaje de operación	3.3 V
Corriente de operación	215 mA
Pines digitales E/S	8
Antena	Whip Antena

Motores, generador y encoders

El motor a usar en este sistema tendrá la función de retornar la cometa una vez que el cable haya llegado a su longitud máxima. Por su parte, el generador será accionado en la etapa de generación cuando la cometa está siendo llevada por el viento. De acuerdo a los cálculos realizados (Anexo D), en la tabla 3.22 y 3.23 se muestran los requerimientos del motor y generador, respectivamente.

Tabla 3.22: Requerimientos del motor

Criterio	Valor
Torque	61 N.m (mínima)
Velocidad angular	700 RPM (máxima)

Tabla 3.23: Requerimientos del generador

Criterio	Valor
Torque	120 N.m (mínima)
Velocidad angular	350 RPM (máxima)

En la tabla 3.24, se muestran tres tipos de motores-generadores con sus respectivos datos técnicos.

Tabla 3.24: Motores y generadores
Fuente: www.alxion.com

Motor/Generador	Torque (N.m)	Velocidad angular (RPM)	Encoder	Masa (kg)
145 STK	11.2 - 47	650 - 1500	Sí	6.2 - 18.7
190 STK	27.2 - 106.1	500 - 1500	Sí	13 - 40
300 STK	52.5 - 415	350 - 800	Sí	11.5 - 57

Para el motor, se seleccionó el modelo 300STK2M del fabricante Alxion (figura 3.27), ya que satisface el requerimiento del torque a baja velocidad. En la tabla 3.25, se muestran otras especificaciones técnicas de este motor.

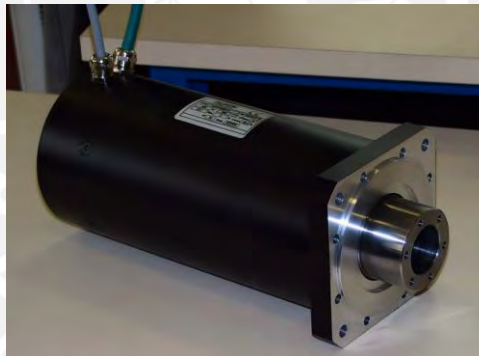


Figura 3.27: Motor de imanes permanentes
Fuente: www.alxion.com

Tabla 3.25: Características adicionales del motor
Fuente: www.alxion.com

Características Adicionales	
Voltaje de operación	258 V (AC)
Torque	104 Nm
Masa	18 kg

Para el generador, se seleccionó el modelo 300STK8M del fabricante Alxion (figura 3.28), ya que satisface los valores de torque y velocidad angular. En la tabla 3.26, se muestran otras especificaciones técnicas del generador.



Figura 3.28: Generador de imanes permanentes
Fuente: www.alxion.com

Tabla 3.26: Características adicionales del generador
Fuente: www.alxion.com

Características Adicionales	
Voltaje de operación	258 V (AC)
Torque	415 Nm
Masa	57 kg

Tanto el motor como el generador incluyen en su estructura un encoder rotatorio ERN 1387 y un sensor de temperatura KTY84 con rango de operación de $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+300\text{ }^{\circ}\text{C}$. Las características del encoder se muestran en la tabla 3.27.

Tabla 3.27: Características del encoder del motor y generador
Fuente: www.alxion.com

Características Adicionales	
Voltaje de operación	5 V
Corriente de operación	$\leq 130\text{ mA}$
Velocidad angular permisible	$\leq 2000\text{ RPM}$

Controlador

El controlador será el encargado de procesar la información recibida de los sensores para controlar los motores u otro actuador. Para esta selección se tiene en cuenta el número de pines necesarios, así como los tipos de pines para la conexión con el módulo Xbee, los sensores de temperatura, fuerza y motores. Finalmente, este procesador debe ser capaz de procesar la información rápidamente y que se pueda realizar un procesamiento en tiempo real. En la tabla 3.28, se muestran los requerimientos del controlador.

Tabla 3.28: Requerimientos del controlador

Criterio	Valor
Número mínimo de pines digitales	20
Número mínimo de pines analógicos	4
Comunicación I2C y UART	Sí

En la tabla 3.29, se muestran las diferentes alternativas para el controlador.

Tabla 3.29: Controladores y sus características
Fuente: www.sparkfun.com

Controlador	Comunicación I2C y UART	Pines Digitales	Pines Analógicos	Precio
Arduino Mega 2560	Sí	54	16	\$ 45.95
Raspberry Pi 2	Sí	40	7	\$ 49.99
BeagleBone Black A8	Sí	65	7	\$ 54.95

A pesar de que todos satisfacen los requerimientos de número y tipos de pines, la información desarrollada del uso de diferentes librerías de estos controladores tiene un rol importante, ya que se cuenta con mayor información de las tarjetas de arduino y raspberry. Por otro lado, comparando estos dos últimos, el raspberry (figura 3.29) tiene una frecuencia de reloj mayor y admite una programación en tiempo real, por lo que se elige el raspberry para el sistema. En la tabla 3.30, se muestran algunos parámetros adicionales.



Figura 3.29: Tarjeta Raspberry Pi 2
Fuente: www.sparkfun.com

Tabla 3.30: Características adicionales del controlador
Fuente: www.sparkfun.com

Características Adicionales	
Alimentación	5 V @ 2 A
Frecuencia de reloj	900 MHz
Microcontrolador	ARMv7 Quad Core

Convertidor analógico/digital para célula de carga

Debido a que la célula de carga usada para la medición de fuerza del cable necesita una conexión mediante un puente de Wheastone, se usa un convertidor análogo a digital HX711 (figura 3.30) que permite obtener el valor de fuerza usando un valor de voltaje.

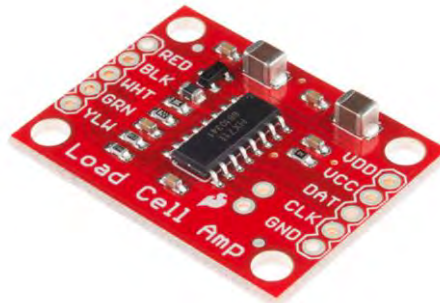


Figura 3.30: Transmisor de célula de carga
Fuente: www.sparkfun.com

Motor para actuación lineal de la polea

Según los cálculos (anexo D), se necesita un torque máximo de 14 Nm para poder desplazar linealmente la polea. Para ello se selecciona un motor paso a paso para lograr un desplazamiento controlado. Sin embargo, como los motores pequeños tienen máximo un torque de 10 Nm aproximadamente, se selecciona también un reductor para ir acoplado al motor como se muestra en la figura 3.31.



Figura 3.31: Motor Nema 23 acoplado a reductor
Fuente: <http://www.omc-stepperonline.com/>

En las tablas 3.31 y 3.32, se muestran algunas características del motor y del reductor planetario.

Tabla 3.31: Características adicionales del motor Nema 23
 Fuente: <http://www.omc-stepperonline.com/>

Características Adicionales	
Voltaje de operación	24 V a 48 V
Torque	4.78 Nm
Resolución de motor	0.42 °

Tabla 3.32: Características adicionales del reductor planetario
 Fuente: <http://www.omc-stepperonline.com/>

Características Adicionales	
Ratio	4.25
Torque	20 Nm a 30 Nm
Eficiencia	90%

Motores para unidad de control

Estos motores serán los encargados de direccionar la cometa en las fases de generación y retorno. Uno de ellos direccionará la cometa para que esta forme una figura de ocho. Mientras que la otra modificará la forma de la cometa para que se produzca menos fuerza de arrastre en la etapa de retorno. Para ello, estos motores deberán tener una velocidad alta. De los cálculos (Anexo D), se concluye que se debe tener un torque máximo de 40 Nm. Dicho torque deberá ser provisto por un reductor. Para el caso del motor, se usarán los motores brushless de la marca Novak (figura 3.32) debido a su relación alta de velocidad/masa. Además, para el caso del reductor, se consideró como factor principal la masa y la variable del torque necesario. Por ello, se seleccionó los reductores planetarios de la marca maxon (figura 3.33). En las tablas 3.33 y 3.34, se muestran algunas características adicionales de los componentes mencionados.



Figura 3.32: Motor brushless Ballistic
 Fuente: www.teamnovak.com

Tabla 3.33: Características del motor brushless
Fuente: www.teamnovak.com

Características Adicionales	
kV (RPM/Volt)	1350
Potencia	85 W
Masa	187 g



Figura 3.33: Reductor planetario Maxon
Fuente: www.maxonmotor.com

Tabla 3.34: Características del reductor planetario
Fuente: www.maxonmotor.com

Características Adicionales	
Reducción	43:1
Máximo torque	60 Nm
Masa	187 g

Baterías

Baterías en estación en tierra

Estas baterías deben dar la energía suficiente a todos los componentes ubicados en tierra, principalmente al motor, ya que este necesita un mayor voltaje y corriente. La selección de esta batería se hace en base a la corriente de arranque que necesita el motor, que según la hoja de datos es de 25 A. Además, otro factor importante es que estas baterías tenga un bajo mantenimiento o mantenimiento cero y que soporten varios ciclos de carga y descarga. Por ello, se selecciona las baterías de fosfato de hierro y litio de la marca Victron Energy (figura 3.34). En la tabla 3.35, se muestra algunas características adicionales.



Figura 3.34: Baterías de fosfato de hierro y litio Victron Energy
 Fuente: <https://www.victronenergy.com.es>

Tabla 3.35: Características de las baterías Victron Energy
 Fuente: <https://www.victronenergy.com.es>

Características Adicionales	
Tensión	12.8 V
Capacidad	90 Ah
Masa	16 kg

Baterías unidad de control

Para la elección de estas baterías se considera el uso de dos baterías diferentes debido a que los motores ubicados en la unidad de control necesitan una corriente de 5 A para su alimentación, mientras que la corriente de los otros componentes conectados a la tarjeta Raspberry Pi demandan un consumo mucho menor. Por ello, se elige para la alimentación de los motores unas baterías de hierro fosfato de 8400 mAh (figura 3.35), lo que permite tener un funcionamiento de aproximadamente 1.5 horas. En la tabla 3.36, se muestran algunas características adicionales.



Figura 3.35: Batería Zippy
 Fuente: <http://www.hobbyking.com/>

Tabla 3.36: Características de la batería Zippy
Fuente: <http://www.hobbyking.com/>

Características Adicionales	
Tensión	13.2 V
Capacidad	8400 mAh
Masa	1026 g
Dimensiones	150 mm x 52 mm x 70 mm

Para los componentes como el Raspberry, Xbee y el sensor de temperatura se usará otra batería con menor capacidad debido a que necesitan menos corriente que los motores. Su elección se hará en base al tiempo que estarán funcionando los motores que es aproximadamente 1.5 horas. Por ello, se elige unas baterías de hierro fosfato de 2100 mAh (figura 3.36), las cuales garantizan aproximadamente el mismo tiempo de funcionamiento que los motores. Además, estas baterías también se usarán para los componentes ubicados en la cometa para garantizar el mismo tiempo de funcionamiento de todos los componentes. En la tabla 3.37, se muestran algunas características adicionales.



Figura 3.36: Baterías Nano-tech
Fuente: <http://www.hobbyking.com/>

Tabla 3.37: Características de la batería nano-tech
Fuente: <http://www.hobbyking.com/>

Características Adicionales	
Tensión	6.6 V
Capacidad	2100 mAh
Masa	103 g
Dimensiones	80 mm x 44 mm x 16 mm

Etapas de potencia

Convertidor de frecuencia

Para el control del motor seleccionado anteriormente, entre los drivers compatibles con los motores seleccionados, se encuentran los drivers de la serie

ACS de la marca ABB. Para la selección de este, se cuenta con el dato de la corriente pico del motor que es igual a 91.1 A. En la tabla 3.38, se muestran algunas características de este driver ACS310 (ver figura 3.37).



Figura 3.37: Convertidor de frecuencia ACS310
Fuente: www.new.abb.com

Tabla 3.38: Características del convertidor de frecuencia
Fuente: www.new.abb.com

Características	
Voltaje de operación	(200 a 240) V (AC)
Corriente nominal de salida	50.8 A
Corriente pico de salida	91.44 A
Masa	4.4 kg
Dimensiones	244 mm x 260 mm x 169 mm

Contactor

Este dispositivo sirve para aislar el motor de la alimentación, evitando así que el motor esté energizado ni bien se conecte a la red trifásica. La selección de este dispositivo se hizo en base al valor de corriente pico del motor que es 91 A y de la categoría de empleo AC3, que hace referencia al uso para arranque de motores. Se seleccionó el contactor Tesys modelo LC1D1156P7 (figura 3.38). Este contactor presenta 1 contacto auxiliar y un contacto normalmente cerrado (NC) y tiene incorporado fusibles gG.



Figura 3.38: Contactor TeSys
Fuente: <http://www.schneider-electric.es/>

Seccionador portafusible

Este dispositivo sirve para proteger el motor y convertidor de cortocircuitos. Su selección se hizo en base a las recomendaciones del fabricante del convertidor de frecuencia ABB, el cual recomienda seccionadores en base a la norma IEC 60947-3. Se seleccionó el seccionador portafusibles TeSys modelo DF223NC (figura 3.39), el cual soporta una corriente de 125 A y está equipado con fusibles gG de dimensiones 22 mm x 58 mm.



Figura 3.39: Seccionador portafusible
Fuente: <http://www.schneider-electric.es/>

Estación de pulsadores

Para realizar la puesta en marcha y el paro del control del motor se necesita de dos pulsadores, uno normalmente abierto (puesta en marcha) y otro normalmente cerrado (paro del motor). Se seleccionó la estación de pulsadores Harmony XAW modelo XAGG210EX (figura 3.40), el cual se escogió en base al requerimiento de contactos abiertos y cerrados.



Figura 3.40: Estación de pulsadores
Fuente: <http://www.schneider-electric.es/>

3.4.3. Diagramas eléctricos y electrónicos

A continuación, se representan los diagramas eléctricos y electrónicos (esquemáticos). Estos se han realizado en base a las conexiones que recomiendan cada fabricante de los componentes en las hojas de datos.

En la figura 3.41, se presenta el diagrama eléctrico del motor. En este, se presenta el convertidor de frecuencia, el motor, el contactor, el seccionador y los pulsadores antes descritos. Además, se puede visualizar los diámetros de los cables a usar. Para el caso de los cables que van desde la alimentación hasta el motor se usa cables de diámetro 25 mm², y para la puesta a tierra un diámetro de 16 mm², según recomendaciones del fabricante en base a la corriente pico del motor.

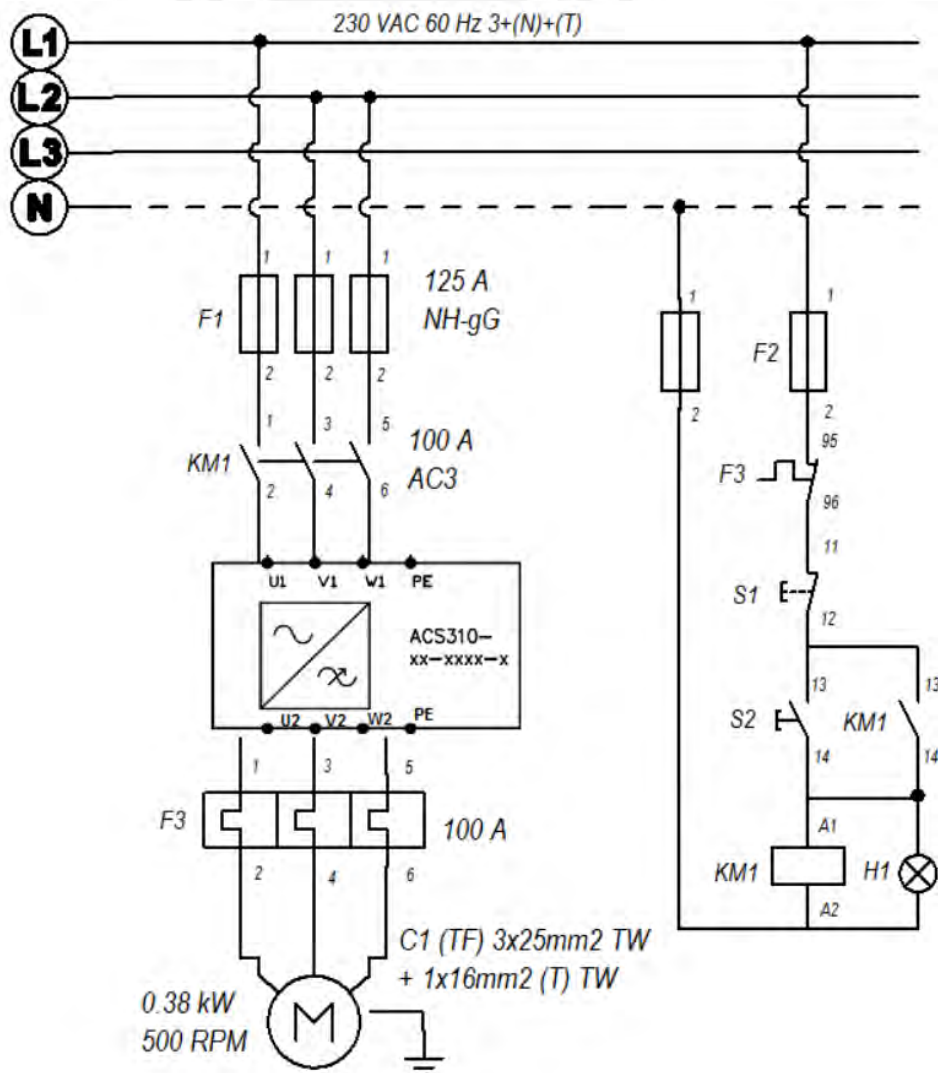


Figura 3.41: Diagrama de conexión del motor
Fuente: Propia

Conexiones en estación en tierra

Diagrama esquemático del Raspberry

En la figura 3.42, se muestran las conexiones del Raspberry Pi 2 con los diferentes componentes ubicados en tierra. Entre ellos están, el sensor de temperatura (TMP006), el driver del motor paso a paso, el módulo Xbee y el variador de frecuencia.

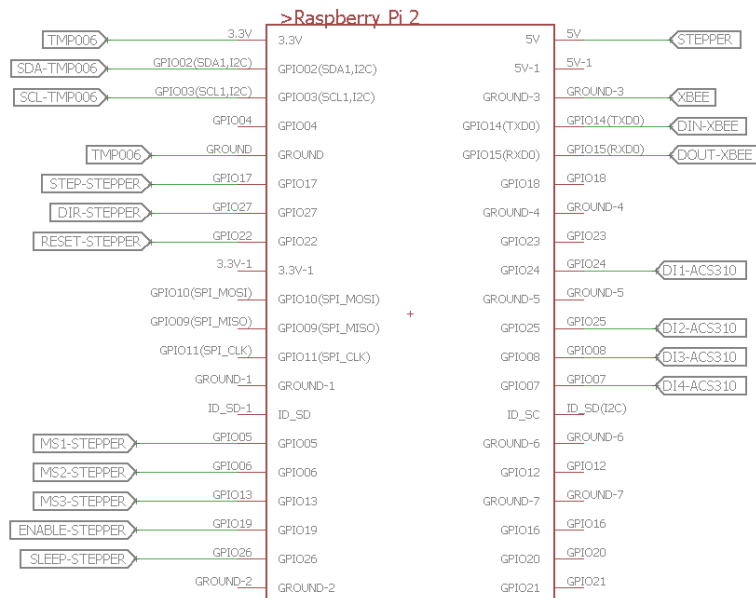


Figura 3.42: Conexiones del Raspberry ubicado en la estación en tierra
Fuente: Propia

Diagrama esquemático del sensor de temperatura con el Raspberry

En la figura 3.43, se muestran las conexiones del sensor de temperatura TMP006 con el Raspberry, para ello se necesita de resistencias PULL-UP y PULL-DOWN. Además, se coloca un capacitor de desacoplo entre GND y VDD para los pulsos altos de corriente.

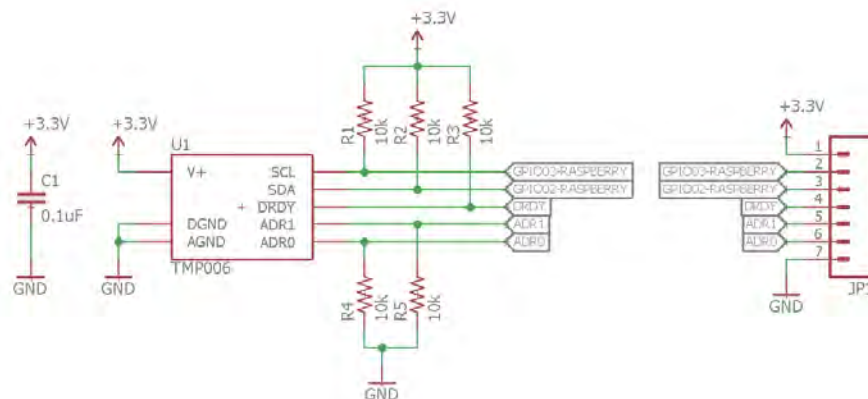


Figura 3.43: Conexión del sensor de temperatura con el Raspberry
Fuente: www.sparkfun.com

Diagrama esquemático del Xbee con Raspberry

En la figura 3.44, se muestra la conexión del módulo Xbee con el Raspberry. Estos se conectan mediante los pines de recepción y transmisión de datos que son los pines de propósito general GPIO14 y GPIO15.

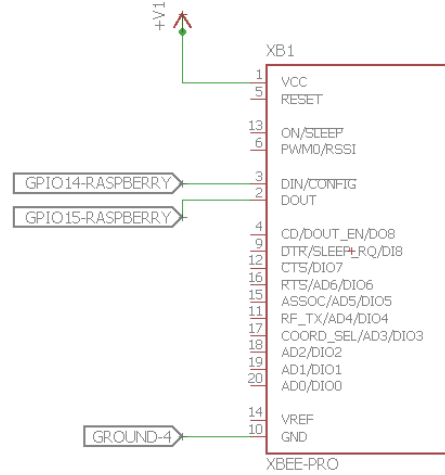


Figura 3.44: Conexión del módulo Xbee con el Raspberry
Fuente: Propia

Diagrama esquemático del motor paso a paso con driver y Raspberry

En la figura 3.45, se muestran las conexiones del motor paso a paso con el driver y el Raspberry. Además, se muestra los componentes necesarios para acondicionar las señales de los diferentes pines.

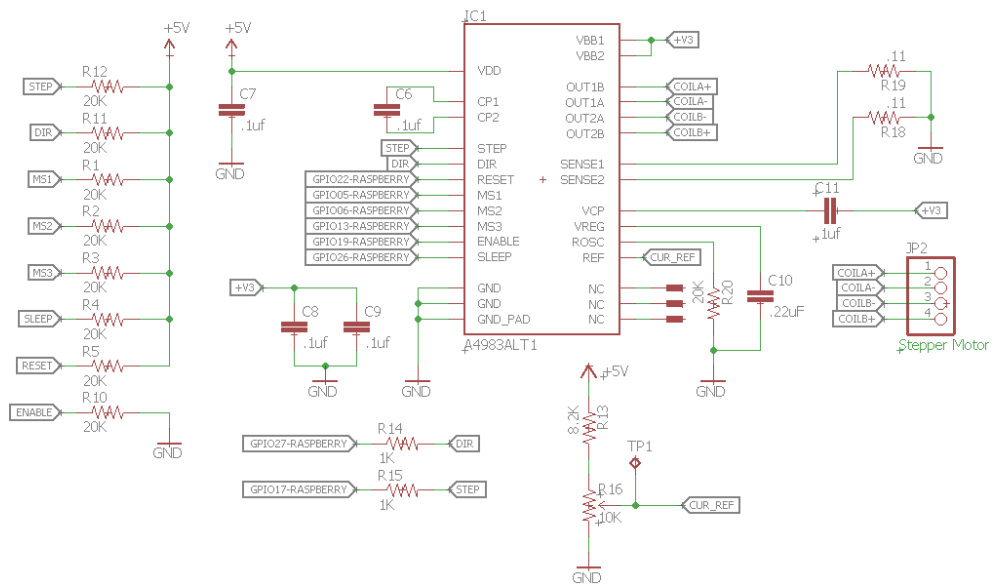


Figura 3.45: Conexión del driver del motor paso a paso con el Raspberry
Fuente: www.sparkfun.com

Diagrama esquemático del driver del motor de imanes permanentes con Raspberry

En la figura 3.46, se muestran las conexiones del convertidor de frecuencia con el motor principal de imanes permanentes. Los pines que se conectan al convertidor son los de propósito general.

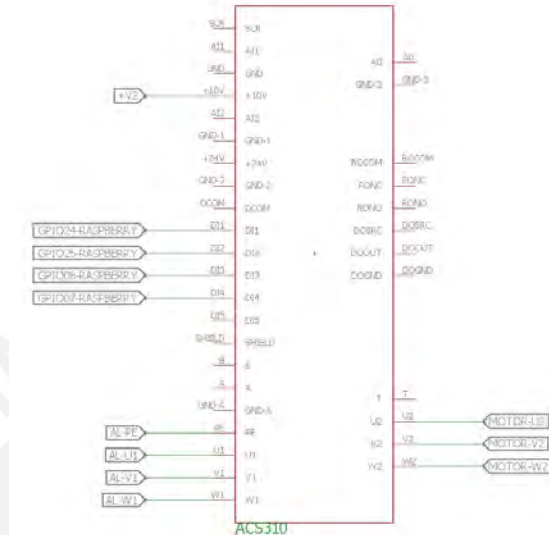


Figura 3.46: Conexión del convertidor de frecuencia con el raspberry
Fuente: Propia

Conexiones en unidad de control

Diagrama esquemático del Raspberry

En la figura 3.47, se muestran las conexiones en el Raspberry ubicado en la unidad de control. Entre los componentes se encuentran el sensor de temperatura TMP006, el módulo Xbee y el driver para los motores sin escobillas marca Novak.

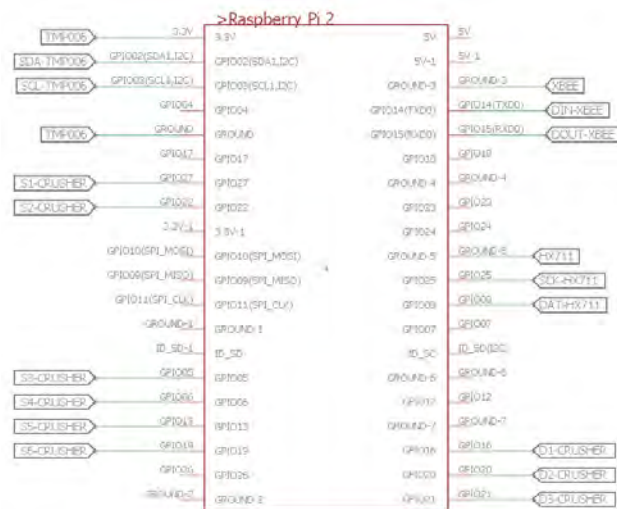


Figura 3.47: Conexión de los componentes ubicados en la unidad de control con el Raspberry
Fuente: Propia

Diagrama esquemático del driver con motor y Raspberry

En la figura 3.48, se muestran las conexiones del driver de los motores Novak con el Raspberry. Este necesita de once pines en total para el control.

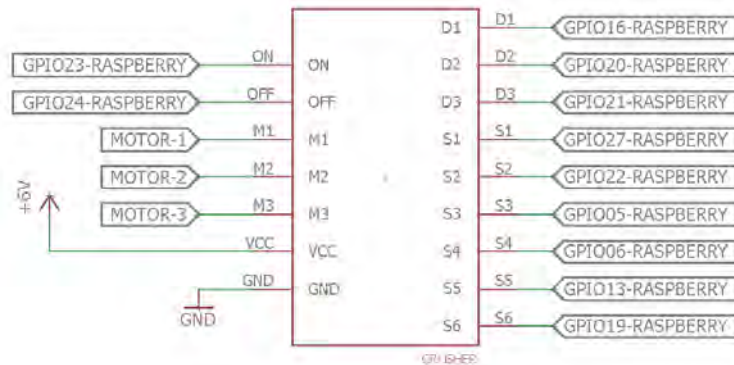


Figura 3.48: Conexión del driver del motor brushless con el Raspberry
Fuente: Propia

Diagrama esquemático del transmisor de célula de carga con Raspberry

En la figura 3.49, se muestran las conexiones del transmisor analógico/digital del sensor de fuerza. Además, se muestra las conexiones necesarias para el acondicionamiento de la señal en los diferentes pines del transmisor.

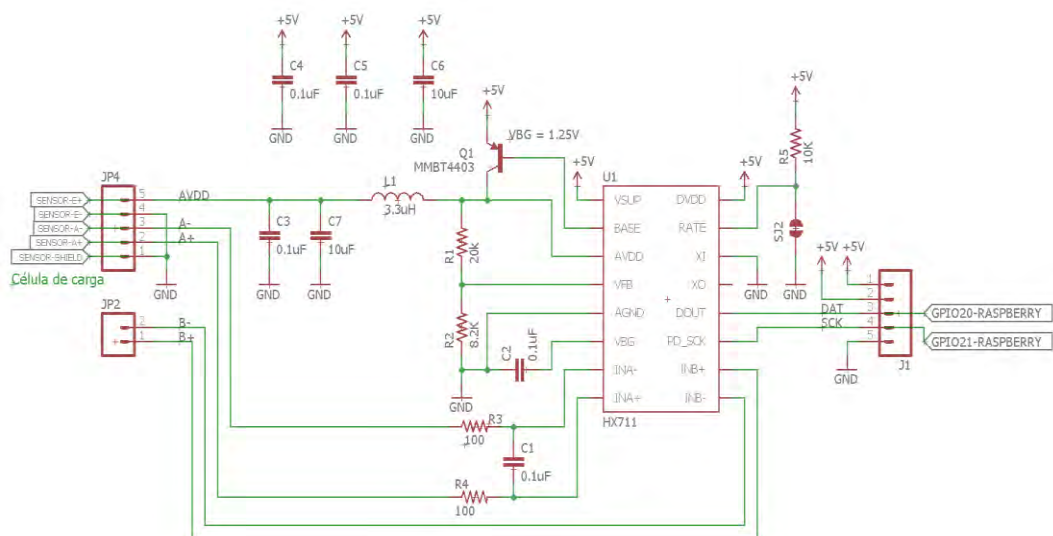


Figura 3.49: Conexión del transmisor de célula de carga con el Raspberry
Fuente: www.sparkfun.com

Conexiones en la cometa

Diagrama esquemático del Raspberry

En la figura 3.50, se muestra las conexiones del Raspberry ubicado en la cometa conectada al sensor de presión y al módulo Xbee. Además, se conecta también el módulo de posición Spatial; sin embargo, no se muestra las conexión ya que es una conexión por USB.

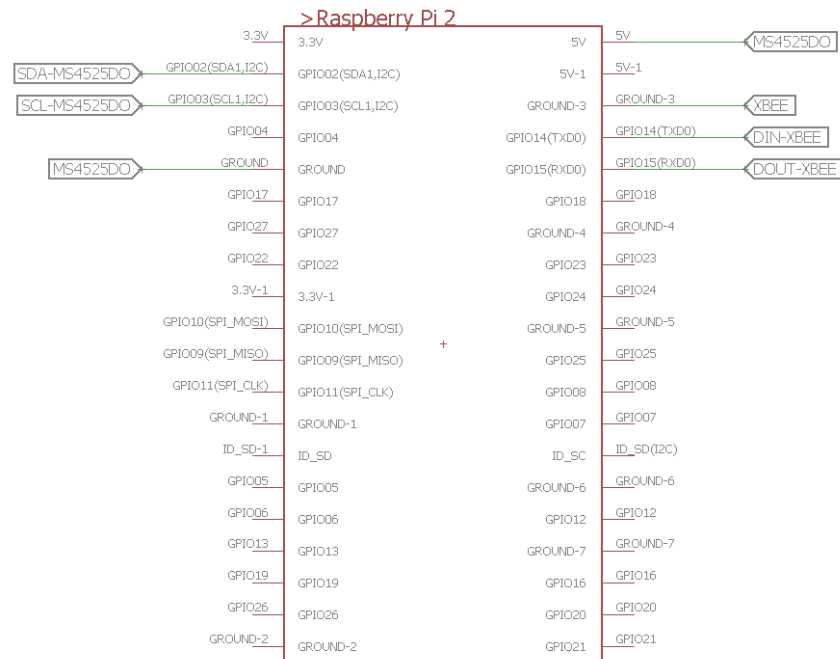


Figura 3.50: Conexiones de los componentes ubicados en la cometa con el Raspberry
Fuente: Propia

Diagrama esquemático del sensor de presión con Raspberry

En la figura 3.51, se muestran las conexiones del sensor de presión con el Raspberry. Este sensor se conecta a los pines SDA y SCL. Además, se conecta un capacitor como desacoplo entre VDD y GND.

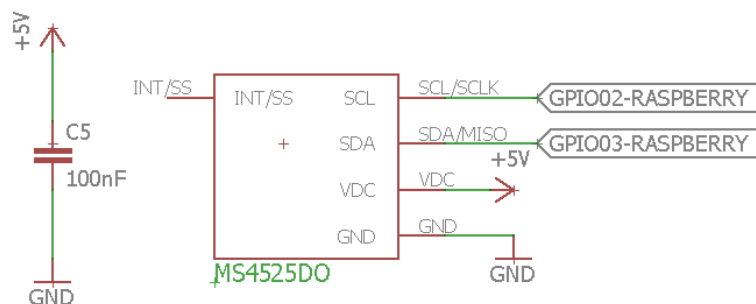


Figura 3.51: Conexión del sensor de presión con el Raspberry
Fuente: Propia

3.4.4. Diagramas de flujo

A continuación, se describen los diagramas de flujo del sistema generador de energía. Para estos diagramas de flujo, se considera que se está en la posición de elevar manualmente la cometa y se empezará con la inicialización y lectura de ciertas variables y parámetros. Además, estos diagramas se realizan en base a una programación en tiempo real.

En la figura 3.52, se muestra el diagrama de flujo general del sistema. En este, se describen las funciones de inicializar sistema y ejecutar ciclo de generación. Además, se cuenta con interrupciones para llevar el control de carga de baterías y para detectar alguna falla.

La interrupción por tiempo busca analizar el estado de las baterías. Esta interrupción leerá el nivel de voltaje de las baterías para ver su nivel de carga. Una vez que se haya cargado las baterías, se mandará una señal para finalizar el proceso del sistema. En cuanto a la interrupción por falla del sistema, se busca que cada cierto tiempo se lea los valores de los sensores (fuerza, posición y estado de baterías) y se compare con valores admisibles permitidos para el sistema. Finalmente, estas fallas se corregirán dependiendo de su naturaleza.

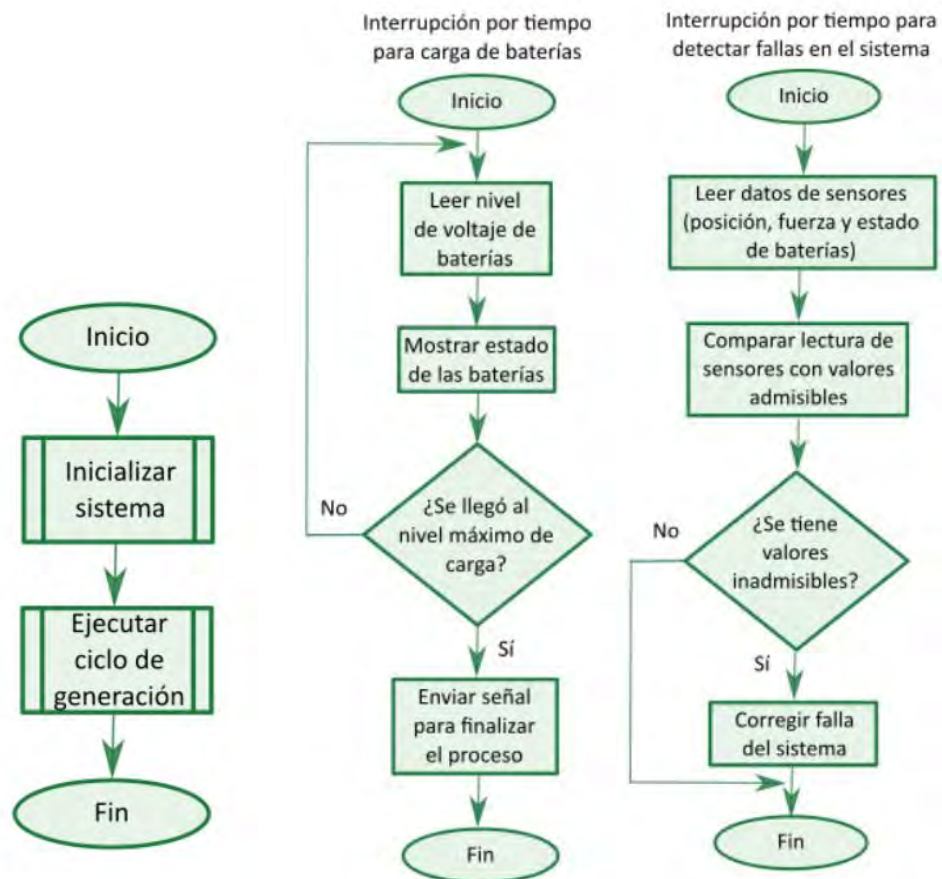


Figura 3.52: Diagrama de flujo general, interrupción para carga de baterías e interrupción por falla
Fuente: Propia

En la figura 3.53 se describe la función de inicializar el sistema. Esta se encargará de configurar los pines de entrada y salida del raspberry, así como inicializar las variables que se van a usar, asignando un valor a estas y definiendo el tipo de variable que serán. Además, se crearán los hilos (procesos ligeros) a usar, así como la creación e inicialización de interrupciones. Finalmente, los datos ingresados serán validados dependiendo de los rangos a manejar en el sistema.



Figura 3.53: Función inicializar sistema
Fuente: Propia

En la figura 3.54, se muestra el diagrama de flujo de la función para iniciar el ciclo de generación. Esta función, en primer lugar, determinará la etapa en la que se encuentra el sistema (generación o retorno). Luego, se verificará si se terminó la etapa de generación con el fin de continuar con la lectura sensores o, por el contrario, con el cálculo del torque y envío del mismo al motor ubicado en la estación en tierra. Luego, se calcularán los ángulos de elevación y azimuth con el fin de calcular la trayectoria real de la cometa y corregir la misma. Finalmente, se ejecutarán las funciones para desplazar el actuador lineal y enviar la señal a la unidad de control. Estas funciones se desarrollan en los siguientes párrafos.

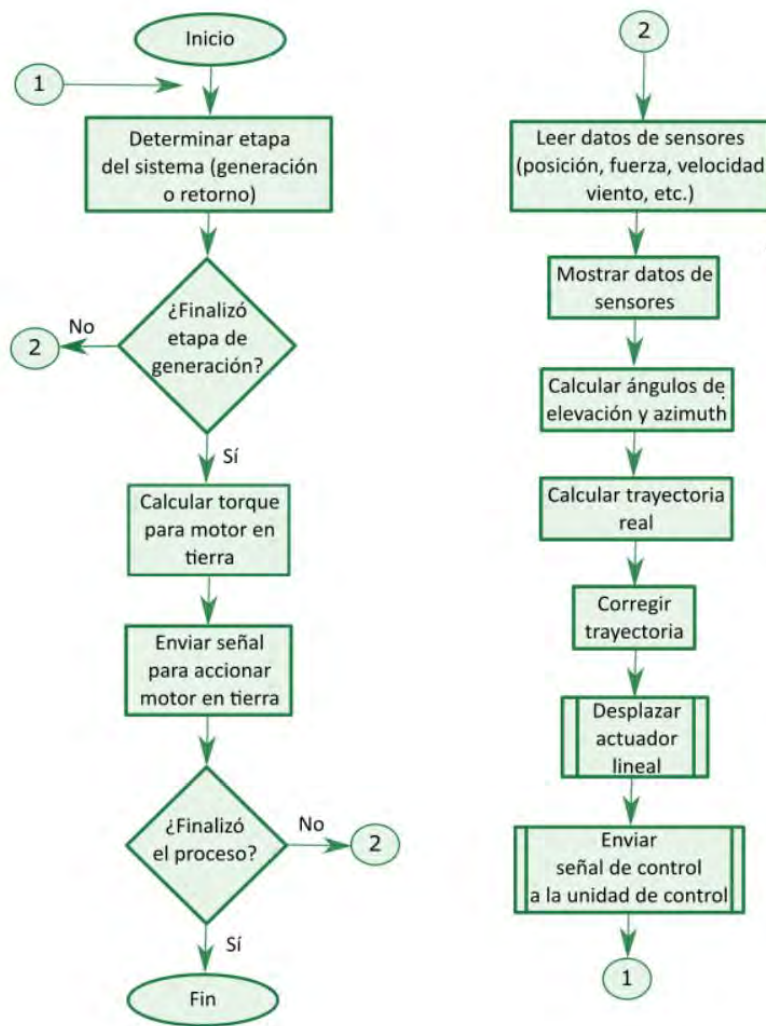
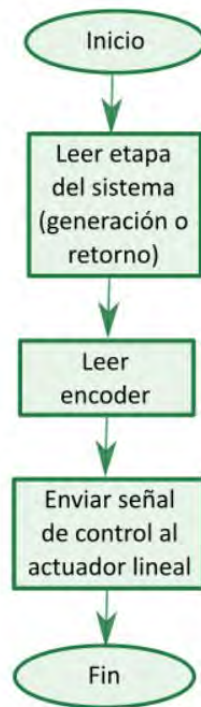


Figura 3.54: Función ejecutar ciclo de generación
Fuente: Propia

En la figura 3.55, se muestra la función de desplazar actuador lineal. Esta función, en primer lugar, leerá la etapa en la que se encuentra el sistema. Luego, debido a que depende del giro del motor el cual está acoplado al tambor, se leerá el valor del encoder del motor para, mediante una función, hallar la velocidad con la cual se debe desplazar linealmente la faja síncrona del actuador lineal.



*Figura 3.55: Función desplazar actuador lineal
Fuente: Propia*

En la figura 3.56, se muestra la función para enviar la señal de control a la unidad de control donde se encuentran los motores para direccionar la cometa en forma de ocho y modificar el perfil de la cometa. Esta función, en primer lugar, leerá la etapa que está realizando el sistema. Luego, en base a una lectura de la posición y la fuerza del cable, se hará un cálculo del torque necesario para direccionar la cometa. Finalmente, dependiendo de la etapa, se accionará el motor para generar la trayectoria el forma de ocho o para modificar el perfil de la cometa.

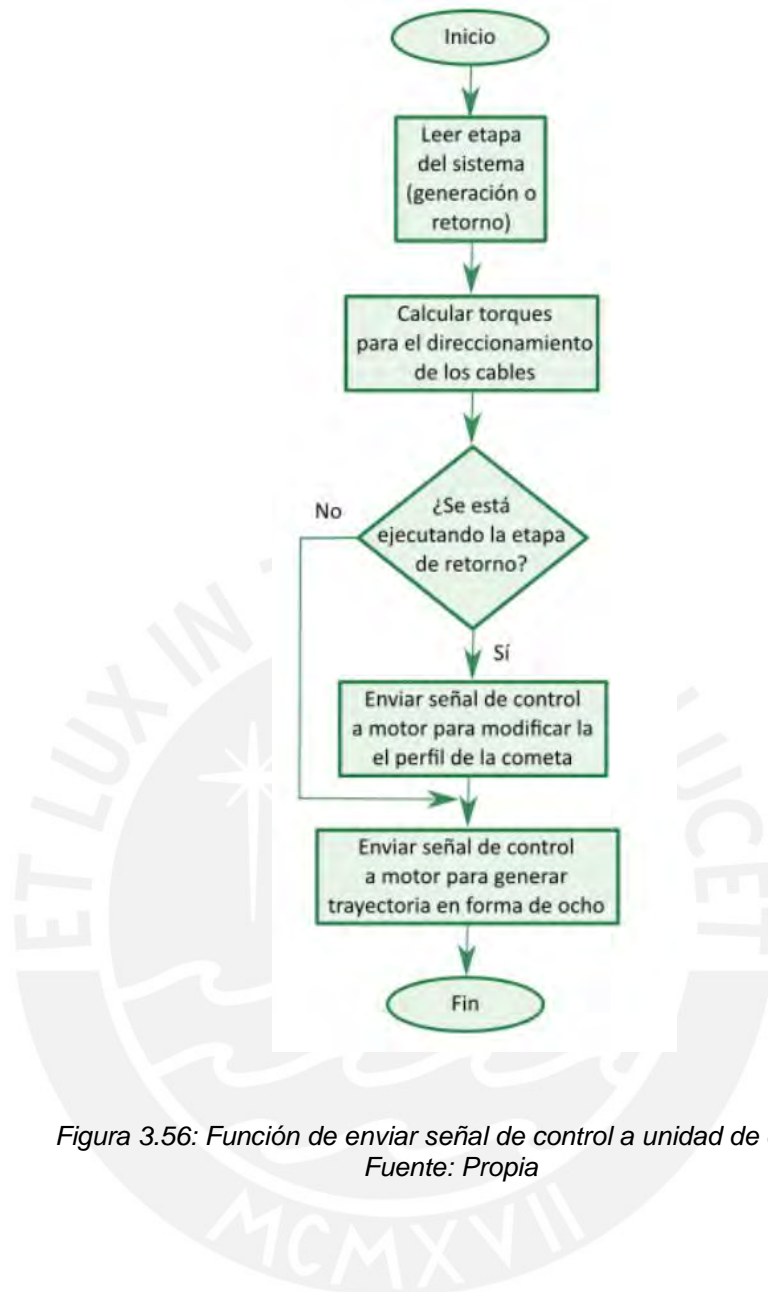


Figura 3.56: Función de enviar señal de control a unidad de control
Fuente: Propia

3.5. Diseño de control

3.5.1. Arquitectura de control

En la figura 3.57, se muestra el diagrama de control de trayectoria del sistema. Este está dividido en un bloque que comprende la geometría de la cometa, un control de la trayectoria, un control de la inclinación, un bloque de linealización y la planta. Estos se explican en los siguientes párrafos.

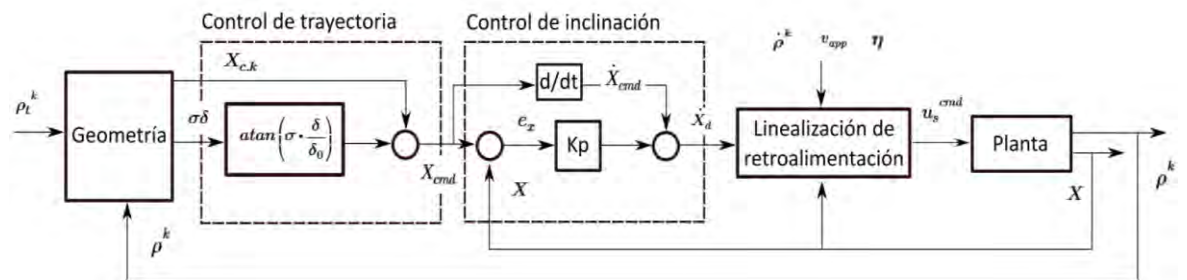


Figura 3.57: Diagrama de bloques del control de trayectoria
Fuente: [16]

Modelo matemático

En primer lugar, se realiza una breve descripción de las coordenadas involucradas para el control del sistema.

Las coordenadas mayormente usadas en ingeniería espacial son las coordenadas de Euler [19]. Sin embargo, para el caso de cometas se propone un marco de referencia como el mostrado en [20]. Este usa un marco de referencia en base a coordenadas esféricas con un punto central "O" en el extremo más bajo del cable. El punto central se encierra en una esfera unitaria denotada como "S²" y sus coordenadas se denotan con el subíndice "W". Además, se definen dos planos de referencia. El primero es un plano perpendicular a la esfera unitaria y se denota como "TkS²". El segundo es un plano ubicado en la cometa y se denota como "B". Este último plano es relativo al plano "TkS²".

En el plano "W", la dirección del eje "x_w" se establece en dirección a la velocidad del viento y "z_w" hacia arriba. En el caso del plano "TkS²", la dirección del eje "x_s" se establece en dirección al meridiano local, mientras que el eje "z_s" apunta hacia el punto central "O". Finalmente, en el caso del plano "B", se representa "z_b" en dirección al cable. En la figura 3.58, se muestran las coordenadas antes mencionadas.

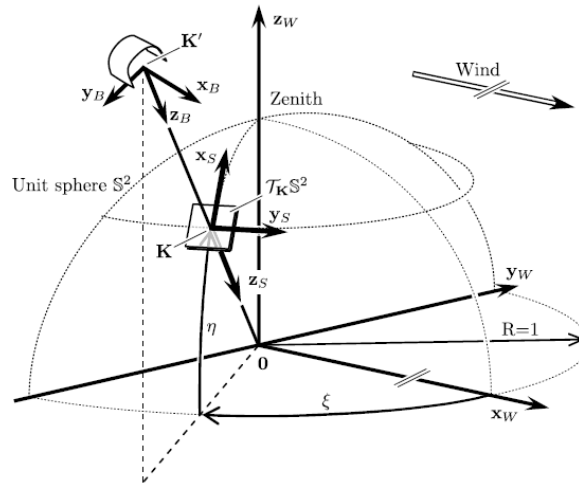


Figura 3.58: Marco de referencia del sistema
Fuente: [20]

Consideraciones geométricas

Este bloque busca determinar el punto más cercano "C" de la trayectoria deseada. En la figura 3.59, se muestra la distancia geodésica, esta se define como el arco formado entre dos puntos ubicados en la esfera unitaria. Además, se cuenta con los puntos "K" y "C". El punto "K" es el punto antes definido que contiene a la cometa. El punto "C" (punto en la trayectoria deseada) se define como el punto que permite tener una distancia geodésica muy pequeña entre "K" y "C". Además, se cuenta como los vectores " t_k " y " t_c ", estos son tangentes a los puntos "k" y "C", respectivamente. Finalmente, se muestran los vectores " ρ^k " y " ρ^c ", los cuales parten desde el centro "O" hacia los puntos "K" y "C", respectivamente.

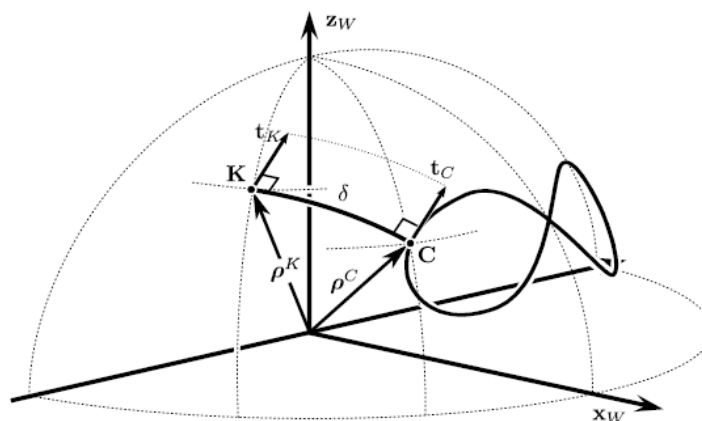


Figura 3.59: Representación de la distancia geodésica
Fuente: [20]

La distancia geodésica se define con la siguiente expresión [21] [22]:

$$\delta = \cos^{-1}(\rho^K \cdot \rho^C)$$

Además, se define la variable “ σ ”, la cual indica si la cometa se ubica al lado izquierdo (+1) o al lado derecho (-1) de la trayectoria deseada.

$$\sigma = \begin{cases} +1, & \rho^C \cdot (t_c \times \delta^{CK}) > 0 \\ -1, & \rho^C \cdot (t_c \times \delta^{CK}) < 0 \\ 0, & \text{otros} \end{cases}$$

Estrategia de control

Linealización de retroalimentación

Este bloque se encarga de calcular la dirección deseada para la cometa en base a la cinemática de la cometa y valores empíricos (c_1 y c_2), según la siguiente expresión:

$$u_S^{cmd} = \frac{1}{c_1 v_{app}} [\dot{X}_d - \sin X (c_2 \cos \eta + \dot{\rho}^K \tan \eta)]$$

Donde:

u_S^{cmd} : entrada relativa deseada de direccionamiento

c_1 y c_2 : coeficientes de ajuste empíricos de rotación

v_{app} : velocidad aparente del viento

X : ángulo de orientación entre x_s y el vector de velocidad de K

η : ángulo de elevación de la cometa

$\dot{\rho}^K$: vector normalizado de velocidad en K

Control de trayectoria

Este control determina la dirección de vuelo deseada “ X_{cmd} ” mediante la distancia geodésica según la siguiente expresión:

$$X_{cmd} = X_{C,K} + \tan^{-1}\left(\sigma \frac{\delta}{\delta_0}\right)$$

$X_{C,K}$: ángulo ente t_k y x_s en K

δ : distancia geodésica

σ : indicador de la cometa con respecto a la trayectoria deseada

δ_0 : distancia de punto de giro

Una de las tareas de este bloque es minimizar el error mediante X_{cmd} :

$$e_X = X_{cmd} - X$$

Control de altitud

Este bloque hace un control sobre el error “ e_x ” usando un compensador proporcional con ganancia “ K_p ”, y da como salida el cambio deseado en la dirección de vuelo según la siguiente expresión:

$$\dot{X}_d = K_p e_x + \dot{X}_{cmd}$$

K_p : ganancia proporcional

e_x : error entre la dirección actual y la deseada



4. COSTOS

En este capítulo, se presentarán los costos de los componentes mecánicos, electrónicos-eléctricos, los costos de fabricación y los costos de diseño. Muchos de los componentes son importados, por lo que se considerará un costo de envío igual al 50% del subtotal. Este valor se elige en base al promedio del coste de envío de la mayoría de productos. Además, incluye gastos en aduanas y otros.

4.1. Componentes mecánicos

Tabla 4.1: Costo de componentes mecánicos importados
Fuente: Propia

Componente	Proveedor	Precio unitario (\$)	Cantidad	Precio total (\$)
Rodamiento de rodillo oscilante	Roeda S.A.	59.18	2	118.36
Manguito de fijación	Roeda S.A.	6.1	2	12.2
Soporte de rodamientos	Roeda S.A.	21.45	2	42.9
Obturadores	Roeda S.A.	3.84	4	15.36
Polea	Harken	35.65	1	35.65
Cometa North Rebel	Power Kite Shop	1807.66	1	1807.66
Cable Dyneema (300 m)	Melbourne Rope & Splicing	840	1	840
Elemento cónico de sujeción	Ringspann	57.18	1	57.18
Embrague de rueda libre	Ringspann	2619.54	1	2619.54
Acople flexible	Stemin	80	2	160
Estructura de aluminio (perfiles más uniones)	Item	300	1	300
			Subtotal (\$)	6008.85
			Envío (\$)	3004.425
			Total (\$)	9013.275

4.2. Componentes electrónicos y eléctricos

Tabla 4.2: Costos de componentes electrónicos y eléctricos importados
Fuente: Propia

Componente	Proveedor	Precio unitario (\$)	Cantidad	Precio total (\$)
Motor Brushless	Novak	99.99	2	199.98
Driver para motor Brushless	Novak	149.99	2	299.98
Reductor	Maxon	388.87	2	777.74
Motor paso a paso con reductor	Stepperonline	54.04	1	54.04
Driver motor paso a paso	Sparkfun	19.95	1	19.95
Sensor infrarrojo de temperatura	Sparkfun	14.95	3	44.85
Driver para célula de carga	Sparkfun	9.95	1	9.95
Módulo Xbee	Sparkfun	44.95	3	134.85
Sensor de voltaje y	Sparkfun	19.95	1	19.95
Sensor de presión	Digikey	37.07	1	37.07
Convertidor AC-DC	Digikey	2433.38	1	2433.38
Motor de imanes permanentes (rotor y estator)	Alxion	2584.75	1	2584.75
Generador de imanes permanentes (rotor y estator)	Alxion	4378.25	1	4378.25
Convertidor de frecuencia	ABB	350	1	350
Módulo de posicionamiento	Advanced Navigation	3500	1	3500
Raspberry Pi 2	RS-online	36.3	3	108.9
Batería de 12.8 V, 90 Ah	Teknosolar	1138	8	9104
Batería de 6.6 V, 2100 mAh	Hobbyking	15.8	2	31.6
Batería de 13.2 V, 8400 mAh	Hobbyking	69.99	1	69.99
Actuador lineal	Item	158.56	1	158.56
Célula de carga	TE-connectivity	115	1	115
Contactador	Schneider	613.22	1	613.22
Estación de pulsadores	Schneider	266.58	1	266.58
Seccionador portafusible	Schneider	236.93	1	236.93
Inversor	INVT	350	1	350
Subtotal (\$)				25899.52
Envío (\$)				12949.76
Total (\$)				38849.28

4.3. Costo de fabricación

Estos costos incluyen procesos de fabricación como doblado, agujereado, cortado, soldadura y mecanizado, para los ejes, planchas y bloques. En la tabla 4.3, se muestran los costos estimados de fabricación para cada pieza. Estos costos se basan en las recomendaciones para la estimación de costos [23]. El cálculo del costo de fabricación se define según la siguiente fórmula:

Costo de fabricación

$$= (\text{Tiempo total de operación en horas} \times \text{Costo de operación por hora}) \times [1 + (\text{factor de gastos generales}) + (\text{factor de equipamiento}) + (\text{factor por operación especial})] + (\text{Costo de material} \times \text{cantidad})$$

Donde:

- Tiempo total de operación en horas: tiempo que incluye la preparación, la operación de fabricación, la inspección, las pruebas para verificar las dimensiones y tolerancias, limpieza y empaquetamiento.
- Costo de operación por hora: costo por hora basado en la hora de operación promedio Columbus para diferentes clasificaciones de trabajo disponibles en el Departamento del Trabajo de los Estados Unidos (<http://stats.bls.gov/ncs/home.htm>, May 2010):
 - \$ 13.38 para inspectores, probadores, clasificadores, muestreadores y pesadores.
 - \$ 17.72 para ensambladores y fabricantes diversos
 - \$ 20.18 para fabricación especial como maquinas CNC, CAD/CAM.
- Factor de gastos generales: se recomienda un valor de 1 para gastos generales básicos (beneficios del trabajador, edificios, servicios públicos, mantenimiento)
- Factor de equipo: se recomienda un valor de 0.5 para las operaciones de ensamblaje y fabricación que requieren equipos o herramientas (cubrir gastos de amortizados, consumibles, servicios)
- Factor especial de operación: se recomienda un valor de 0.25 para operaciones en casos especiales (soldadura láser, mecanizado CNC) y/o requisitos de tolerancia ajustada

Tabla 4.3: Costos de fabricación de los componentes del sistema
Fuente: Propia

Descripción	Tiempo total de operación en horas	Cantidad	Costo por hora (\$/hora)	Costo por operación (\$)	Factor de gastos generales	Factor de equipo	Factor por operación especial	Costo de material	Costo total (\$)
Soporte generador	4	1	17.72	70.88	1	0.5	0.25	40	234.92
Soporte motor	4	1	17.72	70.88	1	0.5	0.25	40	234.92
Acople generador 1	3	1	17.72	53.16	1	0.5	0	30	162.9
Acople generador 2	3	1	17.72	53.16	1	0.5	0	30	162.9
Base soporte rodamientos	2	1	17.72	35.44	1	0.5	0	10	98.6
Caja de alojamiento 1	2	1	17.72	35.44	1	0	0	10	80.88
Caja de alojamiento 2	2	1	17.72	35.44	1	0	0	10	80.88
Nervio generador / Nervio motor	2	2	17.72	70.88	1	0.5	0	20	217.2
Placa componentes	2	1	17.72	35.44	1	0	0	10	80.88
Plancha actuador/Plancha driver generador	2	2	17.72	70.88	1	0.5	0	30	237.2
Plancha soporte estructura 1/2	3	2	17.72	106.32	1	0.5	0	30	325.8
Plancha soporte generador	4	1	17.72	70.88	1	0.5	0	30	207.2
Plancha soporte motor	4	1	17.72	70.88	1	0.5	0	30	207.2
Tambor principal control	6	1	17.72	106.32	1	0.5	0.25	70	362.38
lateral	4	1	17.72	70.88	1	0.5	0.25	30	224.92
Tapa superior	2	2	17.72	70.88	1	0	0	20	181.76
Bloque generador	2	1	17.72	35.44	1	0	0	20	90.88
Árbol de transmisión	2	1	17.72	35.44	1	0.5	0	20	108.6
Árbol de transmisión	4	1	17.72	70.88	1	0.5	0.25	40	234.92
Barra cilíndrica / Soporte Acoplamiento / Árbol U. de control	2	3	17.72	106.32	1	0.5	0	30	355.8
Total (\$)									4053.6

4.4. Costo de diseño

Estos costos se calcularon considerando un trabajo semanal de 25 horas y un precio por hora de S/. 80 por hora. Durante 12 semanas se tiene finalmente un costo de diseño de S/. 24 000. Ahora, tomando como moneda de cambio a dólares de 3.3 se tiene un costo de diseño de \$ 7272.73. En la tabla 4.4, se muestra el costo total del sistema, el cual consiste en la suma del costo de componentes mecánicos, costos de componentes electrónicos, costos de fabricación y costos de diseño.

Tabla 4.4: Costo total del sistema propuesto
Fuente: Propia

Concepto	Costo
Costo de componentes mecánicos	9013.275
Costo de componentes electrónicos	38849.28
Costos de material y fabricación	4053.64
Costo de diseño	7272.73
Total (\$)	59188.925
Total (S/.)	195323.45

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Al finalizar el presente trabajo, se tienen las siguientes conclusiones:

- Se logró cumplir con el objetivo de esta tesis de diseñar un sistema generador de electricidad diferente a los aerogeneradores, es decir, que aproveche mejor la fuente de energía del viento debido a que trabaja a mayores alturas, además de que cumple con los requerimientos mecánicos: ser portable, peso no mayor a 1 tonelada, fácilmente desmontable para transporte y mantenimiento; electrónicos y eléctricos: usar baterías recargables, aislamiento seguro de la parte de control y potencia, y usar sensores suficientes para la obtención de variables importantes del sistema.
- Se logró diseñar un sistema generador de energía portátil ya que, de acuerdo con las dimensiones finales, el sistema cabe dentro de la caja de una camioneta, además de su bajo peso comparado con las torres de turbina, puede ser fácilmente transportado.
- De acuerdo a los cálculos, se logró diseñar un sistema generador de energía de 13 kW, energía que se produce durante la etapa de generación.
- Se cumplió con el objetivo de diseñar una estación en tierra que sea de fácil ensamblaje y mantenimiento, ya que su estructura consiste en perfiles extruidos de aluminio y también en cajas que se superponen para la parte de potencia del sistema. Además, la estación en tierra cuenta con una cubierta que lo protege de lluvias o cualquier contacto exterior.
- Se logró diseñar un sistema generador de energía de menor peso y costo, ya que una turbina de viento convencional de la misma potencia pesa aproximadamente 6 toneladas y el costo de implementación es de 66 500 dólares, mientras que el peso y costo aproximado del sistema diseñado es de menos de media tonelada y 60 000 dólares, respectivamente.

Al finalizar el presente trabajo, faltó implementar lo siguiente:

- El sistema propuesto implica un lanzamiento de la cometa y aterrizaje manual. Por ello, se podría mejorar el diseño propuesto teniendo un sistema adicional de despegue y aterrizaje que permita que estos movimientos sean automáticos.
- El sistema no cuenta con un sistema de seguridad en caso se pierda el control de la cometa. Por ello, se puede incluir en el sistema un mecanismo que desenganche la cometa en caso esta no responda a los comandos enviados, y así evitar que la cometa se lleve la unidad de control, lo cual dañaría seriamente los componentes en ella.

Finalmente, se tienen las siguientes ideas a futuro:

- Para tener una fuente de energía constante cuando se conecta el sistema a una carga y se está retornando la cometa, es decir, no se está generando energía, se puede usar un dispositivo de almacenamiento de energía mecánico de volante llamado “flywheel”. También, se podría tener una fuente de energía constante mediante el uso de algoritmos de control que controlen la cometa mediante la regulación por cambio del ángulo de paso (“pitch control”).
- Una alternativa de menor costo podría ser mediante el uso de un motor que funcione también como generador, o también usar otros tipos de motores como un motor asíncrono, lo que añadiría al sistema un sistema de transmisión adicional, como cadenas, fajas o engranajes.
- Se puede desarrollar un sistema de mayor potencia nominal al alcanzado en el presente trabajo. Esto dependerá de trabajar a una mayor altura, tener un control más robusto de la cometa, tener la capacidad de componentes para reservar dicha energía y de la capacidad del generador a usar.
- Se puede desarrollar más el dispositivo para captar la energía del viento, es decir, la cometa, mediante el diseño de una cometa en vez de comprarla, debido a que se podría diseñar una cometa más grande a las que hay en el mercado y tener un mejor borde de ataque para mejorar el rendimiento aerodinámico.

- Se puede desarrollar más la parte de potencia del sistema y así conectar el sistema a la red eléctrica. Para ello se debe tener un control retroalimentado del voltaje y corriente con que se está alimentando una carga.



REFERENCIAS

- [1] R. Thresher, M. Robinson y P. Veers, «To capture the wind,» *IEEE Power & Energy Magazine*, vol. 5, n° 6, pp. 34-46, 2007.
- [2] C. L. Archer y M. Z. Jacobson, «Evaluation of global power system,» *Geophysical Research Atmospheres*, 2005.
- [3] G. Resch, A. Held, T. Faber y otros, «Potentials and prospects for renewable energies at global scale,» *Energy Policy*, vol. 36, pp. 4048-4056, 2008.
- [4] H. Salas y H. Berg, «Delta Volt,» [En línea]. Available: <http://deltavolt.pe/energia-renovable/renovable-peru>. [Último acceso: 15 Agosto 2016].
- [5] P. Gamio, Matriz energética en el Perú y energías renovables, Lima: Friedrich Ebert.
- [6] M. I. Blanco, «The economics of wind energy,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. 1372-1382, 2008.
- [7] R. Suárez, «El proyecto hidroeléctrico Corpus Christi,» 2006.
- [8] «EnerKite,» [En línea]. Available: <http://www.enerkite.de/en/products>. [Último acceso: 10 Agosto 2016].
- [9] C. Varrichio, M. Landry y A. Varrichio, «System and method for altering drag and lift forces on a wind capturing structure». 11 Febrero 2010.
- [10] U. Fechner y R. Schmehl, «Design of a distributed kite power control system,» *IEEE*, 2012.
- [11] M. Canale, L. Fagiano y M. Milanese, «Power kites of Wind Energy Generation,» *IEEE Control Systems*, 2007.
- [12] R. Van der Vlugt, J. Peschel y R. Schmehl, «Design and Experimental Characterization of a Pumping Kite Power System,» de *Airborne Wind Energy*, 2013, pp. 403-426.
- [13] U. Fechner y R. Schmehl, «Model-Based Efficiency Analysis of Wind Power Conversion by a Pumping Kite Power System,» de *Airborne Wind Energy*, 2013.
- [14] R. Stull, «The Atmosphere,» de *Meteorology for Scientists and Engineers*, Vancouver, 2011, pp. 6-10.
- [15] I. Argatov y R. Silvennoinen, «Structural optimization of the pumping kite wind generator,» 2010.
- [16] H. Ernst, «Los elementos de transmisión por cables metálicos,» de *Aparatos de elevación y transporte*, 1970, pp. 29 - 30.
- [17] E. Larrodé y A. Miravete, de *Grúas*, Publicaciones Centro Politécnico Superior Universidad de Zaragoza, 1996, p. 168.
- [18] K. Paulsen, «Elementos de Máquinas,» de *Uniones Atornilladas*, p. 6.
- [19] M. V. Cook, *Flight Dynamics Principles: A Linear Systems Approach to Aircraft Stability and Control*, Butterworth-Heinemann, 2013.
- [20] C. Jehle y R. Schmehl, «Applied Tracking Control for Kite Power Systems,» *Journal of Guidance, Control and Dynamics*, vol. 37, n° 4, 2014.

- [21] J. Baayen y W. Ockels, «Tracking Control with Adaption of Kites,» *IET Control Theory & Applications* , vol. 6, nº 2, pp. 182-191, 2012.
- [22] F. Bullo, R. Murray y A. Sarti, «Control on the Sphere and Reduced Attitude Stabilization,» 1995.
- [23] Kremer, «Recommended method for determining production costs».

BIBLIOGRAFÍA

- [24] I. Aziz, «Design of a High Altitude Wind Power Generation System,» 2013.
- [25] L. Fagiano y T. Mark, «Desing of a Small-Scale Prototype for Research in Airborne Wind Energy,» vol. 20, nº 1, 2015.
- [26] M. Ahmed, A. Hably, S. Bacha y A. Ovalle, «Kite Generator System: Grid integration and validation,» *The 40th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, pp. 1-6, 2014.
- [27] A. Bosch, R. Schmehl, P. Tiso y D. Rixen, «Nonlinear Aerolasticity, Flight Dynamics and Control of a Flexible Membrane Traction Kite,» de *Green Energy and Technology*, 2013, pp. 307-323.
- [28] R. Leloup, K. Roncin, G. Bles, J.-B. Leroux, C. Jochum y Y. Parlier, «Estimation of the Lift-to-Drag Ratio Using the Lifting Line Method: Application to a Leading Edge Inflatable Kite,» de *Airborne Wind Energy*, pp. 339-355.
- [29] F. Gohl y R. H. Luchsinger, «Simulation Based Wing Design for Kite Power,» de *Airborne Wind Energy*, pp. 325-338.
- [30] X. Paulig, M. Bungart y B. Specht, «Conceptual Design of Textile Kites Considering Overall System Performance,» de *Airborne Wind Energy*, pp. 547-562.
- [31] J. H. Baayen, «Automatic Trajectory tracking control of kites,» 2011.
- [32] H. A. Bosch, «Finite element analysis of a kite for power generation,» 2012.
- [33] P. Williams, B. Lansdorp y W. Ockels, «Nonlinear Control and Estimation of a Tethered Kite in Changing Wind Conditions,» *Journal of Guidance, Control and Dynamics*, vol. 31, nº 3, pp. 793-798, 2008.
- [34] B. Lansdorp y P. Williams, «The Laddermill - Innovative Wind Energy from High Altitudes in Holland and Australia,» *Windpower*.

ANEXOS

**DISEÑO DE UN SISTEMA PORTÁTIL TIPO
COMETA PARA GENERACIÓN DE
ELECTRICIDAD**

JOSÉ IVÁN RUIZ FIGUEROA

Anexo A: Lista de requerimientos

Tabla 1: Lista de requerimientos

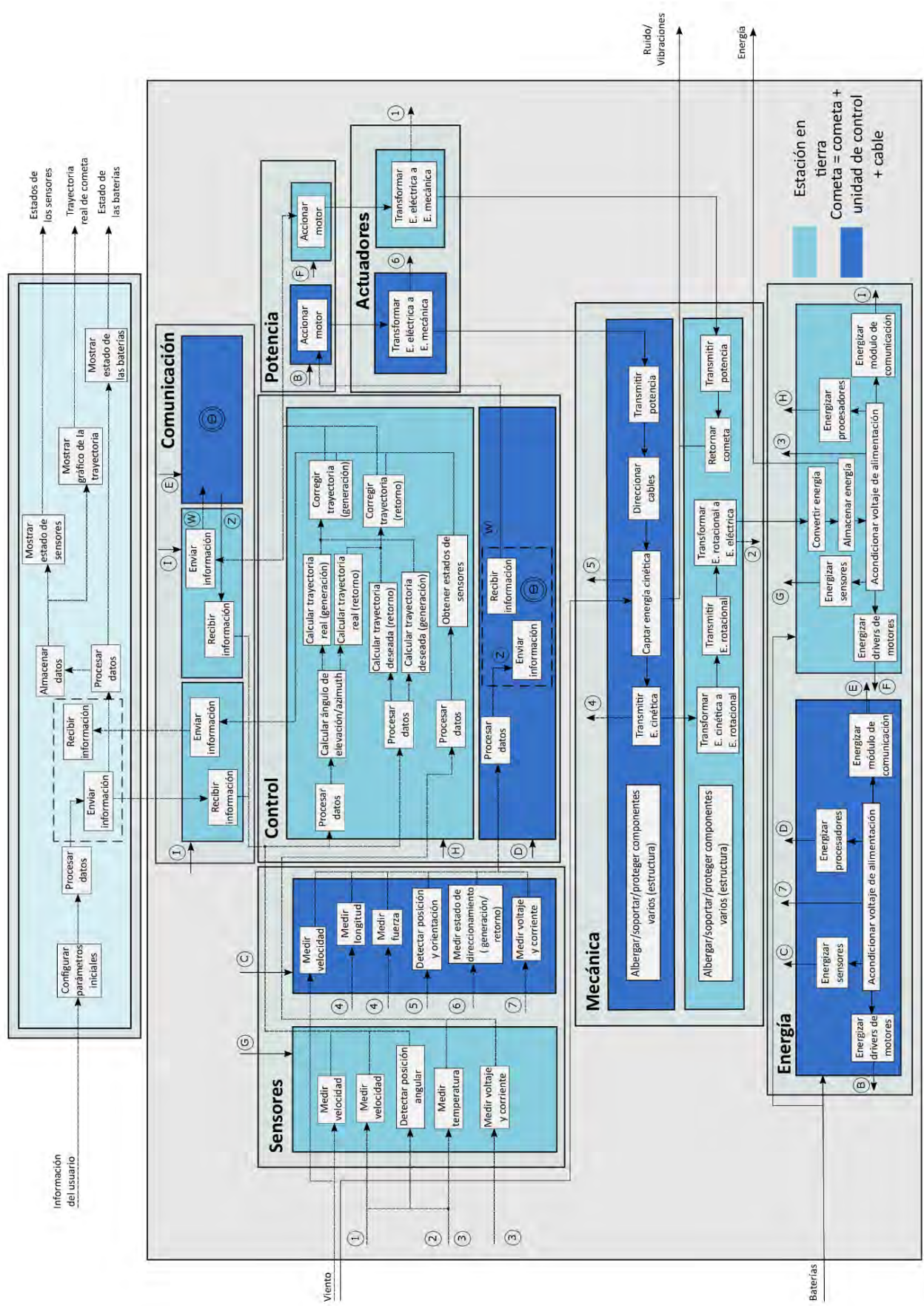
Fuente: Propia

Lista de requerimientos		
Proyecto:	Diseño de un sistema portátil tipo cometa para generación de electricidad	
Fecha de modificación	D/E	DESCRIPCIÓN
26/08/2016	E	FUNCIÓN PRINCIPAL
		Captar la energía cinética del aire mediante una estructura tipo cometa, transformar la energía mecánica a energía eléctrica, y almacenar dicha energía en un banco de baterías, la potencia nominal debe ser 13 kW y se cargará en un tiempo máximo de 1 hora.
26/08/2016	E	GEOMETRÍA
		.Estación en tierra:
		Ancho<1.5 m
	E	Largo<2.5 m
	E	Alto<1 m
	E	.Cometa:
E	Área proyectada<30 m ²	
E	Longitud de cables<500 m	
E	Altura de operación<150 m	
26/08/2016	E	CINEMÁTICA
		.Estación en tierra:
	Estructura no móvil	
	E	.Cometa:
E	Movimiento lineal en el plano x y, z	
E	Ángulo de elevación de 0° a 90°	
E	Velocidad de arrastre máxima de 10 m/s	
26/08/2016	E	FUERZAS
		.Estación en tierra:
	Masa máximo: 500 kg	
	E	.Cometa + unidad de control:
Masa máximo: 30 kg		
D	.Cables:	
	Fuerza de tensión máxima: 4 000 N	
26/08/2016	E	ENERGÍA
		Uso de baterías recargables.
D	Potencia nominal: 13 kW	
26/08/2016	D	SEGURIDAD
		.Estación en tierra:
		Aislamiento eléctrico de la estructura.
	D	Aislamiento de la parte de potencia y control.
D	Aislamiento y protección para el generador y motor.	
D	.Cometa:	
Sistema antibloqueo de las líneas de los cables.		
26/08/2016	D	FABRICACIÓN
		Materiales del mercado local y fabricación en talleres locales.
		En consideración a la norma IEC 62257 "Recomendaciones para sistemas de pequeña potencia e híbridos con energías renovables y sistemas en aplicaciones de electrificación rural"
	D	En consideración a la norma IEC 61400 "Sistemas eólicos"
	D	.Estación en tierra:
Material: Aluminio.		
D	.Cometa:	
	Material: Nylon, poliéster o Kevlar	

Tabla 2: Lista de requerimientos (continuación)
Fuente: Propia

26/08/2016	E	MONTAJE Sistema de fácil desmontaje en por lo menos dos partes.
26/08/2016	D E E	OPERACIÓN El operario interactuará con el sistema a través de una interfaz que le permitirá iniciar y parar el sistema, además de visualizar algunos parámetros (potencia generada, estado de baterías, entre otros). Fácil de instalar. Sistema semiautomático.
26/08/2016	E	MANTENIMIENTO Fácil acceso hacia las partes de mayor desgaste como la zona de la unión del motor, generador y cabrestante, para su fácil reemplazo.
26/08/2016	D D	ERGONOMÍA Provisto de soportes para su transporte. Los dispositivos (botoneras, pantallas, etc.) deberán estar al alcance del operario.
26/08/2016	D D E E E	ELECTRÓNICA .Estación en tierra: Circuito de protección de las baterías Sensores de alarma de emergencia. Sensores de velocidad del viento. Sensores de fuerza. .Cometa: Sensores de posición.
26/08/2016	D D D	CONTROL .Estación en tierra: Algoritmo de control del motor. .Cometa: Algoritmo de control de posición. Algoritmo de control para la trayectoria.
26/08/2016	E E E E E E E E E	SEÑALES Entradas .Estación en tierra: Posición deseada Velocidad del cabrestante deseada .Cometa: Posición deseada Velocidad deseada .Cables: Longitud en operación deseada Salidas .Estación en tierra: Velocidad del cabrestante .Cometa: Posición Velocidad Trayectoria deseada Azimuth deseado Ángulo de elevación deseado

Anexo B: Estructura de funciones



Anexo C: Evaluación técnico-económica

Tabla 3: Evaluación técnica
Fuente: Propia

EVALUACIÓN DEL SISTEMA MECATRÓNICA											
VALOR TÉCNICO (χ_i)											
Proyecto: Diseño de un sistema portátil tipo cometa para generación de electricidad											
p: Puntaje de 0 a 4 (Escala de valores VDI2225) 0 = No satisface, 1 = Apenas satisface, 2 = Suficiente, 3 = Bien, 4 = Excelente (Ideal)											
g = Peso ponderado en función de la importancia de los criterios de evaluación											
Criterios de evaluación para diseños en fase de concepto											
Variantes de conceptos			Solución 1		Solución 2		Solución 3		Solución ideal		
			S1		S2		S3		Sideal		
N°	Criterio de evaluación	g	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp	
1	Función principal	4	3	12	3	12	2	8	4	16	
2	Operación	3	3	9	3	9	3	9	4	12	
3	Control	4	2	8	3	12	2	8	4	16	
4	Energía	4	3	12	3	12	3	12	4	16	
5	Seguridad	4	2	8	3	12	2	8	4	16	
Puntaje máximo Sp o Sgp				13	49	15	57	12	45	20	76
Valor técnico χ_i				0.65	0.64	0.75	0.75	0.6	0.59	1	1

Tabla 4: Evaluación económica
Fuente: Propia

EVALUACIÓN DEL SISTEMA MECATRÓNICA											
VALOR ECONÓMICO (χ_i)											
Proyecto: Diseño de un sistema portátil tipo cometa para generación de electricidad											
p: Puntaje de 0 a 4 (Escala de valores VDI2225) 0 = No satisface, 1 = Apenas satisface, 2 = Suficiente, 3 = Bien, 4 = Excelente (Ideal)											
g = Peso ponderado en función de la importancia de los criterios de evaluación											
Criterios de evaluación para diseños en fase de concepto											
Variantes de conceptos			Solución 1		Solución 2		Solución 3		Solución ideal		
			S1		S2		S3		Sideal		
N°	Criterio de evaluación	g	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp	
1	Costos de materiales	3	2	6	3	9	2	6	4	12	
2	Costo de mantenimiento	3	2	6	3	9	2	6	4	12	
Puntaje máximo Sp o Sgp				2	6	3	9	2	6	4	12
Valor técnico χ_i				0.5	0.5	0.75	0.75	0.5	0.5	1	1

Anexo D: Cálculos mecánicos

1. Diseño del árbol de transmisión

El elemento principal de transmisión de potencia será el árbol de transmisión. Para el diseño de este se realiza, en primer lugar, un cálculo previo, seguido de un cálculo definitivo. El cálculo previo se realiza de la siguiente manera:

En primer lugar, se tiene los siguientes parámetros:

Masa árbol: 10 kg

Masa tambor: 18 kg

Masa cable: 4 kg

Radio de tambor: 0.09 m

$F_{tracción} = 2558 N$

Factor de seguridad cálculo previo: $S = 5$

Factor de seguridad fatiga: $FS = 1.6$

Además, el material a usar será Ck 45 (AISI 1045), el cual tiene los siguientes esfuerzos de fluencia alternante y torsión pulsante:

$$\sigma_{fAL} = 350 MPa$$

$$\tau_{fPul} = 210 MPa$$

La masa del árbol se considera estimada. Además, este cálculo se hará para el caso en que todo el cable está enrollada. El diagrama de cuerpo libre se muestra en la figura 1 y los diagramas de fuerzas se muestran en las figuras 2 y 3.

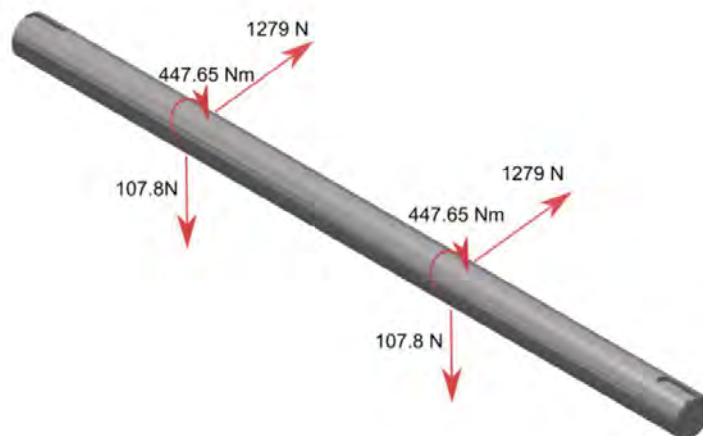


Figura 1: Diagrama de cuerpo libre del árbol de transmisión
Fuente: Propia

DCL (Plano X-Y)

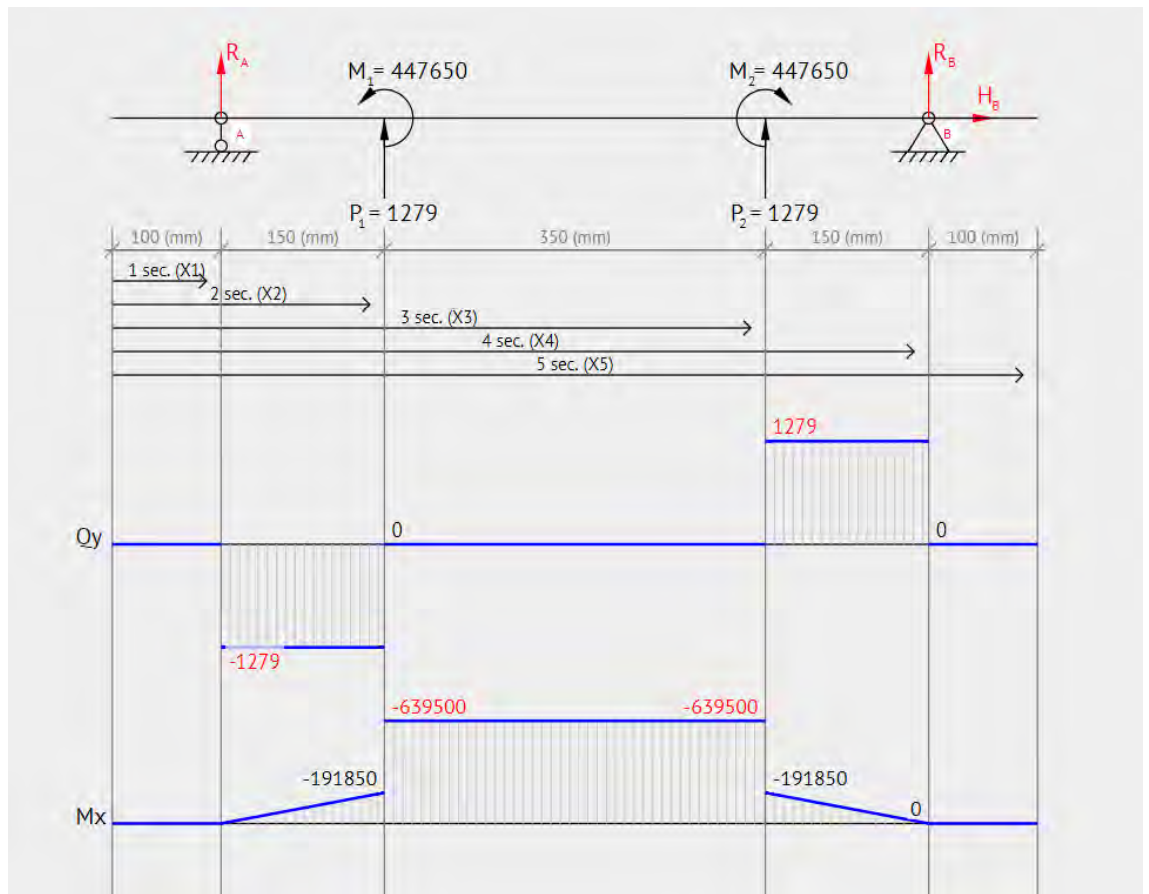


Figura 2: Diagrama de cuerpo libre plano X-Y
Fuente: Propia

DCL (Plano X-Z)

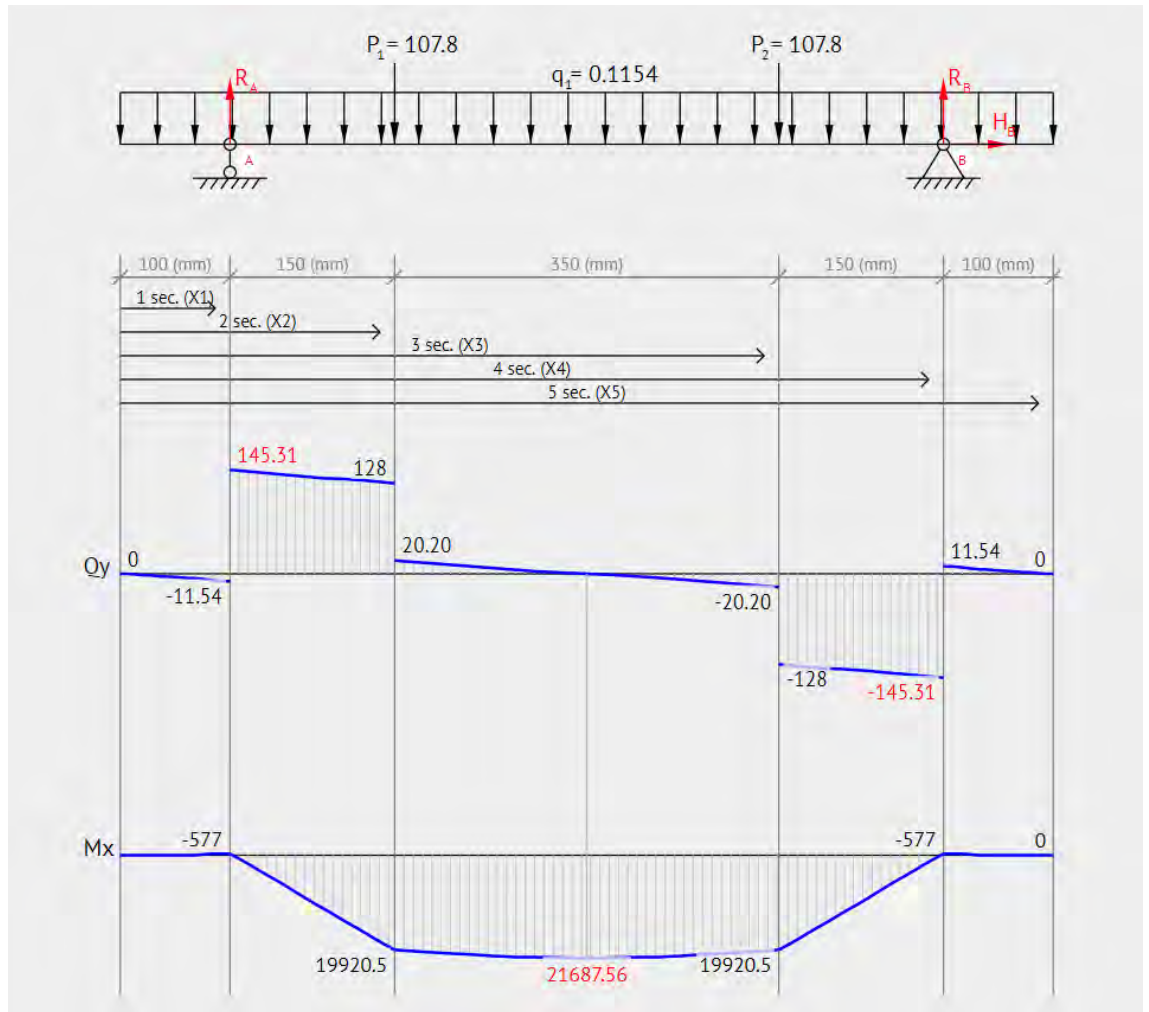


Figura 3: Diagrama de cuerpo libre plano X-Z
Fuente: Propia

De los gráficos, se tiene:

$$M_{f_{xy}} = 639.5 \text{ Nm}$$

$$M_{f_{xz}} = 21.7 \text{ Nm}$$

$$M_f = \sqrt{M_{f_{xy}}^2 + M_{f_{xz}}^2} = 639.8 \text{ Nm}$$

Además,

$$M_t = F_{tracción} * R = 230.2 \text{ Nm}$$

El esfuerzo equivalente se define como:

$$\sigma_{eq} = \left(\sigma_f^2 + 3(\alpha_0 * \tau_t)^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$\sigma_{eq} \leq \sigma_{fAdm} = \frac{\sigma_{fAL}}{S}$$

Donde:

$$\alpha_0 = \frac{\sigma_{fAL}}{1.73 * \tau_{fPul}} = 0.9634$$

$$\sigma_f = \frac{32 * M_f}{\pi * d^3}$$

$$\tau_t = \frac{16 * M_t}{\pi * d^3}$$

Con ello se tiene:

$$d \geq 44 \text{ mm}$$

Ahora, se considera los siguientes factores:

$$\beta_f = 2.4$$

$$\beta_t = 1.6$$

$$C_s = 0.85$$

$$C_t = 0.72$$

$$C_{temp} = 1.02$$

Se definen los esfuerzos de flexión y torsión de la siguiente manera:

$$\sigma_f' = \frac{\beta_f}{C_s * C_t * C_{temp}} * \sigma_f$$

$$\tau_t' = \frac{\beta_t}{C_s * C_t * C_{temp}} * \tau_t$$

$$\sigma_{eq}' = (\sigma_f'^2 + 3(\alpha_0 * \tau_t')^2)^{\frac{1}{2}}$$

$$\sigma_{eq} \leq \sigma_{fAdm} = \frac{\sigma_{fAL}}{FS}$$

Con ello se tiene:

$$d \geq 41 \text{ mm}$$

Debido a que se consideró fuerzas como la masa del tambor y eje estimados y considerando tener un factor de seguridad medio, además de las consideraciones para la elección de rodamientos y acoples, se elige:

$$d = 45 \text{ mm}$$

2. Diseño del motor en estación en tierra

Se tiene los siguientes parámetros:

$$\alpha := 200 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$$

. Aceleración angular máxima:

$$V_m := 800 \text{ rev} \cdot \text{min}^{-1}$$

. Velocidad angular máxima:

$$v_{t.g} := 4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

. Velocidad máxima de salida del cable:

En primer lugar, se calcula la velocidad aparente del viento en la cometa, tomando como datos los siguientes valores de ángulos de elevación y azimuth:

$$\beta := 20^\circ$$

$$\phi := 0$$

La velocidad aparente del viento sería:

$$v_a := \left(\cos(\beta) \cdot \cos(\phi) - \frac{v_{t.g}}{v_w} \right) \cdot v_w \cdot (1 + E^2)^{\frac{1}{2}}$$

$$v_a = 12.416 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Se halla la fuerza de arrastre "Fd" de la cometa:

$$F_D := \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A_p \cdot C_D \cdot v_a^2$$

$$F_D = 167.993 \text{ N}$$

El torque necesario del motor se define como:

$$T_d := F_D \cdot R$$

$$T_d = 14.615 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Del modelo realizado en el programa CAD, se tiene el siguiente dato de la inercia del tambor:

$$J := 0.3 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Se halla el torque inercial del tambor:

$$T_t := J \cdot \alpha$$
$$T_t = 60.000 \text{ N} \cdot \text{m}$$

El torque total sería igual a:

$$T_m := T_d + T_t$$
$$T_m = 74.615 \text{ N} \cdot \text{m}$$

La potencia del motor sería:

$$P_m := T_m \cdot \omega_m$$
$$P_m = 6.251 \text{ kW}$$

3. Cálculo de árbol de transmisión de la unidad de control

Se tiene el siguiente DCL:

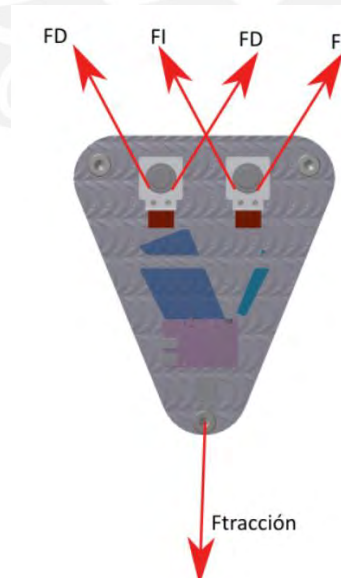


Figura 4: Diagrama de cuerpo libre de la unidad de control
Fuente: Propia

FD: fuerza de la polea de direccionamiento para generación

FI: fuerza de la polea de direccionamiento para retorno

Ambas fuerzas se consideran de la misma magnitud y por equilibrio se tiene:

$$F_D := 639.5 \text{ N}$$

Además, se tienen los siguientes datos:

Radio de las poleas: $R_u := 27.5 \text{ mm}$

Factor de seguridad:

$$S := 3$$

$$FS := 1.2$$

Entonces, debido a que solo el árbol está sometido a torsión

$$M_t := F_D \cdot R_u = 17.586 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M_f := 0$$

Para un árbol de material Ck 45:

$$\sigma_{fAl} := 350 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

$$\tau_{tPul} := 210 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

Se tiene:

$$\left((\sigma_f)^2 + 3 \cdot (\alpha_0 \cdot \tau_t)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \leq \frac{\sigma_{fAl}}{S}$$

$$\tau_t := \frac{16 \cdot M_t}{\pi \cdot d^3}$$

$$\sigma_f := \frac{32 \cdot M_f}{\pi \cdot d^3}$$

$$\alpha_0 := \frac{\sigma_{fAl}}{1.73 \cdot \tau_{tPul}} = 0.963$$

Entonces, se tiene:

$$d \geq 11 \text{ mm}$$

Se elige un diámetro de árbol igual a 12 mm.

4. Cálculo de motor a pasos

Se tiene de datos el diámetro de la polea "Dp" y los pasos deseados del motor.

$$D_p := 68 \text{ mm}$$

$$L_p := 2 \cdot \pi \cdot \frac{D_p}{2} = 0.214 \text{ m}$$

$$\text{pasos} := 4 \text{ mm}$$

$$\text{resolucion} := \frac{L_p}{\text{pasos}} = 53.407$$

$$\frac{360}{\text{resolucion}} = 6.741$$

Se tiene una resolución de pasos por vuelta de 53.41.

Para el torque necesario, se tiene el valor de la fuerza axial igual a 400 N como máximo.

$$F_N := 400 \text{ N}$$

$$T_m := \frac{F_N \cdot D_p}{2} = 13.600 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Se necesita un torque máximo de 13.6 N.m, lo cual se obtiene acoplado una caja reductora al motor.

5. Cálculo de motor brushless para la unidad de control

Se tiene el valor del torque necesario, dado la fuerza F_N y el diámetro de la polea D_p .

$$F_N := \frac{2558 \text{ N}}{2} = 1279.000 \text{ N}$$

$$D_p := 55 \text{ mm}$$

$$T := \frac{F_N \cdot D_p}{2} = 35.173 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Se necesita un torque de 35 N.m, lo cual se obtiene acoplando una caja reductora al motor.

6. Cálculo de chavetas

La transmisión de potencia del motor al árbol y del generador al árbol se realiza mediante chavetas. Debido al costo de maquinado del canal chavetero, se usarán chavetas paralelas redondeadas. Las dimensiones a considerar de muestran en la figura 5.

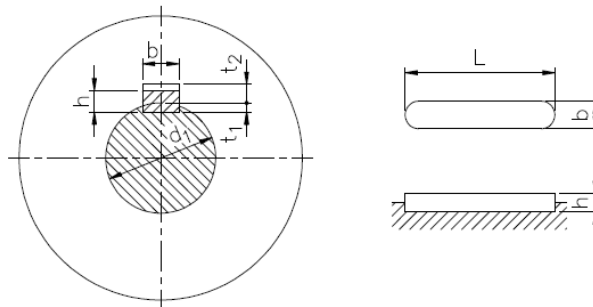


Figura 5: Parámetro de la chaveta
Fuente: Elementos de máquinas

Con el fin de evitar deformaciones plásticas:

$$P \leq P_{adm}$$

$$P := 2 \cdot \frac{M_t}{d \cdot (h - t_1) \cdot L \cdot e_f}$$

Se obtiene:

$$L_{ef} := 2 \cdot \frac{M_t}{d \cdot (h - t_1) \cdot P_{adm}}$$

Ahora, a partir del diámetro calculado, según la norma DIN 6885-1, se obtiene:

$$b := 14 \cdot \text{mm}$$

$$h := 9 \cdot \text{mm}$$

$$t_1 := 5.5 \text{ mm}$$

$$L = L_{ef} + b$$

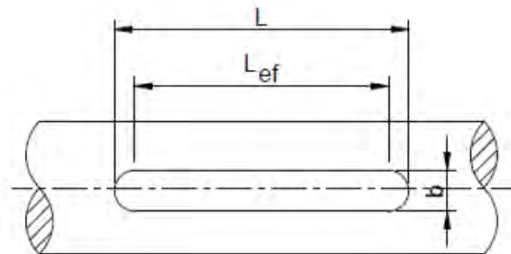


Figura 6: Longitud efectiva de la chaveta
Fuente: Propia

$$L_{ef} = 29.728 \text{ mm}$$

$$L := L_{ef} + b$$

$$L = 43.728 \text{ mm}$$

Para el árbol de transmisión en la unidad de control, con diámetro $d=12$ mm y el torque igual a 16 000 Nmm, se tiene los siguientes datos según DIN 6885-1:

$$b := 4 \text{ mm}$$

$$h := 4 \text{ mm}$$

$$t_1 := 2.5 \text{ mm}$$

Entonces:

$$L_{ef} = 0.020 \text{ m}$$

$$L := L_{ef} + b$$

$$L = 0.024 \text{ m}$$

7. Cálculo de soldadura para soporte de generador

Este cálculo hace referencia a la soldadura entre la plancha en forma de "L" y el nervio para fijar el generador (figura 7).



Figura 7: Soporte del generador
Fuente: Propia

Se asume los valores de garganta de soldadura y factor de seguridad, para luego comprobar que estos dan como resultado un esfuerzo equivalente menor que el admisible. Además, se tiene el caso de la figura 8, en donde se muestra que el cordón de soldadura estará sometido a un esfuerzo normal de flexión y cortante.

$$\begin{aligned} \sigma_{f(y)} &= M_f \cdot y / I \\ \tau_a &= F / A \\ I &= 2 (a L_1^3 / 12) \\ A &= 2 L_1 a \end{aligned}$$

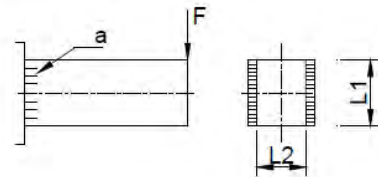


Figura 8: Soldadura sometida a una fuerza cortante y momento flector
Fuente: Elementos de máquinas

Con todo lo referido anteriormente, se tienen los siguientes datos:

Distancia del centro del generador al centro del nervio: $y := 115 \text{ mm}$

Fuerza que actúa en el cordón de soldadura: $F := 637.65 \text{ N}$

Momento flector en el cordón de soldadura: $M_f := 106.8 \text{ N} \cdot \text{m}$

Cordón de soldadura: $a := 3 \text{ mm}$

Longitud de soldadura: $L_1 := 110 \text{ mm}$

Factor de forma para flexión: $v_{1f} := 0.7$

Factor de forma para cortadura: $v_{1t} := 0.35$

Con ellos, se tiene lo siguiente:

$$I := 2 \cdot \left(\frac{a \cdot L_1^3}{12} \right) = 665500.000 \text{ mm}^4$$

$$A := 2 \cdot L_1 \cdot a = 660.000 \text{ mm}^2$$

$$n := \frac{M_f \cdot y}{I} = 18.455 \text{ MPa}$$

$$t_a := \frac{F}{A} = 0.966 \text{ MPa}$$

El esfuerzo equivalente sería igual a:

$$\sigma_{eq} := \left(\frac{n^2}{v_{1f}} + 1.8 \frac{t_a^2}{v_{1t}} \right)^{\frac{1}{2}} = 22.167 \text{ MPa}$$

Ahora, se halla el esfuerzo admisible considerando los siguientes factores:

Factor de calidad de la unión: $v_2 := 0.8$

$$\sigma_{Falt} := 190 \text{ MPa}$$

$$FS_R := 4$$

$$\sigma_{adm} := v_2 \cdot \frac{\sigma_{Falt}}{FS_R} = 38.000 \text{ MPa}$$

Entonces, se comprueba la siguiente expresión:

$$\sigma_{eq} \leq \sigma_{adm}$$

Finalmente, se debe tener en cuenta que toda la fuerza está sometida a solo uno de los nervios con la plancha. Sin embargo, son dos los nervios que soportan la carga, por lo que se puede asegurar que no habrá dificultades.

8. Cálculo de soldadura para soporte de motor

Este cálculo hace referencia a la soldadura entre la plancha en forma de "L" y el nervio para fijar el motor (figura 9).



Figura 9: Soporte de motor
Fuente: Propia

Se asume los valores de garganta de soldadura y factor de seguridad, para luego comprobar que estos dan como resultado un esfuerzo equivalente menor que el admisible. Además, se tiene el caso de la figura 10, en donde se muestra que el cordón de soldadura estará sometido a un esfuerzo normal de flexión y cortante.

$$\begin{aligned} \sigma_f(y) &= M_f y / I \\ t_a &= F / A \\ I &= 2 (a L_1^3 / 12) \\ A &= 2 L_1 a \end{aligned}$$

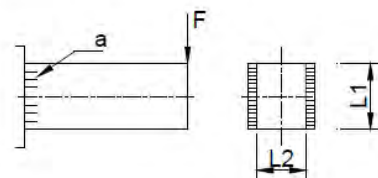


Figura 10: Soldadura sometida a corte y momento flector
Fuente: Elementos de máquinas

Con todo lo referido anteriormente, se tiene los siguientes datos:

Distancia del centro del generador al centro del nervio: $y := 40 \text{ mm}$

Fuerza que actúa en el cordón de soldadura: $F := 245.25 \text{ N}$

Momento flector en el cordón de soldadura: $M_f := 41.94 \text{ N} \cdot \text{m}$

Codón de soldadura: $a := 3 \text{ mm}$

Longitud de soldadura: $L_1 := 70 \text{ mm}$

Factor de forma para flexión: $v_{1f} := 0.7$

Facotr de forma para cortadura: $v_{1t} := 0.35$

Con ello, se tiene lo siguiente:

$$I := 2 \cdot \left(\frac{a \cdot L_1^3}{12} \right) = 171500.000 \text{ mm}^4$$

$$A := 2 \cdot L_1 \cdot a = 420.000 \text{ mm}^2$$

$$n := \frac{M_f \cdot y}{I} = 9.782 \text{ MPa}$$

$$t_a := \frac{F}{A} = 0.584 \text{ MPa}$$

El esfuerzo equivalente sería:

$$\sigma_{eq} := \left(\frac{n^2}{v_{1f}} + 1.8 \frac{t_a^2}{v_{1t}} \right)^{\frac{1}{2}} = 11.766 \text{ MPa}$$

Se calcula el esfuerzo admisible:

$$v_2 := 0.8$$

$$\sigma_{Falt} := 190 \text{ MPa}$$

$$FS_R := 4$$

$$\sigma_{adm} := v \cdot v_2 \cdot \frac{\sigma_F}{FS_R} = 37.600 \text{ MPa}$$

Como se aprecia, el esfuerzo admisible es mucho mayor que el que soporta el cordón de soldadura.

9. Cálculo de tornillos de la unidad de control

La unidad de control estará conectada a la estación en tierra mediante cables. Estos parten desde el tambor en la estación en tierra hacia las uniones atornilladas de tres tornillos M18. Se comprobará que estos no fallan con las siguientes expresiones:

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

Donde:

τ : Esfuerzo de corte

Ft : Fuerza de corte en el tornillo

A : Área transversal del tornillo

Se tiene el siguiente DCL de la unidad de control:

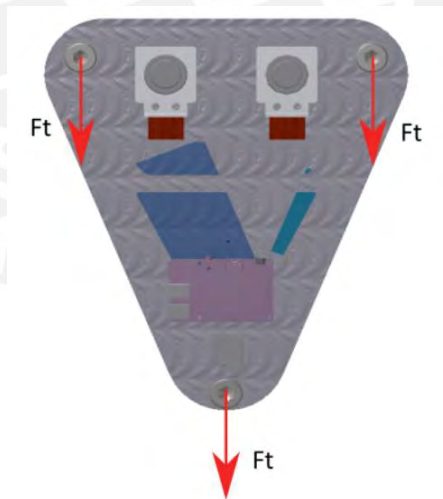


Figura 11: Diagrama de cuerpo libre de los tornillos en la unidad de control
Fuente: Propia

Dado que se tiene la fuerza de tracción hallada anteriormente:

$$Ft = \frac{F_{tracción}}{3}$$
$$Ft = 852.7 N$$

Ahora, se halla el esfuerzo de corte en el tornillo:

$$\tau = \frac{780.33}{\pi \cdot r^2}$$

$$\tau = 3.35 \text{ MPa}$$

Dado que se tiene un tornillo de calidad 8.8, se comprueba que los tornillos no fallarán.

Anexo E: Cálculos electrónicos

1. Cálculo reguladores de voltaje en la unidad de control

Según el datasheet del regulador de voltaje LM2796, este puede convertir a voltajes de 3.3V, 5V, 12V a partir del siguiente modelo. Dicho regulador se muestra en la figura 12.

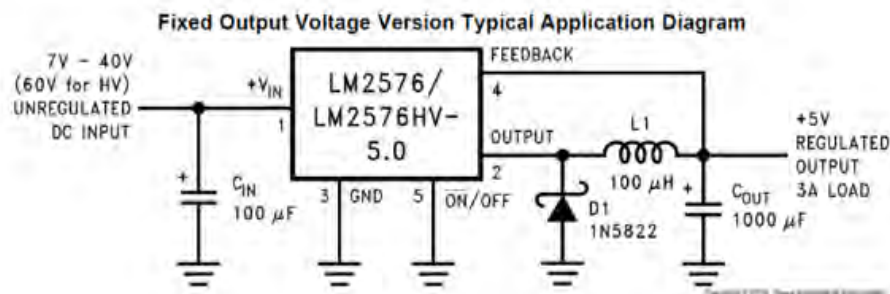


Figura 12: Esquemático de regulador LM2576

a. Regulador de voltaje 3.3V para el Xbee

Corriente ($I_{load\max}$): 215 mA
 Voltaje de entrada (V_{in}): 6.6 V

- Valor del inductor L1: en el datasheet del regulador LM2576 se encuentran las gráficas con las que se calcula este valor.
 L1: 100 uH @ 1 A
- Condensador (C_{in}):
 C_{in} : 100 uF (Valor recomendado por el fabricante)
- Condensador (C_{out}): se calcula en base a la ecuación (2)

$$C_{out} \geq 7,785 \times \frac{V_{in}}{V_{out} L1(uH)} \mu F \dots (2)$$

$$C_{out} \geq 7,785 \times \frac{6.6 V}{3.3 V \times 100(uH)} \mu F$$

$$C_{out} \geq 0.16 \mu F$$

Entonces, el valor final es: $C_{out} = 160 \text{ nF}$.

- Diodo: se calcula reemplazando los valores en la ecuación (3)

$$I_{diodo} = 1.25 \times I_{loadmax} \dots (3)$$

$$I_{diodo} = 1.25 \times 0.215 \text{ A}$$

$$I_{diodo} = 1.3 \text{ A}$$

Entonces, el valor final es: Diodo Shottky 2 A

b. Regulador para Raspberry pi 2

Corriente ($I_{loadm\acute{a}x}$): 2 A

Voltaje de entrada (V_{in}): 6.6 V

- Valor del inductor L1: en el datasheet del regulador LM2576 se encuentran las gráficas con las que se calcula este valor.

L1: 47 μH @ 3 A

- Condensador (C_{in}):

C_{in} : 100 μF (Valor recomendado por el fabricante)

- Condensador (C_{out}): se calcula en base a la ecuación (2)

$$C_{out} \geq 7,785 \times \frac{6.6 \text{ V}}{5 \text{ V} \times 47(\mu\text{H})} \mu\text{F}$$

$$C_{out} \geq 0.218 \mu\text{F}$$

Entonces, el valor final y comercial es: $C_{out} = 0.22 \mu\text{F}$

- Diodo: se calcula reemplazando los valores en la ecuación (3)

$$I_{diodo} = 1.25 \times 1.04 \text{ A}$$

$$I_{diodo} = 2.5 \text{ A}$$

Entonces, el valor final es: Diodo Shottky 3 A

Anexo F: Componentes mecánicos y eléctricos

Rodamientos

Como apoyo del eje se usarán dos rodamientos de rodillos oscilantes de dos hileras, debido a las ventajas que tienen para compensar las flexiones del árbol y los errores de alineación de los apoyos. Además, estos rodamientos soportan elevadas cargas radiales, cargas que son elevadas en el sistema, y también elevadas cargas axiales en ambos sentidos, lo cual es necesario en el sistema propuesto ya que existirán estas fuerzas en ambos sentidos cuando el tambor se desenrolle y enrolle. Los rodamientos que se usarán son de la marca Schaeffler (figura 13). Estos rodamientos son de agujero cónico y pueden incluir un manguito de fijación y de desmonte, además de anillos de fijación, y van montados dentro de un soporte de rodamientos que es partido lo cual facilita el montaje.

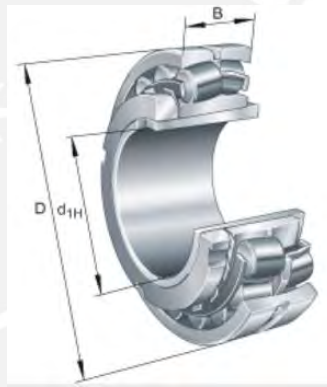


Figura 13: Rodamiento de rodillos oscilantes
Fuente: www.schaeffler.es

Los soportes de rodamientos seleccionados (figura 14) son de la misma marca que los rodamientos y entre sus ventajas tiene que es partido, lo cual facilita el montaje y desmontaje. La lubricación puede ser por grasa, baño de aceite o por circulación de aceite.



Figura 14: Soporte de rodamientos
Fuente: www.schaeffler.es

Acoples

La conexión entre el árbol con el generador, y el árbol con el motor es mediante un acople flexible de la marca Stemin-Breitbach (figura 15). Esta elección se hizo en base a que los soportes en forma de "L" tanto del motor como del generador pueden causar desalineaciones. Además, en el caso del generador, debido a que tiene una conexión en forma de brida en el rotor, no era posible conectar directamente el generador al árbol, por lo que se diseñó un acople que incluye en un extremo una brida para unirla al generador, y en el otro extremo del árbol con un canal chavetero, el cual irá conectado al acople flexible.



Figura 15: Acople Superflex Stemin-Breitbach
Fuente: <http://www.steminbreitbach.com/>

Conexión eje-cubo en el tambor

La conexión eje-cubo en el tambor se realiza mediante unos elementos de sujeción cónica. Se seleccionó los elementos de la marca Ringspann (figura 16). Estos elementos tienen entre sus ventajas que centran el eje con cubo, son de corto espesor, y no permite el desplazamiento axial entre el eje y el cubo.



Figura 16: Elemento de sujeción cónica
Fuente: <http://www.ringspann.com/>

Embrague de rueda libre

Este componente permite desacoplar un elemento de otro, ya sea por sobre revoluciones o por sentido inverso. Por ello, debido a la configuración realizada en este sistema propuesto que se acopla directamente el motor, ya que este puede suministrar el torque necesario, y debido a la necesidad de que cuando se accione el motor, el generador esté desacoplado, se elige este tipo de componentes. Se seleccionó el embrague de rueda libre de serie RLK 133 de la marca Ringspann (figura 17).



Figura 17: Embrague de rueda libre
Fuente: <http://www.ringspann.com/>

Cables

El cable que conecta la estación en tierra con la unidad de control y esta última con la cometa es un cable de fibra de polietileno de alto rendimiento llamado dyneema (figura 18). Esta tiene un rendimiento 15 veces mayor al del acero. La elección de su uso es principalmente porque ofrece una buena resistencia a un peso mínimo. El cable que se usará es de 4 mm de diámetro ya que para ese diámetro se tiene un valor de resistencia admisible para la fuerza de tracción.



Figura 18: Cable Dyneema
Fuente: <http://www.balancecommunity.com/amsteel-78>

Cometa

Debido a que el presente trabajo no contempla el diseño de una cometa, se elegirá una cometa usada para hacer kitesurfing. Esta cometa es de la marca North Rebel (figura 19).



Figura 19: Cometa North Rebel
Fuente: <http://www.powerkiteshop.com/>

Perfiles de aluminio

La estructura principal de la estación en tierra consiste en la unión de perfiles extruidos de aluminio (figura 20), los cuales son de la marca ítem.



Figura 20: Perfiles extruidos de aluminio
Fuente: <http://product.item24.es/>

Poleas

Para el direccionamiento del cable desde el tambor hacia la unidad de control se usará una polea (figura 21). Esta será desplazada linealmente por un actuador lineal mientras se esté desenrollando el cable del tambor.



Figura 21: Polea Harken
Fuente: <http://www.harken.com/>

Actuador lineal

Para desplazar la polea antes mencionada se usa un actuador lineal (figura 22). Esta es de la misma marca de los perfiles extruidos de aluminio para facilitar la unión a la estructura principal. La transmisión es por correa dentada, la cual es de bajo mantenimiento y larga vida útil.

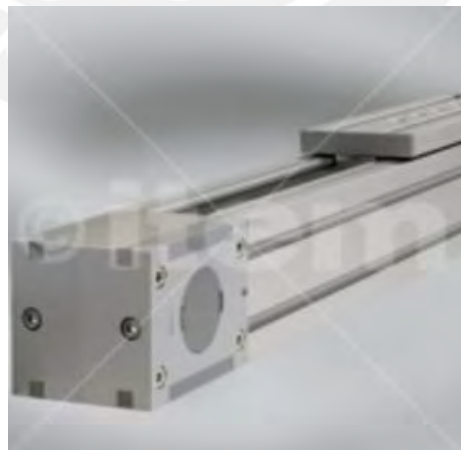


Figura 22: Actuador lineal KLE
Fuente: <http://product.item24.es/>

Inversor trifásico

Para la alimentación de las baterías hacia los motores se usa un inversor trifásico (figura 23). Este cuenta con una salida variable de 320 V – 460 V (AC) y una eficiencia de 95 %.



Figura 23: Inversor trifásico INVT
Fuente: <http://www.invt.com/>

Regulador AC/DC

Para la carga desde el generador a las baterías se usa un convertidor AC/DC (figura 24). Este cuenta con una entrada de 200 V – 480 Vrms y una salida nominal de 24 V, 48 V y 100 V, y una potencia de 4000 W



Figura 24: Regulador TXP4000
Fuente: <http://www.digikey.com/>

Lista de planos

Tabla 5: Lista de planos

Fuente: Propia

Planos mecánicos		
Número	Sobre	Nombre
L0-A0		1 Sistema integrado
L1-A0		1 Estación en tierra
L2-A3		1 Unidad de control
L3-A3		1 Actuador Lineal
L4-A3		1 Soporte generador
L5-A3		1 Soporte motor
L6-A3		1 Acople generador 1
L7-A3		1 Acople generador 2
L8-A3		1 Base soporte rodamientos
L9-A3		1 Caja de alojamiento 1
L10-A3		1 Caja de alojamiento 2
L11-A3		2 Estructura principal
L12-A3		2 Nervio generador/ Nervio motor
L13-A3		2 Placa componentes
L14-A3		2 Plancha actuador/Plancha driver
L15-A3		2 Plancha base generador
L16-A2		2 Plancha soporte estructura 1/2
L17-A3		2 Plancha soporte generador
L18-A3		2 Plancha soporte motor
L19-A3		2 Tambor principal
L20-A3		2 Tambor unidad de control
L21-A2		2 Tapa frontal/ Tapa lateral
L22-A3		2 Tapa superior
L23-A2		2 Estructura unidad de control
L24-A3		2 Bloque generador
L25-A3		2 Árbol de transmisión
L26-A3		2 Barra cilíndrica / Soporte Acoplamiento / Árbol U. de control
Planos eléctricos		
Número	Sobre	Nombre
L1-A3		2 Esquemático en estación en tierra
L2-A3		2 Esquemático en unidad de control
L3-A3		2 Esquemático en cometa
L4-A3		2 Diagrama de potencia y mando



DUCASSE COMERCIAL DEL PERU S.A.

RUC: 20386659959
Av. República de Panamá 6426
MIRAFLORES LIMA LIMA LIMA 18 PERU
Tel: 611-8080
Fax: 241-0758
Website: www.ducasse.com.pe



WIPPERMANN



ROSTA

elementos elásticos: oscilantes, tensores, amortiguación, anivibración

COTIZACION NRO. 01-0052191

ESTIMADOS SEÑORES:

DE ACUERDO A VUESTRA SOLICITUD LES HACEMOS LLEGAR NUESTRA OFERTA POR LO SIGUIENTE:

FECHA: 29/11/2016
CLIENTE: PONTIFICA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU DOC. IDENTIDAD: 20155945860
DIRECCION: AV. UNIVERSITARIA CDRA. 1801 SAN MIGUEL LIMA LIMA
TELEFONO: FAX:
REFERENCIA: BACKSTOP
COND. VENTA: Contado contra entrega VALIDO POR: 10 día(s)

ITEM	MARCA	DESCRIPCION	CANTIDAD		U.M.	TIEMPO ENTREGA	VALOR UNITARIO	TOTAL VALOR VENTA SIN IGV
			PRECIO	COTIZADO				
1	RINGSPANN	FREEWHEEL FGR 45 A1A2	1,00	1,00	UND	7 A 9 SEMANAS	2.619,54	2.619,54
2	RINGSPANN	CONE CLAMPING ELEMENT RLK 133 45 x 75	1,00	1,00	UND	7 A 9 SEMANAS	57,18	57,18

TOTAL VALOR VENTA	USD	2.676,72
I.G.V.	USD	481,81
TOTAL PRECIO VENTA	USD	3.158,53

PRECIOS: NETOS UNITARIOS SIN IGV, EN DOLARES AMERICANOS
VALIDEZ OFERTA: SUJETO A SALDO DE INVENTARIO DISPONIBLE AL MOMENTO DE CONFIRMAR SU O/C
TIEMPO ENTREGA: DE ACUERDO A LO INDICADO DESPUES DE RECIBIDO SU ORDEN DE COMPRA, SALVO VENTA PREVIA.

AGRADECIENDO DE ANTEMANO LA ATENCION QUE SE SIRVA BRINDAR A LA PRESENTE, NOS DESPEDIMOS.

Vendedor: Oficina Rodamientos y Transmisiones
Teléfono del vendedor: 611-8080
E-mail del vendedor: ventas@ducasse.com.pe

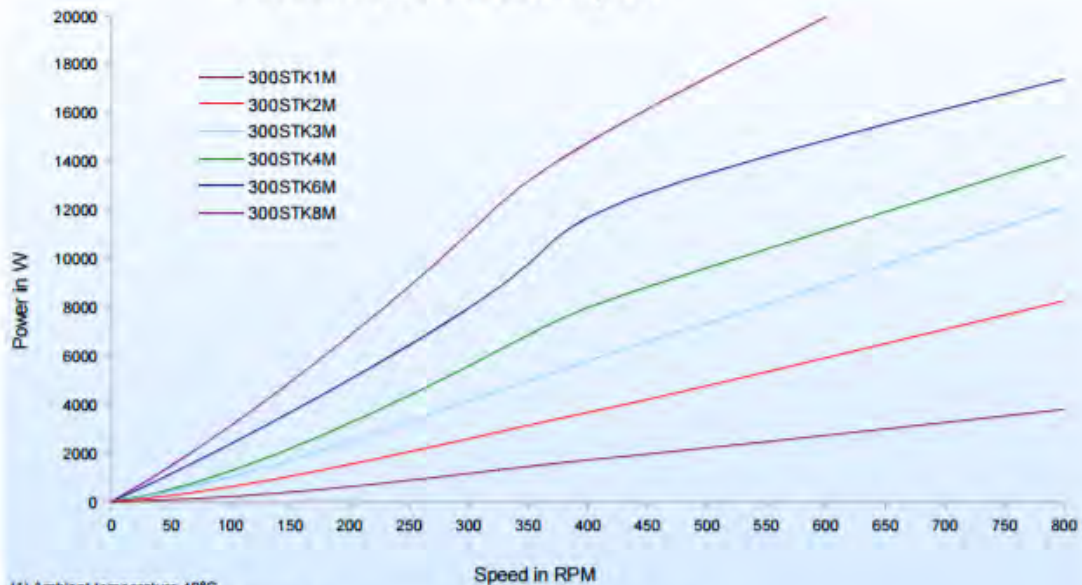
TECHNICAL CHARACTERISTICS

300 STK ALTERNATORS

See also the curves of Voltage, Torque, Efficiency vs Speed

		300STK1M		300STK2M		300STK3M		300STK4M		300STK6M		300STK8M		
Rated speed		Rpm		350	800	350	800	350	800	350	800	350	600	
Rated Power at Rated speed	Rated power (1)(2)	W	1444	3793	3141	8270	4990	12150	6858	14240	9782	17399	13201	19965
	Input torque at rated speed(1)(2)	N.m	52.5	52.4	104	111	162	160	225	187	310	226	415	348
	Efficiency at rated power (1)(2)	%	75	87	82	89	83	90	84	92	87	92	87	92
	Current at rated power (1)	Amps	3.7	9.9	7.3	19.2	12.1	27.1	16.8	34.2	23.6	42.9	30.4	50
	Voltage at rated power (1)(2)(3)	V	232	230	255	258	239	261	242	251	247	247	258	240
Rated Power at Half speed	Rated Power at half speed (1)(2)	W	496	1706	1276	3665	2080	5800	2688	7985	4333	11700	5853	11058
	Input torque at half speed (1)(2)	N.m	40.5	52.4	99	104.5	161	162	186	225	310	309	415	414
	Efficiency at half speed (1)(2)	%	67	78	71	84	70	85	78	85	77	88	77	85
Number of poles (number of pairs of poles)		24 (12)												
Cogging torque		N.m	0.5		1		1.5		2		3		4	
Phase resistance at 20°C		Ohm	8.75	1.24	2.87	0.51	1.36	0.21	0.97	0.15	0.53	0.08	0.4	0.1
Phase inductance (5)		mH	33.4	4.8	17.3	3	10.1	1.52	8.1	1.25	5.2	0.75	4.1	1.03
Voltage at no load (back emf) at 20°C (4)		V	329	284	335	316	311	316	323	289	311	277	323	277
Rotor inertia		10 ⁴ Kg.m ²	26.4		52.7		39.6		105.5		158.2		211	
Weight		Kg	11.5		18		24.5		31		44		57	
Power cable square section (6)		mm ²	4x1.5		4x1.5	4x2.5	4x1.5	4x4	4x1.5	4x6	4x4	4x10	4x4	4x10
Power cable diameter		mm	Ø8.6		Ø8.6	Ø10.8	Ø8.6	Ø12.2	Ø8.6	Ø14	Ø12.2	Ø17.6	Ø12.2	Ø17.6

Alternator 300STK Power - Speed



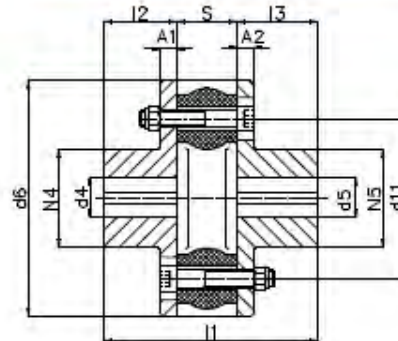
- (1) Ambient temperature 40°C
Wind speed 10 m/s cooling the housing
Winding temperature rise < 100°C
Stator housing in contact with the ambient air or integral on all its peripheral area with a metallic armature in contact with the ambient air
Stator housing secured on a metallic frame getting an area equal to twice the cross section of the housing
- (2) Operation in sine wave mode with unity power factor
- (3) Line to line voltage. Voltage level may be adapted according to the application; please contact us
- (4) Line to line voltage, alternator at no load, rated speed and at 20°C
- (5) For current at rated power
- (6) For currents lower than 53 Amps, one cable
For currents over 53 Amps, four single wires output (highlighted in the table)

ALXION
Automatique
& Productique

Afmetingen

Abmessungen

Dimensions



SUPERFLEX

afmeting Größe Size	rot. moment	max. toerental	min/max booring								massa	massa/rot. hardmoment	dynamische stroomtheid
	T_{Kv}	n_{max}	d_4 / d_5	d_6	d_{11}	$N_4 = N_5$	L_1	$L_2 = L_3$	s	$A_1 = A_2$	$M^{(1)}$	$J^{(1)}$	C_{dyn}
	Nero- moment rotic torque (Nm)	max Draaisnel. max. speed (min ⁻¹)	min/max Booring min/max bore	(mm)							Massa mass	Massa/rot. hardmoment mass moment of inertia	dynamische Draaiflexibiliteit dynamic Torsional stiffness (Nm/rad)
4	40	9.000	0 - 28	106	65	40,0	101	36,5	28	11,5	1,9	0,0020	285
8	80	7.500	0 - 35	134	85	52,0	116	42,0	32	11,5	3,1	0,0052	570
16	160	6.500	0 - 42	151	100	64,0	148	51,0	46	13,5	4,8	0,0096	1.140
27	270	5.000	0 - 60	191	132	89,5	157	53,5	50	14,0	9,1	0,0295	2.120
66	550	4.000	0 - 75	240	170	110,0	208	73,0	62	20,0	18,8	0,0970	4.300
80	800	3.500	0 - 85	260	183	125,0	259	95,5	68	27,0	30,0	0,1829	6.830
120	1.200	3.000	40 - 95	290	210	145,0	300	111,0	78	28,0	42,6	0,3175	14.400
240	2.400	2.000	40 - 130	390	280	200,0	380	140,0	100	32,0	100,6	1,3030	53.100

(1) - gelden voor gemiddelde boringen / gelden für mittlere Bohrungen / refer to medium sized bores

Aanhaalmoment Bouten

Anzugsmoment Schrauben

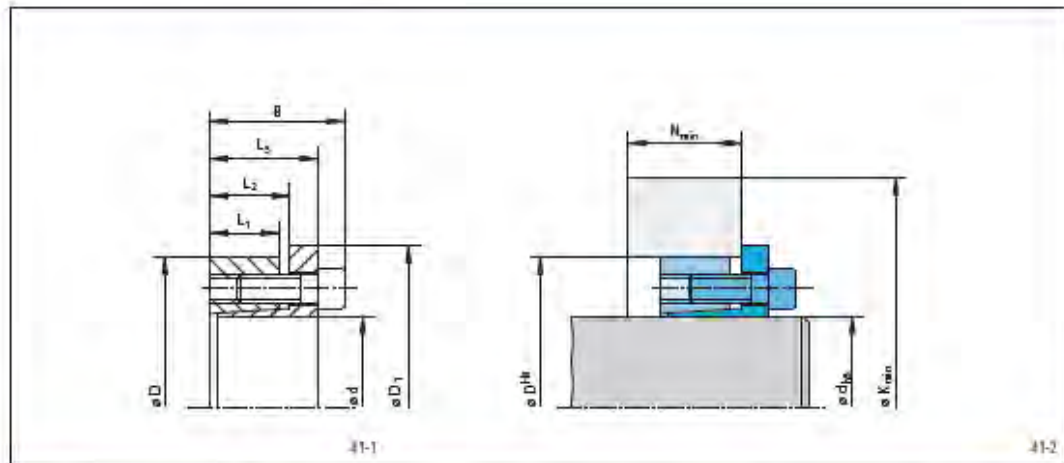
Tightening Torque Bolts

Afmeting / Größe / Size	4	8	16	27	66	80	120	240
bouten Schrauben - DIN 912 (8.8) bolts	6 x M8 x 50	6 x M10 x 55	6 x M12 x 75	6 x M14 x 80	6 x M20 x 110	6 x M20 x 120	6 x M20 x 130	6 x M27 x 160
aanhaalmoment - bouten Anzugsmoment - Schrauben tightening torque - bolts	(Nm)	22	40	70	100	340	340	1.000

Cone Clamping Elements RLK 133

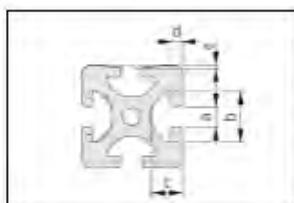
RINGSPANN®

centres the hub to the shaft
short axial width with fixed backstop point



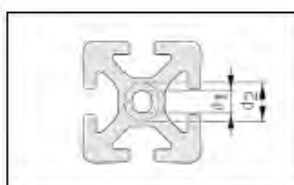
Dimensions										Technical Data										Article number		
Size		Yield strength $R_{p0.2}$ of the hub material [N/mm ²]								Transmissible torque or axial force		Contact pressure at Shaft / Hub		Clamping screws				Weight				
d	D	D ₁	B	L ₁	L ₂	L ₃	K _{min}	N _{min}	K _{min}	N _{min}	M	F	P _c	P _y	Tightening torque	Number	Size	Length	kg			
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	200	320	500	mm	Nm	kN	N/mm ²	N/mm ²	Nm		mm	mm				
20	47	53	34	17	22	26	87	32	69	28	61	24	320	33	290	123	16	6	M6	20	0,3	4204-020301-000000
22	47	53	34	17	22	26	87	32	69	28	61	24	350	33	264	123	16	6	M6	20	0,3	4204-022301-000000
24	50	56	34	17	22	26	88	32	71	27	64	24	390	33	242	116	16	6	M6	20	0,3	4204-024301-000000
25	50	56	34	17	22	26	88	32	71	27	64	24	400	33	232	116	16	6	M6	20	0,3	4204-025301-000000
28	55	62	34	17	22	26	91	31	75	27	68	24	450	33	207	106	16	6	M6	20	0,4	4204-028301-000000
30	55	62	34	17	22	26	91	31	75	27	68	24	480	33	193	106	16	6	M6	20	0,3	4204-030301-000000
32	60	68	34	17	22	26	109	34	87	29	77	26	690	43	242	129	16	8	M6	20	0,3	4204-032301-000000
35	60	68	34	17	22	26	109	34	87	29	77	26	760	43	221	129	16	8	M6	20	0,4	4204-035301-000000
38	65	72	34	17	22	26	111	34	91	29	82	26	820	43	204	119	16	8	M6	20	0,5	4204-038301-000000
40	65	72	34	17	22	26	111	34	91	29	82	26	860	43	193	119	16	8	M6	20	0,4	4204-040301-000000
42	75	84	41	20	25	33	155	45	120	36	102	32	1550	76	273	153	37	8	M8	25	0,7	4204-042301-000000
45	75	84	41	20	25	33	155	45	120	36	102	32	1700	76	255	153	37	8	M8	25	0,7	4204-045301-000000
48	80	89	41	20	24	33	156	44	123	36	106	32	1800	76	239	143	37	8	M8	25	0,8	4204-048301-000000
50	80	89	41	20	24	33	156	44	123	36	106	32	1850	76	229	143	37	8	M8	25	0,8	4204-050301-000000
55	85	91	41	20	24	33	158	43	127	36	111	32	2050	76	208	135	37	8	M8	25	0,9	4204-055301-000000
60	90	99	41	20	24	33	160	43	131	35	115	31	2250	76	191	127	37	8	M8	25	0,9	4204-060301-000000
65	95	104	41	20	24	33	162	42	135	35	120	31	2450	76	176	121	37	8	M8	25	0,9	4204-065301-000000
70	110	119	50	24	29	40	203	53	164	44	143	38	4100	119	217	138	73	8	M10	30	1,6	4204-070301-000000
75	115	124	50	24	29	40	205	53	168	43	148	38	4400	119	203	132	73	8	M10	30	1,7	4204-075301-000000
80	120	129	50	24	29	40	207	52	172	43	153	38	4700	119	190	127	73	8	M10	30	1,9	4204-080301-000000
85	125	134	50	24	29	40	235	58	190	46	166	40	6300	149	224	152	73	10	M10	30	2,0	4204-085301-000000
90	130	139	50	24	29	40	237	57	194	46	170	40	6700	149	211	146	73	10	M10	30	2,0	4204-090301-000000
95	135	144	50	24	29	40	239	56	198	46	175	40	7000	149	200	141	73	10	M10	30	2,3	4204-095301-000000
100	145	154	56	26	31	44	259	61	214	49	188	43	8700	175	204	140	126	8	M12	30	2,8	4204-100301-000000
110	155	164	56	26	31	44	264	59	222	49	197	43	9600	175	185	131	126	8	M12	30	3,1	4204-10301-000000
120	165	174	56	26	31	44	285	62	238	50	212	44	11700	197	191	139	126	9	M12	30	3,2	4204-120301-000000
130	180	189	64	34	39	52	316	74	262	61	232	53	17000	262	180	130	126	12	M12	30	4,6	4204-130301-000000
140	190	199	68	34	39	54	326	74	273	61	243	53	18500	270	172	127	201	9	M14	40	5,0	4204-140301-000000
150	200	209	68	34	39	54	348	77	291	63	258	55	22000	300	178	134	201	10	M14	40	5,2	4204-150301-000000
160	210	219	68	34	39	54	385	84	317	67	278	57	28500	360	201	153	201	12	M14	40	5,6	4204-160301-000000
170	225	234	78	44	49	64	373	87	315	73	282	64	30500	360	146	110	201	12	M14	40	6,5	4204-170301-000000
180	235	244	78	44	49	64	379	86	323	72	291	64	32000	360	138	106	201	12	M14	40	8,5	4204-180301-000000
190	250	259	78	44	49	64	427	94	358	77	319	67	42500	450	163	124	201	15	M14	40	9,0	4204-190301-000000
200	260	269	78	44	49	64	433	93	367	77	326	67	44500	450	155	119	201	15	M14	40	9,6	4204-200301-000000

Dimensiones de la ranura

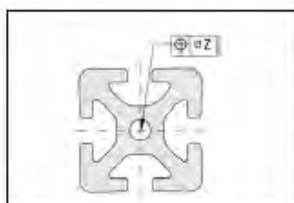


a	5,0 ^{+0,2}	6,2 ^{+0,2}	8,0 ^{+0,4}	10,0 ^{+0,4}	12,0 ^{+0,4}
b	11,5 ^{+0,2}	16,3 ^{+0,2}	20,0 ^{+0,4}	25,0 ^{+0,4}	30,0 ^{+0,4}
c	6,35 ^{+0,13}	9,75 ^{+0,2}	12,25 ^{+0,2}	15,5 ^{+0,2}	18,3 ^{+0,2}
d	1,8 ^{+0,1}	3,0 ^{+0,2}	4,5 ^{+0,2}	5,3 ^{+0,2}	6,6 ^{+0,2}
e	0,15 ^{+0,1}	0,15 ^{+0,1}	0,2 ^{+0,1}	0,25 ^{+0,1}	0,3 ^{+0,1}

Núcleo



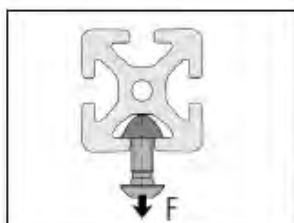
Taladro d ₁	∅ 4,0 ^{+0,1} mm para M5	∅ 5 ^{+0,2} mm para M6	∅ 6,8 ^{+0,2} mm para M8	∅ 8,5 ^{+0,2} mm para M10	∅ 10,2 ^{+0,2} mm para M12
Retaladrable hasta máx. d ₂	∅ 6 mm o M6	∅ 8 mm o M8	∅ 13 mm o M12 (no perfiles E)	∅ 16 mm o M16 (no perfiles E)	∅ 20 mm o M20



Perfiles con ranuras abiertas		Ranuras cerradas	
Número de agujeros	z [mm]	Número de agujeros	z [mm]
1	0,4	1	0,6
2 a 4	0,6	> 1	0,8
> 4	0,8		

La tolerancia de la posición del taladro depende del número de agujeros y del contorno del perfil.

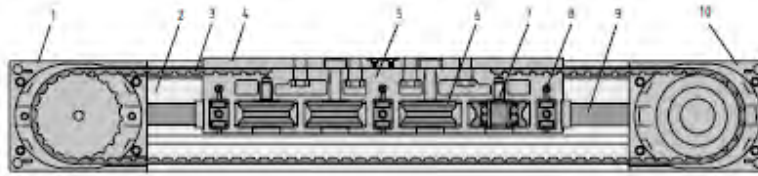
Carga de tracción



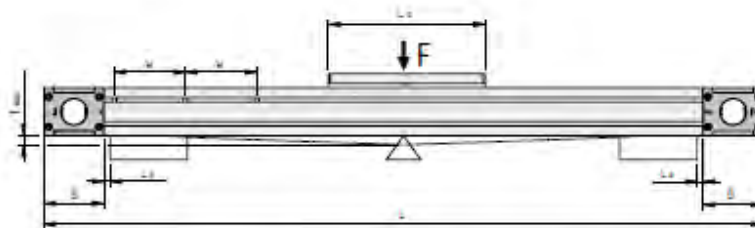
Forma de la ranura					
normal	500 N	1.750 N	5.000 N	7.000 N	10.000 N
ligero		500 N	2.500 N		5.000 N
E			1.750 N	3.500 N	

Fuerzas de tracción F admisibles en las aletas de la ranura. Estas cargas nominales incluyen factores de seguridad (S > 2) a la deformación plástica.

3.2 Terms, geometry



Article designation	Order number
1 Drive Unit KLE 6 60x60 LR Drive Unit KLE 8 80x80 LR	0.0.605.16 0.0.604.95
2 Profile 6 60x60 KLE Profile 8 80x80 KLE	0.0.603.83 0.0.600.42
3 Timing Belt R 25 AT5 PAR Timing Belt R 34 AT10 PAR	0.0.604.06 0.0.600.26
4 Cover Plate KLE 60x60 Cover Plate KLE 80x80	
5 Slide KLE 6 60x60 Slide KLE 8 80x80	0.0.604.23 0.0.600.26
6 Roller D10/D14, eccentric bearing	
7 Roller D10/D14, centric bearing	
8 Lubricating System with three grease nipples	
9 Shaft D10/D14	
10 Reverse Unit KLE 6 60x60 LR Reverse Unit KLE 8 80x80 LR	0.0.604.21 0.0.600.49
11 Strip KLE 6 60x60 Strip KLE 8 80x80	0.0.608.29 0.0.608.30
12 Cover Profile KLE 6 60x60 Cover Profile KLE 8 80x80	0.0.603.88 0.0.600.54



		KLE 6 60x60	KLE 8 80x80
L_s (mm)	Slide length	196	273
B (mm)	Width of Reverse Units	75	100
W (mm)	Distance between maintenance holes	85,5	119
L_1 (mm)	Minimum distance from support to Reverse Unit	10	10
L (mm)	Max. overall length	6.150	6.200
L (mm)	Min. overall length	400	600
t_{max} (mm/m)	Deflection	≤ 1	≤ 1

Table 2 Geometry

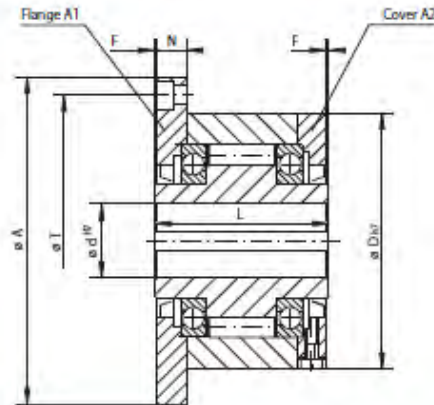
The maximum deflection t_{max} of the system is governed by the dimension of the profile cross-section, the free profile length and the force applied.

The KLE housing must be given appropriate support if the linearity of movement has to be very precise.

Complete Freewheels FGR ... R A1A2

RINGSPANN®

with mounting flange
with rollers



25-1

Indicator Freewheel Clockwise (CW) / Counterclockwise (CCW)	Standard type For universal use	Dimensions

Freewheel Size	Type	Flange and cover combination	Nominal torque M_N Nm	Max. speed Innering freewheel/overrun min^{-1}	Outering freewheel/overrun min^{-1}	Bore d mm	A mm	D mm	F mm	G ^{**}	L mm	N mm	T mm	Z ^{**}	Weight kg
FGR 12 R	R	A1A2	55	2 500	5 400	12	85	62	1	M 5	42	10,0	72	3	1,2
FGR 15 R	R	A1A2	130	2 200	4 800	15	92	68	1	M 5	52	11,0	78	3	1,6
FGR 20 R	R	A1A2	180	1 900	4 100	20	98	75	1	M 5	57	10,5	85	4	1,9
FGR 25 R	R	A1A2	290	1 550	3 350	25	118	90	1	M 6	60	11,5	104	4	2,9
FGR 30 R	R	A1A2	500	1 400	3 050	30	128	100	1	M 6	68	11,5	114	6	3,9
FGR 35 R	R	A1A2	730	1 300	2 850	35	140	110	1	M 6	74	13,5	124	6	4,9
FGR 40 R	R	A1A2	1 000	1 150	2 500	40	160	125	1	M 8	86	15,5	142	6	7,5
FGR 45 R	R	A1A2	1 150	1 100	2 400	45	165	130	1	M 8	86	15,5	146	8	7,8
FGR 50 R	R	A1A2	2 100	950	2 050	50	185	150	1	M 8	94	14,0	166	8	10,8
FGR 55 R	R	A1A2	2 600	900	1 900	55	204	160	1	M 10	104	18,0	182	8	14,0
FGR 60 R	R	A1A2	3 500	800	1 800	60	214	170	1	M 10	114	17,0	192	10	16,8
FGR 70 R	R	A1A2	6 000	700	1 600	70	234	190	1	M 10	134	18,5	212	10	20,8
FGR 80 R	R	A1A2	6 800	600	1 400	80	254	210	1	M 10	144	21,0	232	10	27,0
FGR 90 R	R	A1A2	11 000	500	1 300	90	278	230	1	M 12	158	20,5	254	10	40,0
FGR 100 R	R	A1A2	20 000	350	1 100	100	335	270	1	M 16	182	30,0	305	10	67,0
FGR 130 R	R	A1A2	31 000	250	900	130	380	310	1	M 16	212	29,0	345	12	94,0
FGR 150 R	R	A1A2	68 000	200	700	150	485	400	1	M 20	246	32,0	445	12	187,0

■ Freewheels with bore diameters highlighted blue in the table are available with short delivery times.
The maximum transmissible torque is 2 times the specified nominal torque. See page 14 for determination of selection torque.
Keyway according to DIN 6885, page 1 - Tolerance of keyway width: JS10.
** Z = Number of fastening holes for screws G (DIN EN ISO 4762) on pitch circle T.

Mounting

Basic Freewheel, flange, cover, seals and screws are supplied loose. These must be assembled by the customer with regard to the required freewheeling direction into the Complete Freewheel. Prior to commissioning, the freewheel must be filled with oil of the specified quality. Upon request, assembled Complete Freewheels already oil-filled can be supplied.

The customer attachment part is centered on the external diameter D and bolted on via flange A1.

The tolerance of the shaft must be ISO h6 or j6 and the tolerance of the pilot diameter D of the attachment part must be ISO H7 or J7.

Example for ordering

Freewheel size FGR 25, standard type with flange A1 and cover A2:

- FGR 25 R A1A2

Basic Freewheel, flange, cover, seals and screws are supplied loose provided nothing else is stated in the order. If assembled, oil-filled, Complete Freewheels are to be supplied, this must be specified in the order. When ordering, please also specify the freewheeling direction of the inner ring when viewed in direction X:

- counterclockwise free or
- clockwise free

Nema 23 Planetary Geared Stepper Motor

Rev: A

Date:

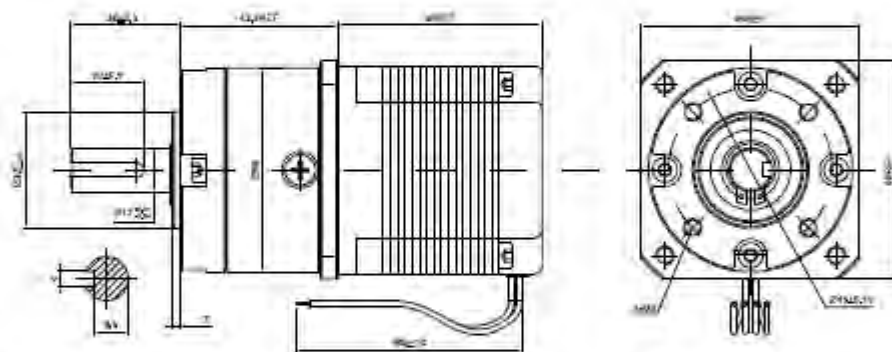
COMMON RATINGS

Step angle :	1.8°	Dielectric strength :	500VAC
Positional accuracy :	±5%	Insulation resistance :	100Mohm(500VDC)
Number of Phase :	2	Ambient Temperature :	-10℃~50℃
Temperature rise :	80℃MAX	Insulation class :	B
Rotor Inertia :	440gcm ²	Weight :	1.2Kg

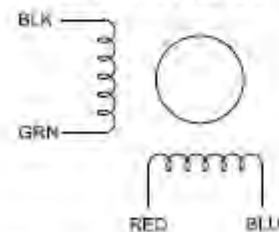
SPECIFICATIONS

Holding Torque Before Gearbox (N.m)	Rated Current/Phase (Amps DC)	Phase Resistance (ohms) ±10%	Voltage Current/Phase (V.DC)	Phase Inductance (mH) ±20%(1KHz) Typical	Gear Ratio
1,25	2,8	0,9	2,6	2,5	4,25

DIMENSIONS unit=mm



CONNECTIONS



GEARBOX

Gear Ratio:	4:1
Efficiency:	80%
Backlash at No-load:	≤ 1.5'
Max. Permissible Torque(Nm):	200
Minimum Permissible Torque(Nm):	< 0.01
Shaft Maximum Axial Load(N):	100.0
Shaft Maximum Radial Load(N):	200.0

						23HS22-2804S-PG4		技术规格书	
标记	数量	公差	规格文件号	日期	日期				
设计			标准化			设计标记	数量		
审核									www.OMC-StepperOnline.com
工二			审核						

A4988

DMOS Microstepping Driver with Translator And Overcurrent Protection

ELECTRICAL CHARACTERISTICS¹ at $T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_{BB} = 35\text{ V}$ (unless otherwise noted)

Characteristics	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ. ²	Max.	Units
Output Drivers						
Load Supply Voltage Range	V_{BB}	Operating	8	–	35	V
Logic Supply Voltage Range	V_{DD}	Operating	3.0	–	5.5	V
Output On Resistance	R_{DSON}	Source Driver, $I_{OUT} = -1.5\text{ A}$	–	320	430	m Ω
		Sink Driver, $I_{OUT} = 1.5\text{ A}$	–	320	430	m Ω
Body Diode Forward Voltage	V_F	Source Diode, $I_F = -1.5\text{ A}$	–	–	1.2	V
		Sink Diode, $I_F = 1.5\text{ A}$	–	–	1.2	V
Motor Supply Current	I_{BB}	$f_{PWM} < 50\text{ kHz}$	–	–	4	mA
		Operating, outputs disabled	–	–	2	mA
Logic Supply Current	I_{DD}	$f_{PWM} < 50\text{ kHz}$	–	–	8	mA
		Outputs off	–	–	5	mA
Control Logic						
Logic Input Voltage	$V_{IN(1)}$		$V_{DD} \times 0.7$	–	–	V
	$V_{IN(D)}$		–	–	$V_{DD} \times 0.3$	V
Logic Input Current	$I_{IN(1)}$	$V_{IN} = V_{DD} \times 0.7$	–20	<1.0	20	μA
	$I_{IN(D)}$	$V_{IN} = V_{DD} \times 0.3$	–20	<1.0	20	μA
Microstep Select	R_{MS1}	MS1 pin	–	100	–	k Ω
	R_{MS2}	MS2 pin	–	50	–	k Ω
	R_{MS3}	MS3 pin	–	100	–	k Ω
Logic Input Hysteresis	$V_{HYD(IN)}$	As a % of V_{DD}	5	11	19	%
Blank Time	t_{BLANK}		0.7	1	1.3	μs
Fixed Off-Time	t_{OFF}	OSC = VDD or GND	20	30	40	μs
		$R_{OSC} = 25\text{ k}\Omega$	23	30	37	μs
Reference Input Voltage Range	V_{REF}		0	–	4	V
Reference Input Current	I_{REF}		–3	0	3	μA
Current Trip-Level Error ³	err _I	$V_{REF} = 2\text{ V}$, % $I_{TRIPMAX} = 38.27\%$	–	–	± 15	%
		$V_{REF} = 2\text{ V}$, % $I_{TRIPMAX} = 70.71\%$	–	–	± 5	%
		$V_{REF} = 2\text{ V}$, % $I_{TRIPMAX} = 100.00\%$	–	–	± 5	%
Crossover Dead Time	t_{DT}		100	475	800	ns
Protection						
Overcurrent Protection Threshold ⁴	$I_{OCP\&T}$		2.1	–	–	A
Thermal Shutdown Temperature	T_{TSD}		–	165	–	$^\circ\text{C}$
Thermal Shutdown Hysteresis	T_{TSDHYS}		–	15	–	$^\circ\text{C}$
VDD Undervoltage Lockout	V_{DDUVLO}	V_{DD} rising	2.7	2.8	2.9	V
VDD Undervoltage Hysteresis	$V_{DDUVLOHYS}$		–	90	–	mV

¹For input and output current specifications, negative current is defined as coming out of (sourcing) the specified device pin.

²Typical data are for initial design estimations only, and assume optimum manufacturing and application conditions. Performance may vary for individual units, within the specified maximum and minimum limits.

³ $V_{ERR} = [(V_{REF}/8) - V_{SENSE}] / (V_{REF}/8)$.

⁴Overcurrent protection (OCP) is tested at $T_A = 25^\circ\text{C}$ in a restricted range and guaranteed by characterization.



Allegro Microsystems, LLC
115 Northeast Cutoff
Worcester, Massachusetts 01615-0036 U.S.A.
1.508.853.5000; www.allegromicro.com

XFTC301 Miniature Load Cell

PERFORMANCE SPECIFICATIONS

All values are typical at temperature: 20±1° C

PARAMETERS	
Operating Temperature Range (OTR)	-40 to 120° C [-40 to 248° F]
Compensated Temperature Range (CTR)	0 to 60° C [32 to 140° F]
Zero Shift in CTR	<2% F.S. / 50° C [100° F]
Sensitivity Shift in CTR	<2% of reading / 50° C [100° F]
Range (F.S.)	0-500N to 0-10kN [0-100lbf to 0-2klbf]
Over-Range	
Without Damage	2 x F.S.
Without Destruction	3 x F.S.
Accuracy	
Linearity	≤±0.5% F.S.
Hysteresis	≤±0.5% F.S.

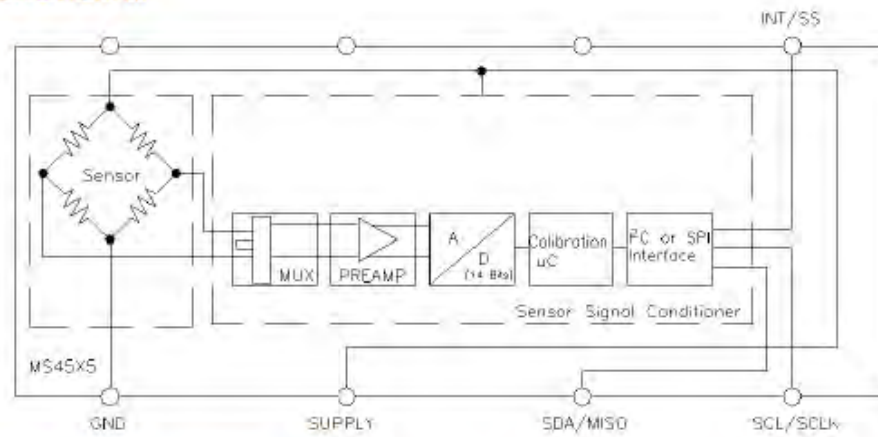
Electrical Characteristics

Model	XFTC301
Supply Voltage	10Vdc
F.S. Output	±100mV, ±50mV for 500N; 100lbf Model
Zero Offset	<±10mV
Input Impedance/Consumption	1000 to 3000Ω
Output Impedance	500 to 1000Ω
Insulation under 50Vdc	≥100MΩ

Notes

1. Shielded cable with 4 wires (AWG36/28), standard length 2m [6.5 ft] with strain relief spring
2. Material: Body in stainless steel or aluminum alloy depending on F.S.; Two male threads M5 or [10-32 UNF], M10 or [3/8-24 UNF] depending on F.S. (metric thread is standard)
3. Protection Index: IP50 (other levels available on request)
4. CE conformance according to EN 61010-1, EN 50081-1, EN 50082-1

BLOCK DIAGRAM



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Parameter	Conditions	Min	Max	Unit	Notes
Supply Voltage	$T_A = 25^\circ\text{C}$	2.7	5.5	V	
Output Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$		3	mA	
Storage Temperature		-40	+125	$^\circ\text{C}$	
Humidity	$T_A = 25^\circ\text{C}$		95	%RH	Non Condensing
Overpressure	$T_A = 25^\circ\text{C}$, both Ports	Not to Exceed 300		psi	
Burst Pressure	$T_A = 25^\circ\text{C}$, Port 1			psi	See Table 1
ESD	HBM	-4	+4	kV	EN 61000-4-2
Solder Temperature		250 $^\circ\text{C}$, 5 sec max.			

TABLE 1- BURST PRESSURE BY RANGE AND PACKAGE STYLE

Range	DS	SS, TP, MM	Unit
001	20	20	psi
002	20	20	psi
005	15	20	psi
015	45	90	psi
030	90	200	psi
050	150	300	psi
100	300	300	psi
150	300	300	psi

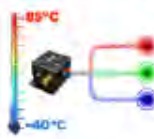
ELECTRICAL CHARACTERISTICS

 At $T_A = +25^\circ\text{C}$, $V+ = 3.3\text{ V}$, and conversion time = 1 second, unless otherwise specified.

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
OUTPUT ERROR					
Ambient temperature sensor	$T_A = 0^\circ\text{C}$ to $+60^\circ\text{C}$, $V+ = 2.2\text{ V}$ to 5.5 V		± 0.5	± 1	$^\circ\text{C}$
	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to $+125^\circ\text{C}$, $V+ = 2.2\text{ V}$ to 5.5 V		± 0.5	± 1.5	$^\circ\text{C}$
Power-supply rejection ratio	PSRR		0.1		$^\circ\text{C/V}$
Sensor voltage	$T_{\text{object}} = +40^\circ\text{C}$ to $+60^\circ\text{C}$, $T_A = 0^\circ\text{C}$ to $+60^\circ\text{C}$		7		$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Calculate object temperature ⁽¹⁾	$T_A = +20^\circ\text{C}$ to $+60^\circ\text{C}$, $T_{\text{object}} - T_A = -10^\circ\text{C}$ to $+30^\circ\text{C}$		± 1	± 3	$^\circ\text{C}$
Field of view	50% responsivity		90		Degrees
TEMPERATURE MEASUREMENT					
Conversion time	CR2 = 0, CR1 = 0, CR0 = 0		0.25		Seconds
	CR2 = 0, CR1 = 0, CR0 = 1		0.5		Seconds
	CR2 = 0, CR1 = 1, CR0 = 0		1		Seconds
	CR2 = 0, CR1 = 1, CR0 = 1		2		Seconds
	CR2 = 1, CR1 = 0, CR0 = 0		4		Seconds
Resolution					
Local temperature sensor			0.03125		$^\circ\text{C}$
Thermopile sensor resolution			156.25		mV
SMBus COMPATIBLE INTERFACE					
Logic input high voltage (SCL, SDA)	V_{IH}	TMP006 only	2.1		V
		TMP006B only	1.4		V
Logic input low voltage (SCL, SDA)	V_{IL}	TMP006 only		0.6	V
		TMP006B only		0.4	V
Hysteresis			100		mV
Output low voltage (SDA)	V_{OL}	$I_{OUT} = 6\text{ mA}$	0.15	0.4	V
Output low sink current (SDA)			6		mA
Logic input current		Forced to 0.4 V	-1	+1	μA
Input capacitance (SCL, SDA, A0, A1)			3		pF
Clock frequency			0.001	3.4	MHz
Interface timeout			25	35	ms
DIGITAL OUTPUTS					
Output low voltage (DRDY pin)	V_{OL}	$I_{OUT} = 4\text{ mA}$	0.15	0.4	V
High-level output leakage current	I_{OH}	$V_{OUT} = V_{DD}$	0.1	1	μA
Output low sink current (DRDY)		Forced to 0.4 V	4		mA
POWER SUPPLY					
Power-on reset	V+	$T = -40^\circ\text{C}$ to $+125^\circ\text{C}$		1.6	V
Specified voltage range	V+	$T = -40^\circ\text{C}$ to $+125^\circ\text{C}$	2.2	5.5	V
Quiescent current	I_Q	Continuous conversion, see Table 9		240	μA
		Serial bus inactive, shutdown mode, TMP006 only		0.5	μA
		Serial bus inactive, shutdown mode, TMP006B only		1.5	μA
		Serial bus active, $f_s = 400\text{ kHz}$, shutdown mode		90	μA
TEMPERATURE RANGE					
Specified range			-40	+125	$^\circ\text{C}$
Storage range			-55	+150	$^\circ\text{C}$

(1) This parameter is tested in a fully-settled setup with no transients, in front of an ideal black body, with specified layout constraints, and after system calibration.

CALIBRATED DYNAMIC RANGING SENSORS



Spatial contains some of the highest performance MEMS inertial sensors currently on the market. These are put through Advanced Navigation's intensive calibration process to increase their performance further still and provide consistently accurate data over an extended temperature range of -40°C to 85°C. Advanced Navigation's custom calibration process is the only full sensor calibration that can provide dynamic ranging, allowing the user to select a sensor range for high accuracy or high accelerations on the fly. As part of this calibration, every Spatial unit spends 8 hours in our specially built rotating temperature chamber.

ADVANCED FILTER



Spatial contains Advanced Navigation's revolutionary sensor fusion filter. The filter is more intelligent than a typical extended Kalman filter and is able to extract significantly more information from the data by making use of human inspired artificial intelligence. It was designed for control applications and has a high level of health monitoring and instability prevention to ensure stable and reliable data.

HOT START



Spatial contains a next generation battery backup system that allows it to hot start inertial navigation from its last position in 500 milliseconds and obtain a GNSS fix in approximately 3 seconds. The battery backup system lasts for the lifetime of the product and will provide backup for 48 hours without power. Spatial is the first GNSS/INS in the world to provide hot start navigation.

HIGH UPDATE RATE



Spatial's internal filter runs at 1000Hz and data can also be output at this rate over high speed RS232. This allows for control of dynamically unstable platforms. Spatial is also highly tolerant of dynamic movement and vibration with a very advanced custom navigation filter.

RELIABILITY



Spatial has been designed from the ground up for mission critical control applications where reliability is very important: it is built on top of a safety oriented real time operating system and all software is designed and tested to safety standards with fault tolerance in mind. The hardware is protected from reverse polarity, overvoltage, surges, static and short circuits on all external interfaces. The GNSS contains RAM, which excludes both malfunctioning and tampered satellite signals.

MULTI CONSTELLATION GNSS



Spatial's next generation GNSS receiver supports all of the current and future satellite navigation systems including GPS, GLONASS, GALILEO and BeiDou. These additional satellite constellations allow Spatial to provide accurate position and velocity data in environments where GPS only units can't, such as urban canyons and indoors. When Spatial can't get a satellite fix, it continues to navigate using inertial navigation.

MINIATURE RUGGED ENCLOSURE



Spatial's precision marine grade aluminium enclosure is waterproof and dirtproof to the IP67 standard and shockproof to 2000g, allowing it to be used in the most extreme conditions. A sophisticated venting system allows the unit to measure air pressure whilst keeping water out. Its minimal size, weight and power requirements allow for easy integration into almost any system.

PERIPHERALS



Spatial features two general purpose input/output pins that support an extensive number of peripherals, including odometer based input for ground vehicles, RTK GPS systems, DVLs and USBs for underwater navigation, NMEA input/output and more. For an integration fee, custom peripheral devices can be added.

NAVIGATION

Horizontal Position Accuracy	2.0 m
Vertical Position Accuracy	3.0 m
Horizontal Position Accuracy (with DGNSS)	0.6 m
Vertical Position Accuracy (with DGNSS)	1.0 m
Velocity Accuracy	0.05 m/s
Roll & Pitch Accuracy (Static)	0.1 °
Heading Accuracy (Static)	0.5 °
Roll & Pitch Accuracy (Dynamic)	0.2 °
Heading Accuracy (Dynamic with GNSS)	0.2 °
Heading Accuracy (Dynamic, Magnetic Only)	0.8 °
Heave Accuracy	5 % or 0.05 m (whichever is greater)
Orientation Range	Unlimited
Hot Start Time	500 ms
Internal Filter Rate	1000 Hz
Output Data Rate	Up to 1000 Hz
Latency	0.4 ms

GNSS

Model	u-blox M8
Supported Navigation Systems	GPS L1 GLONASS L1 GALILEO E1 BeiDou L1
Supported SBAS Systems	WAAS EGNOS MSAS GAGAN GZSS
Update Rate	10 Hz
Cold Start Sensitivity	-148 dBm
Tracking Sensitivity	-167 dBm
Hot Start First Fix	1 s
Cold Start First Fix	26 s
Horizontal Position Accuracy	±2.5 m
Horizontal Position Accuracy (with SBAS)	1 m
Velocity Accuracy	0.05 m/s
Timing Accuracy	30 ns
Acceleration Limit	±8 g

COMMUNICATION

Interface	RS232
Speed	4800 to 1M baud
Protocol	AN Packet Protocol or NMEA
Peripheral Interface	2x GPIO and Auxiliary RS232
GPIO Level	5 - 20 V
GPIO Functions	IPPS Odometer Stationary Pilot Tube NMEA input/output Navcat GNSS input Trimble GNSS input AN Packet Protocol input/output Packet Trigger input Teledyne DVL input Tritech USB input Custom (contact us)

HARDWARE

Operating Voltage	5 to 36 V
Input Protection	±40 V
Power Consumption	100 mA @ 5 V (typical)
Hot Start Battery Capacity	> 48 hrs
Hot Start Battery Charge Time	30 mins
Hot Start Battery Endurance	> 10 years
Operating Temperature	-40 °C to 85 °C
Environmental Protection	IP67, MIL-STD-810G
MTBF	> 50,000 hrs
Shock Limit	2000 g
Dimensions (excluding tabs)	30x30x24 mm
Dimensions (including tabs)	30x40.6x24 mm
Weight	37 grams

SENSORS

SENSOR	ACCELEROMETERS	GYROSCOPES	MAGNETOMETERS	PRESSURE
Range (Dynamic)	2 g 4 g 16 g	250 °/s 600 °/s 2000 °/s	±6 G ±8 G ±8 G	10 to 120 KPa
Noise Density	150 µg/√Hz	0.005 °/s/√Hz	210 µG/√Hz	0.56 Pa/√Hz
Non-linearity	< 0.05 %	< 0.05 %	< 0.05 %	
Bias Instability	20 µg	3 °/hr		100 Pa/yr
Scale Factor Stability	< 0.05 %	< 0.05 %	< 0.05 %	
Cross-axis Alignment Error	< 0.05 °	< 0.05 °	< 0.05 °	
Bandwidth	400 Hz	400 Hz	110 Hz	60 Hz

KEY ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Parameter	Notes	MIN	TYP	MAX	UNIT
Full scale differential input range	$V(\text{inp})-V(\text{inn})$	$\pm 0.5(\text{AVDD}/\text{GAIN})$			V
Common mode input		AGND+1.2		AVDD-1.3	V
Output data rate	Internal Oscillator, RATE = 0	10			Hz
	Internal Oscillator, RATE = DVDD	80			
	Crystal or external clock, RATE = 0	$f_{\text{clk}}/1,105,920$			
	Crystal or external clock, RATE = DVDD	$f_{\text{clk}}/138,240$			
Output data coding	2's complement	800000		7FFFFFFF	HEX
Output settling time ⁽¹⁾	RATE = 0	400			ms
	RATE = DVDD	50			
Input offset drift	Gain = 128	0.2			mV
	Gain = 64	0.4			
Input noise	Gain = 128, RATE = 0	50			nV(rms)
	Gain = 128, RATE = DVDD	90			
Temperature drift	Input offset (Gain = 128)	±6			nV/°C
	Gain (Gain = 128)	±5			ppm/°C
Input common mode rejection	Gain = 128, RATE = 0	100			dB
Power supply rejection	Gain = 128, RATE = 0	100			dB
Reference bypass (V_{BG})		1.25			V
Crystal or external clock frequency		1	11.0592	20	MHz
Power supply voltage	DVDD	2.6		5.5	V
	AVDD, VSUP	2.6		5.5	
Analog supply current (including regulator)	Normal	1400			μA
	Power down	0.3			
Digital supply current	Normal	100			μA
	Power down	0.2			

(1) Settling time refers to the time from power up, reset, input channel change and gain change to valid stable output data.

Table 2 Key Electrical Characteristics

TXP3500 Series

1. MODEL SELECTION

MODEL	INPUT VOLTAGE RANGE	NOMINAL OUTPUT VOLTAGE	OUTPUT VOLTAGE RANGE	MAX OUTPUT CURRENT	MAX OUTPUT POWER	AVAILABILITY
TXP3500-1024G	200 – 480 Vrms, 50/60 Hz	24 V	Adjustable 10 – 30 VDC	146 ADC	3500 W	Consult factory
TXP3500-1048G	200 – 480 Vrms, 50/60 Hz	48 V	Adjustable 10 – 50 VDC	73 ADC	3500 W	Engineering samples Q2 2016
TXP4000-1100G	400 – 480 Vrms, 50/60 Hz	110 V	Adjustable 30 – 110 VDC	36 ADC	4000 W	Engineering samples Q4 2016

2. INPUT SPECIFICATIONS

PARAMETER	DESCRIPTION / CONDITION	MIN	NOM	MAX	UNIT
Input Voltage	Nominal: (line to line)		200-480 400-480		Vrms
	Permitted variation:	160 350		528 528	Vrms
Input Frequency			50/60		Hz
	Permitted variation:	47		63	Hz
Input Current	per Line at 3 x 180 Vrms			14	Arms
Fuse	3 x 20 A, Fast acting				

3. OUTPUT SPECIFICATIONS

PARAMETER	DESCRIPTION / CONDITION	MIN	NOM	MAX	UNIT
Output Voltage	Adjustable (range see Model Selection table)				
Output Power Rating	@ High Line and Low Line / High Line		3500 /4000		W
Output Current	Fixed or Adjustable (50 – 100%)		See Model		
Efficiency	Typical, at High Line and load above 40%		93		%
Voltage Setting Accuracy			± 0.5		%
Line Regulation	@ $I_o = 0.5 \cdot I_{o_nom}$		±0.5		%
Load Regulation			±0.3		%
Thermal Drift			±0.02		%/°C
Transient Response	@ Load variation 10-100% and back:		±5		% ms
	@ Load variation 50-100% and back:		±3	2	% ms
Ripple	V_{out_nom} (BW 20 MHz)			0.4	% ms
Output Start Up				2.5	s
Rise Time				250	ms

CAUTION: DO NOT connect neither two different models nor same model units, when they have a different output voltage setting, together in parallel!

PVR*: 580.84 EUR



Principal

Estatus comercial	Comercializado
Gama	TeSys
Nombre del producto	TeSys D
Tipo de producto o componente	Conector
Nombre corto del dispositivo	LC1D
Aplicación de contactor	Control del motor Carga resistiva
Categoría de empleo	AC-1 AC-3
Número de polos	3P
Composición del polo de potencia	3 NA
[Ue] tensión de funcionamiento nominal	-> 300 V CCfor circuito de alimentación -> 1000 V CA 25...400 Hz para circuito de alimentación
[Ie] intensidad de funcionamiento nominal	115 A (<= 60 °C) en <= 440 V CA AC-3 para circuito de alimentación 200 A (<= 60 °C) en <= 440 V CA AC-1 para circuito de alimentación
Potencia del motor en kW	65 kW en 1000 V CA 50/60 Hz 80 kW en 660...690 V CA 50/60 Hz 75 kW en 500 V CA 50/60 Hz 69 kW en 415...440 V CA 50/60 Hz 65 kW en 380...400 V CA 50/60 Hz 30 kW en 220...230 V CA 50/60 Hz
Potencia de motor HP (ULCSA)	100 hp en 675/600 V CA 50/60 Hzfor 3 fases motores 75 hp en 460/480 V CA 50/60 Hzfor 3 fases motores 40 hp en 230/240 V CA 50/60 Hzfor 3 fases motores 30 hp en 200/208 V CA 50/60 Hzfor 3 fases motores
Tipo de circuito de control	CA 50/60 Hz
Tensión de circuito de control	230 V CA 50/60 Hz
Composición de contactos auxiliares	1 a + 1 NC
[Uimp] tensión nominal soportada a impulso	8 kV de acuerdo con IEC 60947
Categoría de sobretensión	III
[Ith] intensidad térmica al aire libre convencional	200 A en <= 60 °C para circuito de alimentación
Escuadra universal,	260 A CCfor circuito de señalización de acuerdo con IEC 60947-5-1 140 A CAfor circuito de señalización de acuerdo con IEC 60947-5-1 1260 A en 440 V para circuito de alimentación de acuerdo con IEC 60947
Capacidad corte nominal	1100 A en 440 V para circuito de alimentación de acuerdo con IEC 60947
[Icw] Intensidad de resistencia nominal de corta duración	140 A 100 ms circuito de señalización 120 A 500 ms circuito de señalización 100 A 1 s circuito de señalización 1100 A <= 40 °C 1 s circuito de alimentación 950 A <= 40 °C 10 s circuito de alimentación 550 A <= 40 °C 1 min circuito de alimentación 250 A <= 40 °C 10 min circuito de alimentación
Clasificación de fusible asociado	10 A gGfor circuito de señalización 200 A gG en <= 690 V coordinación tipo 2 para circuito de alimentación 260 A gG en <= 690 V coordinación tipo 1 para circuito de alimentación

Especificaciones y tipos

ACS310 - XXE - XXXX - 2 + XXXX

Código de tipo

Se trata de un número de referencia exclusivo (se muestra abajo, en la quinta columna de la tabla) que identifica inequívocamente el convertidor por sus especificaciones de potencia y su tamaño de bastidor. Una vez seleccionado el código de tipo puede emplearse el tamaño de bastidor (columna 6) para determinar las dimensiones del convertidor, que se encuentran detalladas en la página 9.

Tensiones

El ACS310 está disponible en dos rangos de tensión:

2 = de 200 a 240 V

4 = de 380 a 480 V

En el código de tipo deberá colocar un "2" o un "4" en función de la tensión que haya elegido.

Especificaciones				Código de tipo	Tamaño de bastidor
P_n kW	P_n CV	$I_n^{(1)}$ A	$I_n^{(2)}$ A		
Unidades con tensión de alimentación monofásica de 200 a 240 V					
0,37	0,5	2,4	2,3	ACS310-01X-02A4-2	R0
0,75	1,0	4,7	4,5	ACS310-01X-04A7-2	R1
1,1	1,5	6,7	6,5	ACS310-01X-06A7-2	R1
1,5	2,0	7,5	7,2	ACS310-01x-07A5-2	R2
2,2	3,0	9,8	9,4	ACS310-01x-09A8-2	R2
Unidades con tensión de alimentación trifásica de 200 a 240 V					
0,37	0,5	2,6	2,4	ACS310-03X-02A6-2	R0
0,55	0,75	3,9	3,5	ACS310-03X-03A9-2	R0
0,75	1,0	5,2	4,7	ACS310-03X-05A2-2	R1
1,1	1,5	7,4	6,7	ACS310-03X-07A4-2	R1
1,5	2,0	9,3	7,5	ACS310-03X-08A3-2	R1
2,2	3,0	10,8	9,8	ACS310-03X-10A8-2	R2
3,0	4,0	14,6	13,3	ACS310-03X-14A6-2	R2
4,0	5,0	19,4	17,6	ACS310-03X-19A4-2	R2
5,5	7,5	26,8	24,4	ACS310-03X-26A8-2	R3
7,5	10,0	34,1	31,0	ACS310-03X-34A1-2	R4
11,0	15,0	50,8	46,2	ACS310-03X-50A8-2	R4
Unidades con tensión de alimentación trifásica de 380 a 480 V					
0,37	0,5	1,3	1,2	ACS310-03X-01A3-4	R0
0,55	0,75	2,1	1,9	ACS310-03X-02A1-4	R0
0,75	1,0	2,6	2,4	ACS310-03X-02A6-4	R1
1,1	1,5	3,6	3,3	ACS310-03X-03A6-4	R1
1,5	2,0	4,5	4,1	ACS310-03X-04A5-4	R1
2,2	3,0	6,2	5,6	ACS310-03X-06A2-4	R1
3,0	4,0	8,0	7,3	ACS310-03X-08A0-4	R1
4,0	5,0	9,7	8,8	ACS310-03X-09A7-4	R1
5,5	7,5	13,8	12,5	ACS310-03X-13A8-4	R3
7,5	10,0	17,2	15,6	ACS310-03X-17A2-4	R3
11,0	15,0	25,4	23,1	ACS310-03X-25A4-4	R3
15,0	20,0	34,1	31	ACS310-03X-34A1-4	R4
18,5	25,0	41,8	38	ACS310-03X-41A0-4	R4
22,0	30,0	48,4	44	ACS310-03X-48A4-4	R4

Construcción

La cifra "XXE" en el código de tipo (sobre estas líneas) cambia en función de la fase del convertidor y del filtro EMC.

Escoja la configuración apropiada de la lista que se muestra a continuación.

01 = monofásica

03 = trifásica

E = filtro EMC conectado, frecuencia de 50 Hz

U = filtro EMC desconectado, frecuencia de 60 Hz

(En caso de que el filtro fuese necesario, puede conectarse con facilidad)

La X del código de tipo representa la letra E o U.

⁽¹⁾ I_n intensidad de salida continua máxima a una temperatura ambiente de +40 °C. Sin capacidad de sobrecarga, derateo del 1% por cada grado centígrado adicional hasta 50 °C.

⁽²⁾ I_n intensidad de salida continua a temperatura ambiente máx. de +50 °C. 10% de capacidad de sobrecarga durante un minuto cada diez minutos.

Ficha de producto
Características

DF223NC
TeSys Seccionador portafusible 3P N 125A -
fusible 22 x 58 mm



Principal

Estatus comercial	Comercializado
Gama	TeSys
Nombre del producto	TeSys DF
Tipo de producto o componente	Seccionador portafusible
Nombre corto del dispositivo	DF22
Número de polos	3P + N

Complementario

Soporte de montaje	Perfil
Posición de montaje	Vertical +/- 23°
Tipo de control	Maneta
[Ie] intensidad de funcionamiento nominal	125 A para circuito de alimentación
[Uimp] tensión nominal soportada a impulso	8 kV
Resistencia al fuego	960 °C de acuerdo con IEC 60695-2-1
Corriente nominal de resistencia máxima [Ipk]	19 kA con enlaces tubulares de acuerdo con IEC 60269-1
Resistencia a cortocircuitos	80 kA 690 V de acuerdo con IEC 60947-3 120 kA 600 V de acuerdo con IEC 60947-3 120 kA 400 V de acuerdo con IEC 60947-3
Tamaño de fusible	22 x 58 mm
Tipo de fusible	AM GG
[Ui] tensión nominal de aislamiento	690 V para circuito de alimentación CC 690 V para circuito de alimentación CA
Conexiones - terminales:	2 Flexible cable(s) 2.5...26 mm ² con extremo de cable sobre terminales de fijación por tornillofor circuito de alimentación 1 Flexible cable(s) 2.5...35 mm ² con extremo de cable sobre terminales de fijación por tornillofor circuito de alimentación 2 Flexible cable(s) 2.5...26 mm ² sin extremo de cable sobre terminales de fijación por tornillofor circuito de alimentación 1 Flexible cable(s) 2.5...35 mm ² sin extremo de cable sobre terminales de fijación por tornillofor circuito de alimentación 2 sólido cable(s) 2.5...26 mm ² sobre terminales de fijación por tornillofor circuito de alimentación 1 sólido cable(s) 2.5...35 mm ² sobre terminales de fijación por tornillofor circuito de alimentación
Par de apriete	4 N.m circuito de alimentación : sobre conexión tornillo de estribo

Entorno

Normas	IEC 60947-3 UL 512 CSA C22.2 No 39
Certificaciones	UR
Grado de protección IP	IP20 de acuerdo con IEC 60629
Tratamiento	TH
Temperatura ambiente de almacenamiento	-40...80 °C
Temperatura ambiente de funcionamiento	-20...60 °C con disminución
Altura	127.6 mm
Anchura	140 mm

10005-2016

Schneider
ELECTRIC

La información contenida en este documento constituye descripciones generales y/o características técnicas de los productos adjuntos.
 En razón de la evolución de las normativas y/o materiales, las características (incluido por el tipo y las imágenes de este documento) de este documento
 están en el momento de su impresión o impresión de un producto, y por tanto, cualquier cambio de especificación y tipo de los productos con respecto a la aplicación específica o uso de los productos.
 Schneider Electric, incluido SACE, se reserva todos los derechos de responsabilidad de la información proporcionada.

Ficha de producto

Características

XAWG210EX

ESTACIÓN DE PULSADORES ATEX AISLADOS UN PULSADOR DE INICIO VERDE

PVR*: 252.5012864 EUR



Principal

Estatus comercial	Comercializado
Gama de producto	Harmony XAW
Tipo de producto o componente	Estación de control completa
Modelo de dispositivo	XAWG
Aplicación estación control	Función arranque-parada
Material	Plástico
Composición de la estación de control	1 pulsador empotrado, rojo retorno de resorte 1 NC 1 pulsador empotrado, verde retorno de resorte 1 NA

Complementario

Entrada de cable	1 entrada para prensa de cable ISO M20
Ancho	86 mm
Profundidad	70 mm
Alto	146 mm
DESC	II2 D-Ex tD A21 IP65 T86°C
Protección contra cortocircuito	10 A fusible de cartuchos tipo gG
Intensidad asignada de empleo (Ie)	1.2 A en 600 V AC-15, A600 0.65 A en 125 V DC-13, Q600 0.27 A en 250 V DC-13, Q600 0.1 A en 600 V DC-13, Q600 6 A en 120 V AC-15, A600 3 A en 240 V AC-15, A600

Entorno

Temperatura ambiente de trabajo	-20...60 °C
Dos zócalos laterales	IP65
Normas	Directiva ATEX 94/9/EC EN 50014 EN 60281-1-1 IEC 61241-0 IEC 61241-1
Zona de polvo	Zone 21 - 22
Certificados de producto	INERIS 04ATEX0023

La información disponible en este documento contiene descripciones generales y/o características técnicas de los productos y/o servicios.
 En razón de la evolución de las normativas y del material, las características indicadas por el fabricante no nos comprometemos frente a su confirmación por parte de nuestros clientes.
 Es el deber de cada usuario o integrador de efectuar un completo y apropiado análisis de riesgo, evaluación y uso de los productos con respecto a la aplicación específica o uso de los productos.
 Schneider Electric Industrial SAS y sus filiales comerciales se responsabilizan de la información aquí contenida. *C.A. Cotización, *Precio por 1 unidad. Los precios de listados pueden sufrir variación y, por tanto, el material será siempre facturado a los precios y





ESC GUIDE & SPECS



RACING / BASHING

Novak offers 5 Racing/Bashing Brushless ESCs for all types of R/C fun including 2WD Buggy/Truck/SCT, Spec Racing, Touring, Oval, Drift, and VTA. Several models (Pulse V2/ Crusher ST/ GTB 3) can be used in 4x4 SCT and Monster Trucks. Micro-sized ESCs (Impact/Edge) can be used in 12/16/18th scale vehicles. All ESCs are fully programmable.

P/N	MODEL	INPUT (LiPo)			SIZE/ WEIGHT	THROTTLE PROFILES	MOTOR LIMIT (Sensored Brushless)			WIRE (GA)	6V BEC (Amps)	RDS-ON (ohms)	FAN INCL.	BLINKY MODE	TIMING (Degrees)	MAP (\$)
		1S*	2S	3S			4S	540-Size	550-Size							
1756	PULSE V2	✓	✓		Standard	5	3.5T	4.5T	5200Kv	12	5A	0.00040	✓	✓	0-55 (+Boost)	209.99
1730	IMPACT	✓	✓		Micro	5	7.5T	—	—	14	2A	0.00040	✓	✓	0-55 (+Boost)	179.99
1834	CRUSHER ST	✓	✓	✓	Standard	3 ST /1 ^{CR}	6.5T ^{2S} /13.5T ^{3-4S}	4.5T ^{2S} /6.5T ^{3S}	4600Kv ^{2S}	14	5A	0.00040	✓	✓	0-35	149.99
1747	GTB 3	✓	✓		Standard	1	3.5T	4.5T	—	14	3A	0.00040	✓	✓	None	129.99
1851	EDGE 2S		✓		Micro	1	10.5T	—	—	14	2A	0.00057		✓	None	109.99

SCALE / CRAWLING

Novak offers 3 Brushed and 2 Brushless ESCs that are specifically designed for crawling and scale applications and feature Novak's strong hill/hold drag brakes and Zero Reverse Delay. All ESCs, except M2, have a standard racing/bashing brushless mode. All ESCs are fully programmable.

P/N	MODEL	INPUT (LiPo)			SIZE/ WEIGHT	THROTTLE PROFILES	MOTOR LIMIT			WIRE (GA)	6V BEC (Amps)	RDS-ON (ohms)	FAN INCL.	BRAKE TYPE	BATT/MTR PLUGS	MAP (\$)
		2S	3S	4S			2S (540)	3S (540)	4S (540)							
1832	TIMBUK2 (BL)	✓			Micro	1 ^{CR} /1 ^S	13.5T ^C	—	—	14	2A	0.00057		Drag	Tamiya/Bullet	119.99
1834	CRUSHER (BL)	✓	✓	✓	Standard	1 ^{CR} /3 ST	13.5T ^C	18.5T ^C	18.5T ^C	14	5A	0.00040	✓	Drag ^B	—	149.99
1835	EIGER (BR/BL)	✓	✓		Micro	1 ^{CR} /1 ^{BL}	20T ^{BR}	35T ^{BR}	—	14	2A	0.00110		Drag ^B	Tamiya/Bullet	89.99
1836	EIGER PRO (BR/BL)	✓	✓		Micro	1 ^{CR} /1 ^{BL}	20T ^{BR}	20T ^{BR}	—	14	2A	0.00057		Drag ^B	— / Bullet	99.99
1846	M2 DIG (BR)		✓	✓	1.2x1.5"/1.3oz	3	20T ^S /27T ^D	20T ^S /27T ^D	—	14	5A	0.00160 ^P	✓	Drag ^S	—	159.99

INPUT VOLTAGE: Stated in LiPo Cells. Each ESC can also be operated on NiMH cells (4-6 for 1S-2S ESC, 6-9 cells for 2S-3S ESCs, 6-14 cells for 2S-4S ESCs). An external BEC (such as Novak #5463) is recommended/required for ESCs operating on 3S or 4S. A 1S Booster Module (Novak #5477) is recommended for 1S operation.

SIZE: Standard=1.16x1.47x.96" / 29.5x37.3x24.4mm; Micro=1.15x0.95x.79" / 29x24.3x20mm]

WEIGHT: Standard= 1.42oz / 40.4g; Micro= 0.75oz / 21.3g

THROTTLE PROFILES: The number of pre-set driving profiles. All ESCs can be customized using the One-Touch Programming Button. CR= Crawling Mode; ST=Standard Mode. For the Eiger/Eiger Pro, there is a Brushed Profile (BR) and a Brushless Profile (BL). The M2 Dig has a Dig, Proportional Dig, and Servo Mode.

MOTOR LIMIT: Indicates the lowest turn (S40/550) or highest Kv (4-pole) that the ESC can operate. BR= Brushed Motors only; C= Novak Crawling Brushless Motors only

RDS-ON: Is the transistor's rating; the lower the rating, the higher efficiency/performance of the ESC. D-rating in dual motor mode for M2 Dig. For single brushed motor mode, the rating is 0.00080 ohms.

BRAKE TYPE: A specific type of braking for crawling ESCs to hold the heaviest rig on the steepest inclines. B-ESC has a standard brake operation when ESC is in Standard Mode of operation; S= No brake in Servo Mode of operation.

All Novak ESCs include One-Touch Set-Up™ Replaceable Input Harness, Replaceable Power Wires, Thermal Protection, and have a gasket-sealed case that is highly resistant to dirt/water.

Print Date: 7/14 • Product specifications and features are subject to change.

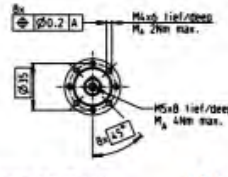
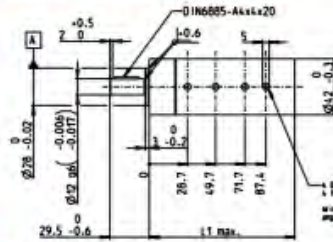
WWW.TEAMNOVAK.COM



Planetengetriebe GP 42 HD Ø42 mm, 10–50 Nm

Heavy Duty – für Anwendungen in Öl

NEW



M 1:4

Technische Daten

Planetengetriebe	geradeverzahnt
Abtriebswelle	rostfreier Stahl
Abtriebswellenlager	Kugellager
Radialspiel, 12 mm ab Flansch	max. 0.05 mm
Axialspiel	max. 0.2 mm
Max. axiale Belastung (dynamisch)	250 N
Max. axiale Aufpresskraft	450 N
Drehstimm, Antrieb zu Abtrieb	=
Max. Eingangsdrehzahl dauernd	< 8000 min ⁻¹
Empfohlener Temperaturbereich	-55...+200°C
erweiterter Bereich als Option	-55...+260°C
Stufenzahl	1 2 3 4
Max. radiale Belastung, 12 mm ab Flansch	250 N 480 N 720 N 720 N

- Lagerprogramm
- Standardprogramm
- Sonderprogramm (auf Anfrage)

Artikelnummern

Getriebedaten (provisorisch)	454742	454744	454745	476936	454280	476945	476949
1 Untersetzung	3.5:1	12:1	43:1	81:1	150:1	285:1	441:1
2 Untersetzung absolut	2/3	49/3	209/3	2109/3	209/3	1029/3	49/3
10 Massenträgheitsmoment	gcm ² 17.5	29	35.5	23.9	41.3	33.1	30.6
3 Max. Motorwellendurchmesser	mm 10	10	10	8	10	8	10
Artikelnummern	476927	476928	476933	476937	476942	476946	476950
1 Untersetzung	4.3:1	15:1	53:1	91:1	186:1	319:1	488:1
2 Untersetzung absolut	13/3	49/3	209/3	2109/3	209/3	1029/3	49/3
10 Massenträgheitsmoment	gcm ² 11.1	23.3	31.8	25.4	37.6	34.2	26.3
3 Max. Motorwellendurchmesser	mm 8	8	10	8	10	10	8
Artikelnummern		476929	476934	476938	476943	476947	476951
1 Untersetzung		19:1	66:1	113:1	230:1	353:1	546:1
2 Untersetzung absolut		19/3	189/3	209/3	209/3	209/3	49/3
10 Massenträgheitsmoment	gcm ²	19.1	28.1	21.2	36.6	28.9	28.1
3 Max. Motorwellendurchmesser	mm	8	8	8	10	8	8
Artikelnummern			454746		476944	476948	476952
1 Untersetzung			74:1		257:1	394:1	676:1
2 Untersetzung absolut			19/3		19/3	19/3	49/3
10 Massenträgheitsmoment	gcm ²		28.2		37.6	30.4	23.9
3 Max. Motorwellendurchmesser	mm		10		10	8	8
4 Stufenzahl		1	2	3	4	4	4
5 Max. Dauerdrehmoment	Nm	10	20	40	50	50	50
6 Kurzzeitig zulässiges Drehmoment	Nm	15	30	60	75	75	75
15 Max. Überlastdrehmoment ¹⁾	Nm	20	40	80	100	100	100
7 Max. Wirkungsgrad	%	95	87	78	78	65	65
8 Gewicht	g	430	600	710	710	780	780
9 Mittleres Getriebeispiel unbelastet	s	0.6	0.8	0.8	1.0	1.0	1.0
11 Getriebelänge L1	mm	57.7	79.9	102.2	102.2	116.9	116.9
13 Max. übertragbare Leistung dauernd	W	2000	880	300	300	62	62
14 Max. übertragbare Leistung kurzzeitig	W	3000	1320	450	450	93	93

¹⁾ In Abhängigkeit von der Drehzahl



maxon Baukastensystem

Motor	Seite	Sensor/Bremse	Seite	Gesamtlänge [mm] = Motorlänge + Getriebelänge + (Sensor/Bremse) + Montagehülse			
EC 32 HD Öl A	277			221.3	243.5	265.8	280.5
EC 32 HD Öl B	277			241.3	263.5	285.8	300.5

Anwendung

- Allgemein**
- Anwendungen unter extremen Temperaturen
- Anwendungen mit Vibrationen
- (nach MIL-STD810F/Jan2000 Fig. 514.5C-10)
- Betrieb in Öl und hohem Druck
- Öl- und Gasindustrie**
- Öl-, Gas- und geothermische Vorkommen

Wichtiger Hinweis

Dieses Getriebe ist für Anwendungen in Öl ausgelegt und ist nur mit einer Minimalschmierung versehen. Deshalb darf es nicht unter normalen Luftumgebungsbedingungen betrieben werden.

Especificaciones de la batería					
TENSIÓN Y CAPACIDAD	LFP-BMS 12,8/60	LFP-BMS 12,8/90	LFP-BMS 12,8/160	LFP-BMS 12,8/200	LFP-BMS 12,8/300
Tensión nominal	12,8V	12,8V	12,8V	12,8V	12,8V
Capacidad nominal a 25°C*	60Ah	90Ah	160Ah	200Ah	300Ah
Capacidad nominal a 0°C*	48Ah	72Ah	130Ah	160Ah	240Ah
Capacidad nominal a -20°C*	30Ah	45Ah	80Ah	100Ah	150Ah
Capacidad nominal a 25°C*	768Wh	1152Wh	2048Wh	2560Wh	3840Wh
*Corriente de descarga ≤1C					
CANTIDAD DE CICLOS (capacidad ≥ 80% del valor nominal)					
80% de descarga	2500 ciclos				
70% de descarga	3000 ciclos				
50% de descarga	5000 ciclos				
DESCARGA					
Corriente de descarga máxima recomendada	180A	270A	400A	500A	750A
Corriente de descarga continua recomendada	≤60A	≤90A	≤160A	≤200A	≤300A
Máxima corriente de pulsación de 10 s	600A	900A	1200A	1500A	2000A
Tensión de final de descarga	11V	11V	11V	11V	11V
CONDICIONES DE TRABAJO					
Temperatura de trabajo	-20°C a +50°C (corriente de carga máxima si la temperatura de la batería sea < 0°C: 0,05 C, esto es, 10 A en el caso de una batería de 200 Ah)				
Temperatura de almacenamiento	-45°C - +70°C				
Humedad (sin condensación):	Max. 95%				
Clase de protección	IP 54				
CARGA					
Tensión de carga	Entre 14V y 15V (se recomienda <14,5V)				
Tensión de flotación	13,6V				
Corriente máxima de carga	180A	270A	400A	500A	750A
Corriente de carga recomendada	≤30A	≤45A	≤80A	≤100A	≤150A
OTROS					
Tiempo máx. de almacenamiento @ 25 °C*	1 año				
Conexión con el BMS.	Cable macho + hembra con conector circular MB, 50 cm de longitud				
Conexión eléctrica (inserciones roscadas)	MB	MB	M10	M10	M10
Dimensiones (al x an x pl) mm	235x293x139	249x293x168	320x338x233	295x425x274	345x425x274
Peso	12kg	16kg	33kg	42kg	51kg
*Completamente cargada					

6.5 Electrical Characteristics: 3.3 V

 Specifications are for $T_J = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise noted).

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
SYSTEM PARAMETERS TEST CIRCUIT Figure 26 and Figure 32 ⁽¹⁾						
V_{out}	Output Voltage	$V_{IN} = 12\text{ V}$, $I_{LOAD} = 0.5\text{ A}$ Circuit of Figure 26 and Figure 32	3.234	3.3	3.366	V
	Output Voltage: LM2576	$6\text{ V} \leq V_{IN} \leq 40\text{ V}$, $0.5\text{ A} \leq I_{LOAD} \leq 3\text{ A}$ Circuit of Figure 26 and Figure 32	$T_J = 25^\circ\text{C}$ 3.168	3.3	3.432	V
		Applies over full operating temperature range	3.135		3.465	
Output Voltage: LM2576HV	$6\text{ V} \leq V_{IN} \leq 60\text{ V}$, $0.5\text{ A} \leq I_{LOAD} \leq 3\text{ A}$ Circuit of Figure 26 and Figure 32	$T_J = 25^\circ\text{C}$ 3.168	3.3	3.45	V	
	Applies over full operating temperature range	3.135		3.482		
η	Efficiency	$V_{IN} = 12\text{ V}$, $I_{LOAD} = 3\text{ A}$		75%		

(1) External components such as the catch diode, inductor, input and output capacitors can affect switching regulator system performance. When the LM2576/LM2576HV is used as shown in [Figure 26](#) and [Figure 32](#), system performance is as shown in [Electrical Characteristics: All Output Voltage Versions](#).

6.6 Electrical Characteristics: 5 V

 Specifications are for $T_J = 25^\circ\text{C}$ for the [Figure 26](#) and [Figure 32](#) (unless otherwise noted).

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT	
SYSTEM PARAMETERS TEST CIRCUIT Figure 26 and Figure 32 ⁽¹⁾							
V_{out}	Output Voltage	$V_{IN} = 12\text{ V}$, $I_{LOAD} = 0.5\text{ A}$ Circuit of Figure 26 and Figure 32	4.9	5	5.1	V	
V_{out}	Output Voltage LM2576	$0.5\text{ A} \leq I_{LOAD} \leq 3\text{ A}$, $8\text{ V} \leq V_{IN} \leq 40\text{ V}$ Circuit of Figure 26 and Figure 32	$T_J = 25^\circ\text{C}$	4.8	5	5.2	V
			Applies over full operating temperature range	4.75		5.25	
V_{out}	Output Voltage LM2576HV	$0.5\text{ A} \leq I_{LOAD} \leq 3\text{ A}$, $8\text{ V} \leq V_{IN} \leq 60\text{ V}$ Circuit of Figure 26 and Figure 32	$T_J = 25^\circ\text{C}$ 4.8	5	4.75	V	
	Applies over full operating temperature range	5.225		5.275			
η	Efficiency	$V_{IN} = 12\text{ V}$, $I_{LOAD} = 3\text{ A}$		77%			

(1) External components such as the catch diode, inductor, input and output capacitors can affect switching regulator system performance. When the LM2576/LM2576HV is used as shown in [Figure 26](#) and [Figure 32](#), system performance is as shown in [Electrical Characteristics: All Output Voltage Versions](#).

6.7 Electrical Characteristics: 12 V

 Specifications are for $T_J = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise noted).

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT	
SYSTEM PARAMETERS TEST CIRCUIT Figure 26 and Figure 32 ⁽¹⁾							
V_{out}	Output Voltage	$V_{IN} = 25\text{ V}$, $I_{LOAD} = 0.5\text{ A}$ Circuit of Figure 26 and Figure 32	11.76	12	12.24	V	
V_{out}	Output Voltage LM2576	$0.5\text{ A} \leq I_{LOAD} \leq 3\text{ A}$, $15\text{ V} \leq V_{IN} \leq 40\text{ V}$ Circuit of Figure 26 and Figure 32 and	$T_J = 25^\circ\text{C}$	11.52	12	12.48	V
			Applies over full operating temperature range	11.4		12.6	
V_{out}	Output Voltage LM2576HV	$0.5\text{ A} \leq I_{LOAD} \leq 3\text{ A}$, $15\text{ V} \leq V_{IN} \leq 60\text{ V}$ Circuit of Figure 26 and Figure 32	$T_J = 25^\circ\text{C}$ 11.52	12	12.54	V	
	Applies over full operating temperature range	11.4		12.66			
η	Efficiency	$V_{IN} = 15\text{ V}$, $I_{LOAD} = 3\text{ A}$		88%			

(1) External components such as the catch diode, inductor, input and output capacitors can affect switching regulator system performance. When the LM2576/LM2576HV is used as shown in [Figure 26](#) and [Figure 32](#), system performance is as shown in [Electrical Characteristics: All Output Voltage Versions](#).

1. XBee®/XBee-PRO® RF Modules

The XBee and XBee-PRO RF Modules were engineered to meet IEEE 802.15.4 standards and support the unique needs of low-cost, low-power wireless sensor networks. The modules require minimal power and provide reliable delivery of data between devices.

The modules operate within the ISM 2.4 GHz frequency band and are pin-for-pin compatible with each other.



Key Features

Long Range Data Integrity

XBee

- Indoor/Urban: up to 100' (30 m)
- Outdoor line-of-sight: up to 300' (90 m)
- Transmit Power: 1 mW (0 dBm)
- Receiver Sensitivity: -92 dBm

XBee-PRO

- Indoor/Urban: up to 300' (90 m), 200' (60 m) for International variant
- Outdoor line-of-sight: up to 1 mile (1600 m), 2500' (750 m) for International variant
- Transmit Power: 63mW (18dBm), 10mW (10dBm) for International variant
- Receiver Sensitivity: -100 dBm

RF Data Rate: 250,000 bps

Advanced Networking & Security

Retries and Acknowledgements
DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)
Each direct sequence channels has over 65,000 unique network addresses available
Source/Destination Addressing
Unicast & Broadcast Communications
Point-to-point, point-to-multipoint and peer-to-peer topologies supported

Low Power

XBee

- TX Peak Current: 45 mA (@3.3 V)
- RX Current: 50 mA (@3.3 V)
- Power-down Current: < 10 μ A

XBee-PRO

- TX Peak Current: 250mA (150mA for international variant)
- TX Peak Current (RPSMA module only): 340mA (180mA for international variant)
- RX Current: 55 mA (@3.3 V)
- Power-down Current: < 10 μ A

ADC and I/O line support

Analog-to-digital conversion, Digital I/O
I/O Line Passing

Easy-to-Use

No configuration necessary for out-of box RF communications
Free X-CTU Software (Testing and configuration software)
AT and API Command Modes for configuring module parameters
Extensive command set
Small form factor

Worldwide Acceptance

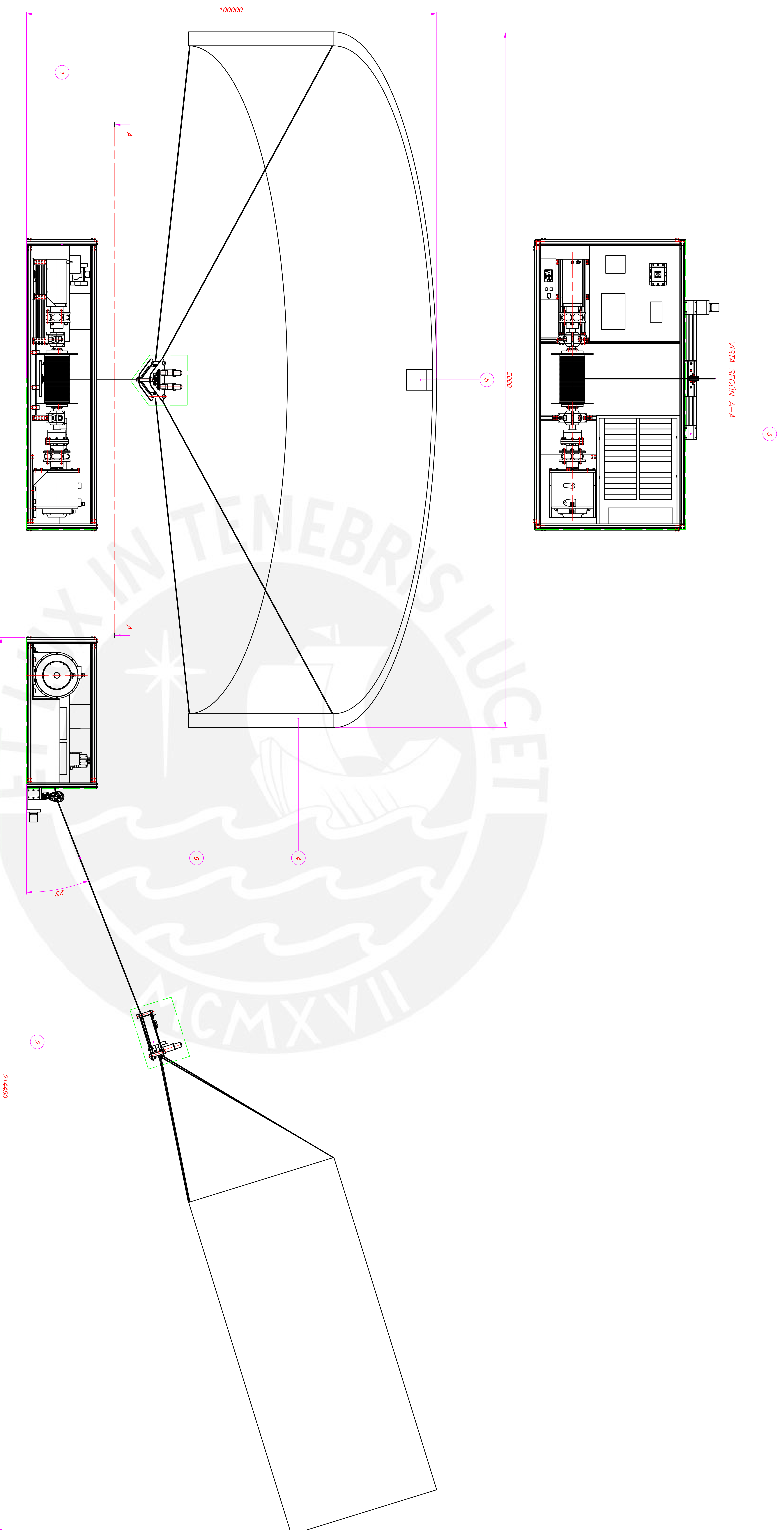
FCC Approval (USA) Refer to Appendix A [p64] for FCC Requirements. Systems that contain XBee®/XBee-PRO® RF Modules inherit Digi Certifications.

ISM (Industrial, Scientific & Medical) 2.4 GHz frequency band

Manufactured under **ISO 9001:2000** registered standards

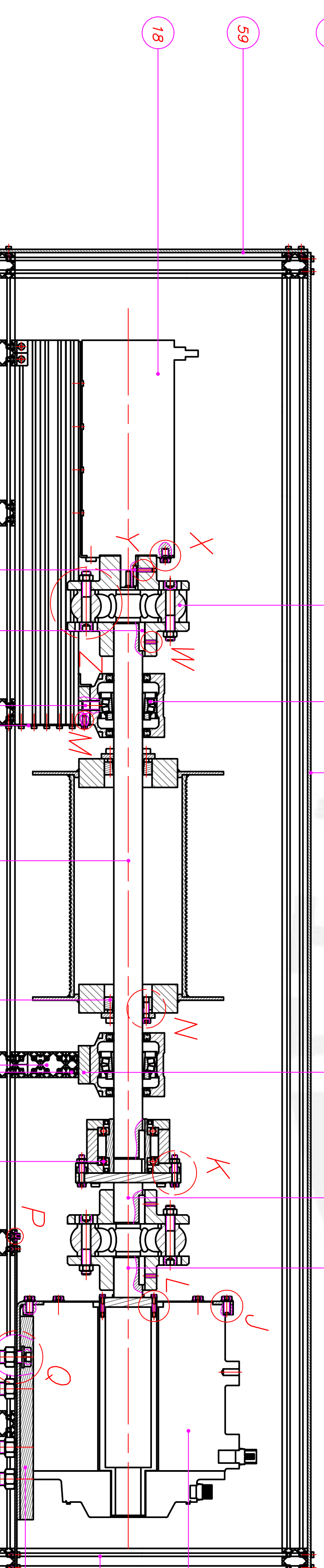
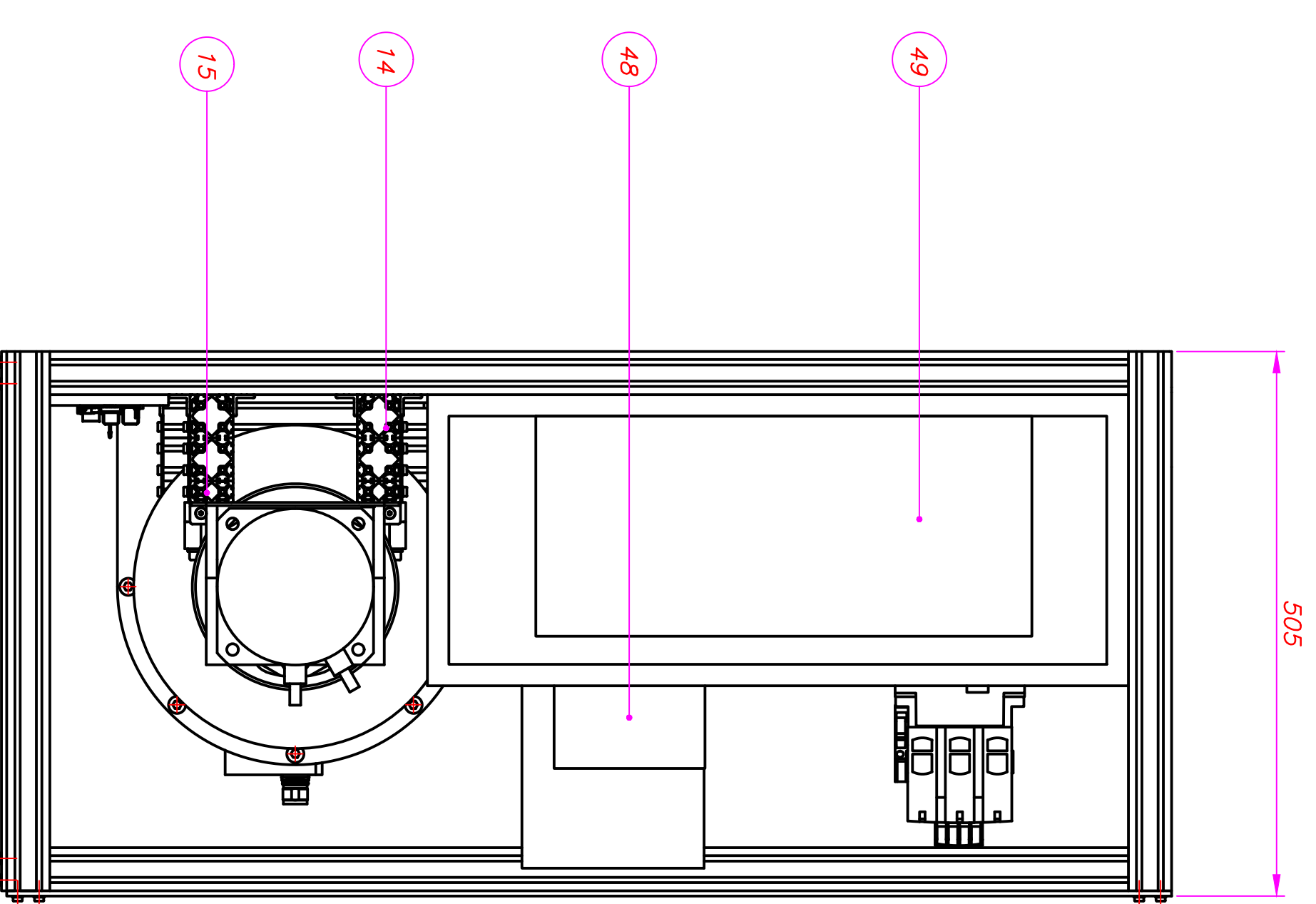
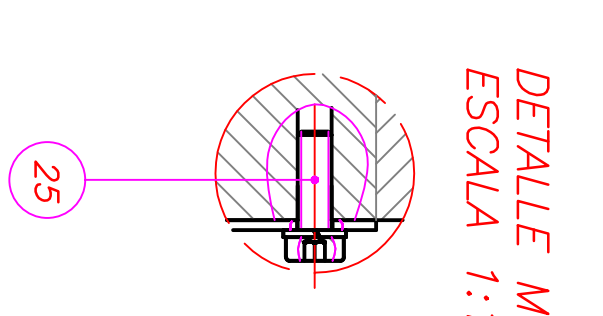
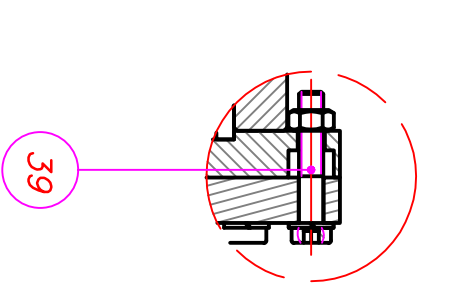
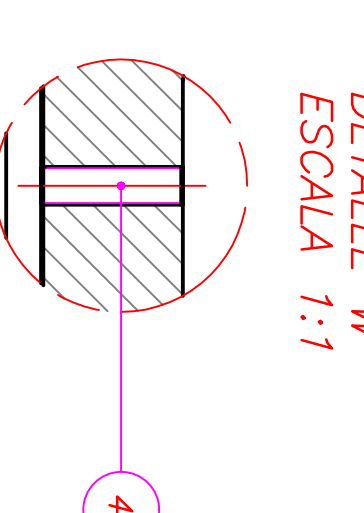
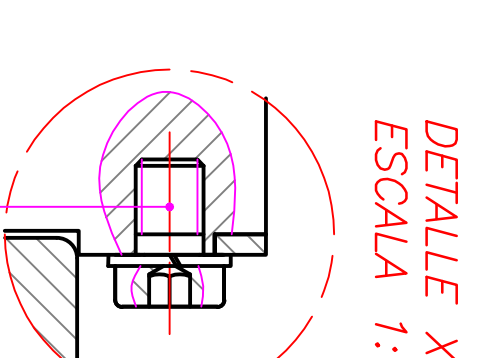
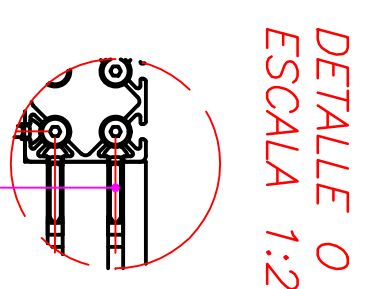
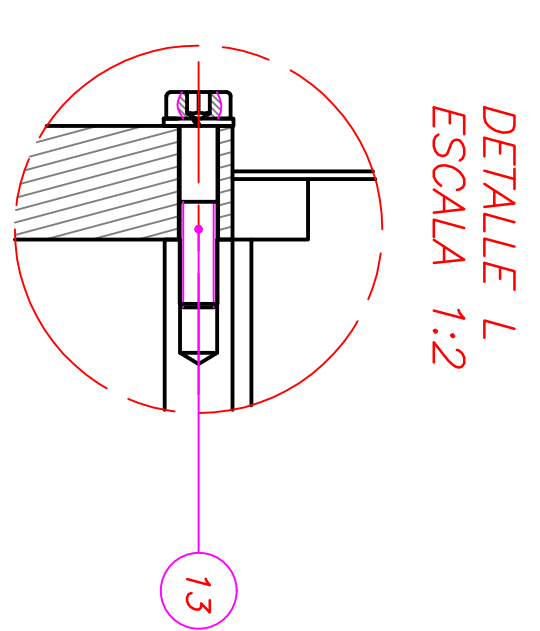
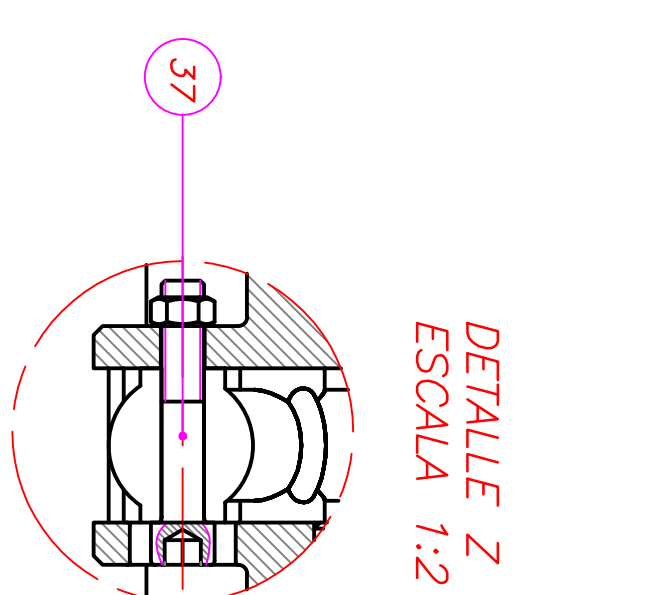
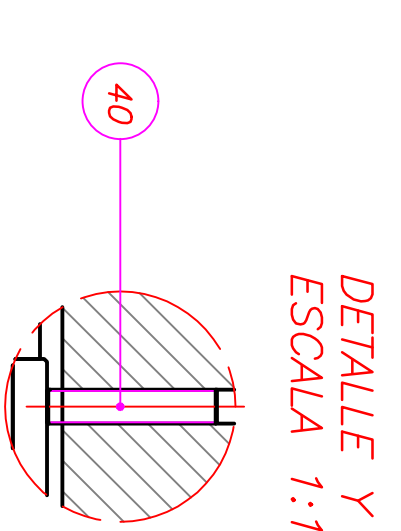
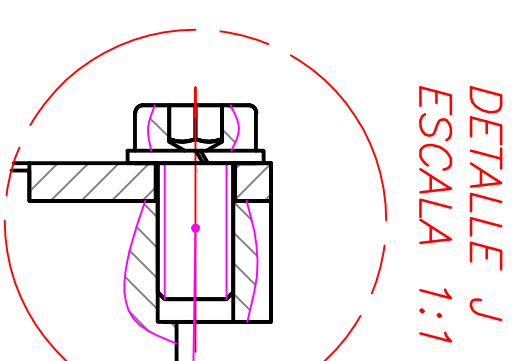
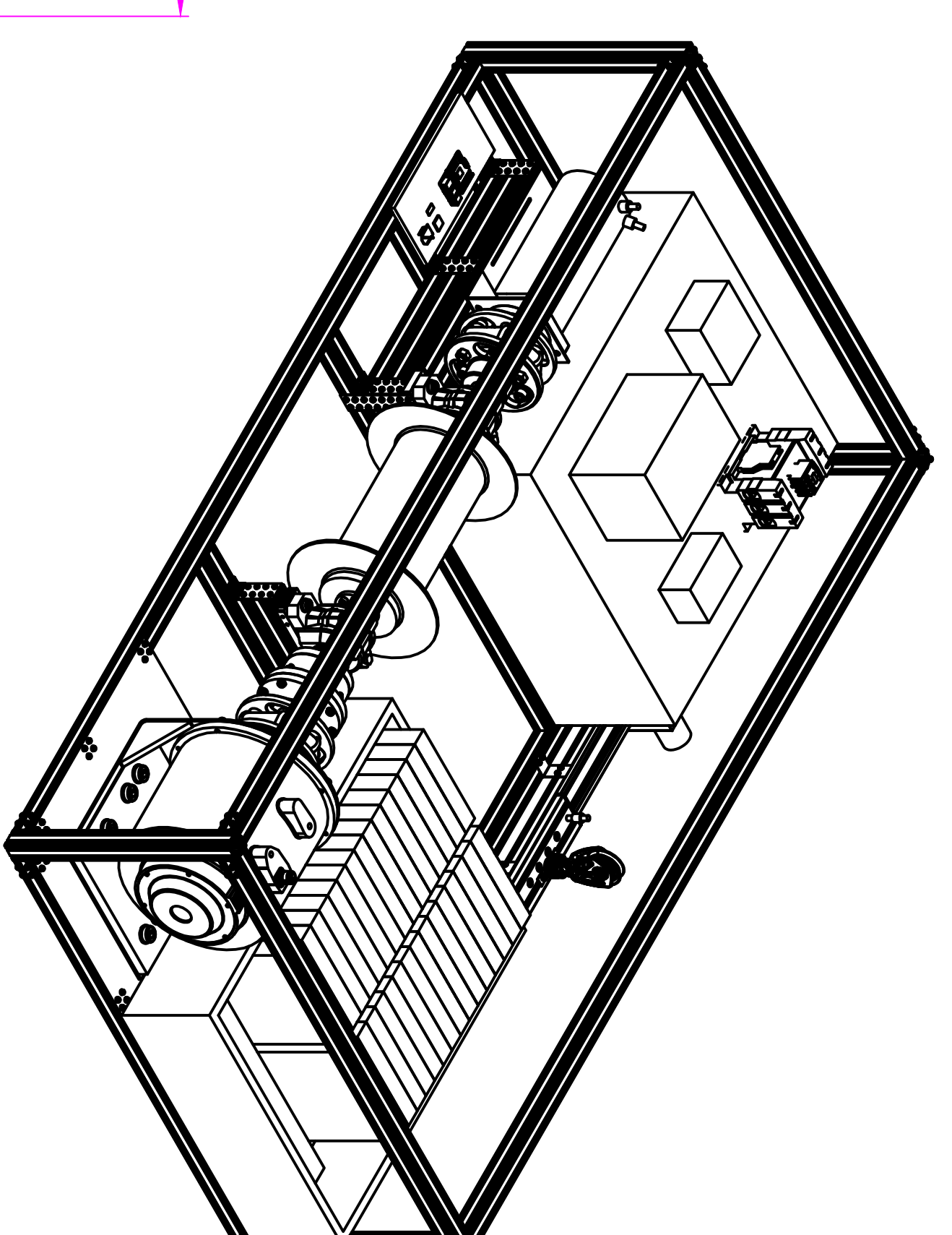
XBee®/XBee-PRO® RF Modules are optimized for use in the United States, Canada, Australia, Japan, and Europe. Contact Digi for complete list of government agency approvals.





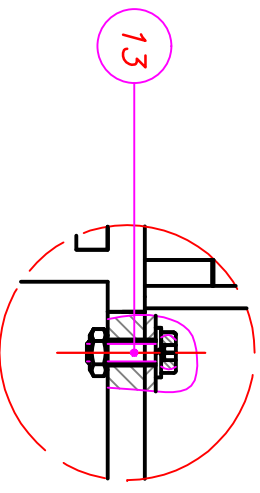
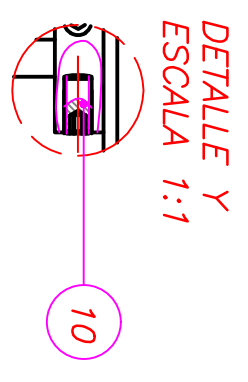
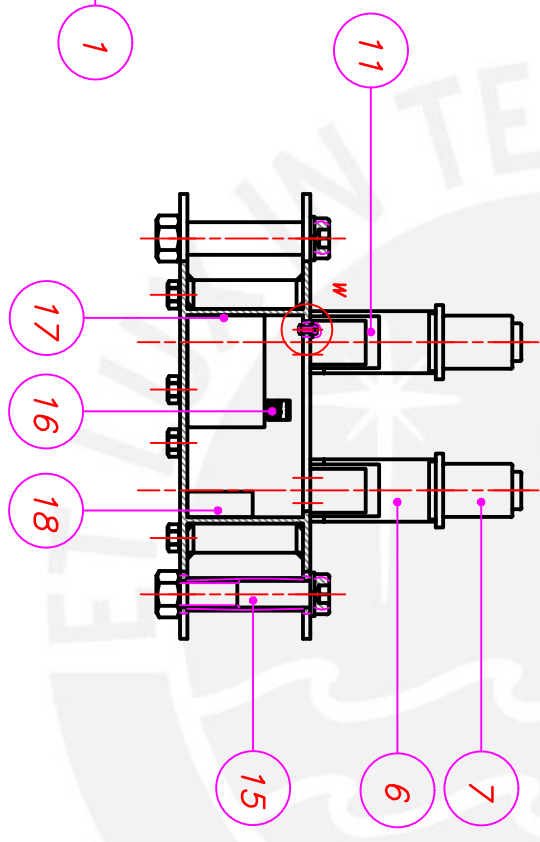
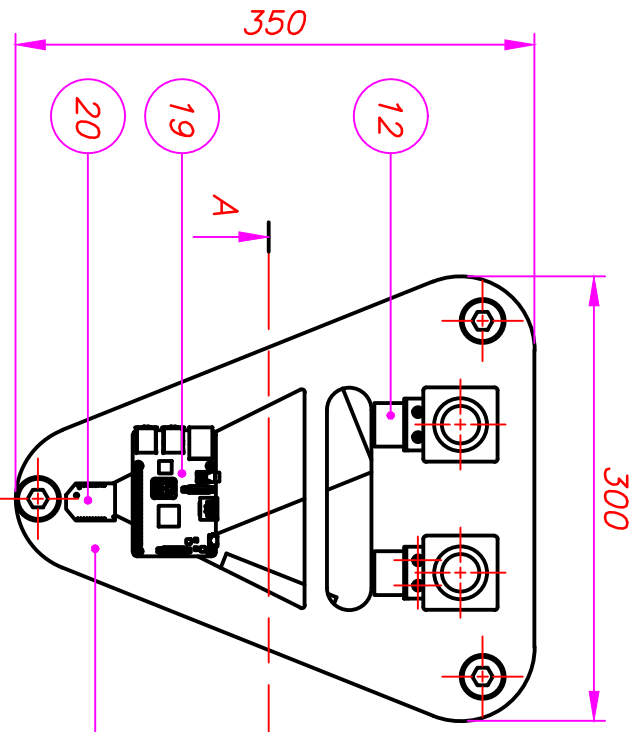
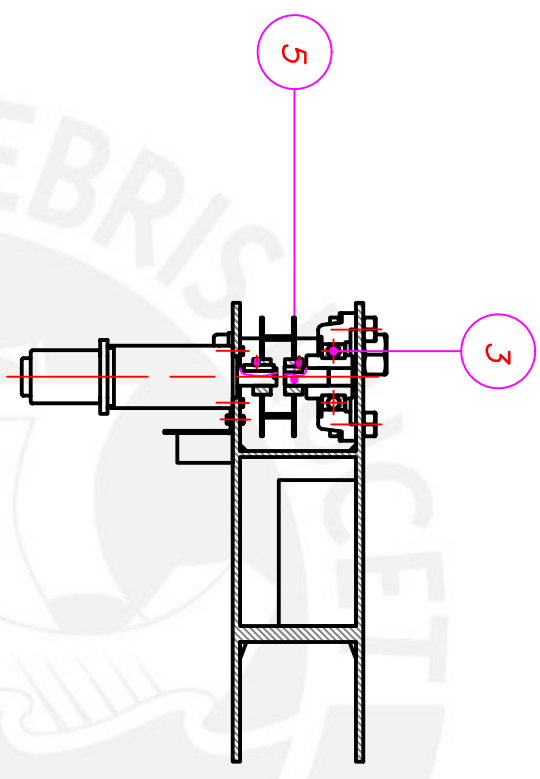
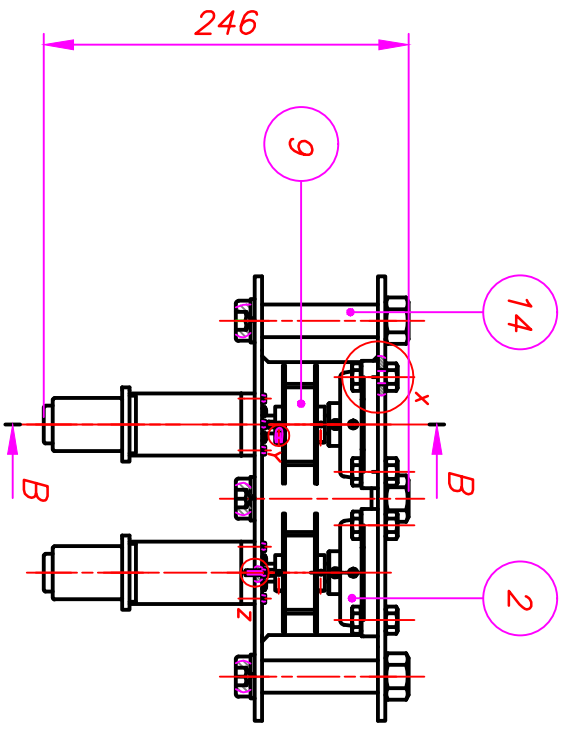
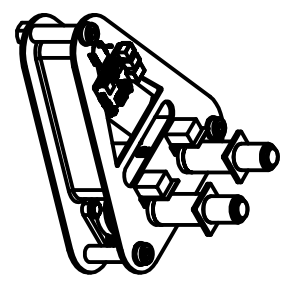
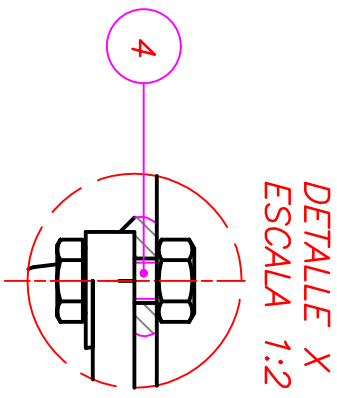
6	5	CABLE PUNTA	300 m / 1.00 m
5	1	SALA DE ALMACENAMIENTO DE CABLES	
4	1	SOL RITE KONIG BEBEL 2017	
3	1	ACTUADOR LINEAL	LAMB AL-41
2	1	UNIDAD DE CONTROL	LAMB L2-41
1	1	ESTACION DE SERVIDOR	LAMB L1-40
POS. JAVI	DESCRIPCION	CANTIDAD	REFERENCIAS
FONTECIVA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA - ESPECIALIDAD: ING. MECATRONICA TRABAJO DE FIN DE CARRERA SISTEMA INTEGRADO 1:10 ESCALA			
20112453	FECHA: 2018.07.26	PROF: RUIZ FIGUEROA, JOSE IVAN	LAUNDR
			LD-40

GENERADOR 3005STW48	298 V (AC)	3005STW42
VOLTAGE DE OPERACION	298 V (AC)	298 V (AC)
POTENCIA NOMINAL	13.2 kW	3.1 kW
TORQUE NOMINAL	415 Nm	104 Nm
VELOCIDAD	350 RPM	350 RPM

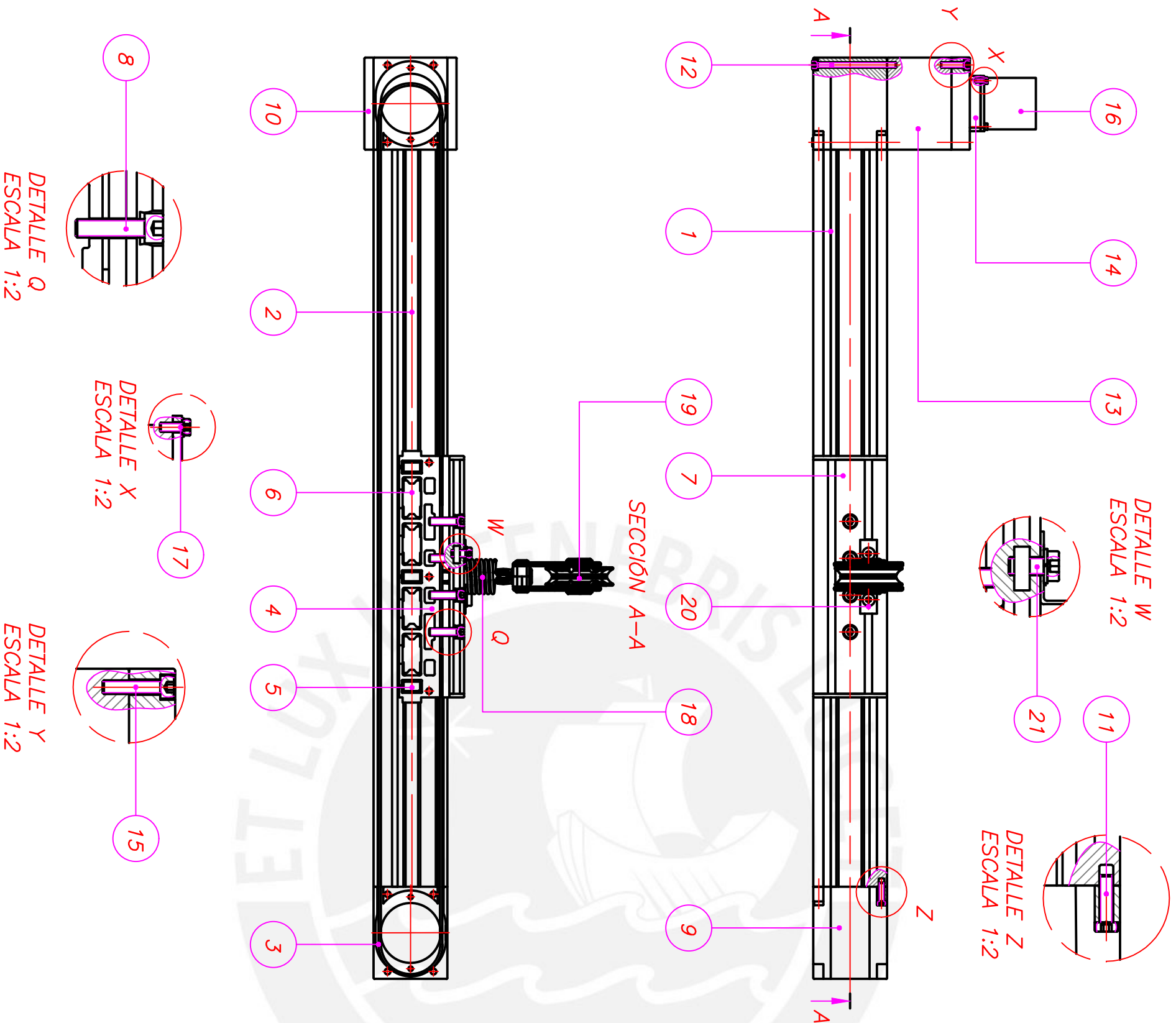


SECCION A-A

20112453	RUIZ FIGUEROA, JOSE IVAN	1:5
FONTECILLA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA - ESPECIALIDAD: ING. MECANICA LABORATORIO DE PROYECTOS TRABAJO DE FIN DE CARRERA ESCUELA		
GENERADOR EOLICO		
20112453		



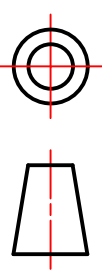
20	1	MÓDULO XBEE PRO SERIES			
19	1	RASPBERRY PI 2			
18	1	BATERIA DE HIERRO FOSFATO NANO-TECH			2100 mAh 6.6 V
17	1	BATERIA DE HIERRO FOSFATO ZIGGY			8400 mAh, 13.2 V
16	1	SENSOR DE TEMPERATURA TMP006			TEXAS INSTRUMENT
15	3	TUERCA HEXAGONAL M18	DIN 24032	8	
15	3	TORNILLO ALLEN M18x100	DIN 7984	8.8	
15	3	ARANDELA DE PRESIÓN A18	DIN 128		
14	3	BARRA CILINDRICA		AA 6061	LAMINA L26-A3
13	4	TUERCA HEXAGONAL M3	DIN 24032	8	
13	4	TORNILLO ALLEN M3x10	DIN 7984	8.8	
13	4	ARANDELA DE PRESIÓN A3	DIN 128		
12	2	CONTROLADOR MOTOR CRUSHER			NOVIK
11	2	PLANCHA DRIVER	ASTM B209	AA 6061	LAMINA L14-A3
10	4	ESPARRAGO ALLEN M3x8	DIN 913	8.8	
9	2	TAMBOR UNIDAD DE CONTROL	ASTM A36	A36	LAMINA L20-A3
8	8	TORNILLO ALLEN M3x10	DIN 7984	8.8	
7	2	MOTOR SIN ESCOBIILLAS BALLSTIC			NOVIK
6	2	REDUCTOR PLANETARIO T=40Nm			MAXON
5	2	CHAVETA 4x4x21	DIN 6885	CK 60	AUSTE FLUO
5	2	ARBOL DE TRANSMISIÓN		ASI 1045	LAMINA L25-A3
4	8	TUERCA HEXAGONAL M10	DIN 24032	8	
4	8	TORNILLO HEXAGONAL M10x20	DIN 24017	8.8	
3	4	RODAMIENTOS DE BOLAS NTN			
2	2	SOPORTE DE BRIDA			
1	1	ESTRUCTURA UNIDAD DE CONTROL	ASTM A36	A36	LAMINA L23-A3
POS. CANT.		DESCRIPCION	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU					
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA – ESPECIALIDAD: ING. MECATRONICA					
MÉTODO DE PROTECCIÓN			TRABAJO DE FIN DE CARRERA		ESCALA
			UNIDAD DE CONTROL		1:5
20112453			RUIZ FIGUEROA, JOSÉ IVÁN		FECHA: 2018.07.26
					LAMINA: L2-A3



POS.	CANT.	DESCRIPCION	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES
21	2	TUERCA 8			ITEM
21	2	ARANDELA DE PRESION 8	DIN 128		
21	2	TORNILLO ALLEN M8x15	DIN 7984	8.8	
20	1	SOPORTE POLEA	ASTM A276		
19	1	POLEA GUIA			HARKEN
18	1	RESORTE			Ø 35, 7 ESPIRAS
17	4	ARANDELA 6	DIN 125		
17	4	TORNILLO ALLEN M6x25	DIN 7984	8.8	
16	1	REDUCTOR PLANETARIO 4:1			
16	1	MOTOR PASO A PASO			NEMA 23
15	4	TORNILLO ALLEN M6x25	DIN 7984	8.8	
14	1	SOPORTE ACOPLAMIENTO	ASTM B209	AA 6061	LAMINA L26-A3
13	1	KIT ACOPLAMIENTO KLE 8 80x80			ITEM
12	4	TORNILLO ALLEN M10x85	DIN 912	8.8	
11	8	TORNILLO ALLEN M6x25	DIN 7984	8.8	
10	1	UNIDAD DE MANEJO			ITEM
9	1	UNIDAD TRASERA KLE 8 80x80			ITEM
8	4	TORNILLO ALLEN M8x30	DIN 7984	8.8	
7	1	CORREDERA DE MONTAJE			ITEM
6	4	RUEDA GRIA			ITEM
5	2	SISTEMA DE LUBRICACION			ITEM
4	1	CORREDERA KLE 8 80x80			ITEM
3	1	FAJA SINCRONA R 34 AT10			ITEM
2	2	EJE			ITEM, Ø14 x 800
1	1	PERFIL 8 80x80x800		AA 6061	ITEM

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU
 FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA – ESPECIALIDAD: ING. MECATRONICA

METODO DE PROTECCION



TRABAJO DE FIN DE CARRERA

ACTUADOR LINEAL

ESCALA

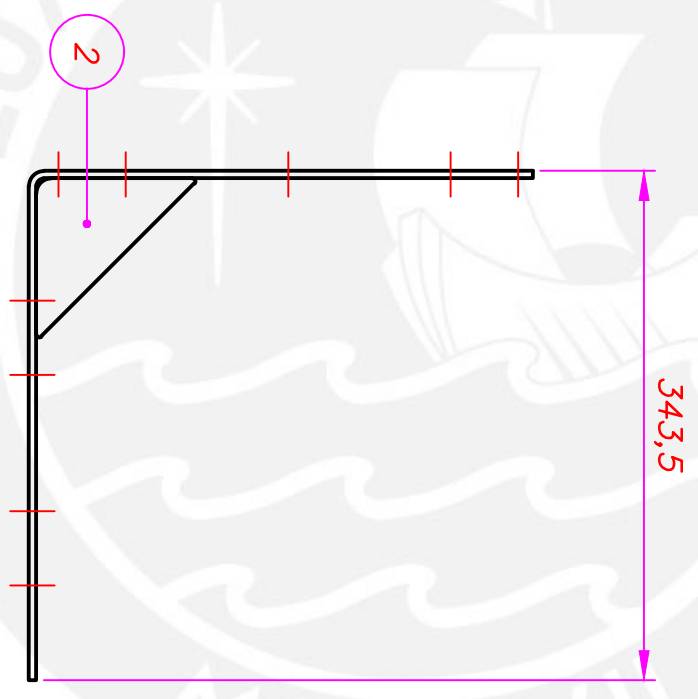
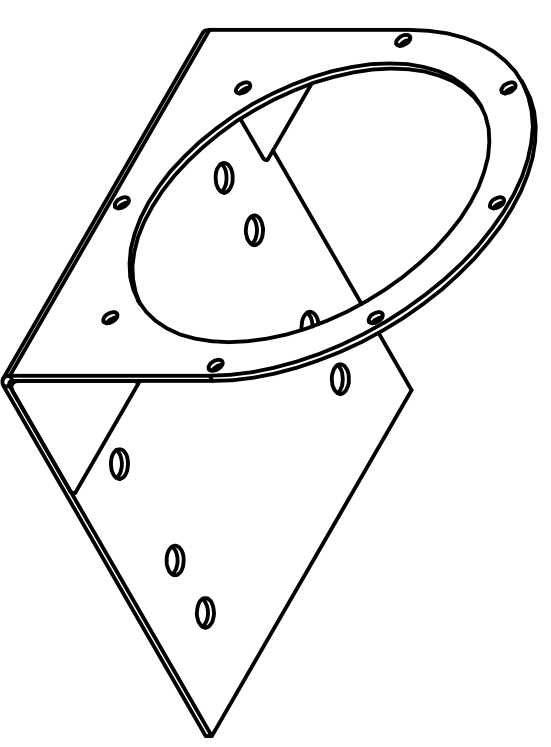
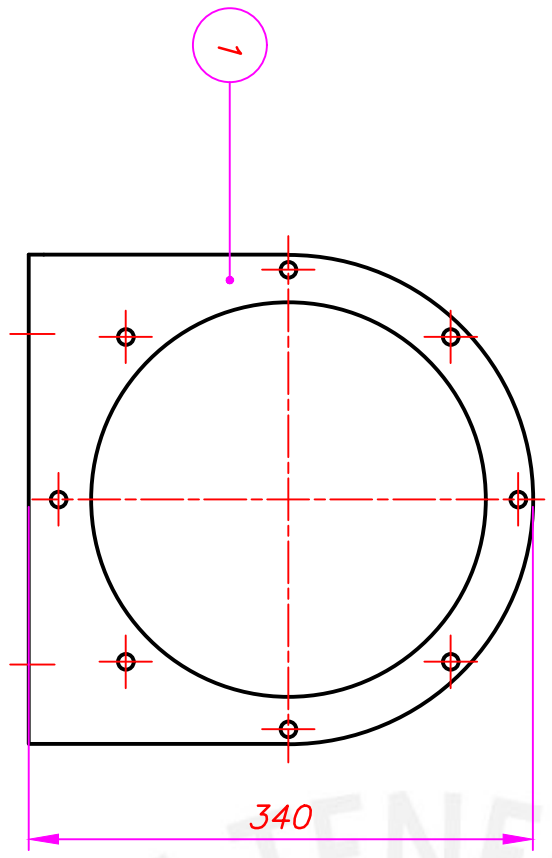
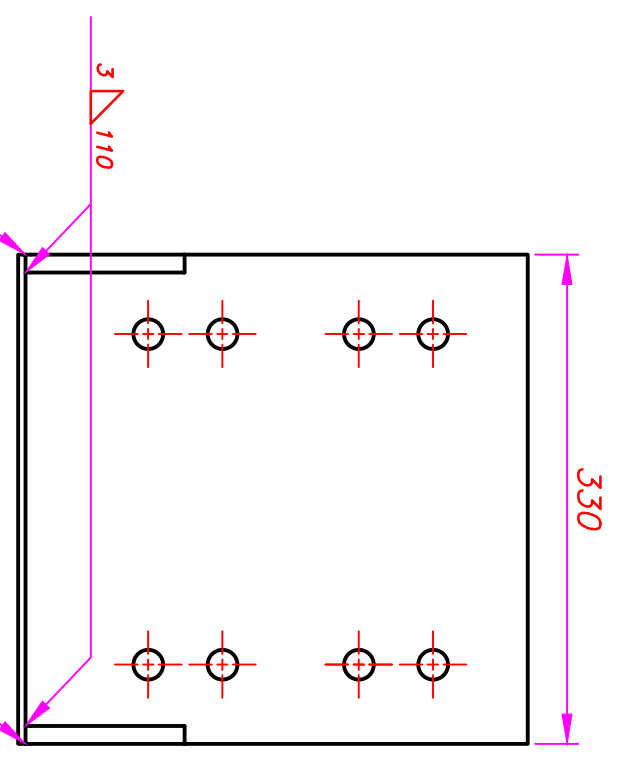
1:5

20112453

RUIZ FIGUEROA, JOSÉ IVAN

FECHA:
2018.07.26

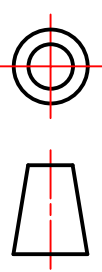
LAMINA:
L3-A3



2	2	NERVIO SOPORTE GENERADOR	ASTM A276		LAMINA L12-A3
1	1	PLANCHA SOPORTE GENERADOR	ASTM A276		LAMINA L17-A3
POS.	CANT.	DESCRIPCION	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU
 FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA - ESPECIALIDAD: ING. MECATRONICA

METODO DE PROYECCION



TRABAJO DE FIN DE CARRERA

SOPORTE GENERADOR

ESCALA

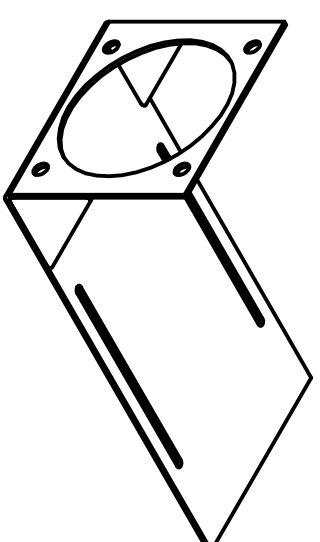
1:5

20112453

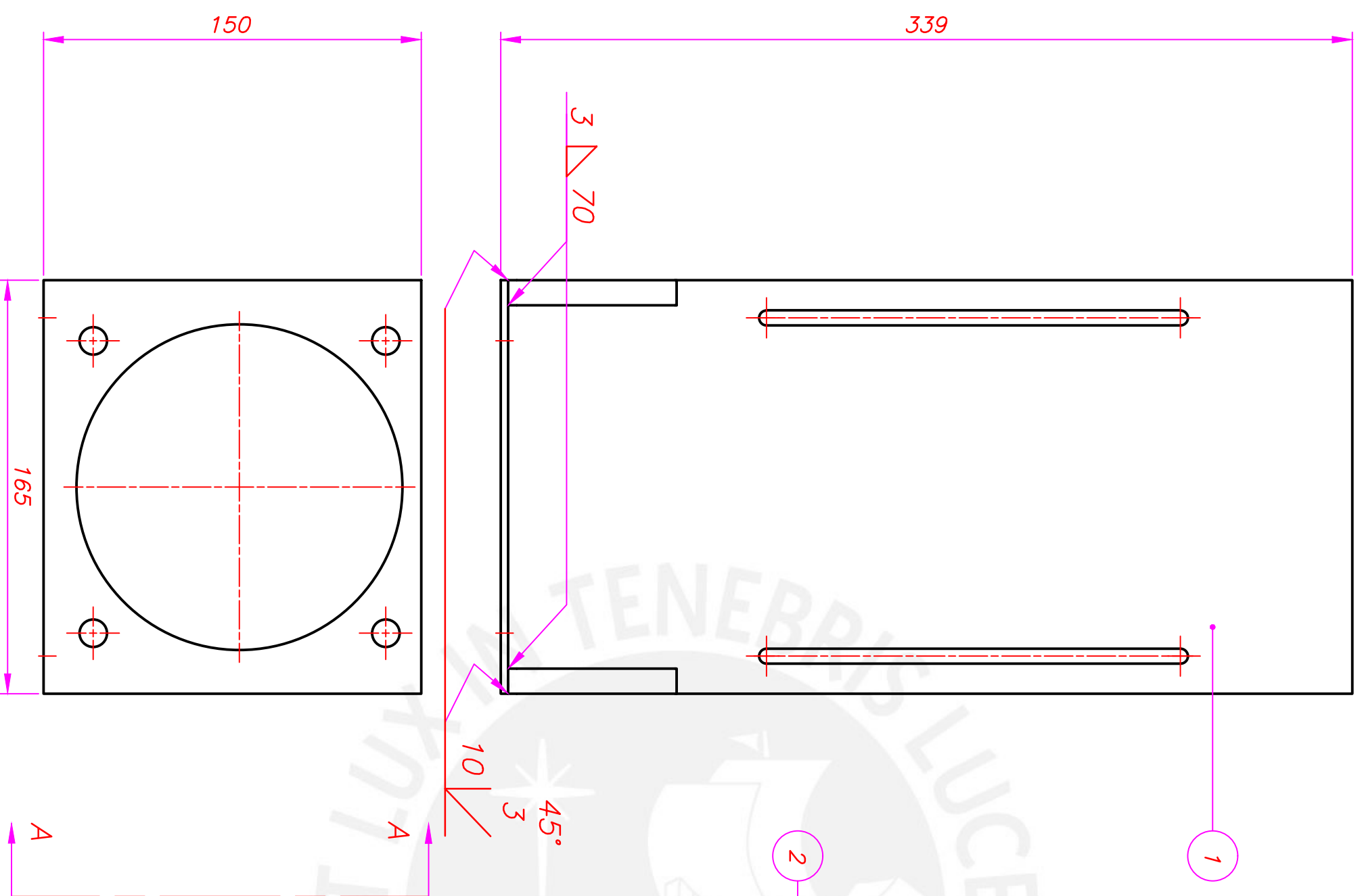
RUIZ FIGUEROA, JOSÉ IVÁN

FECHA:
2018.07.26

LAMINA:
L4-A3



VISTA SEGÚN A-A



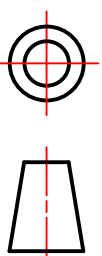
POS.	CANT.	DESCRIPCION	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES
2	2	NERVIO MOTOR	ASTM A276		LAMINA L12-A3
1	1	PLANCHA SOPORTE MOTOR	ASTM A276		LAMINA L18-A3

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU
 FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA - ESPECIALIDAD: ING. MECATRONICA

METODO DE PROYECCION

TRABAJO DE FIN DE CARRERA

ESCALA



SOPORTE MOTOR

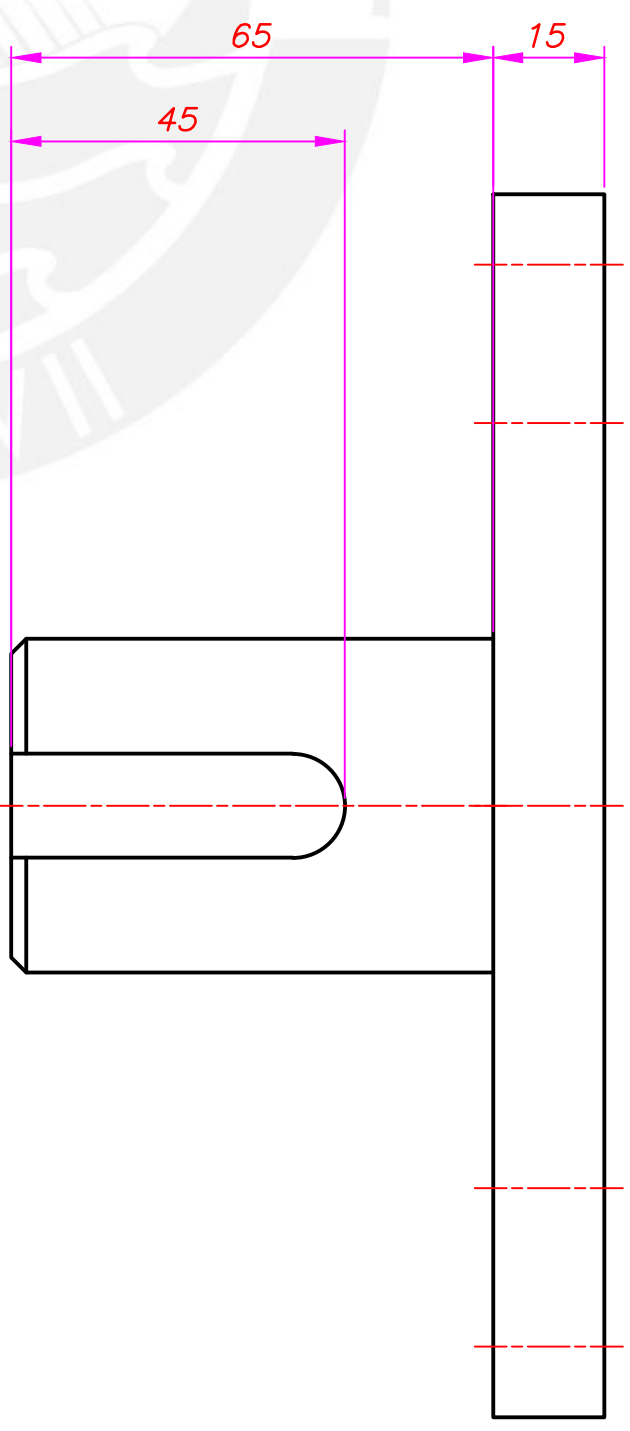
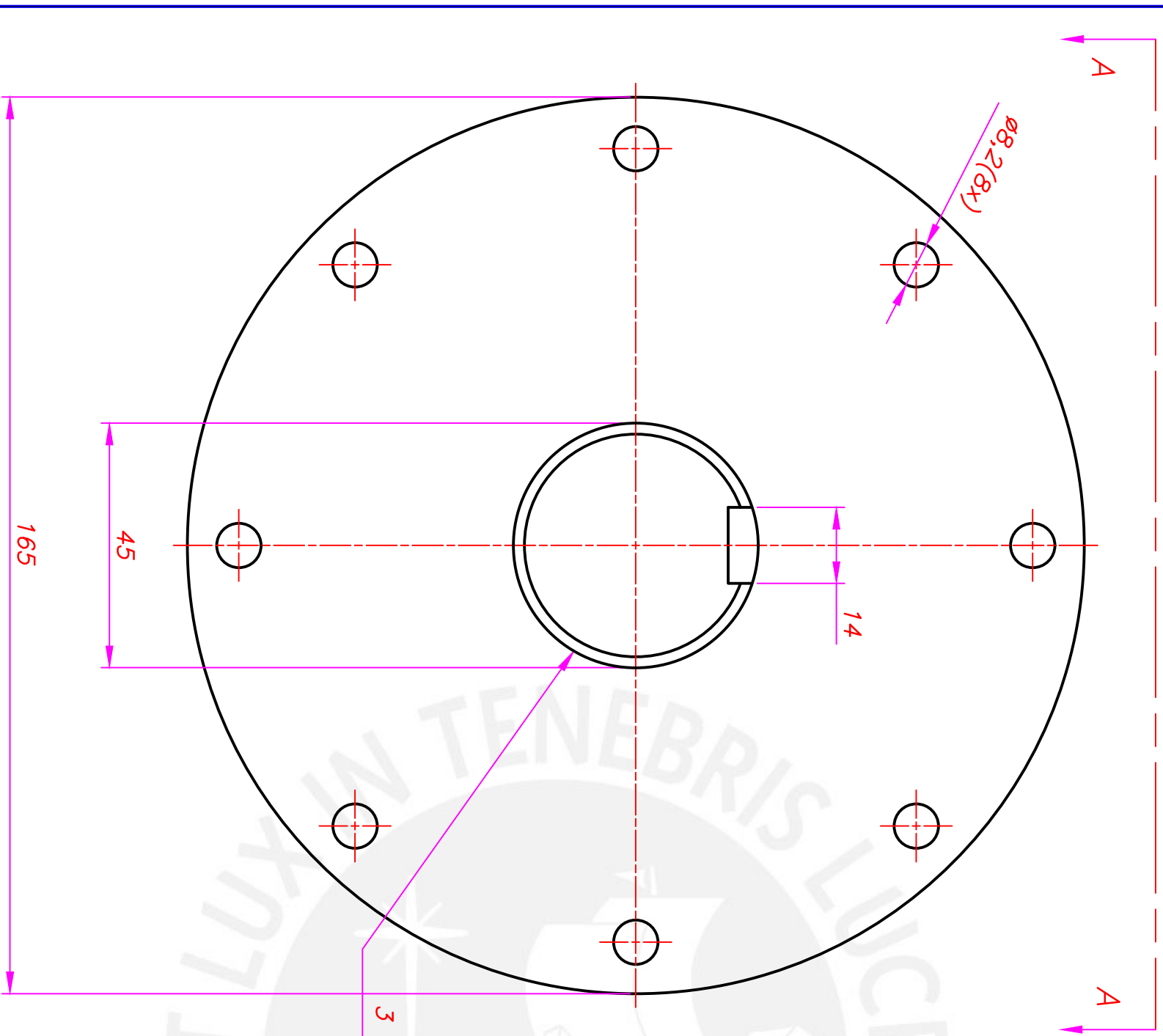
1:2

20112453

RUIZ FIGUEROA, JOSÉ IVÁN

FECHA:
2018.07.26

LAMINA:
L5-A3



VISTA SEGÚN A-A

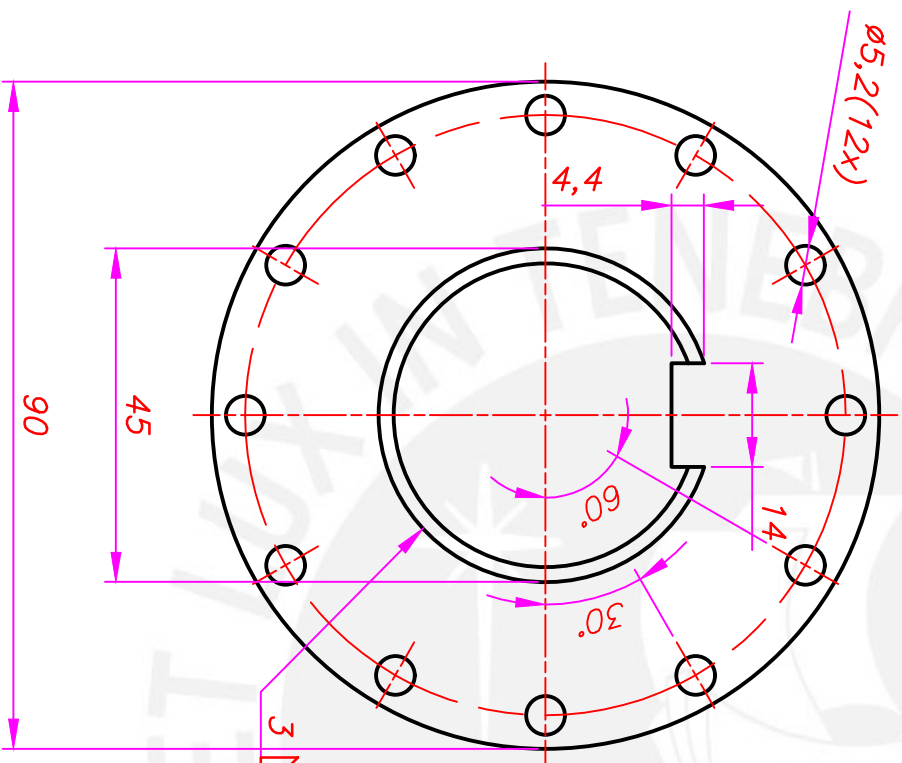
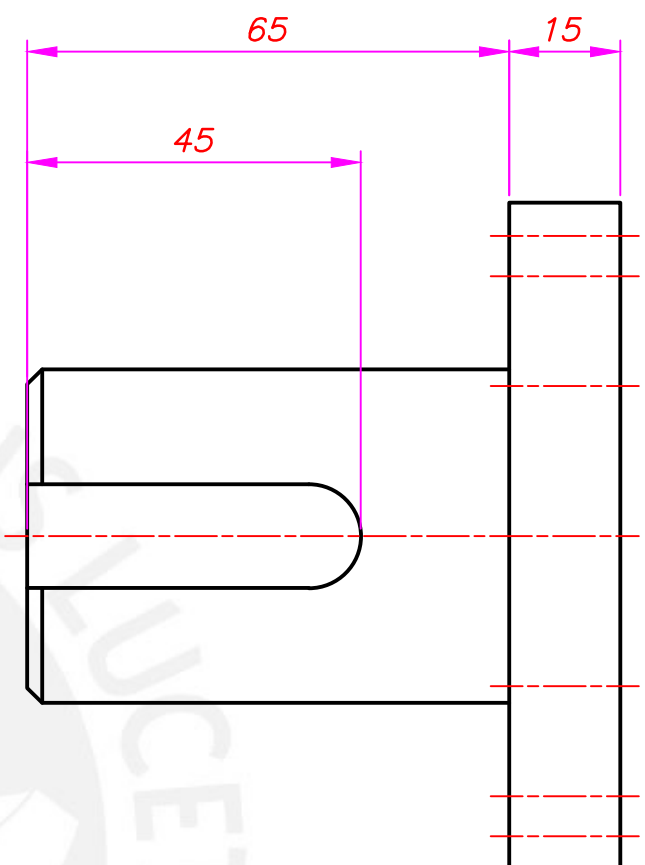
3
SOLDADURA DE SELLADO

CHAFLANES NO INDICADOS 2x45°

TOLERANCIAS DIMENSIONALES				TOLERANCIAS DIMENSIONALES							
SEGUN DIN 7168				SEGUN DIN E 7168							
GRADO DE EXACTITUD	Mds de 0,5 hasta 3	Mds de 3 hasta 6	Mds de 6 hasta 30	Mds de 30 hasta 120	Mds de 120 hasta 400	TIPO DE FUNDICION	Mds de 10 hasta 30	Mds de 30 hasta 80	Mds de 80 hasta 180	Mds de 180 hasta 315	Mds de 315 hasta 500
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	FUNDICION GRIS	+2	+3	+4	+5	+7
							-1	-1,5	-2	-2,5	-3,5

COTA NOMINAL	COTA MAXIMA	COTA MINIMA

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
	SEGUN DIN 7168-G:MEDIO	ACERO A36
	SEGUN DIN 7168-F:GRIS	
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU		
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA - ESPECIALIDAD: ING. MECATRONICA		
METODO DE PROYECCION	TRABAJO DE FIN DE CARRERA	ESCALA
	ACOPLE GENERADOR 1	1:1
20112453	RUIZ FIGUEROA, JOSE IVAN	FECHA: 2018.07.26
		LAMINA: LG-A3



CHAFLANES NO INDICADOS 2x45°

3
SOLDADURA DE SELLADO

TOLERANCIAS DIMENSIONALES
SEGUN DIN 7168

GRADO DE EXACTITUD	Mds de 0,5 hasta 3	Mds de 3 hasta 6	Mds de 6 hasta 30	Mds de 30 hasta 120	Mds de 120 hasta 400	TIPO DE FUNDICION	Mds de 10 hasta 30	Mds de 30 hasta 80	Mds de 80 hasta 180	Mds de 180 hasta 315	Mds de 315 hasta 500
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	FUNDICION GRIS	+2	+3	+4	+5	+7
							-1	-1,5	-2	-2,5	-3,5

TOLERANCIAS DIMENSIONALES
SEGUN DIN E 7168

COTA NOMINAL	COTA MAXIMA	COTA MINIMA

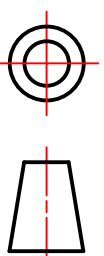
ACABADO SUPERFICIAL

TOLERANCIA GENERAL
SEGUN DIN 7168-G:MEDIO
SEGUN DIN 7168-F:GRIS

MATERIAL
ACERO A36

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA - ESPECIALIDAD: ING. MECATRONICA

METODO DE PROYECCION



TRABAJO DE FIN DE CARRERA

ESCALA

ACOPLE GENERADOR 2

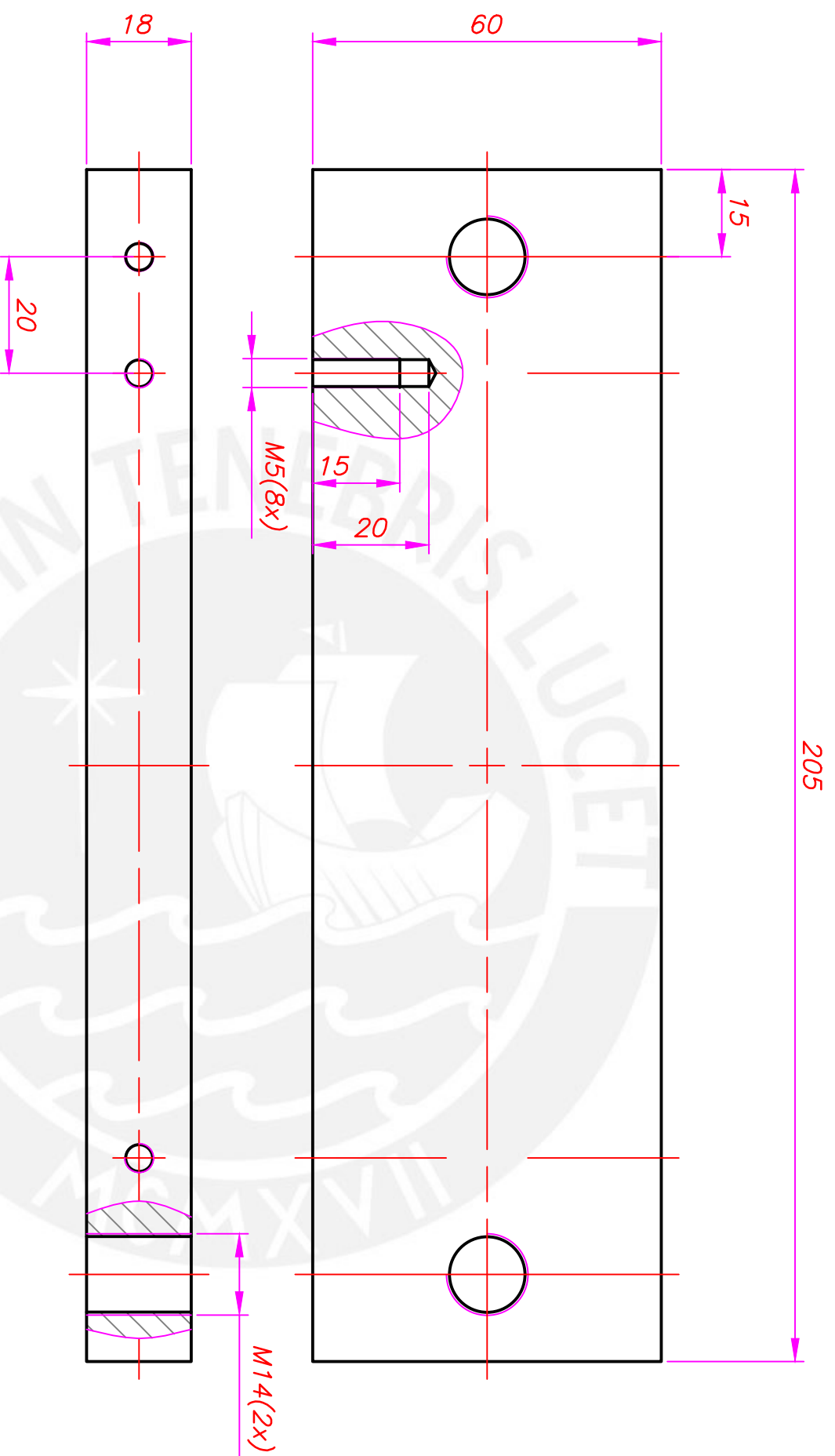
1:1

20112453

RUIZ FIGUEROA, JOSE IVAN

FECHA:
2018.07.26

LAMINA:
L7-A3



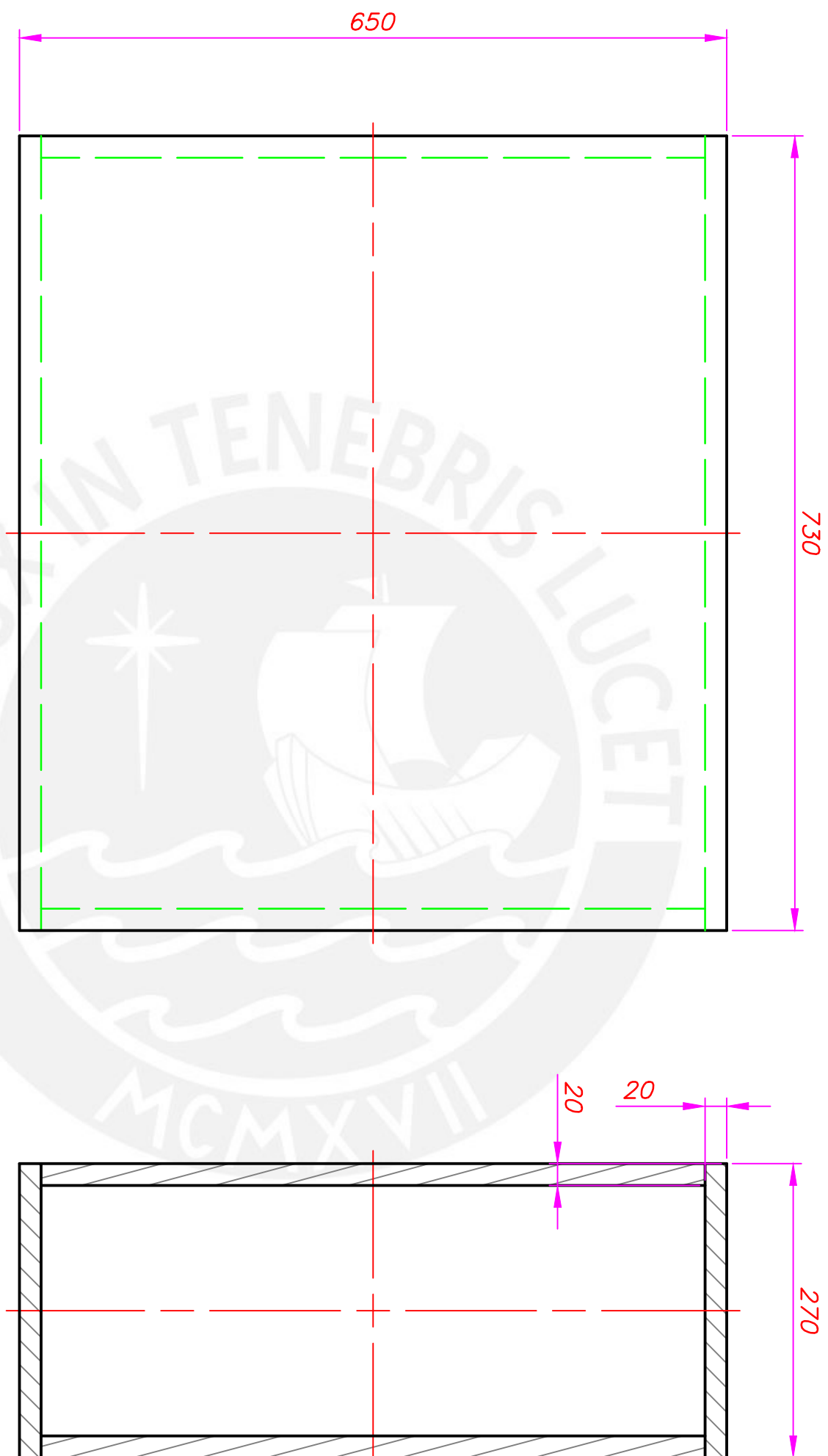
TOLERANCIAS DIMENSIONALES
SEGUN DIN 7168

GRADO DE EXACTITUD	Mds de 0,5 hasta 3	Mds de 3 hasta 6	Mds de 6 hasta 30	Mds de 30 hasta 120	Mds de 120 hasta 400	TIPO DE FUNDICION	Mds de 10 hasta 30	Mds de 30 hasta 80	Mds de 80 hasta 180	Mds de 180 hasta 315	Mds de 315 hasta 500
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	GRIS	+2	+3	+4	+5	+7

TOLERANCIAS DIMENSIONALES
SEGUN DIN E 7168

Mds de 10 hasta 30	Mds de 30 hasta 80	Mds de 80 hasta 180	Mds de 180 hasta 315	Mds de 315 hasta 500
+2	+3	+4	+5	+7

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
	SEGUN DIN7168-G.MEDIO SEGUN DIN7168-F.GRIS	ACERO A570
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU		
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA - ESPECIALIDAD: ING. MECATRONICA		
METODO DE PROYECCION	TRABAJO DE FIN DE CARRERA	ESCALA
	BASE S. RODAMIENTOS	1:1
20112453	RUIZ FIGUEROA, JOSE IVAN	FECHA: 2018.07.26
		LAMINA: L8-A3

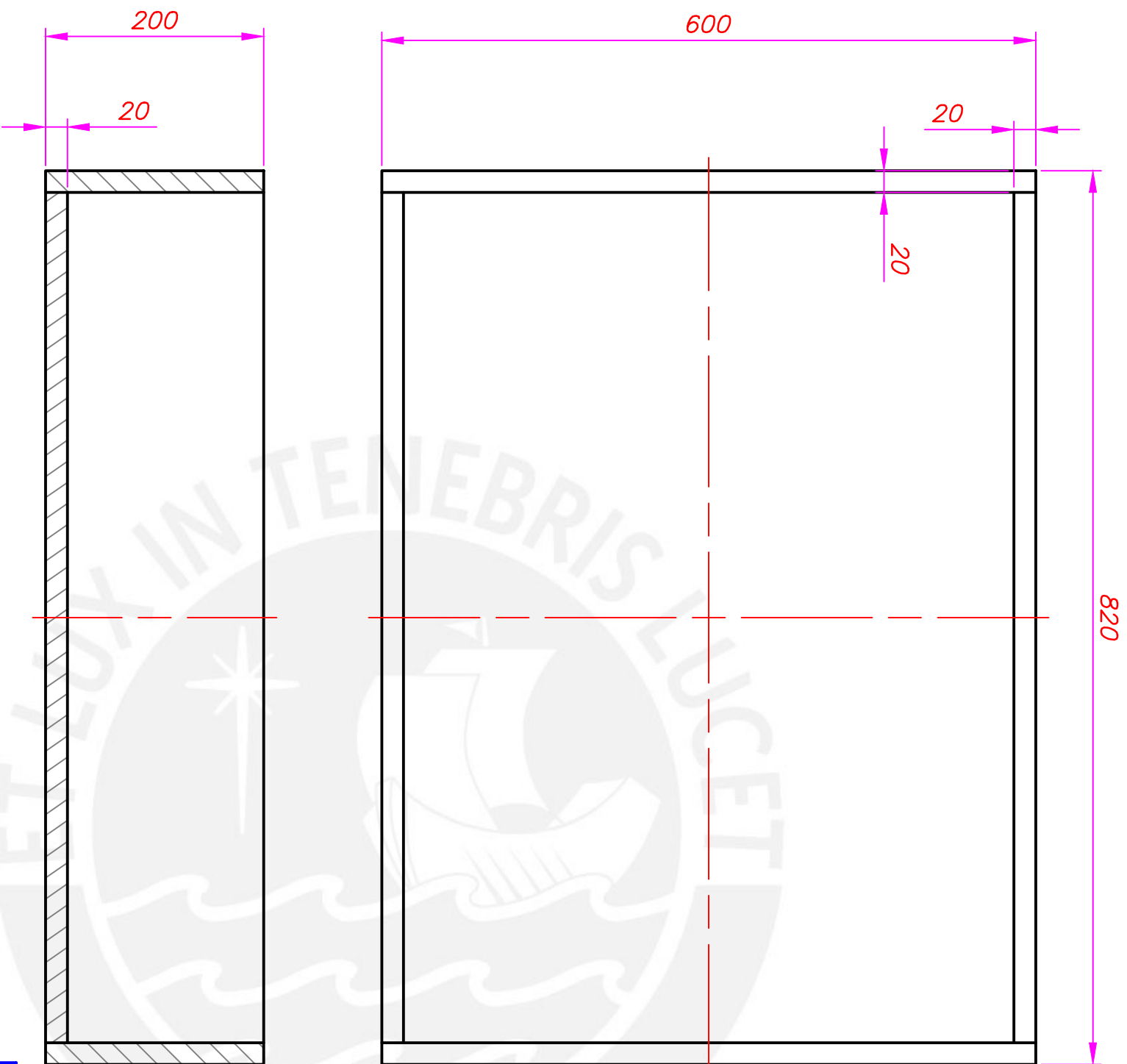


TOLERANCIAS DIMENSIONALES
SEGUN DIN 7168

GRADO DE EXACTITUD	Mds de 0,5 hasta 3	Mds de 3 hasta 6	Mds de 6 hasta 30	Mds de 30 hasta 120	Mds de 120 hasta 400
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5

COTA NOMINAL	COTA MAXIMA	COTA MINIMA


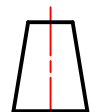
ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL SEGUN DIN7168-G.MEDIO SEGUN DIN7168-F.GRIS	MATERIAL MADERA
METODO DE PROYECCION	TRABAJO DE FIN DE CARRERA	ESCALA 1:5
20112453	CAJA DE ALOJAMIENTO 1	FECHA: 2018.07.26
	RUIZ FIGUEROA, JOSÉ IVÁN	LAMINA: L9-A3
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA - ESPECIALIDAD: ING. MECATRONICA		

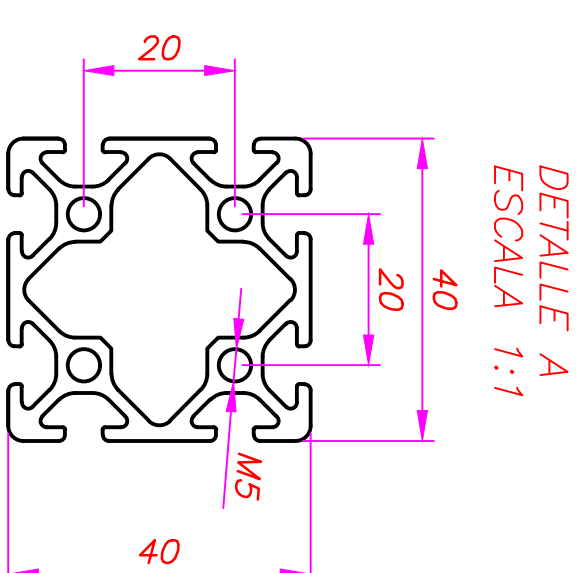
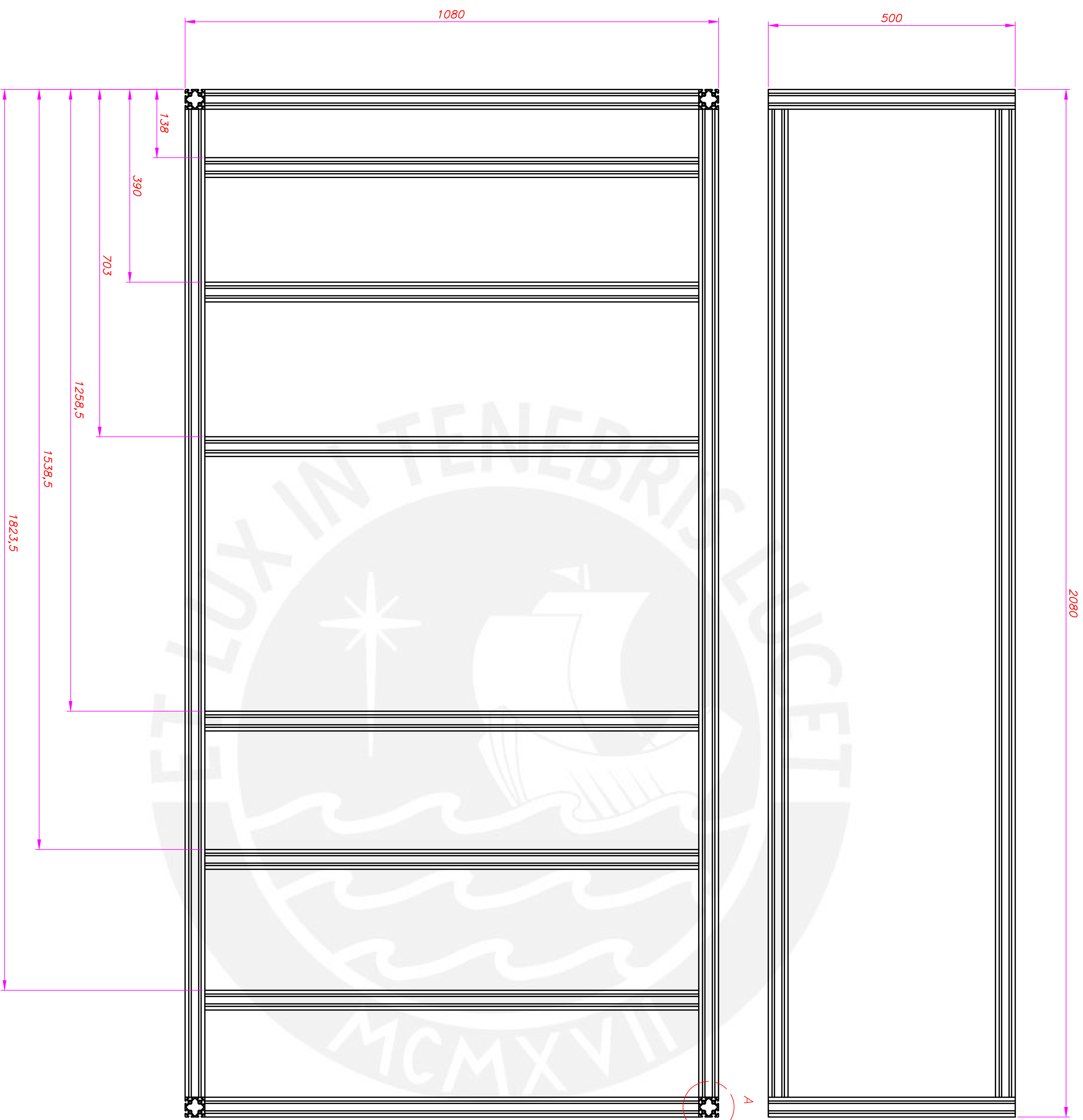


TOLERANCIAS DIMENSIONALES
SEGUN DIN 7168

GRADO DE EXACTITUD	Mds de 0,5 hasta 3	Mds de 3 hasta 6	Mds de 6 hasta 30	Mds de 30 hasta 120	Mds de 120 hasta 400
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5

COTA NOMINAL	COTA MAXIMA	COTA MINIMA

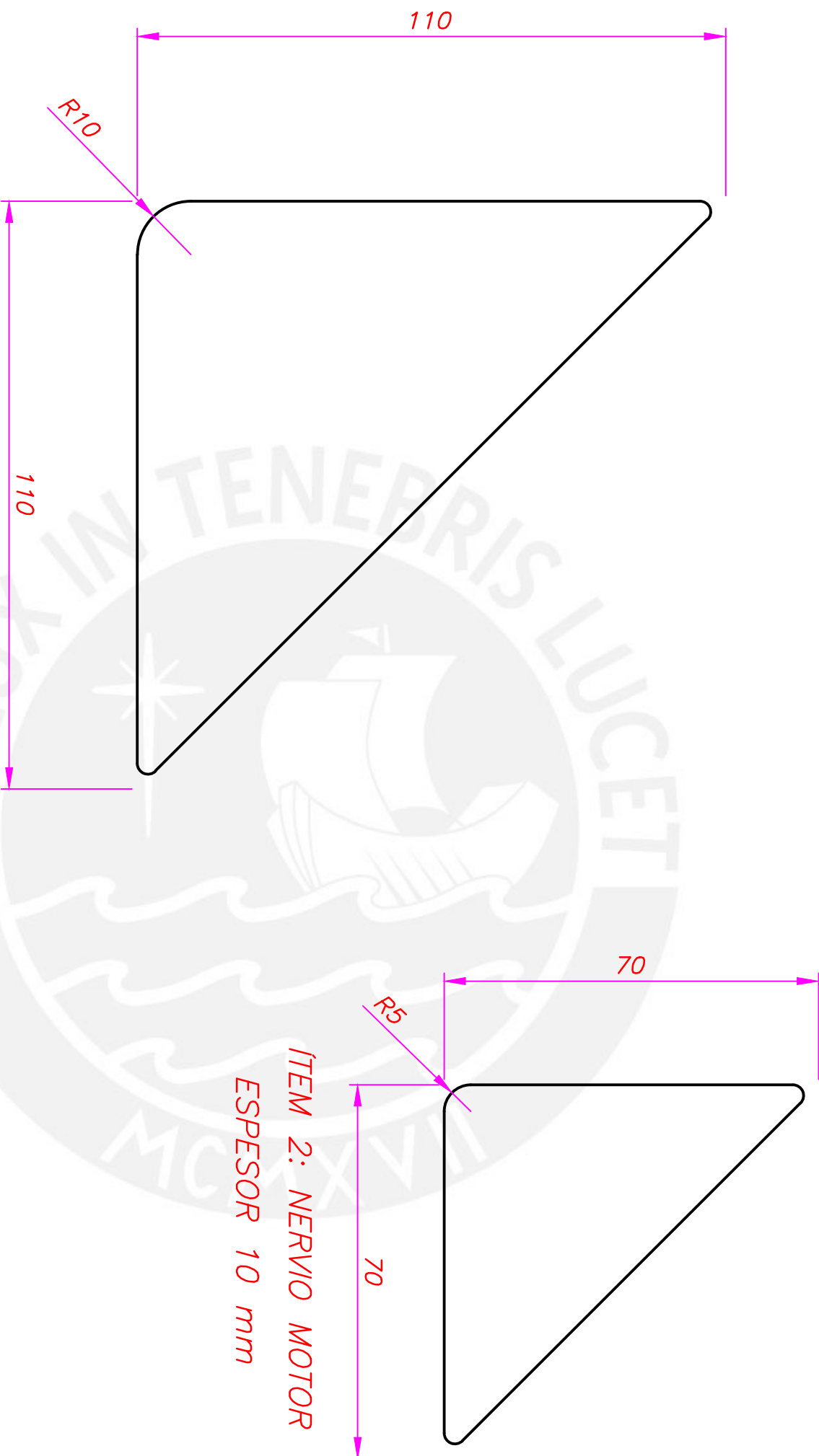
ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA - ESPECIALIDAD: ING. MECATRONICA	MADERA	
METODO DE PROYECCION	TRABAJO DE FIN DE CARRERA	ESCALA
 	CAJA DE ALOJAMIENTO 2	1:5
20112453	RUIZ FIGUEROA, JOSÉ IVÁN	FECHA: 2018.07.26
		LAMINA: L10-A3



DETALLE A
ESCALA 1:1

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
		AA 6061
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU		
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA - ESPECIALIDAD: ING. MECATRONICA		
TRABAJO DE FIN DE CARRERA		
ESTRUCTURA PRINCIPAL		ESCALA
		1:5
20112453	RUIZ FIGUEROA, JOSE IVAN	FECHA: 2018.07.26
		LAMINA: L11-A1

COTA NOMINAL	COTA MAXIMA	COTA MINIMA
--------------	-------------	-------------



ITEM 1: NERVIO GENERADOR
 ESPESOR 12 mm

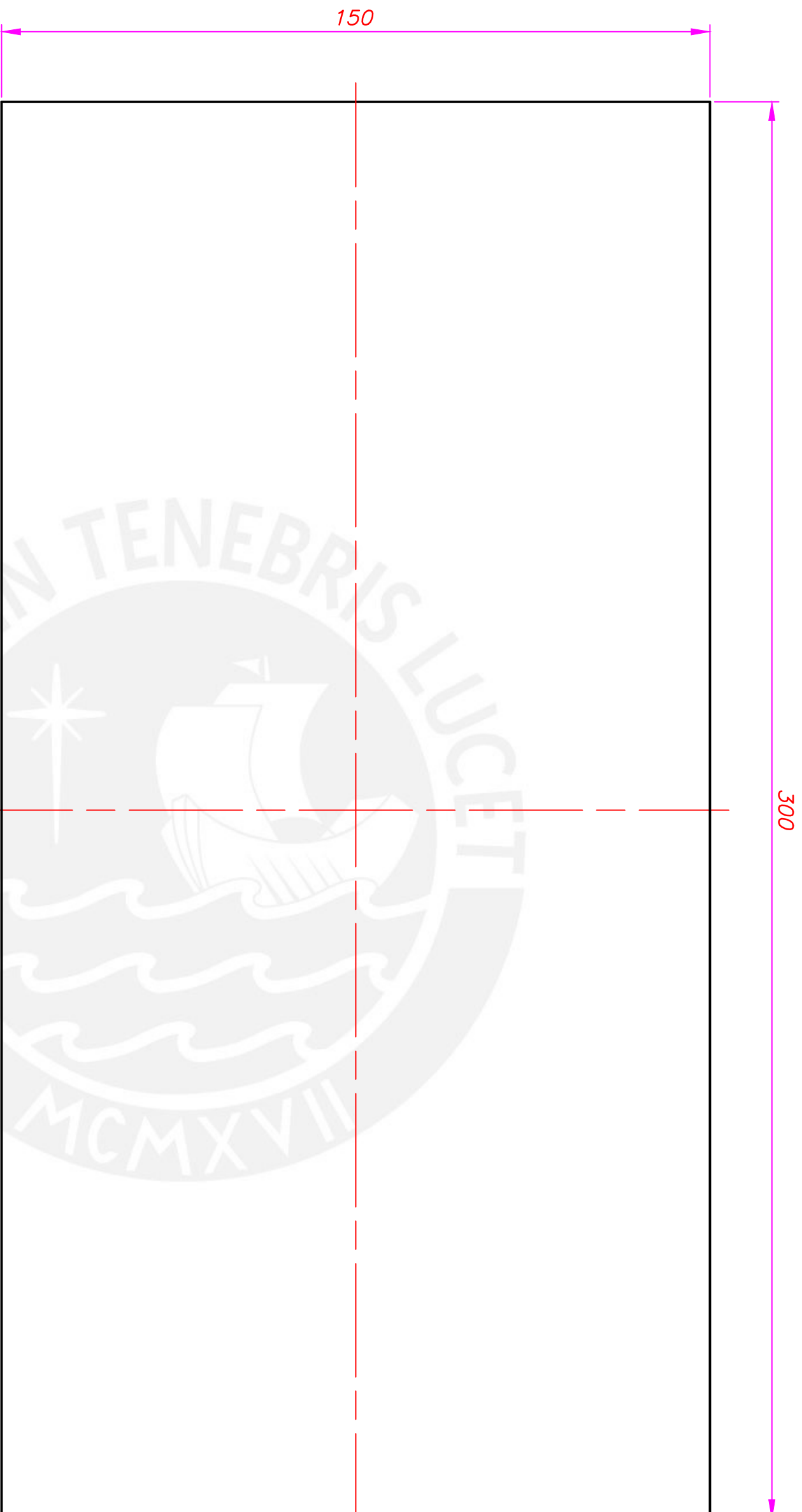
ITEM 2: NERVIO MOTOR
 ESPESOR 10 mm

REDONDEOS NO INDICADOS R2

TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGUN DIN 7168		TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGUN DIN E 7168	
GRADO DE EXACTITUD	Mds de 0,5 hasta 3	Mds de 3 hasta 6	Mds de 6 hasta 30
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2
			±0,3
			±0,5
			Mds de 120 hasta 400
TIPO DE FUNDICION	Mds de 10 hasta 30	Mds de 30 hasta 80	Mds de 80 hasta 180
FUNDICION GRIS	+2	+3	+4
	-1	-1,5	-2
			Mds de 180 hasta 315
			Mds de 315 hasta 500
			+5
			-2,5
			+7
			-3,5

COTA NOMINAL	COTA MAXIMA	COTA MINIMA

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
	SEGUN DIN7168-G.MEDIO	ACERO A36
	SEGUN DIN7168-F.GRIS	
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU		
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA - ESPECIALIDAD: ING. MECATRONICA		
METODO DE PROYECCION	TRABAJO DE FIN DE CARRERA	ESCALA
	ITEM 1/ ITEM 2	1:1
20112453	RUIZ FIGUEROA, JOSE IVAN	FECHA: 2018.07.26
		LAMINA: L12-A3


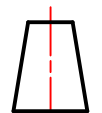


ESPESOR 10 mm

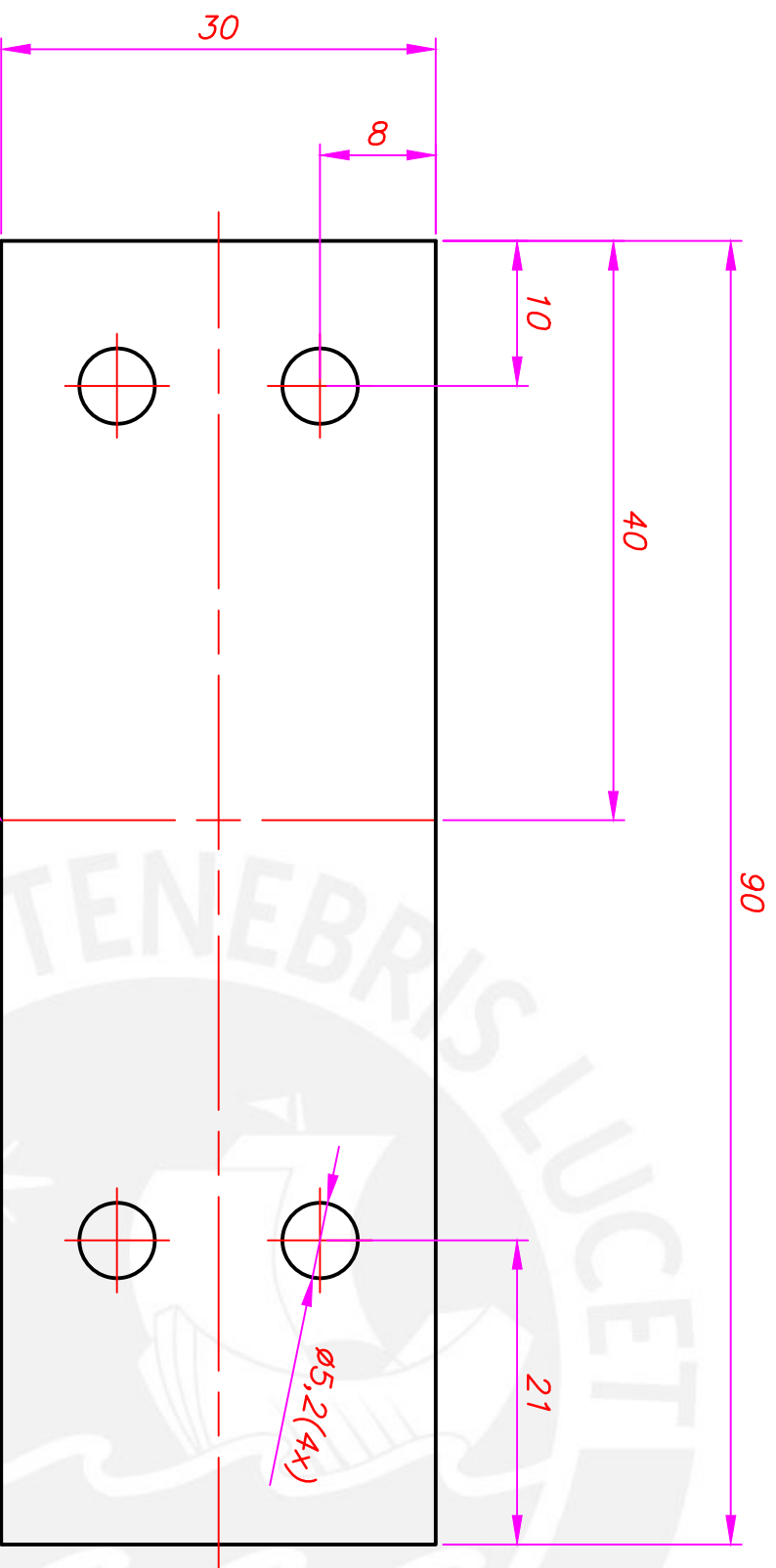
TOLERANCIAS DIMENSIONALES

SEGUN DIN 7168

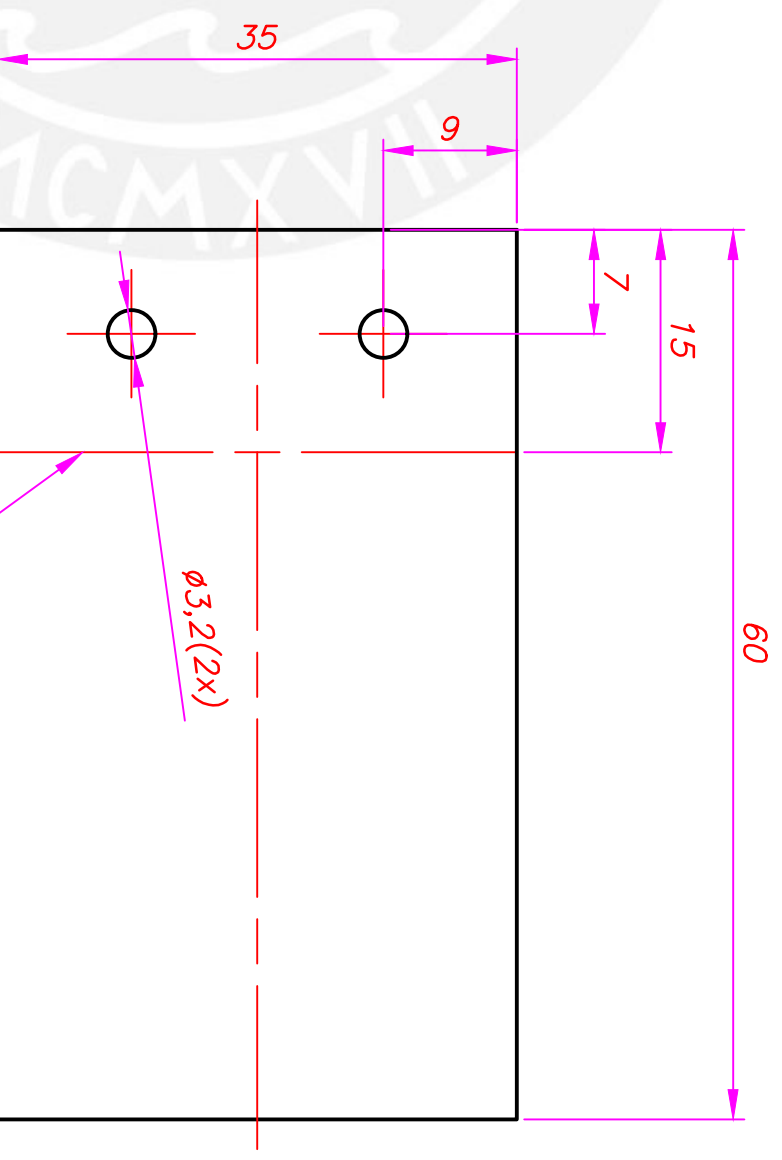
GRADO DE EXACTITUD	Mds de 0,5 hasta 3	Mds de 3 hasta 6	Mds de 6 hasta 30	Mds de 30 hasta 120	Mds de 120 hasta 400
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL SEGUN DIN7168-G.MEDIO	MATERIAL	MADERA
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA – ESPECIALIDAD: ING. MECATRONICA			
METODO DE PROYECCION	TRABAJO DE FIN DE CARRERA	ESCALA	1:1
 	PLACA COMPONENTES		
20112453	RUIZ FIGUEROA, JOSÉ IVÁN	FECHA:	2018.07.26
		LAMINA:	L13-A3
COTA NOMINAL	COTA MAXIMA	COTA MINIMA	

ITEM 1: PLANCHA ACTUADOR
 MATERIAL: St
 ESPESOR 3 mm



ITEM 2: PLANCHA PARA DRIVER
 MATERIAL: AA 6061
 ESPESOR 1.5 mm

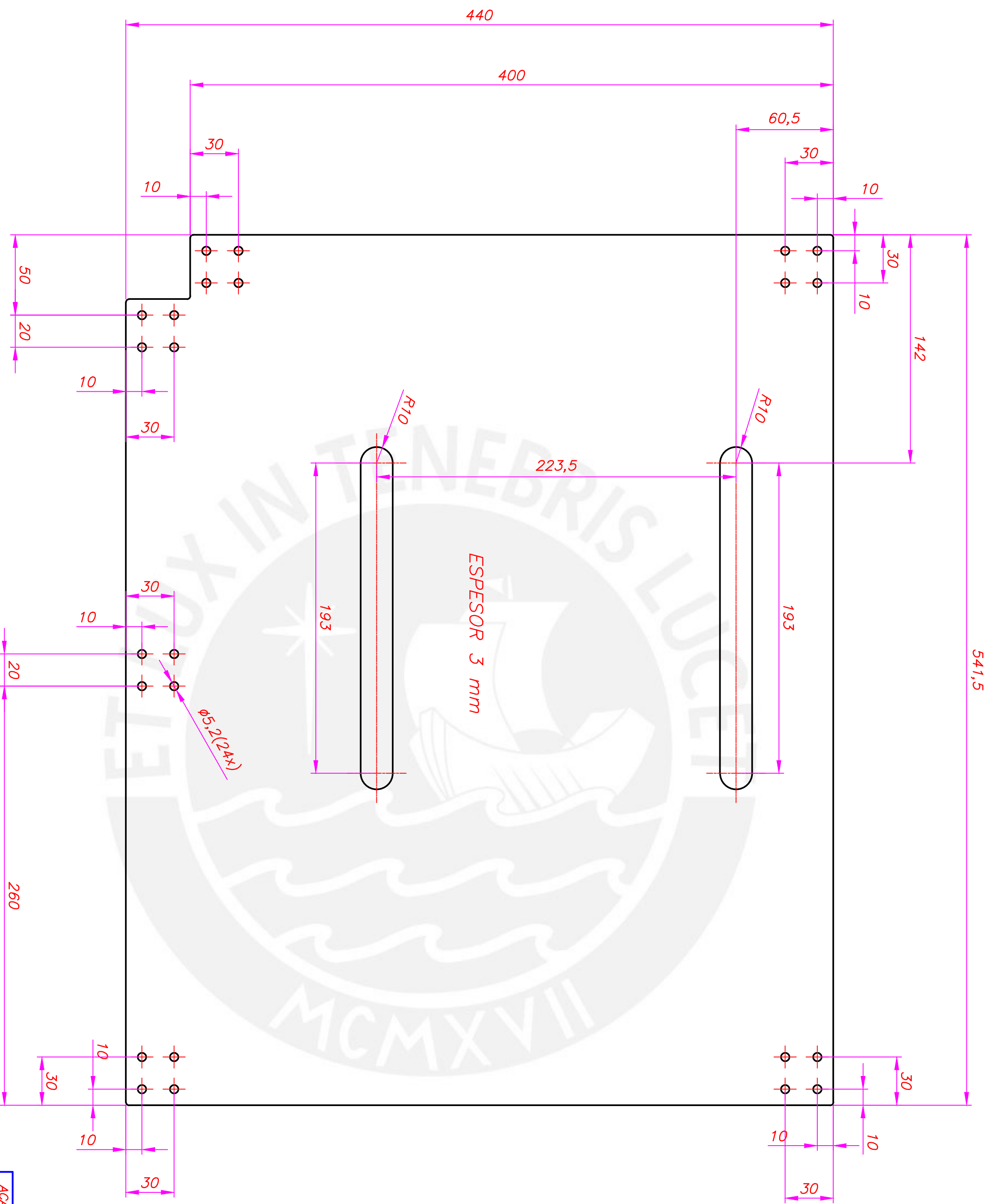


TOLERANCIAS DIMENSIONALES
 SEGUN DIN 7168

GRADO DE EXACTITUD	Mds de 0,5 hasta 3	Mds de 3 hasta 6	Mds de 6 hasta 30	Mds de 30 hasta 120	Mds de 120 hasta 400
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5

COTA NOMINAL	COTA MAXIMA	COTA MINIMA

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL SEGUN DIN7168-G.MEDIO	MATERIAL INDICADO
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA – ESPECIALIDAD: ING. MECATRONICA		
METODO DE PROYECCION	TRABAJO DE FIN DE CARRERA	ESCALA
20112453	ITEM 1/ITEM 2	2:1
RUIZ FIGUEROA, JOSE IVAN		FECHA: 2018.07.26
LAMINA: L14-A3		



REDONDEOS NO INDICADOS R2

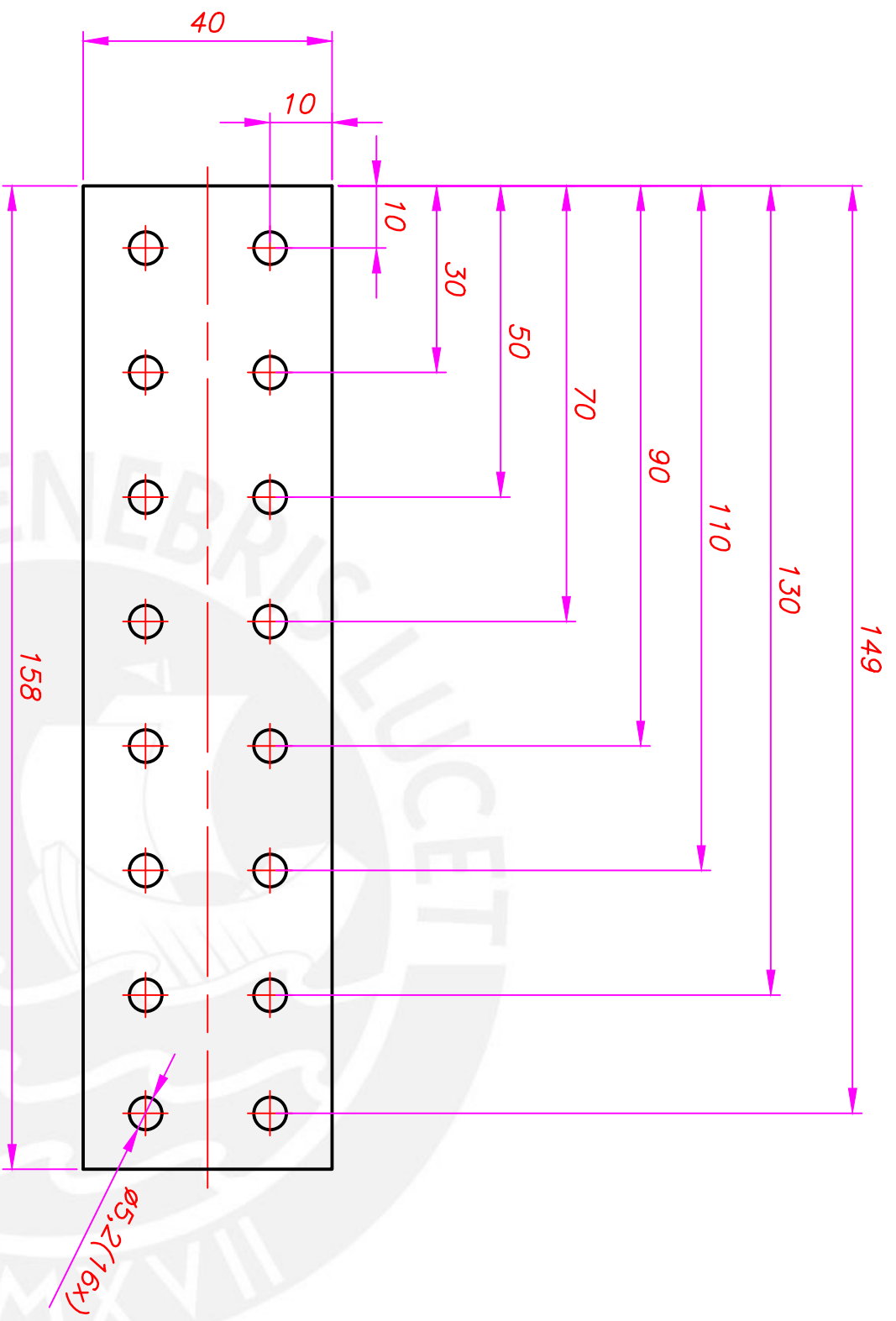
TOLERANCIAS DIMENSIONALES

SEGUN DIN 7168

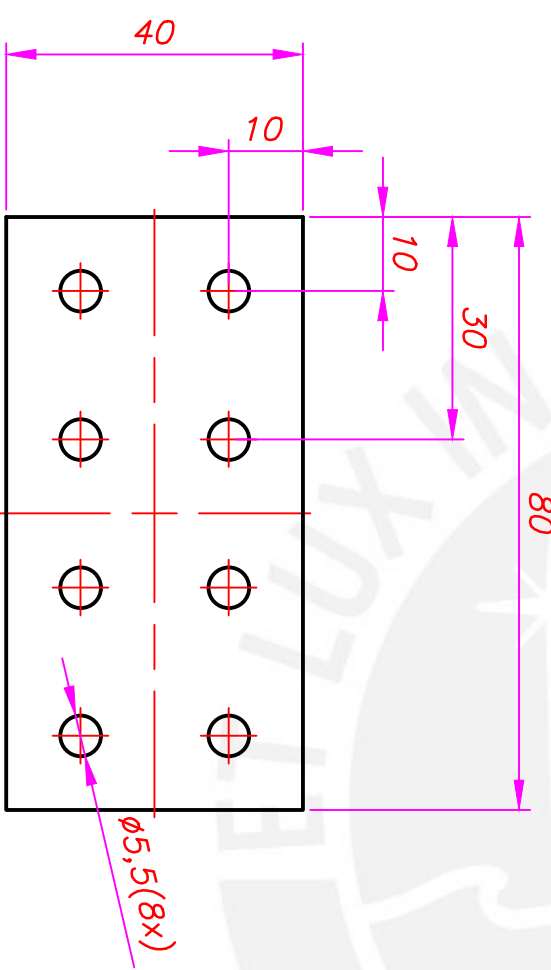
GRADO DE EXACTITUD	Mds de hasta 3	Mds de hasta 6	Mds de hasta 30	Mds de hasta 120	Mds de hasta 400
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL SEGUN DIN7168-G.MEDIO	MATERIAL
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA - ESPECIALIDAD: ING. MECATRONICA METODO DE PROYECCION	ACERO A36	
TRABAJO DE FIN DE CARRERA	PLANCHA BASE GENERADOR	ESCALA
20112453	RUIZ FIGUEROA, JOSÉ IVAN	1:2
		FECHA: 2018.07.26
		LAMINA: LT5-A2

COTA NOMINAL	COTA MAXIMA	COTA MINIMA



ITEM 2: PLANCHA SOPORTE ESTRUCTURA 2



ITEM 1: PLANCHA SOPORTE ESTRUCTURA 1

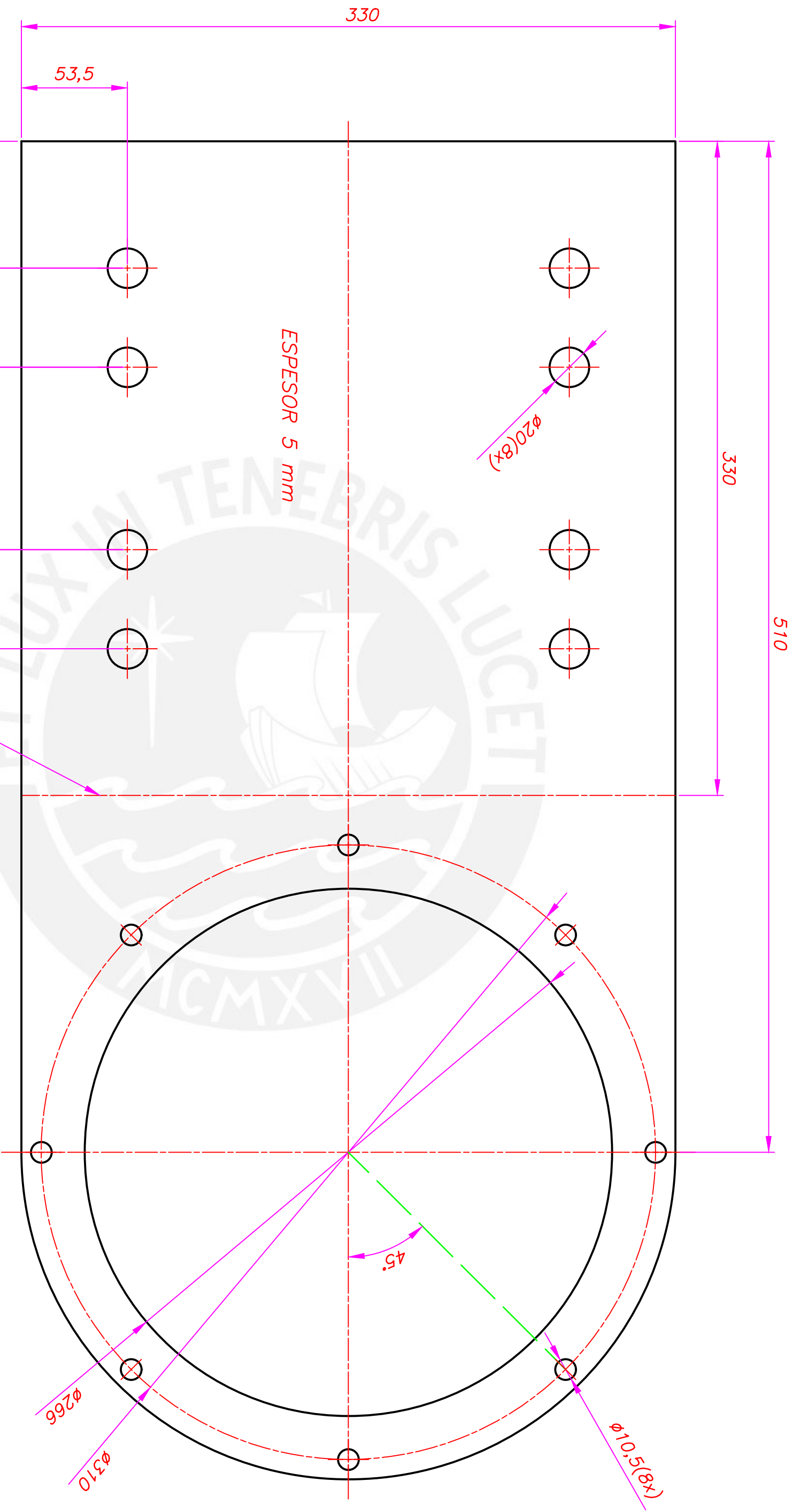
ESPESOR 3 mm

TOLERANCIAS DIMENSIONALES
SEGUN DIN 7168

GRADO DE EXACTITUD	Mds de 0,5 hasta 3	Mds de 3 hasta 6	Mds de 6 hasta 30	Mds de 30 hasta 120	Mds de 120 hasta 400
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5

COTA NOMINAL	COTA MAXIMA	COTA MINIMA

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL SEGUN DIN7168-G.MEDIO	MATERIAL
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA - ESPECIALIDAD: ING. MECATRONICA		AA 6061
METODO DE PROTECCION	TRABAJO DE FIN DE CARRERA	ESCALA
	ITEM 1/ ITEM 2	2:1
20112453	RUIZ FIGUEROA, JOSÉ IVÁN	FECHA: 2018.07.26
		LAMINA: L16-A3



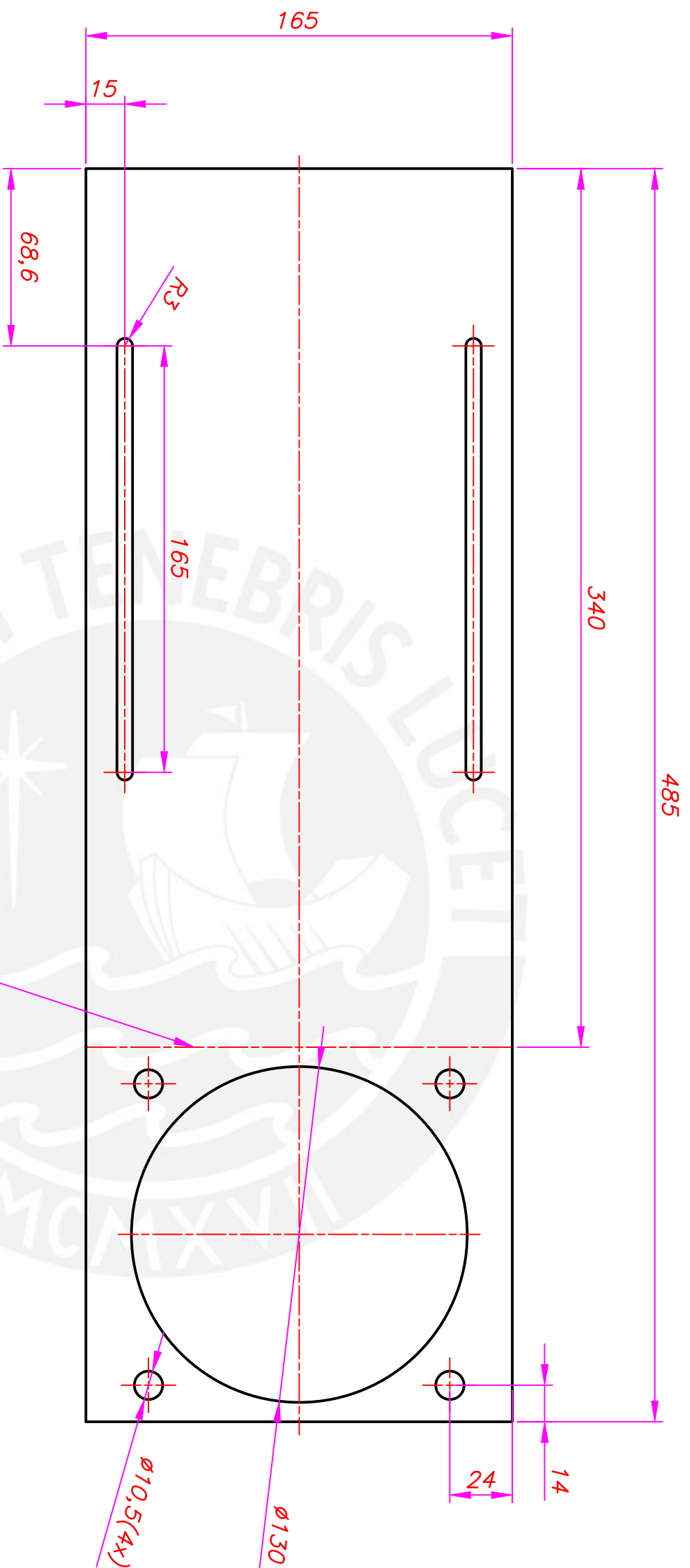
TOLERANCIAS DIMENSIONALES
SEGUN DIN 7168

Mds de 0,5 hasta 3	Mds de 3 hasta 6	Mds de 6 hasta 30	Mds de 30 hasta 120	Mds de 120 hasta 400
±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5

GRADO DE EXACTITUD	Mds de 0,5 hasta 3	Mds de 3 hasta 6	Mds de 6 hasta 30	Mds de 30 hasta 120	Mds de 120 hasta 400
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5

COTA NOMINAL	COTA MAXIMA	COTA MINIMA

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
SEGUN DIN 7168-G:MEDIO	SEGUN DIN 7168-G:MEDIO	ACERO A36
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU		
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA - ESPECIALIDAD: ING. MECATRONICA		
TRABAJO DE FIN DE CARRERA		
PLANCHA S. GENERADOR		
ESCALA		
1:2		
20112453		FECHA:
RUIZ FIGUEROA, JOSÉ IVÁN		2018.07.26
		LAMINA:
		L17-A3



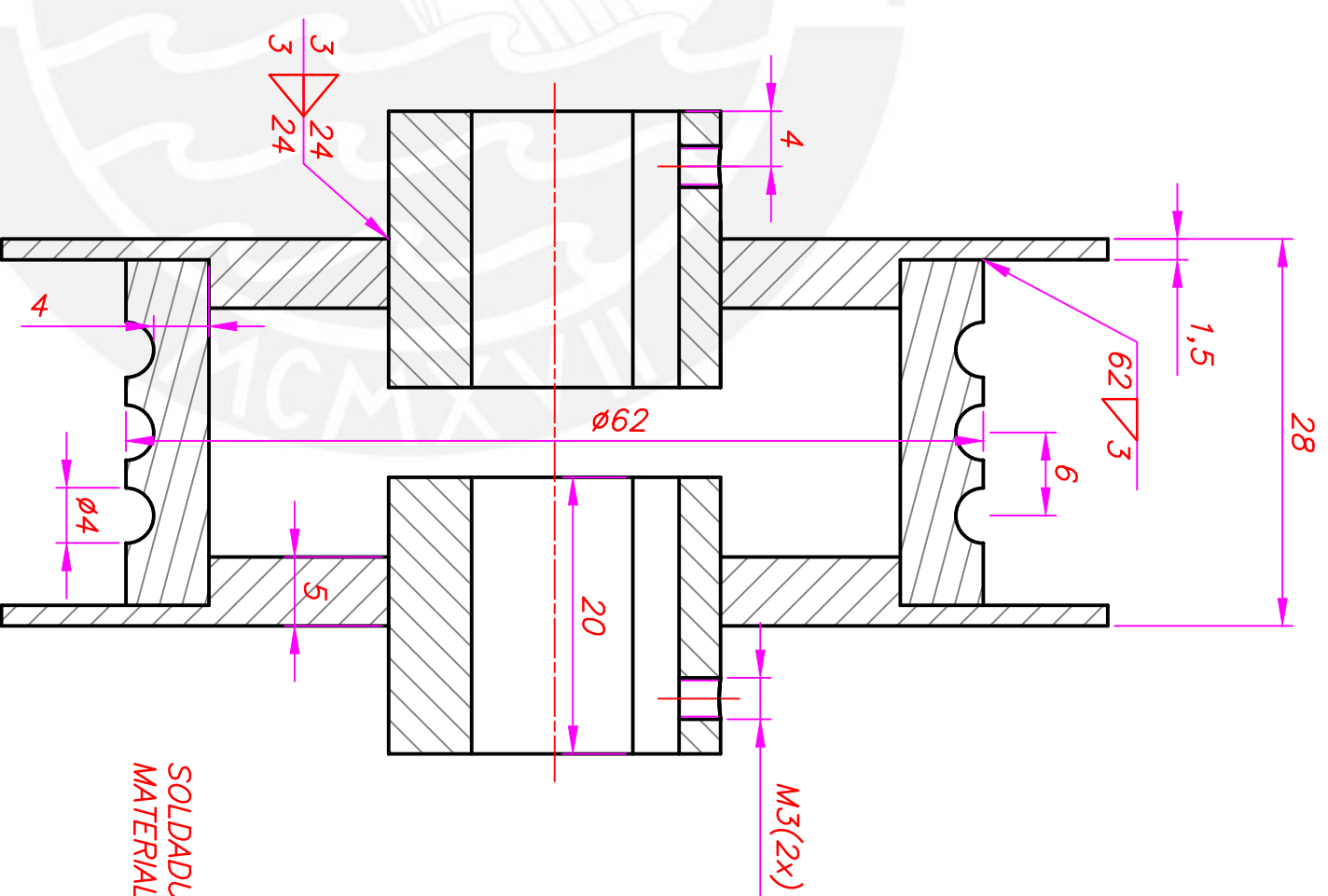
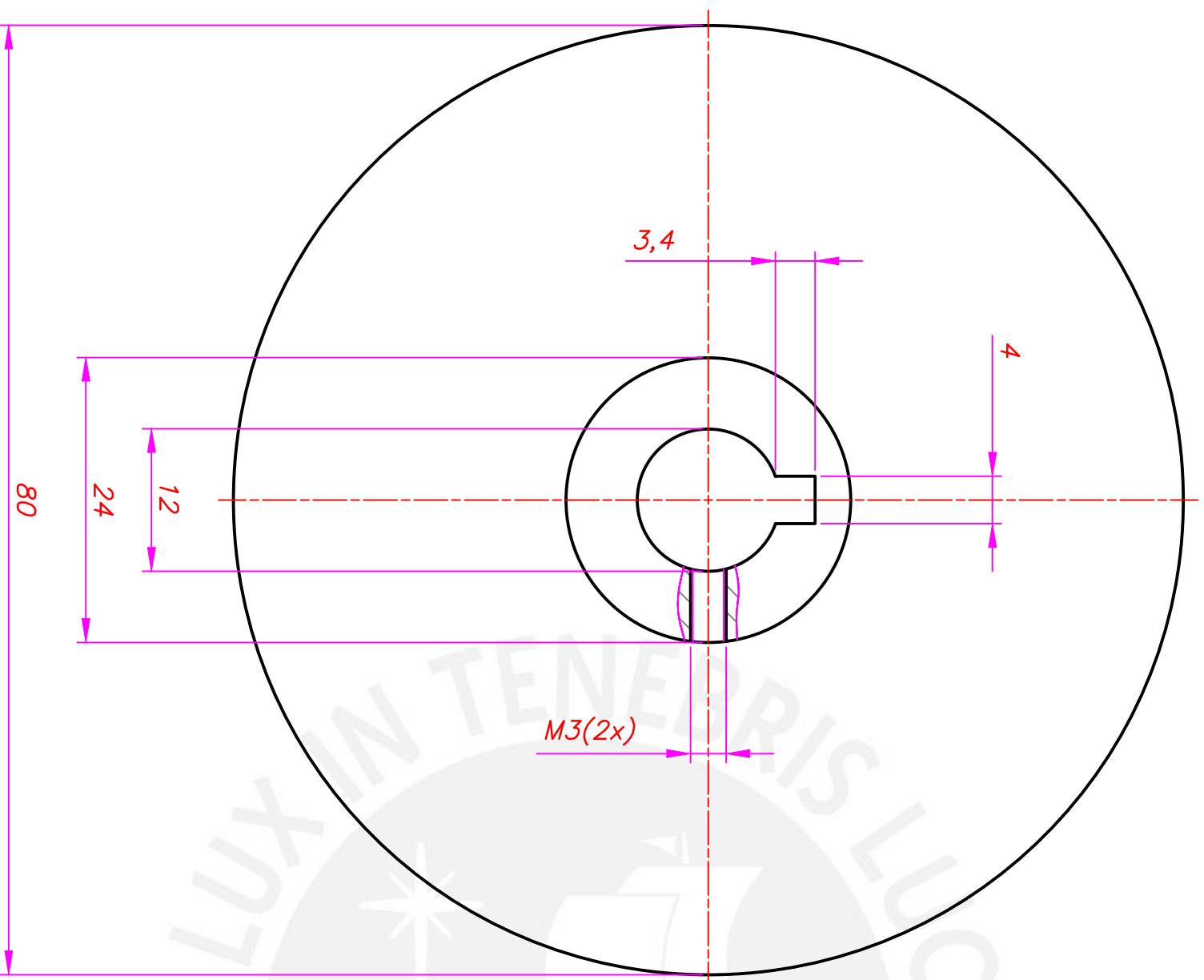
ESPESOR 3 mm

TOLERANCIAS DIMENSIONALES
SEGUN DIN 7168

GRADO DE EXACTITUD	Mds de 0,5 hasta 3	Mds de 3 hasta 6	Mds de 6 hasta 30	Mds de 30 hasta 120	Mds de 120 hasta 400
MEDIO	$\pm 0,1$	$\pm 0,1$	$\pm 0,2$	$\pm 0,3$	$\pm 0,5$

COTA NOMINAL	COTA MAXIMA	COTA MINIMA

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL SEGUN DIN7168-G.MEDIO	MATERIAL	ACERO A36
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA - ESPECIALIDAD: ING. MECATRONICA			
METODO DE PROYECCION	TRABAJO DE FIN DE CARRERA	ESCALA	1:2
20112453	PLANCHAS S. MOTOR	FECHA:	2018.07.26
	RUIZ FIGUEROA, JOSE IVAN	LAMINA:	L18-A3

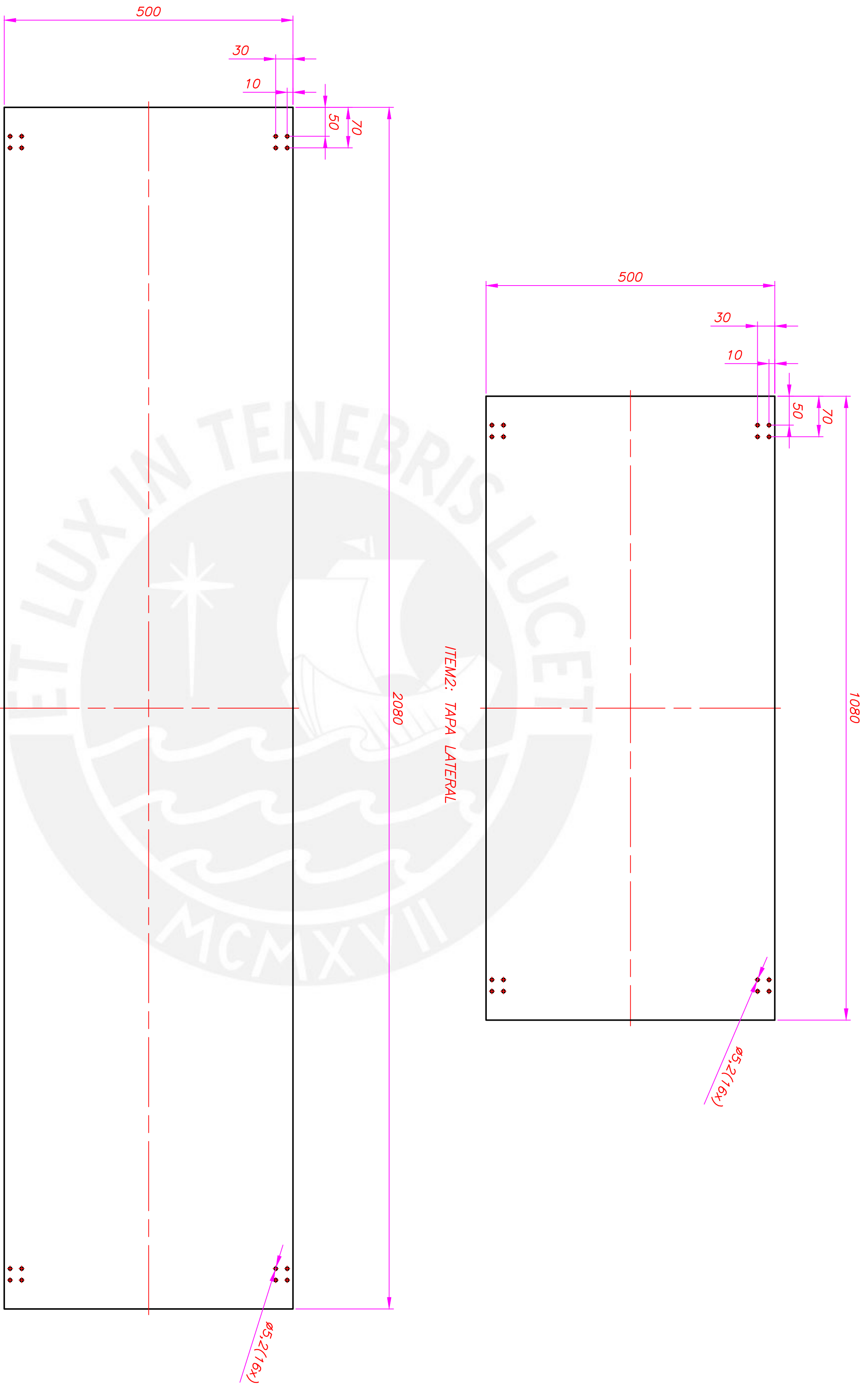


SOLDADURA TIG
MATERIAL DE RELLENO ER4043

TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGUN DIN 7168				TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGUN DIN E 7168							
GRADO DE EXACTITUD	Mds de 0,5 hasta 3	Mds de 3 hasta 6	Mds de 6 hasta 30	Mds de 30 hasta 120	Mds de 120 hasta 400	TIPO DE FUNDICION	Mds de 10 hasta 30	Mds de 30 hasta 80	Mds de 80 hasta 180	Mds de 180 hasta 315	Mds de 315 hasta 500
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	GRIS	+2	+3	+4	+5	+7
							-1	-1,5	-2	-2,5	-3,5

COTA NOMINAL	COTA MAXIMA	COTA MINIMA

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL SEGUN DIN 7168-G:MEDIO SEGUN DIN 7168-F:GRIS	MATERIAL
		ACERO A 36
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA - ESPECIALIDAD: ING. MECATRONICA METODO DE PROYECCION TRABAJO DE FIN DE CARRERA ESCALA		
20112453 RUIZ FIGUEROA, JOSE IVAN		2:1 FECHA: 2018.07.26 LAMINA: L20-A3
TAMBOR U. DE CONTROL		



ESPESOR 3 mm

ITEM1: TAPA FRONTAL

ITEM2: TAPA LATERAL

TOLERANCIAS DIMENSIONALES

SEGUN DIN 7168

GRADO DE EXACTITUD	Mds de 0,5 hasta 3	Mds de 3 hasta 6	Mds de 6 hasta 30	Mds de 30 hasta 120	Mds de 120 hasta 400
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5

ACABADO SUPERFICIAL

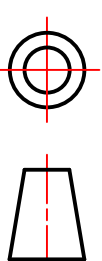
TOLERANCIA GENERAL SEGUN DIN7168-G.MEDIO

MATERIAL
FIBRA DE VIDRIO

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA - ESPECIALIDAD: ING. MECATRONICA

METODO DE PROYECCION
TRABAJO DE FIN DE CARRERA

ESCALA



ITEM1/ITEM2

1:5

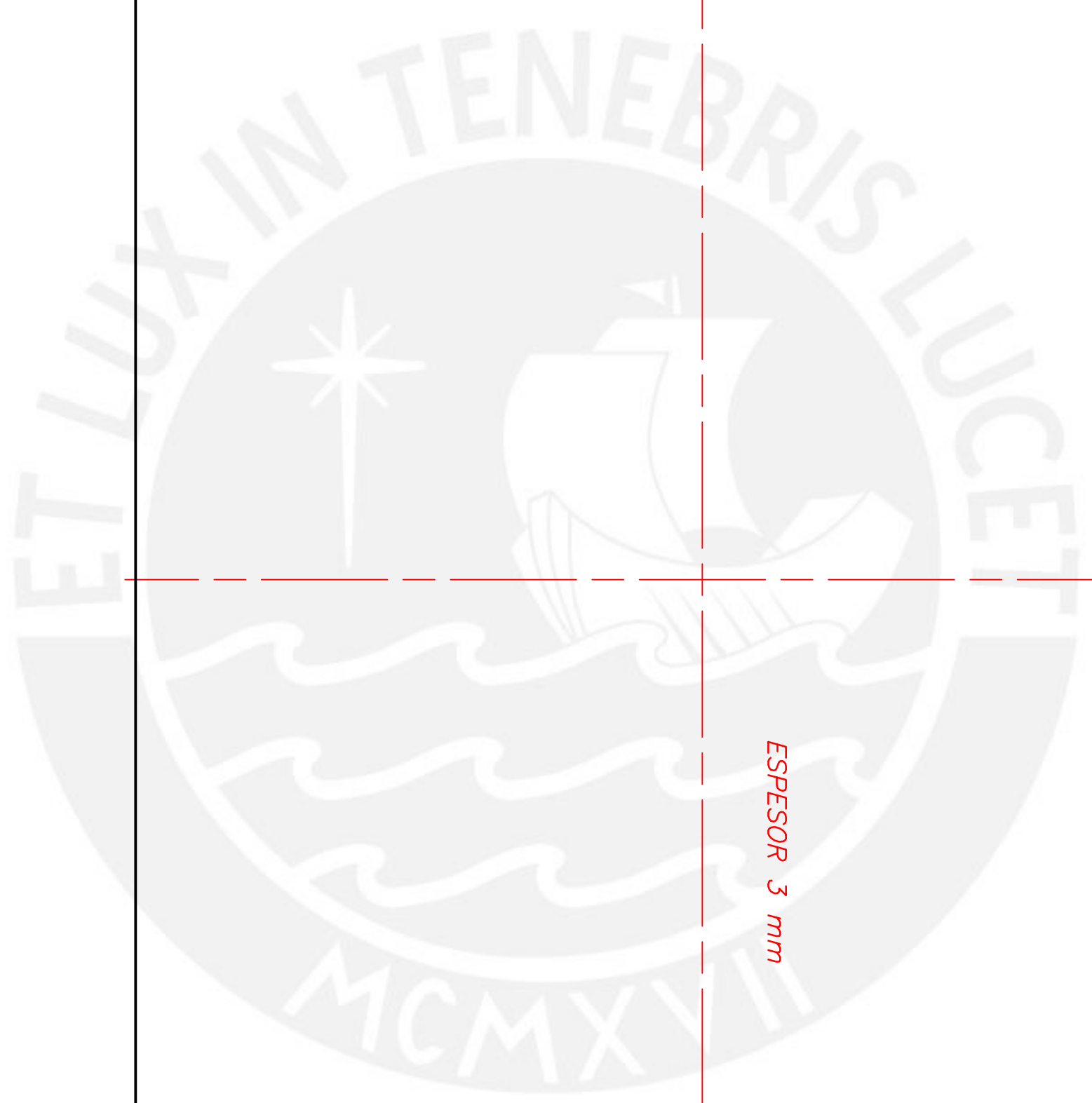
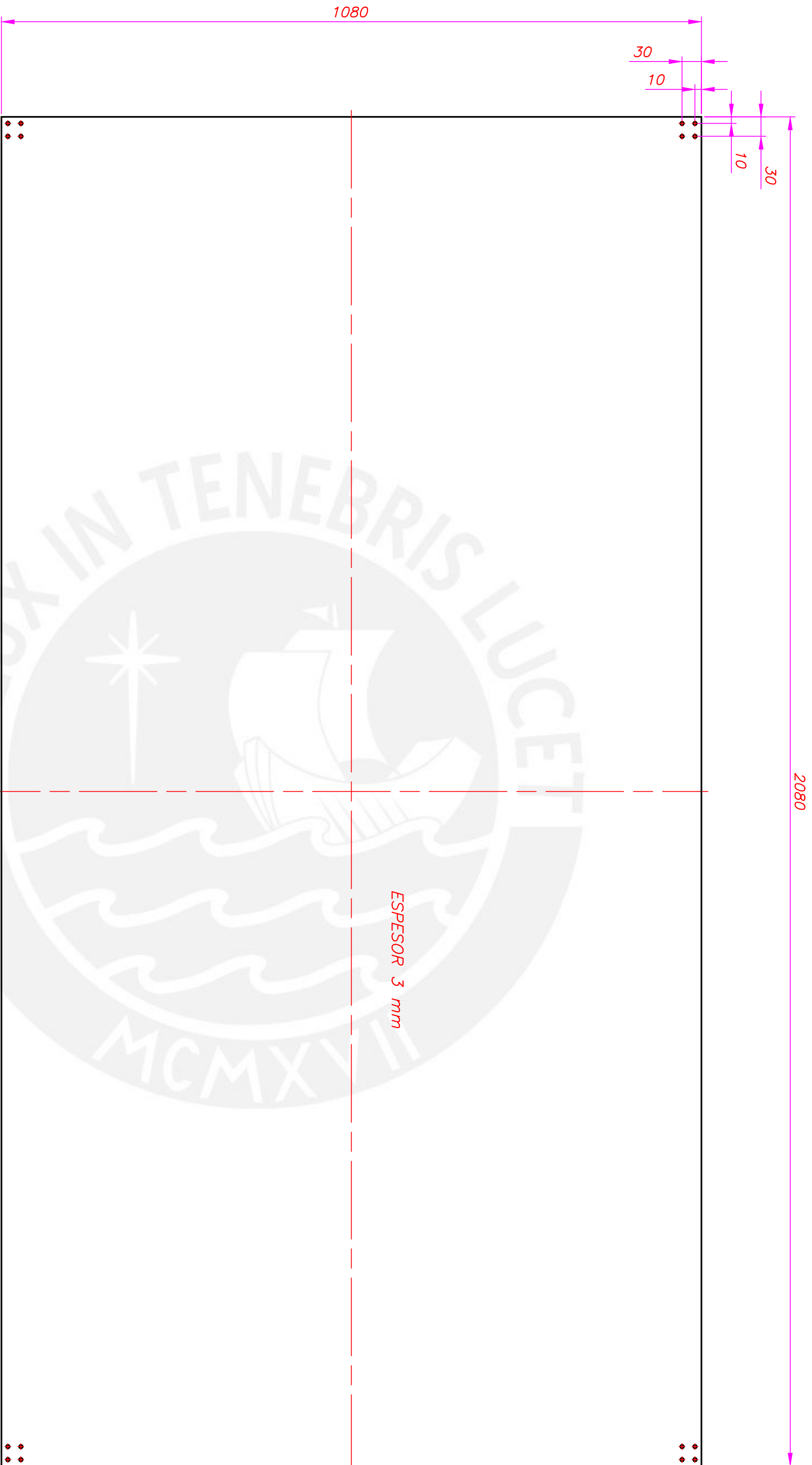
20112453

RUIZ FIGUEROA, JOSE IVAN

FECHA:
2018.07.26

COTA NOMINAL	COTA MAXIMA	COTA MINIMA

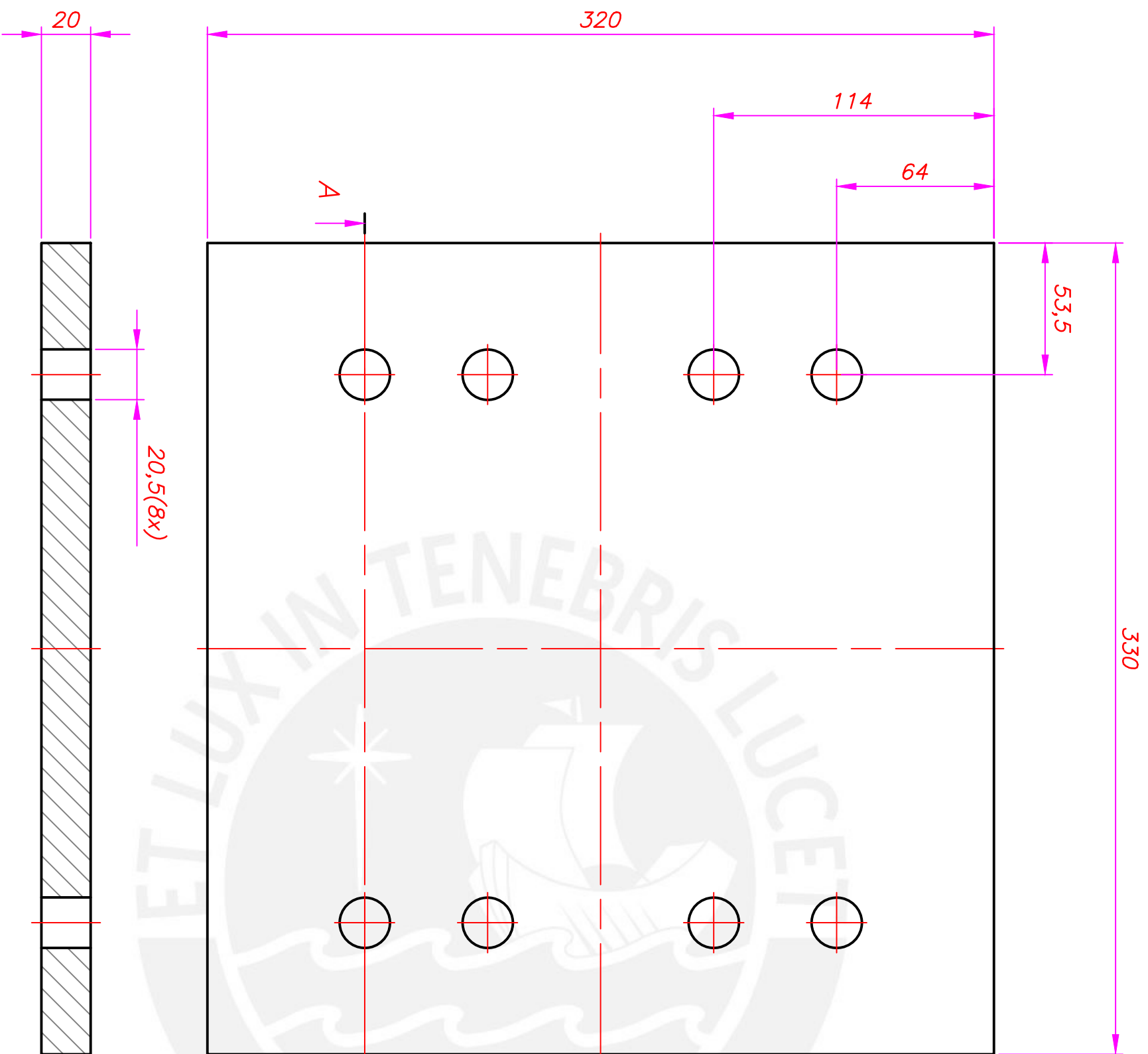
LAMINA:
L21-A2



TOLERANCIAS DIMENSIONALES
SEGUN DIN 7168

GRADO DE EXACTITUD	Mds de 0,5 hasta 3	Mds de 3 hasta 6	Mds de 6 hasta 30	Mds de 30 hasta 120	Mds de 120 hasta 400
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL SEGUN DIN7185-G.MEDIO	MATERIAL FIBRA DE VIDRIO
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA - ESPECIALIDAD: ING. MECATRONICA	TRABAJO DE FIN DE CARRERA	ESCALA 1:5
METODO DE PROYECCION	TAPA SUPERIOR	FECHA: 2018.07.26
20112453	RUIZ FIGUEROA, JOSÉ IVAN	LAMINA: L22-A2
COTA NOMINAL	COTA MAXIMA	COTA MINIMA



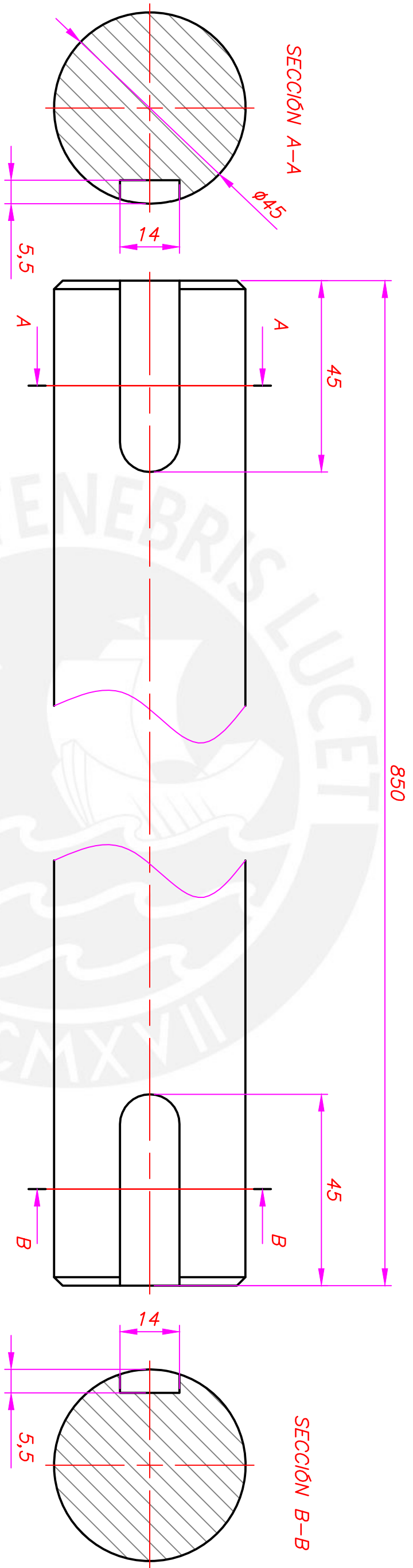
TOLERANCIAS DIMENSIONALES
SEGUN DIN 7168

GRADO DE EXACTITUD	Mds de 0,5 hasta 3	Mds de 3 hasta 6	Mds de 6 hasta 30	Mds de 30 hasta 120	Mds de 120 hasta 400
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5

SECCION A-A

COTA NOMINAL	COTA MAXIMA	COTA MINIMA

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL SEGUN DIN7168-G.MEDIO	MATERIAL	ACERO A36
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA - ESPECIALIDAD: ING. MECATRONICA		TRABAJO DE FIN DE CARRERA	ESCALA
METODO DE PROYECCION		BLOQUE GENERADOR	1:2
20112453	RUIZ FIGUEROA, JOSE IVAN	FECHA:	2018.07.26
LAMINA:		L24-A3	

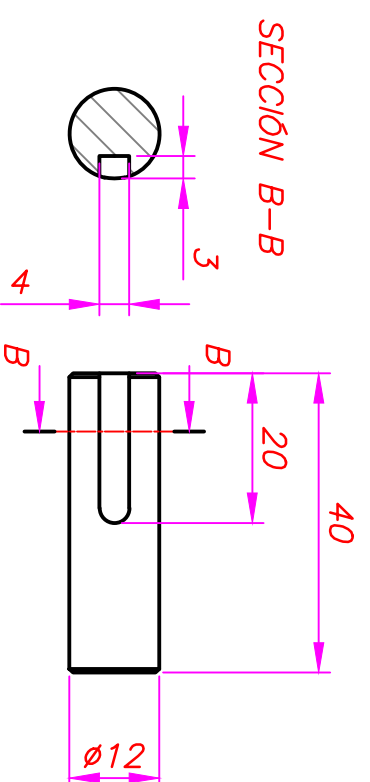


TOLERANCIAS DIMENSIONALES
SEGUN DIN 7168

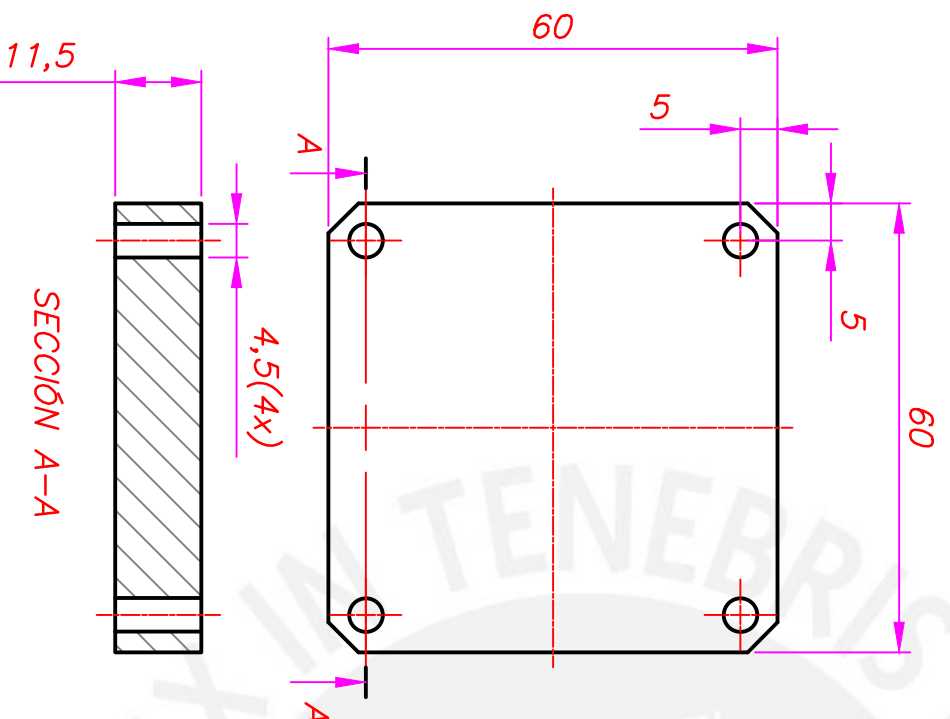
GRADO DE EXACTITUD	Mds de 0,5 hasta 3	Mds de 3 hasta 6	Mds de 6 hasta 30	Mds de 30 hasta 120	Mds de 120 hasta 400
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5

45	45	44,961
COTA NOMINAL	COTA MAXIMA	COTA MINIMA

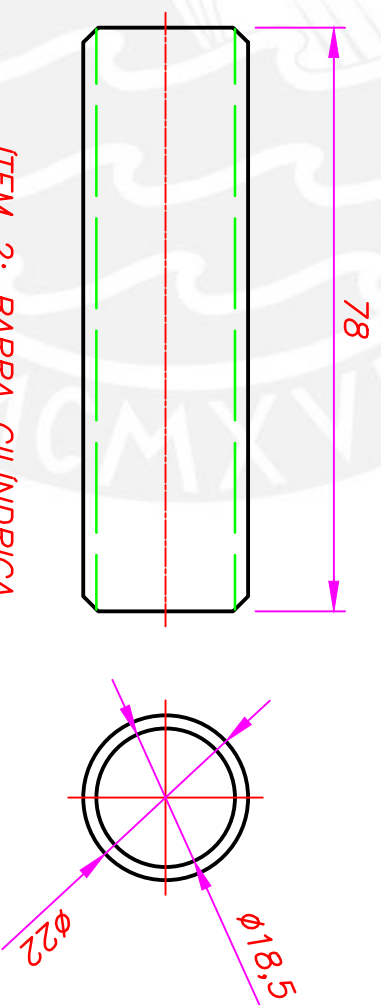
ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL SEGUN DIN7168-G.MEDIO	MATERIAL
		AI SI 1045
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA - ESPECIALIDAD: ING. MECATRONICA		
METODO DE PROYECCION	TRABAJO DE FIN DE CARRERA	ESCALA
	ARBOL DE TRANSMISION	1:1
20112453	RUIZ FIGUEROA, JOSE IVAN	FECHA: 2018.07.26
		LAMINA: L25-A3



ITEM 3: ÁRBOL UNIDAD DE CONTROL
MATERIAL: AISI 1045
CHAFLANES NO INDICADOS 2X45°



ITEM 1: SOPORTE ACTUADOR-MOTOR
MATERIA: AA 6061
CHAFLANES NO INDICADOS 4x45°



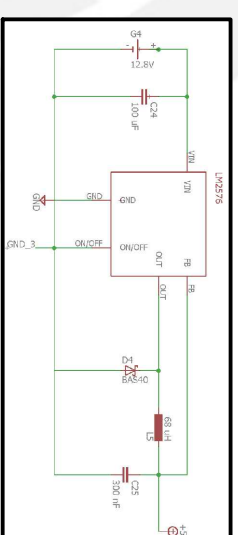
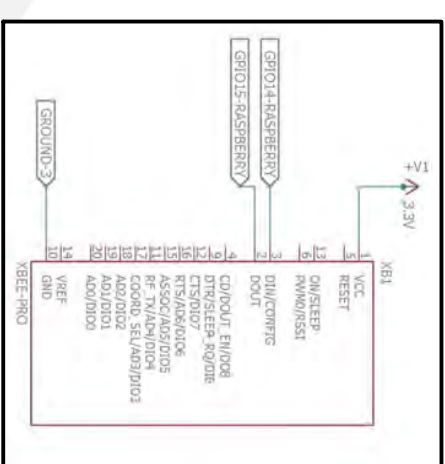
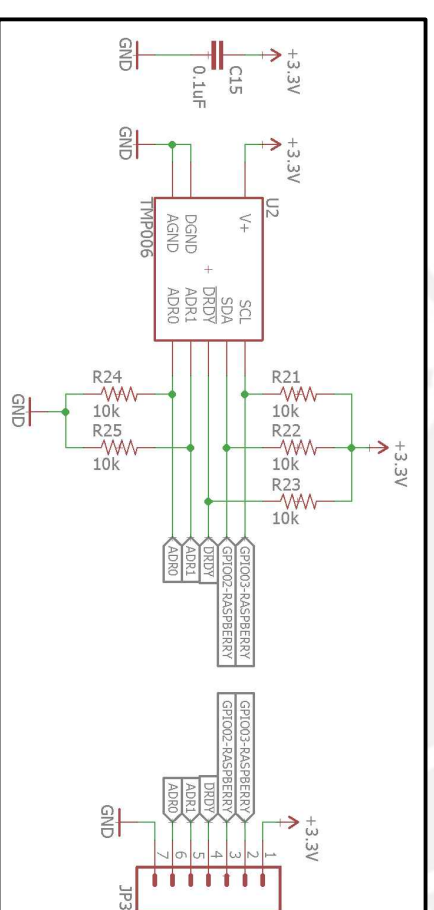
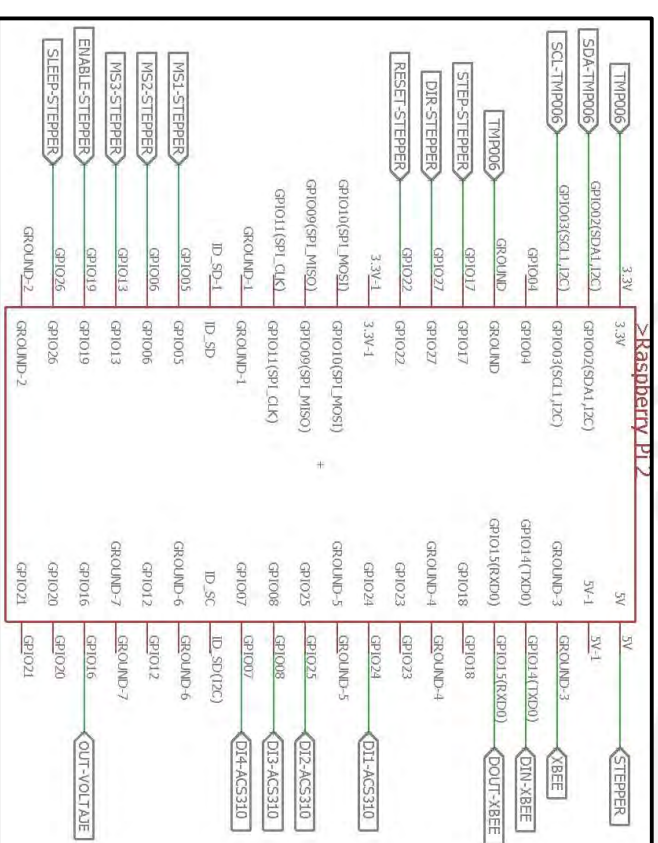
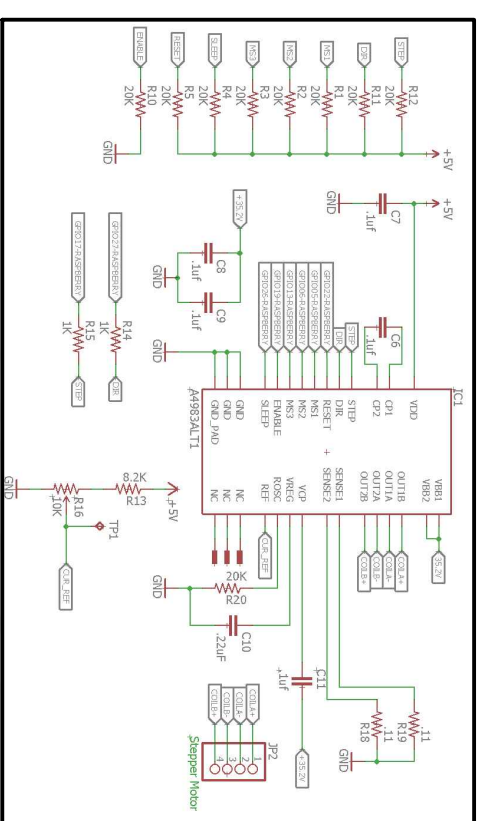
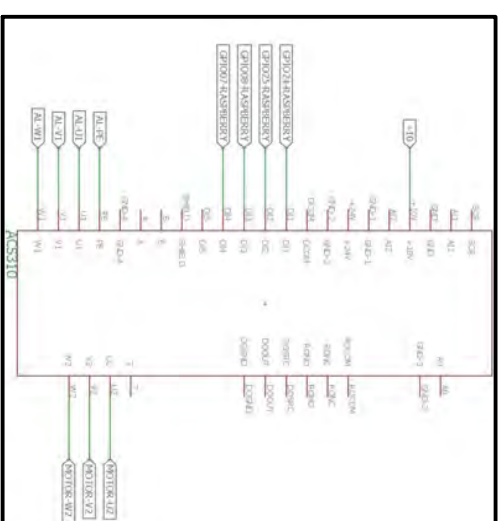
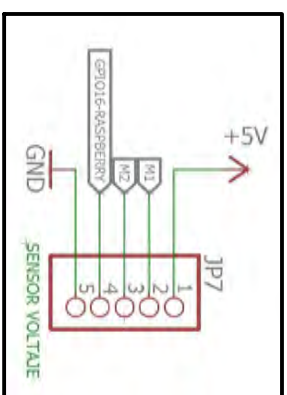
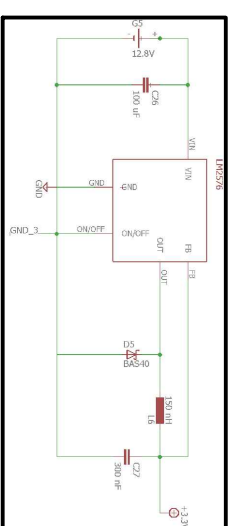
ITEM 2: BARRA CILINDRICA
MATERIAL: AA 6061

TOLERANCIAS DIMENSIONALES
SEGUN DIN 7168

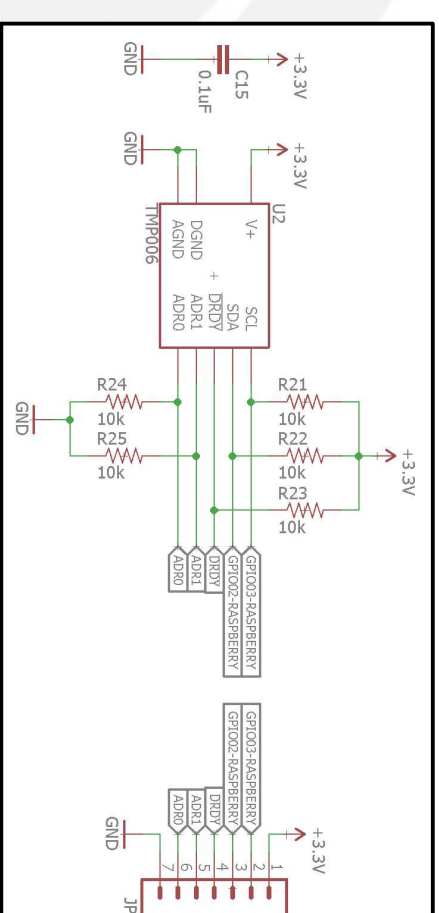
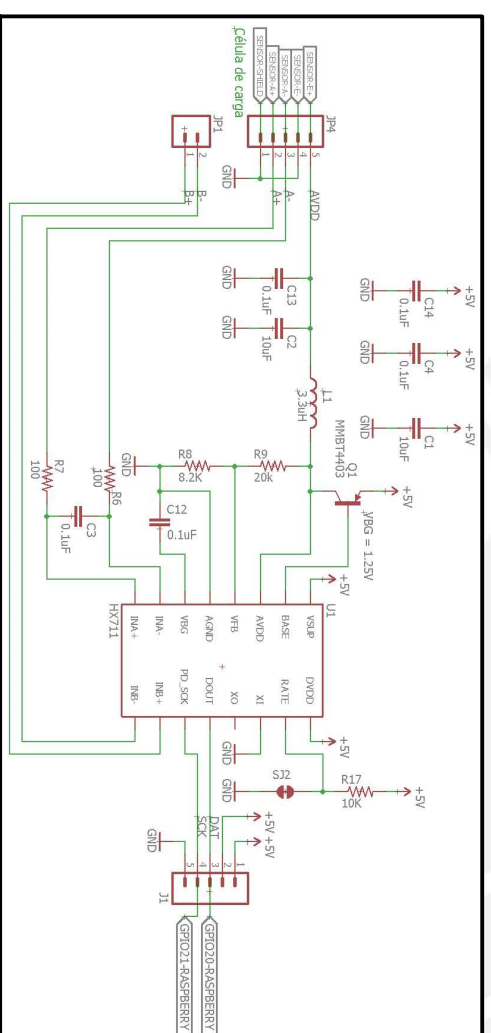
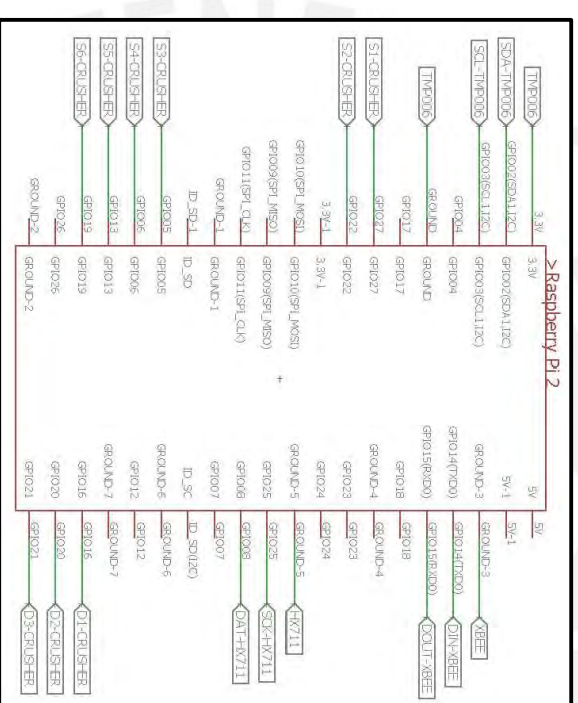
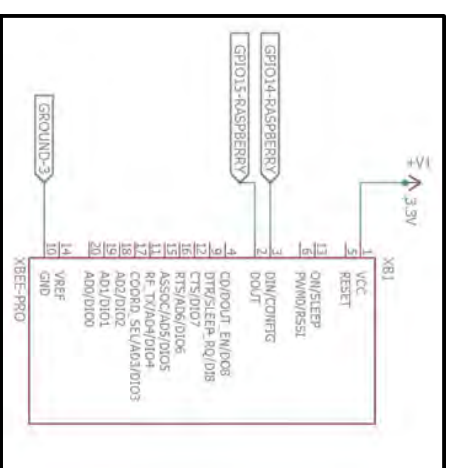
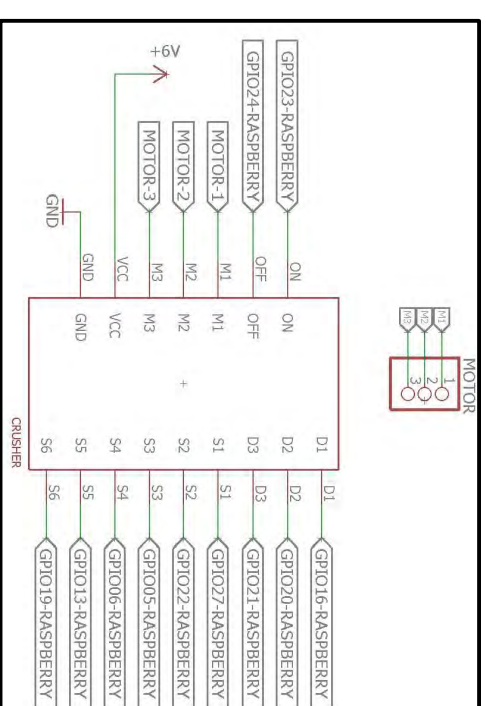
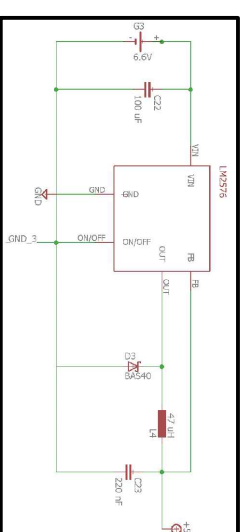
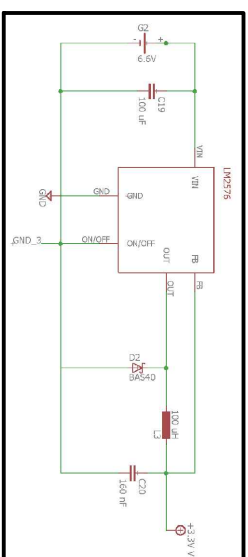
GRADO DE EXACTITUD	Mds. de 0,5 hasta 3	Mds. de 3 hasta 6	Mds. de 6 hasta 30	Mds. de 30 hasta 120	Mds. de 120 hasta 400
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5

COTA NOMINAL	COTA MAXIMA	COTA MINIMA

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
	SEGUN DIN7168-G.MEDIO	INDICADO
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA – ESPECIALIDAD: ING. MECATRONICA METODO DE PROYECCION TRABAJO DE FIN DE CARRERA ITEM 1/ITEM 2/ITEM 3 ESCALA 1:1		
20112453	RUIZ FIGUEROA, JOSÉ IVÁN	FECHA: 2018.07.26 LAMINA: L26-A3



7	2	REGULADOR DE VOLTAJE LM2576			
6	1	SENSOR DE VOLTAJE			
5	1	SENSOR DE TEMPERATURA TMP006			
4	1	CONTROLADOR DE MOTOR A4983			
3	1	MÓDULO XBEE			
2	1	CONVERTIDOR DE FRECUENCIA ACS310			
1	1	RASPBERRY PI 2			
POS. CANT.		DESCRIPCION	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU					
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA – ESPECIALIDAD: ING. MECATRÓNICA					
TRABAJO DE FIN DE CARRERA			ESCALA		
COM. ELECT. ESTACIÓN TIERRA			A3		
20112453		RUIZ FIGUEROA, JOSÉ IVAN		FECHA: 2018.07.26	
				LAMINA: L27-A3	



POS.	CANT.	DESCRIPCION	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES
6	2	REGULADOR DE VOLTAJE LM2576			
5	1	CONVERTIDOR ANALOGICO/DIGITAL HX711			
4	1	SENSOR DE TEMPERATURA TMP006			
3	1	CONTROLADOR CRUSHER			
2	1	MODULO XBEE			
1	1	RASPBERRY PI 2			

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA – ESPECIALIDAD: ING. MECATRONICA

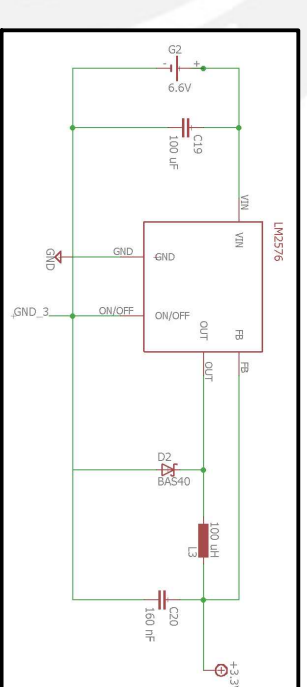
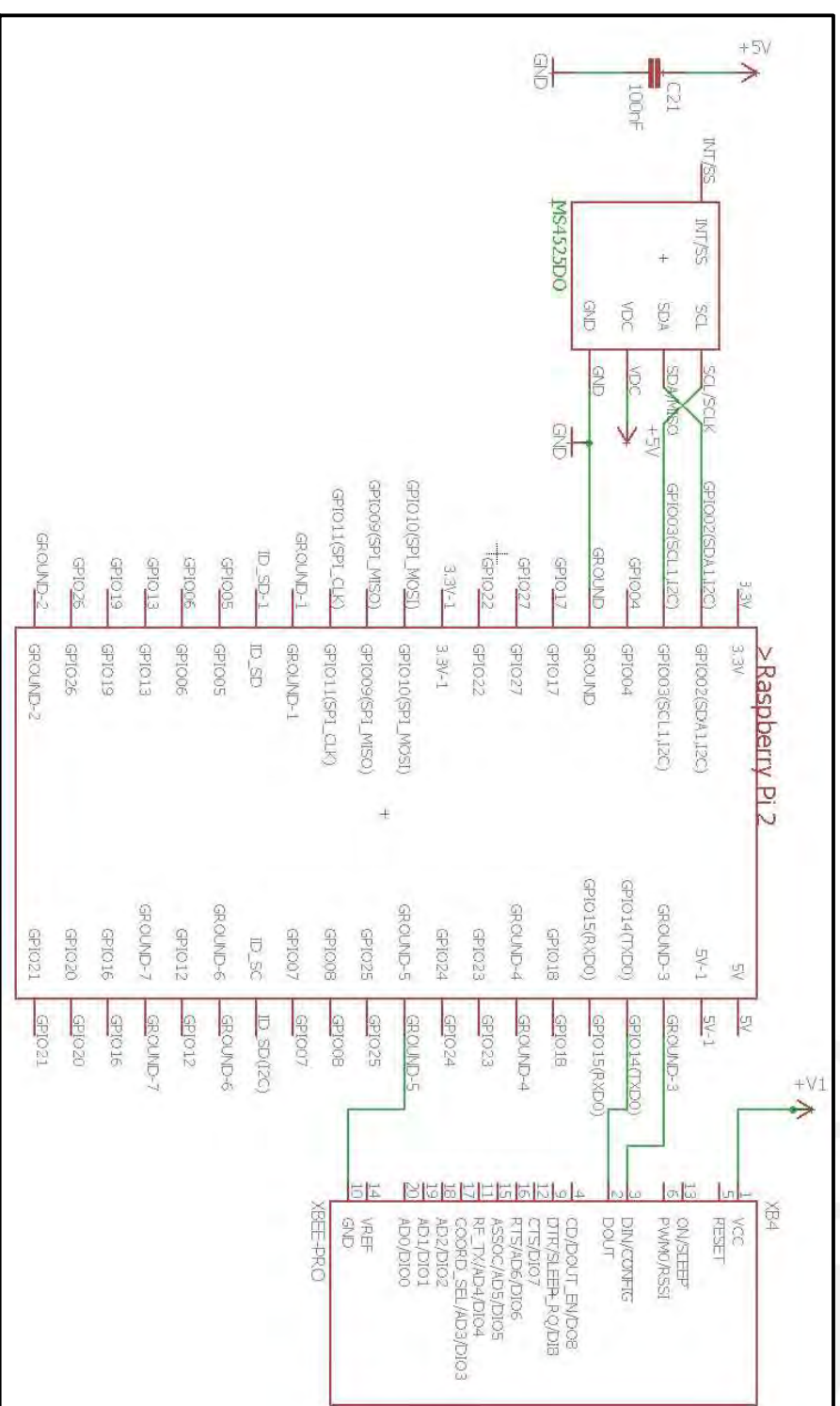
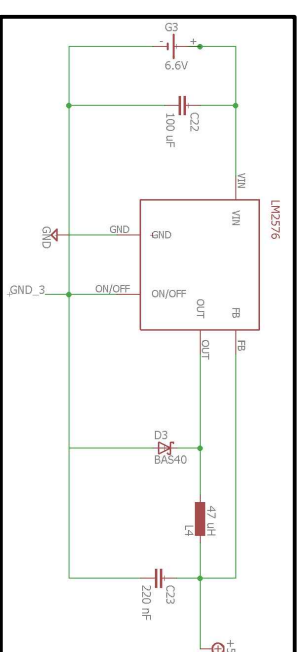
TRABAJO DE FIN DE CARRERA

ESCALA

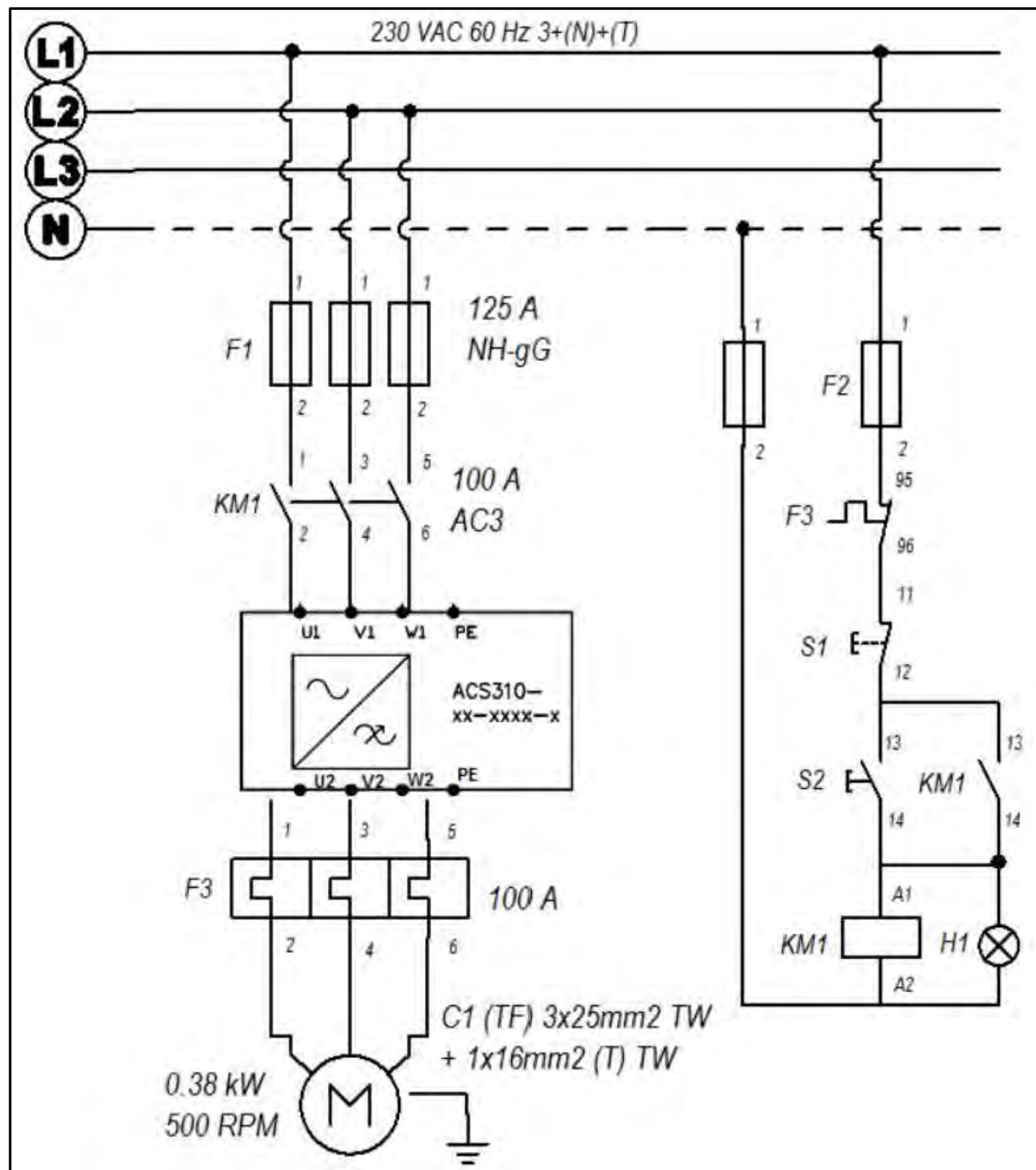
COMP. ELECT. EN U. CONTROL 1:1

20112453 RUIZ FIGUEROA, JOSÉ IVÁN

FECHA: 2018.07.26
LAMINA: L28-A3



4	2	REGULADOR DE VOLTAJE LM2576			
3	1	SENSOR DE PRESION MS4523DO			
2	1	MODULO XBEE			
1	1	RASPBERRY PI 2			
POS.	CANT.	DESCRIPCION	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU					
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA – ESPECIALIDAD: ING. MECATRONICA					
TRABAJO DE FIN DE CARRERA			ESCALA		
COMP. ELECTRONICOS COMETA			1:1		
20112453		RUIZ FIGUEROA, JOSÉ IVAN		FECHA: 2018.07.26	
				LAMINA: L29-A3	



POS.	CANT.	DESCRIPCION	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES
1					
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA – ESPECIALIDAD: ING. MECATRÓNICA					
TRABAJO DE FIN DE CARRERA				ESCALA	
D. DE MANDO Y POTENCIA				1:1	
20112453		RUIZ FIGUEROA, JOSÉ IVÁN		FECHA: 2018.07.26	
				LAMINA: L30-A3	