

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**

**Facultad de Ciencias e Ingeniería**



**PONTIFICIA  
UNIVERSIDAD  
CATÓLICA  
DEL PERÚ**

**SISTEMA AUTOMÁTICO DE SECADO DE GRANOS DE CAFÉ  
ACCIONADO CON ENERGÍA SOLAR**

**Tesis para optar el título profesional de ingeniero mecatrónico, que  
presenta el bachiller:**

**Gilberth André Loja Acuña**

**ASESOR: MSc. Carlos Alfredo Ugarte Palomino**

Lima, agosto del 2019



© 2019, Gilberth André Loja Acuña

Se autoriza la reproducción total o parcial,  
con fines académicos a través de cualquier  
medio o procedimiento, incluyendo la cita  
bibliográfica del documento.

## RESUMEN

El principal objetivo de la tesis es diseñar una secadora de granos de café especial que sea capaz de conseguir una humedad final de 11% y trabajar a una temperatura de secado no mayor a 35°C. Además, funcionará empleando energías renovables, ya que se ubicará en un lugar donde no existe una red eléctrica. Primero, se plantea la problemática y se detallan las tecnologías actuales de secado de granos, como los secadores en bandejas, rotatorios, etc. Se explican los tipos de tecnologías renovables, tanto la fotovoltaica como la eólica. Además, se detalla las formas de generar calor para calentar el aire. Luego, se plantean los requerimientos mecánicos, eléctricos y de control del sistema para alcanzar el objetivo principal. Para satisfacerlos se detallan las funciones a realizar, se proponen 3 conceptos de solución mediante la matriz morfológica y se elige la más óptima a través de una evaluación técnica/económica. Después, se diseña el sistema mecatrónico teniendo en cuenta los cálculos necesarios (termodinámicos y electrónicos) para el dimensionamiento del sistema. Para ello, se estima el tiempo de secado de manera analítica utilizando las ecuaciones propuestas por Robert E. Treybal y *papers* acerca del secado de granos según SECAFÉ (revista agrícola brasilera). Además, se calcula la cantidad de paneles solares, baterías y reguladores, detallándose las partes del sistema especificándose tanto su función como su fabricación. También se seleccionan los componentes mecánicos, electrónicos y de control que satisfagan el diseño propuesto. Posteriormente, se presenta la integración que existe entre los sistemas mecánico-electrónico y eléctrico-electrónico-control. Asimismo, se observa la lógica y estrategia de control empleada en el sistema las cuales garantizan que el aire no exceda los 35°C. Finalmente, se desarrolla una evaluación económica para analizar la rentabilidad del diseño. Se estima que sea rentable desde el primer año, esto en comparación al uso de las tecnologías actuales para secar café en dicha zona. En conclusión, empleando un monitoreo constante de la temperatura y humedad relativa y debido a la estrategia de control se logra calcular un tiempo de secado aproximado de 8 horas. De esta manera, se obtiene un café especial al 11% de humedad cuya temperatura no sobrepase de los 35°C y con un secado homogéneo.



*A mis padres, familia y Areli  
Castillo por su apoyo y  
confianza necesaria para  
alcanzar este logro.*

## ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN .....	i
DEDICATORIA .....	ii
ÍNDICE DE TABLAS .....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
LISTA DE SÍMBOLOS.....	ix
INTRODUCCIÓN .....	1
I. ANTECEDENTES .....	2
1.1 Presentación de la problemática .....	2
1.2 Estado de la tecnología .....	4
1.2.1 Formas de secar café.....	4
1.2.1.1 Secado al sol .....	4
1.2.1.2 Secado mecánico .....	5
1.2.2 Clasificación de secadores.....	5
1.2.2.1 Secador de bandejas.....	6
1.2.2.2 Secador continuo de túnel.....	6
1.2.2.3 Secador rotatorio.....	7
1.2.2.4 Secador de tambor .....	7
1.2.3 Comparación de los tipos de secadores .....	9
1.2.4 Energías renovables .....	9
1.2.4.1 Energía eólica .....	9
1.2.4.2 Energía solar .....	10
1.2.5 Formas para calentar el aire.....	15
1.2.5.1 Energía eléctrica .....	15
1.2.5.2 Gases de combustión .....	16
1.2.5.3 Concentradores solares.....	16
1.2.6 Comparación entre formas para calentar el aire .....	17

II.	DISEÑO CONCEPTUAL .....	18
2.1	Requerimientos del sistema.....	18
2.2	Objetivos .....	19
2.3	Funciones del sistema .....	20
2.4	Concepto del sistema mecatrónico.....	22
2.5	Concepto de solución óptimo.....	23
III.	DISEÑO DEL SISTEMA MECATRÓNICO .....	25
3.1	Propuesta del concepto solución .....	27
3.2	Subsistema mecánico .....	31
3.2.1	Evaluación térmica .....	31
3.2.2	Selección de componentes.....	37
3.2.3	Diseño de componentes .....	44
3.3	Subsistema eléctrico-electrónico.....	51
3.3.1	Selección de componentes.....	51
3.4	Subsistema de control .....	57
3.4.1	Selección de componentes.....	57
3.5	Subsistema energético.....	58
3.5.1	Selección de componentes.....	58
3.5.2	Viabilidad de selección de componentes.....	65
IV.	INTEGRACIÓN DE SUBSISTEMAS.....	67
4.1	Integración Mecánico - Eléctrico .....	68
4.2	Integración Eléctrico - Electrónico - Control .....	69
V.	EVALUACIÓN ECONÓMICA.....	75
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	81
	BIBLIOGRAFÍA .....	83
	A N E X O S .....	
	Anexo A : MATRIZ MORFOLÓGICA .....	
	Anexo B : CONCEPTOS SOLUCIÓN.....	
	Anexo C : EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA.....	
	Anexo D : COTIZACIONES .....	
	Anexo E : CATÁLOGOS DE COMPONENTES .....	
	Anexo F : CÁLCULOS DE UNIONES ATORNILLADAS .....	

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1.1: Pérdidas económicas por secado de granos café debajo del 10% de humedad.....	3
Tabla 1.2: Área de secado necesaria según la producción.....	5
Tabla 1.3: Tabla comparativa de tipos de secadores mecánicos.....	8
Tabla 1.4: Eficiencia de paneles fotovoltaicos.....	12
Tabla 1.5: Tabla comparativa entre formas para calentar el aire.....	17
Tabla 3.1: Datos de entrada.....	31
Tabla 3.2: Datos obtenidos a partir de las ecuaciones.....	36
Tabla 3.3: Resultados variando la velocidad del aire.....	37
Tabla 3.4: Valores de m según el ángulo de inclinación.....	40
Tabla 3.5: Parámetros para el cálculo del coeficiente convectivo del aire.....	48
Tabla 3.6: Características del sensor Vaisala INTERCAP HMP60.....	52
Tabla 3.7: Características del motor NEMA 23.....	55
Tabla 3.8: Características del PLC S7-1200.....	57
Tabla 3.9: Características del panel solar modelo CS6U-330P.....	59
Tabla 3.10: Características de la batería de gel Ecosolar.....	61
Tabla 3.11: Características del regulador MPPT SmartSolar 250/100.....	63
Tabla 3.12: Características del inversor Victron Phoenix 24/5000.....	64
Tabla 3.13: Características principales del grupo electrógeno GDA5250.....	66
Tabla 5.1: Costos electrónicos.....	75

Tabla 5.2: Costos mecánicos.....	76
Tabla 5.3: Costos de mano de obra.....	77
Tabla 5.4: Resultados del análisis de flujo de caja sin máquina.....	78
Tabla 5.5: Resultados del análisis de flujo de caja con máquina sin red / con red eléctrica.....	79



## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1: Secador de bandejas .....	6
Figura 1.2: Túnel de secado por contracorriente .....	6
Figura 1.3: Secador rotatorio .....	7
Figura 1.4: Secador de tambor .....	8
Figura 1.5: Aerogenerador Savonius .....	9
Figura 1.6: Aerogenerador Enier .....	10
Figura 1.7: Esquema de instalación solar fotovoltaica .....	11
Figura 1.8: Célula fotovoltaica .....	12
Figura 1.9: Regulador .....	13
Figura 1.10: Batería de gel.....	14
Figura 1.11: Inversor.....	15
Figura 1.12: Resistencia eléctrica industrial .....	15
Figura 1.13: Caldera a vapor.....	16
Figura 1.14: Concentrador solar .....	16
Figura 2.1: Estructura de funciones .....	21
Figura 2.2: Evaluación técnica-económica de los conceptos solución.....	23
Figura 2.3: Concepto solución óptimo.....	24
Figura 3.1: Diagrama de bloques.....	26
Figura 3.2: Vista isométrica de la capa de granos .....	27

Figura 3.3: Diseño de la secadora de granos de café .....	28
Figura 3.4: Dimensiones principales del sistema de secado .....	29
Figura 3.5: Secadora de café.....	29
Figura 3.6: Contenido de humedad en el material X [kg/kg] .....	33
Figura 3.7: Carta psicrométrica a temperaturas normales.....	36
Figura 3.8: Coeficiente de codos de sección cuadrada y rectangular .....	40
Figura 3.9: Curva característica del ventilador modelo CBP 7/7 .....	42
Figura 3.10: Ventilador centrífugo modelo CBP 7/7 .....	43
Figura 3.11: Calentador eléctrico.....	45
Figura 3.12: Dimensiones principales del ducto concéntrico .....	45
Figura 3.13: Dimensiones principales del ducto intermedio .....	46
Figura 3.14: Dimensiones principales de la base de secado .....	49
Figura 3.15: Adaptación rastrillo de PVC propuesto por CENICAFÉ .....	49
Figura 3.16: Dimensiones principales del rastrillo .....	50
Figura 3.17: Dimensiones principales del soporte.....	50
Figura 3.18: Dimensiones principales del tablero de control .....	51
Figura 3.19: Diagrama de conexiones .....	51
Figura 3.20: Sensor de humedad y temperatura Vaisala INTERCAP HMP60 .....	52
Figura 3.21: Diagrama de cuerpo libre del accionamiento del husillo horizontal .....	53
Figura 3.22: Curva RPM versus torque .....	56
Figura 3.23: Motor NEMA 23 .....	56
Figura 3.24: PLC Siemens Simatic S7-1200 .....	58

Figura 3.25: Radiación solar mensual de Pacaybamba.....	60
Figura 3.26: Panel solar fotovoltaico .....	60
Figura 3.27: Batería de gel Ecosolar.....	62
Figura 3.28: Regulador MPPT SmartSolar 250/100.....	63
Figura 3.29: Inversor Victron Phoenix 24/5000 .....	64
Figura 3.30: Grupo electrógeno modelo GDA5250 .....	66
Figura 4.1: Circuito de disparo para el ventilador centrífugo.....	68
Figura 4.2: Circuito de disparo para el calentador eléctrico.....	69
Figura 4.3: Conexiones entre la interfaz y el PLC.....	69
Figura 4.4: Circuito de conexión entre el motor a pasos y el PLC.....	70
Figura 4.5: Circuito de conexión entre el PLC y el sensor HMP60 .....	71
Figura 4.6: Circuito de conexión del grupo electrógeno.....	71
Figura 4.7: Diagrama de flujo del programa principal .....	73
Figura 4.8: Diagrama de flujo del subprograma para calentar aire.....	74
Figura 4.9: Diagrama de flujo del subprograma para agitar los granos de café .....	74
Figura 5.1: Gráfico comparativo del VAN por año .....	80

## LISTA DE SÍMBOLOS

- $\Phi$  : Humedad relativa [%]
- $m_v$ : Masa de vapor de agua[kg]
- $m_{max}$ : Masa de vapor máxima [kg]
- $b_s$  : Humedad en base seca [%]
- $b_h$  : Humedad en base húmeda [%]
- $X_h$  : Contenido de humedad en base húmeda [%]
- $m_a$ : Masa de agua en el sólido[kg]
- $m_s$ : Masa de materia seca [kg]
- $X_s$  : Contenido de humedad en base seca [%]
- $X_e$  : Contenido de humedad en equilibrio [%]
- $H_r$ : Humedad relativa del aire [%]
- $X_c$  : Humedad crítica [%]
- $L$  : Calor latente de vaporización del café pergamino [kJ/kg]
- $T_c$  : Temperatura del café [°C]
- $X_i$  : Contenido de humedad inicial del café [%]
- $R_c$  : Periodo de velocidad constante [kg/m<sup>2</sup>-h]
- $H_c$ : Coeficiente de transferencia de calor por convección entre el aire y el grano [W/m<sup>2</sup>°K]
- $T_s$  : Temperatura de secado [°C]
- $C_a$  : Calor específico del aire [kJ/kg-K]
- $G_a$  : Flujo de aire [kg/m<sup>2</sup>h]
- $T$  : Temperatura del aire [°C]
- $v_a$  : Velocidad del aire [m/s]
- $p_a$  : Densidad del aire [kg/m<sup>3</sup>]
- $t_c$  : Tiempo de secado a velocidad constante [h]
- $A_s$  : Área de secado [m<sup>2</sup>]
- $R_d$  : Periodo de velocidad decreciente [kg/m<sup>2</sup>-h]
- $X_f$  : Contenido de humedad final del café [%]
- $t_d$  : Tiempo de secado a velocidad decreciente [h]
- $T_t$  : Tiempo total de secado [h]

$m_t$ : Masa de trabajo [kg]  
 $\rho_c$ : Densidad del café [kg/m<sup>3</sup>]  
 $e$ : Espesor de la capa de granos [m]  
 $Q_q$ : Caudal [m<sup>3</sup>/h]  
 $\dot{m}_a$ : Flujo másico de aire [kg/h]  
 $\vartheta$ : Volumen específico del aire [m<sup>3</sup>/kg]  
 $R_a$ : Constante de gas ideal para el aire [J/kg-K]  
 $P_a$ : Presión atmosférica [Pa]  
 $W$ : Vapor de agua / aire seco [kg/kg]  
 $m_{ar}$ : Masa de agua retirada [kg]  
 $m_{ai}$ : Masa de agua inicial [kg]  
 $m_{af}$ : Masa de agua final [kg]  
 $P_{pt}$ : Pérdida de presión total [Pa]  
 $P_{pa}$ : Pérdida de presión en la sección de entrada [Pa]  
 $P_{pm}$ : Pérdida de presión en la sección media [Pa]  
 $P_{pc}$ : Pérdida de presión en la capa de café [Pa]  
 $P_{pp}$ : Pérdida de presión en la plancha perforada [Pa]  
 $P_{pe}$ : Pérdida de presión en el calentador eléctrico [Pa]  
 $Pot_a$ : Potencia que debe dar el aire [W]  
 $h_{TV}$ : Altura de presión total a entregar por el ventilador [mmcda]  
 $g$ : Gravedad [m/s<sup>2</sup>]  
 $Pot_v$ : Potencia del ventilador [W]  
 $\dot{Q}$ : Potencia a emplear en el sistema [W]  
 $h_1$ : Entalpía al inicio [kJ/kg]  
 $h_2$ : Entalpía al final [kJ/kg]  
 $\Delta T$ : Diferencial de temperatura [°C]  
 $\dot{q}$ : Flujo de convección [W]  
 $R_T$ : Resistencia térmica [K/W]  
 $e_a$ : Espesor del aislante [m]  
 $k_a$ : Conductividad del aislante [W/m-k]

$A_a$ : Área de la superficie del aislante [ $m^2$ ]  
 $e_p$ : Espesor de la plancha [m]  
 $k_p$ : Conductividad de la plancha [W/m-k]  
 $A_p$ : Área de la superficie de la plancha [ $m^2$ ]  
 $h_e$ : Coeficiente convectivo exterior del aire [W/ $m^2$ -k]  
 $M_l$ : Torque en el motor [N-cm]  
 $F$ : Fuerza total en la tuerca [N]  
 $h$ : Paso del husillo [cm]  
 $\eta$ : Coeficiente de eficiencia para convertir torque en fuerza axial para husillos de acero con tuerca de bronce [ ]  
 $r_B$ : Radio del husillo [cm]  
 $\mu_B$ : Coeficiente de fricción del rodamiento del husillo [cm]  
 $\mu_{ab}$ : Coeficiente del acero en bronce [ ]  
 $G$ : Peso del carro y estructura [N]  
 $F_c$ : Fuerza necesaria para remover los granos [N]  
 $m$ : Masa de café [kg]  
 $\mu_{ca}$ : Coeficiente de fricción entre el grano de café y el acero [ ]  
 $f$ : Frecuencia [Hz]  
 $v$ : Velocidad de avance [cm/s]  
 $Z$ : Número de pasos por revolución [pasos/rev]  
 $P_{mp}$ : Potencia del motor a pasos [W]  
 $P_t$ : Potencia total [W-h/día]  
 $Q_d$ : Consumo diario [W-h/día]  
 $R_{bat}$ : Rendimiento de la batería  
 $Q_{ah}$ : Consumo de energía medio [A-h/día]  
 $V_{sist}$ : Voltaje del sistema [V]  
 $N_t$ : Número total de paneles  
 $V_{mp}$ : Voltaje de operación [V]  
 $N_{serie}$ : Número total de paneles en serie  
 $N_{paralelo}$ : Número total de paneles en paralelo

$C_{nd}$ : Capacidad del banco de baterías [A-h]

$D$  : Días de autonomía [días]

$DOD$ : Profundidad de descarga [%]

$I_{cc}$ : Corriente de cortocircuito [A]

$I_{entrada}$  : Corriente a la entrada del regulador [A]

$I_{salida}$  : Corriente a la salida del regulador [A]

$I_{reg}$  : Corriente del regulador [A]

$P_{in}$  : Potencia del inversor [W]



## INTRODUCCIÓN

La propuesta de tesis se origina debido a la necesidad de obtener un café seco especial, es decir, de mejor calidad, de manera rápida sin afectar su olor ni sabor, evitándose así que se genere moho en los granos. Por ello, se diseñará un sistema de secado de granos de café especial con capacidad de 30kg/día para reducir su humedad de 55% hasta un 11% sin afectar la calidad de estos, permitiendo su óptima conservación en las etapas posteriores como almacenamiento y transporte. Se empleará energía solar para energizar el sistema, ya que es la fuente ideal ante las condiciones que presenta el lugar donde estará la máquina (buena radiación solar, poco viento, etc), y aire caliente para secar los granos. Debido a que el aire no se calentará mediante algún gas o combustible, el café no resultará contaminado.

Para el presente proyecto se tomaron los parámetros climáticos de la región de Junín, Pacaybamba - Perú, zona que presenta una humedad relativa del 70% y alcanza una temperatura media de 20°C entre las horas de funcionamiento del sistema (8 am – 6 pm). El siguiente trabajo utiliza información sobre energías renovables y selección de partes en un sistema fotovoltaico, proceso de secado, ingeniería de secado, modelamiento matemático en el secado del café y *papers* acerca del secado del café según SECAFÉ. De esta manera se espera lograr resultados confiables en el proceso de secado del grano de café especial.

## **CAPÍTULO 1**

### **Antecedentes**

En la práctica de secado se busca disminuir el agua del grano de café, el cual ha sido previamente lavado y escurrido de una forma mecánica o natural. Después de este proceso, posee una humedad aproximada del 53%, que mediante el secado es reducida al rango del 10% - 12%. Esto permite su conservación en las etapas posteriores como almacenamiento y transporte.

#### **1.1 Presentación de la problemática**

Existen diferentes tecnologías para secar café; sin embargo, estos equipos utilizan una temperatura muy elevada o no brindan el suficiente flujo de aire. Como resultado, no se obtiene un secado uniforme, disminuyendo la calidad del producto alrededor de 4 a 5 puntos. (Cadena, 2017). Es importante recalcar que el puntaje que otorga un catador de café depende del sabor y aroma final. Por lo cual, podemos afirmar que: “Un puntaje de taza de 80 sobre 100 es un café de grado especial.” (Raad, 2018).

Según Cadena (2017), la temperatura máxima a la que puede someterse un grano de café es de 35°C, garantizando que no tenga daños irreversibles tanto en color como en sabor y aroma. Un aumento mayor de temperatura podría dañar el embrión del grano y romper el pergamino.

Si el café se seca deficientemente, se daña. Es decir, si le falta secado se genera moho en el producto almacenado. Caso contrario, pierde peso generando zonas cristalizadas en los granos, impidiendo un tostado uniforme. Por ello, es imprescindible utilizar una temperatura y tiempo de secado adecuado para obtener granos de café de alta calidad para el consumo o venta. En la Tabla 1.1 se puede apreciar las pérdidas económicas debido a un exceso de secado.

Tabla 1.1  
*Pérdidas económicas por secado de granos de café debajo del 10% de humedad*

Humedad (%)	c.p.s obtenido (kg)	Pérdidas por cada 1000 kg de café lavado	
		Café pergamino seco (kg)	Valor (\$)
11	528.1	-	-
10	522.2	5.9	29 333.9
9.5	519.3	8.8	43 759.9
9	516.5	11.6	58 027.4
8.5	513.7	14.4	72 138.9
8	510.9	17.5	86 097.2

Fuente: <http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/385/1/avt0387.pdf>

Debido a que el proceso de secado del grano de café se realizará en un ambiente rural donde no se tiene un acceso a una red eléctrica, es necesario que se emplee energías renovables para el control y los procesos del sistema. Además, se debe tener en cuenta el calentamiento del aire, ya que los gases de combustión pueden dañar la calidad del café.

Por todo lo mencionado, se presenta la necesidad de diseñar un sistema para el secado de granos de café que garantice que a su salida se obtendrá un café especial que posea una humedad relativa del 11% y que no haya sido expuesto a una temperatura mayor a 35°C para no perjudicar tanto su color como sabor. Como resultado no solo contaremos con un café de excelencia, sino también una solución factible ante cualquier tipo de pérdidas económicas referente a producción.

## **1.2 Estado de la tecnología**

### **1.2.1 Formas de secar café**

El secado de granos de café se realiza para disminuir la humedad, lográndose almacenar y transportar sin sufrir pérdidas económicas. Existen dos procedimientos para realizar el secado :

#### ***1.2.1.1 Secado al sol***

Según Cenicafé, se recomienda para producciones menores de 500 arrobas (1 arroba equivale a 11.339 kg) de café. Este proceso se realiza en patios de cemento, secadores solares parabólicos y carros secadores. Si el proceso se realiza en patios de cemento, estos deben tener una pendiente del 1% para evitar que el agua se acumule. En cambio, el proceso mediante secadores solares parabólicos fue diseñado para pequeños caficultores cuya producción anual sea de 120 arrobas de cps (café pergamino seco), el cual cuenta con una plancha de cemento cubierta con una estructura de guadua y plástico, permitiendo la circulación interna del aire.

Por tal motivo, si se decide optar por el secado solar, la masa de café debe tener aproximadamente 3.5 cm de espesor, lo que equivale a una arroba de café pergamino seco por metro cuadrado. Si a esto le sumamos revolver el café 4 veces por día como mínimo, se logra un secado parejo del grano. El tiempo requerido para secar el café es entre 7 y 15 días. En la Tabla 1.2 se puede apreciar el área de secado que se necesita dependiendo de la producción de café.

Tabla 1.2  
 Área de secado necesaria según la producción

Producción de la finca (Arrobas de cps. al año)	Área de secado (m <sup>2</sup> )
40	12
60	18
80	24
100	30
200	60
300	90
400	120
500	150

Fuente: [http://www.cenicafe.org/es/publications/cartilla\\_21.\\_Secado\\_del\\_cafe.pdf](http://www.cenicafe.org/es/publications/cartilla_21._Secado_del_cafe.pdf)

### 1.2.1.2 Secado mecánico

Se realiza para producciones anuales superiores a 500 arrobas de cps. Este proceso se lleva a cabo en cámaras donde se introduce aire caliente a una temperatura máxima de 50°C mediante un ventilador hacia la masa de café. El aire puede ser calentado por quemadores, estufas y energía eléctrica. Este procedimiento dura aproximadamente entre 25 y 30 horas. Es necesario distribuir el grano en capas delgadas, entre 3 y 4 centímetros de espesor, así como revolver el café constantemente cada hora. Cuando finaliza el secado se deja enfriar el café para luego empaquetarlo o derivarlo a otro proceso.

### 1.2.2 Clasificación de secadores

El secado de sólidos consiste en separar cantidades de agua u otro líquido de un material sólido con la finalidad de reducir el porcentaje de humedad hasta el valor deseado. El producto a secar puede soportar temperaturas elevadas o requerir un tratamiento suave a temperaturas bajas. Debido a esto, existen en el mercado un gran número de tipos de secadores comerciales. Estos se clasifican según la forma en la que el sólido se mueve por la zona de secado, el método de transmisión de calor y en la cantidad o tamaño del producto a secar.

### 1.2.2.1 Secador de bandejas

Consiste en un gabinete metálico rectangular lo suficientemente grande para alojar los materiales a secar. Posee bandejas poco profundas (den 10 a 100 mm de profundidad) sobre las cuales se coloca el producto a secar. Estas pueden ser perforadas para aumentar el área de contacto entre el aire y el sólido, disminuyendo el tiempo del proceso. El secado consiste en hacer correr aire caliente y seco a través de un ventilador hasta que llegue a las bandejas. El aire, en general, es calentado por vapor no saturado, lo cual garantiza un secado eficiente. (Maupoey y Barat, 2001)

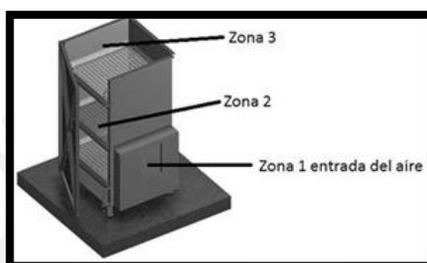


Figura 1.1: Secador de bandejas

Fuente: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0123-77992014000200002](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-77992014000200002)

### 1.2.2.2 Secador continuo de túnel

Es semejante al secador de bandejas, pero de funcionamiento semicontinuo. Está formado por un túnel por el cual pasan unas bandejas con el material a secar. Luego, se hace fluir aire caliente (generalmente a contracorriente) para secar el producto. Es común utilizarlo en la industria alimenticia. En este tipo de secador el área superficial no es de mucha importancia ya que la velocidad del aire y el tiempo de estadía varían en un rango muy amplio. Debido a esto se emplean para materiales grandes. (Maupoey y Barat, 2001).

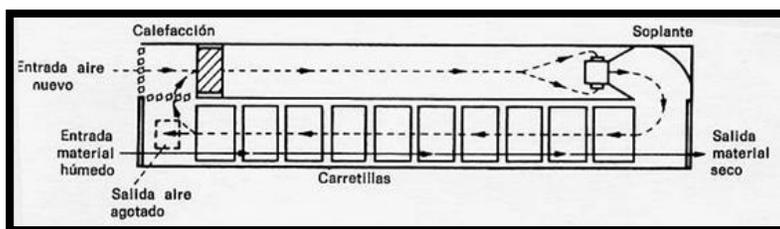


Figura 1.2: Túnel de secado por contracorriente  
Fuente: <http://secadodesolidosjean.blogspot.pe>

### 1.2.2.3 Secador rotatorio

Constituye una de las formas más utilizadas para el secado, ya que tiene una amplia gama de materiales a nivel industrial y un bajo costo unitario en relación a grandes cantidades. Está compuesto por un cilindro hueco que gira sobre su eje, presentando una ligera inclinación para permitir que los sólidos a secar se deslicen hacia la boca de salida. El material húmedo avanza por gravedad en virtud de la inclinación y rotación, para posteriormente salir seco en el extremo opuesto. El flujo de aire caliente puede ser paralelo o contracorriente. (Maupoey y Barat, 2001).

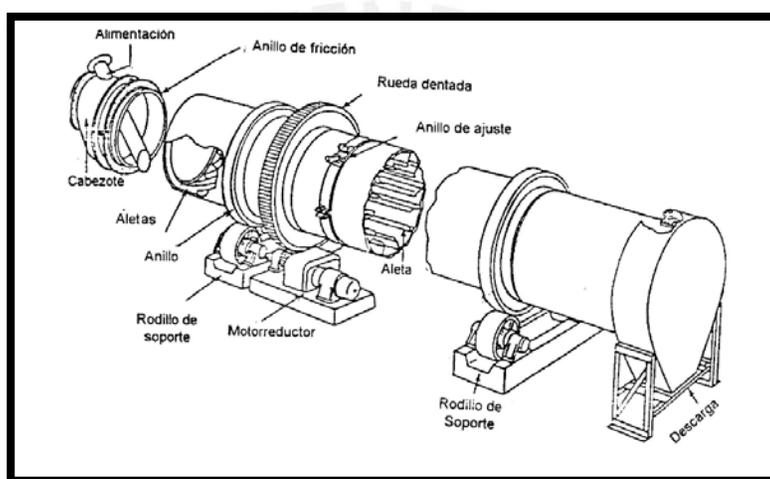


Figura 1.3: Secador rotatorio

Fuente: [http://datateca.unad.edu.co/contenidos/211618/EXELARNING/leccion\\_50\\_secadores.html](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/211618/EXELARNING/leccion_50_secadores.html)

### 1.2.2.4 Secador de tambor

Consiste en uno o dos tambores fabricados con acero inoxidable (montados de manera horizontal). En las paredes se evapora el líquido mientras que una cuchilla metálica raspa lentamente el sólido hasta caer en los transportadores situados debajo. La humedad evaporada se retira a través de una campana situada por encima de los tambores. Son típicos para trabajo con pastas, suspensiones y soluciones. El tambor es una especie de híbrido entre un evaporador y un secador. (Maupoey y Barat, 2001).

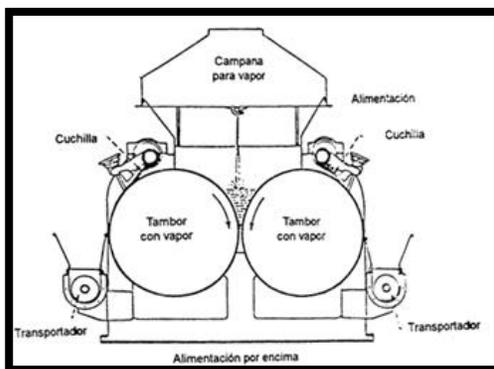


Figura 1.4: Secador de tambor

Fuente: [http://datateca.unad.edu.co/contenidos/211618/EXELARNING/leccion\\_50\\_secadores.html](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/211618/EXELARNING/leccion_50_secadores.html)

### 1.2.3 Comparación de los tipos de secadores

A continuación, se observa un cuadro comparativo entre las diversas formas de secado:

Tabla 1.3

*Tabla comparativa de tipos de secadores mecánicos*

Tipos de secadores mecánicos	Capacidad (T)	Grosor de capas (cm)	Secado homogéneo	Dimensiones (m)
Bandejas	0.4	2-6	No	4.46x2.20x2.29
Continuo de túnel	0.2	5-7	Sí	10x1.5x3.15
Rotatorio	30	-	Sí	20x2.4x2.4
De tambor	16	-	Sí	3x4x2

Fuente: Propia

Como se puede apreciar en la Tabla 1.3, pese a que el secador de bandejas es el de menor tamaño, no brinda un secado homogéneo debido a la forma en la que el flujo de aire atraviesa la capa de granos. Si lo que se requiere es un equipo de mayor capacidad, el secador rotatorio es la mejor opción puesto que seca mayor cantidad de producto en comparación del resto, obteniendo como resultado el secado de 30 toneladas. Además, brinda un secado homogéneo y es el más grande de la lista. En cambio, si lo que se prioriza es una mejor relación capacidad/tamaño, el equipo ideal es el secador de tambor, debido a sus 16 toneladas de capacidad y a su tamaño

mediano a comparación del rotatorio. Cabe resaltar que, si se emplean dos secadores de tambor se producirían dos toneladas más que el rotatorio, ocupando menos espacio al solo utilizar 48 m<sup>3</sup>.

## 1.2.4 Energías renovables

### 1.2.4.1 Energía eólica

La energía eólica es una fuente de energía renovable que utiliza la fuerza del viento para generar electricidad. Para obtener dicha energía se emplean aerogeneradores de tamaño variable, los cuales transforman con sus aspas la energía cinética del viento en energía eléctrica. (Twenegy, 2019) .La producción de electricidad mediante energía eólica contribuye a un desarrollo sostenible puesto que no contamina, es inagotable y reduce el uso de combustibles fósiles. (Global Wind Statistics, 2011) Los principales tipos de aerogeneradores son los siguientes:

- **Aerogenerador Savonius:**

Según Opex Energy, es el modelo más simple ya que consiste en 2 o 3 cilindros huecos desplazados respecto a su eje. Debido a su curvatura, las palas experimentan menos resistencia cuando el viento se mueve en contra, causando que el aerogenerador Savonius gire. Como es un mecanismo de arrastre, este aerogenerador extrae menor cantidad de la fuerza del viento; sin embargo, no necesita orientarse en la dirección del viento y pueden funcionar a velocidades bajas.

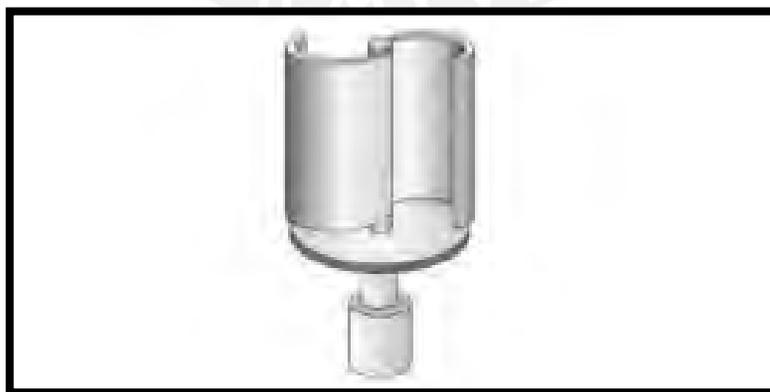


Figura 1.5 Aerogenerador Savonius

Fuente: <https://prezi.com/vya3txu305bk/aerogenerador-savonius/>

- **Aerogeneradores rápidos:**

Villarubia (2012) afirma que este tipo de aerogeneradores presenta un número de palas pequeñas. Su relación peso/potencia es mayor a la de otros aerogeneradores, ya que al ser más ligeros pueden construirse de un mayor tamaño. Además, requieren de una velocidad de viento entre 4 y 5 m/s y alcanzan su potencia nominal a velocidades entre 12 a 15m/s. Si la velocidad excede los 25m/s se produce una parada del rotor para evitar daños en la máquina.



Figura 1.6: Aerogenerador Enair

Fuente: <http://www.sol-i-vent.es/aerogenerador-enair-70-220-cred--inverter-6kw-p-1-50-184/>

#### **1.2.4.2 Energía solar**

Es una energía renovable que se obtiene del sol y con la que se pueden generar calor y electricidad. (Twenergy, 2019). Esto mediante diversos captadores como células fotovoltaicas, heliostatos o colectores térmicos, de esta manera puede transformarse la energía solar en térmica o eléctrica. Existen dos tipos de tecnologías solares: las pasivas y las activas, esto depende de cómo capturan, convierten y distribuyen la energía solar.

En las tecnologías activas están el uso de paneles fotovoltaicos y colectores solares térmicos, y entre las pasivas encontramos diferentes técnicas enfocadas a la arquitectura bioclimática, es decir, la selección de materiales cuya masa térmica es favorable o que posean propiedades para la dispersión de luz. Actualmente, la fuente de energía solar más desarrollada es la fotovoltaica.

Los sistemas fotovoltaicos se dividen en dos tipos: los sistemas aislados y los interconectados. Los sistemas aislados se emplean en zonas rurales donde no llega la red eléctrica, por ello, es necesario un sistema de acumulación porque solo producen energía en las horas de sol. El número de paneles a instalar debe calcularse teniendo en consideración la demanda energética en los meses desfavorables y las condiciones de orientación e inclinación (dependiendo del lugar). Los sistemas interconectados operan en paralelo con la red eléctrica. Estos sistemas son más económicos debido a que no requieren un banco de baterías. (Global Solare 2019). En la Figura 1.7 se observa cómo está conectado un sistema fotovoltaico.

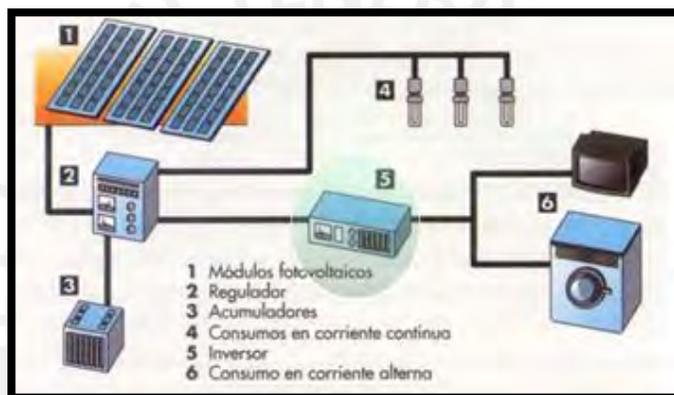


Figura 1.7: Esquema de instalación solar fotovoltaica

Fuente: <http://eliseosebastian.com/precio-paneles-solares-fotovoltaicos-1>

Un sistema fotovoltaico aislado presenta los siguientes componentes:

- **Panel fotovoltaico:**

Está conformado por un conjunto de células fotovoltaicas que producen electricidad a partir de la luz del sol a través del efecto fotoeléctrico. Estas células están formadas por dos diodos metálicos (uno positivo y otro negativo) y entre ellos hay dos placas de silicio (una negativa y otra positiva) separadas por una placa interface que permite el flujo eléctrico en un solo sentido. Los fotones del Sol excitan la placa interface y esta estimula a los átomos de la placa positiva para que libere electrones. Estos últimos atraviesan la placa negativa y circulan por el electrodo, ya que la

interface aísla ambas placas. De esta manera se genera una tensión, la cual con ayuda de una resistencia produce una corriente. (Valdiviezo, 2014) En la Tabla 1.4 se observa la eficiencia de paneles fotovoltaicos dependiendo del tipo.

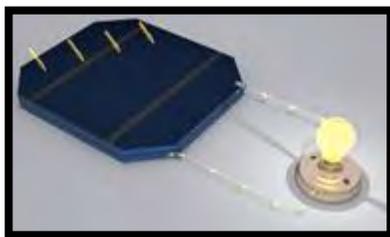


Figura 1.8: Célula fotovoltaica

Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=8FGueIb8rnM>

Tabla 1.4  
*Eficiencia de paneles fotovoltaicos*

Tipo	Eficiencia típica del módulo (%)	Eficiencia máxima registrada del módulo (%)	Eficiencia máxima registrada del módulo en laboratorio (%)
Silicio Monocristalino	12 a 15	22.7	24.7
Silicio Multicristalino	11 a 14	15.3	19.8
Silicio Amorfo	5 a 7	-	12.7
Cadmium Telluride	-	10.5	16
CIGS	-	12.1	18.2

Fuente: <http://www.slideshare.net/fglongatt/capitulo-25-sistemas-fotovoltaicos-sistemas-de-generacion-distribuida>

En la Tabla 1.4 se puede apreciar que la célula de Silicio Monocristalino posee una mejor eficiencia; sin embargo, tiene un costo elevado. En cambio, la célula de Silicio Multicristalino presenta una mejor relación eficiencia/costo gracias a su proceso simple de fabricación.

En el mercado local se pueden conseguir las celdas de policristalino y monocristalino, las cuales tienen un tamaño de 156 x 156 mm. Además, cuentan con 5 conexiones eléctricas principales que reducen posibles fallos por microgrietas y logran una eficiencia mayor de 18%. Esto se obtiene como resultado por su marco de aluminio anodizado y su vidrio especial antireflectivo, aumentando la eficiencia y optimizando la captación de la luz difusa (importante en lugares donde el cielo está cubierto con neblina).

- **Regulador**

Es un dispositivo necesario en la instalación solar, ya que está encargado de controlar el estado de carga de las baterías. Esto permite alargar su vida y obtener información del funcionamiento de la instalación. Existen dos tipos: el PWM y el MPPT. Su elección depende del tipo de placa solar a utilizar. (Valdiviezo, 2014)



Figura 1.9: Regulador

Fuente: [http://www.damiasolar.com/actualidad/blog/articulos-sobre-la-energia-solar-y-sus-componentes/que-regulador-solar-necesito\\_1](http://www.damiasolar.com/actualidad/blog/articulos-sobre-la-energia-solar-y-sus-componentes/que-regulador-solar-necesito_1)

- **Baterías**

Sirven para almacenar la energía eléctrica producida por los paneles solares para utilizarla posteriormente. Las más usadas son las baterías de gel, ver Figura 1.10, debido a que presentan una vida larga y duradera. Por ello, son las más adecuadas para instalaciones en donde se requiera una duración larga y prolongada de las baterías. Para elegir la mejor opción se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Dimensiones y peso de la batería: este punto es muy importante ya que se desea que sean lo más pequeñas posibles sin descuidar su capacidad para que no ocupe mucho espacio.
- Capacidad: debe ser dos o tres veces el consumo diario del sistema (en caso haya días sin Sol).
- Nivel de autodescarga: necesitamos que sea bajo para aprovechar mejor la energía almacenada en la batería. Se recomienda que no se descarguen más del 50% para alargar su vida útil.
- Mantenimiento: algunas baterías requieren que se les añada agua destilada al electrolito. Se deben cargar en su totalidad al menos una vez por semana y mantener las conexiones limpias.
- Garantía y homologación: es vital asegurarse que las baterías estén homologadas y ajustadas a la normativa vigente.



Figura 1.10: Batería de gel

Fuente: <http://trends.directindustry.es/everexceed-industrial-co-ltd/project-103069-133254.html>

- **Inversor**

Convierte la corriente continua en alterna mediante dispositivos electrónicos que permiten interrumpir y cambiar su polaridad. Para sistemas aislados deben ser autoconmutados ya que no utilizan energía de una fuente exterior. Es recomendable emplear un inversor que genere una onda senoidal pura, similar a la de la red eléctrica. (Valdiviezo, 2014). Poseen un rango entre 100 a 8000 vatios y son utilizados en una gran cantidad de proyectos o de carácter personal. Se calcula la potencia necesaria sumando todas las potencias de los equipos a energizar.



Figura 1.11: Inversor

Fuente: <http://electronicapascual.com/blog/?p=15>

## 1.2.5 Formas para calentar el aire

Para el secado del grano de café se utilizará convección forzada para calentar el aire, en este proceso no debe ser afectada la calidad del grano. Las formas son las siguientes:

### 1.2.5.1 Energía eléctrica

Se calienta el aire con ayuda de una resistencia eléctrica y mediante un termostato se controla el requerimiento de calor. No produce emisiones ni presenta fuga de gases, su funcionamiento es silencioso y requiere poco mantenimiento.

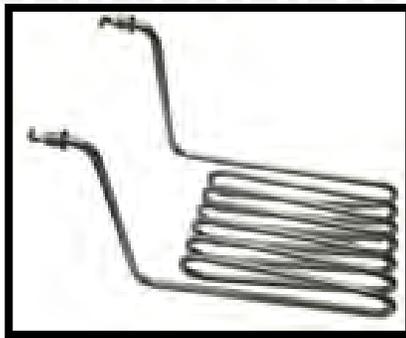


Figura 1.12: Resistencia eléctrica industrial

Fuente: <http://www.juliomartineznaya.com/resistencias-electricas/>

### 1.2.5.2 Gases de combustión

Se produce calor por la quema de un combustible, el cual mediante un intercambiador de calor logra calentar el aire a la temperatura deseada, evitándose así que los subproductos de la combustión ingresen a la corriente de aire caliente. Posee una baja eficiencia debido al bajo calor específico de los gases.



Figura 1.13: Caldera de vapor

Fuente: <http://www.directindustry.es/prod/attsu-termica-sl/product-37754-396286.html>

### 1.2.5.3 Concentradores solares

Concentra la luz solar en un área reducida mediante un arreglo de espejos alineados hacia un punto fijo. El objetivo a calentar, normalmente un fluido, puede llegar a temperaturas cerca de los 300°C. Cuando el fluido alcanza cierta temperatura pasa a una caldera donde calienta agua, la cual se convierte en vapor y se emplea para secar alimentos.



Figura 1.14: Concentrador solar

Fuente: <http://www.mx.absolicon.com/colectores-solares/>

### 1.2.6 Comparación entre formas para calentar el aire

A continuación, se observa un cuadro comparativo entre las formas para calentar el aire.

Tabla 1.5

*Tabla comparativa entre formas para calentar el aire*

Formas para calentar el aire	Espacio necesario	Eficiencia	Mantenimiento	Depende del clima
Energía eléctrica	Poco	Alta	Poco	No
Gases de combustión	Regular	Baja	Regular	No
Concentrador solar	Mucho	Baja	Poco	Sí

Fuente: Propia

Como se puede apreciar en la Tabla 1.5, calentar el aire mediante energía eléctrica es la mejor opción en cuanto espacio ya que las resistencias eléctricas presentan una menor dimensión. Esto a comparación del uso de un intercambiador de calor o de un concentrador solar, siendo este último el que mayor espacio requiere. Además, la eficiencia que ofrece una resistencia es mayor debido a que entra en contacto directo con el aire a diferencia de los otros métodos, los cuales calientan un fluido el cual, en una etapa posterior, calentará el aire que atravesará el material a secar.

Debido a la cantidad total de elementos que se requieren (calentador o quemador, intercambiador de calor) para emplear gases de combustión, este es el que mayor mantenimiento requiere a diferencia de las otras dos formas. Ya que debe tener mucho cuidado para evitar fugas que perjudiquen al producto final. También, se debe resaltar que el concentrador solar es el único método que depende en su gran mayoría del clima, lo cual podría afectar la producción.

## **CAPÍTULO 2**

### **Diseño conceptual**

El presente capítulo tiene como objetivo especificar los requerimientos del sistema e identificar las funciones para luego plantear sus posibles soluciones y así diseñar un equipo que cumplirá con lo solicitado. Se elegirá la mejor solución mediante una evaluación técnica-económica, la cual será presentada al final de la sección y explicada con mayor detalle en el siguiente capítulo.

#### **2.1 Requerimientos del sistema**

Se dividen en tres grupos:

Mecánicos: relacionados con la función principal, geometría, fuerzas, cinemática, fabricación y mantenimiento.

- Conseguir un secado de granos de café en un rango de 10% a 12%, puesto que es el más aceptable para no perjudicar el sabor del producto final.
- Si la capa de secado supera los 5 cm, se agitarán los granos de café con regularidad para garantizar un secado uniforme.
- Calentar el aire a no más de 35°C para que el café no presente cambios irreversibles en su sabor y color.

Eléctricos: relacionado con la energía del sistema.

- Funcionar con energía renovable ya que el sistema se encontrará en una zona rural donde no se tiene acceso a una red eléctrica.
- Emplear una baja potencia eléctrica debido a que se usará energía solar para energizar el sistema.

Control: relacionado con el proceso de secado para obtener un café especial con humedad de 11%.

- Interfaz para iniciar proceso, muestra de resultados y señal de alerta.
- Sensor temperatura y humedad relativa en el sistema de secado.
- Controlar temperatura para evitar que el aire supere los 35°C.
- Estimar el tiempo total del proceso para obtener granos de café especial con 11% de humedad.

## **2.2 Objetivos**

### **2.2.1 Objetivo General**

- Diseñar un sistema de secado de granos de café que garantice a su salida un producto de calidad, es decir, que tenga un buen sabor y aroma, siendo relevante que la humedad final sea de 11% y que el proceso no exceda los 35°C. El sistema debe ser alimentado con energías renovables debido a que se encontrará en un ambiente rural sin acceso a una red eléctrica.

### **2.2.2 Objetivos Específicos**

- Diseñar una solución a partir de los requerimientos mecánicos, eléctricos y de control.
- Diseñar un sistema para controlar la temperatura y calcular el tiempo de secado, lo cual garantiza que se obtendrá un café de calidad.
- Determinar el costo de fabricación del sistema.

### 2.3 Funciones del sistema

Primero, se requiere transformar la energía solar o eólica en energía eléctrica para luego almacenarla, esto debido a que la zona en donde se ubicará el sistema no tiene acceso a una red eléctrica. Una vez obtenida, debe ser regulada para evitar posibles sobrecargas en las baterías, prolongando así su vida útil. Dichas baterías almacenarán la energía para usarla durante su funcionamiento. También es necesario obtener voltaje AC para energizar los equipos que funcionen con corriente alterna.

Luego, se necesita transportar el aire frío hacia un calentador y, posteriormente, a la capa de granos de café. Después, solo se debe agitar los granos para obtener un secado uniforme en caso lo requiera (capa de café mayor a 5 cm). Finalmente, una vez hayan alcanzado la humedad requerida, los granos serán retirados de forma manual.

Es importante recalcar que se debe identificar la temperatura y humedad relativa del aire antes de entrar a la capa de granos para poder hacer una estimación precisa del tiempo total de secado. Además, es vital controlar el sistema para asegurarse que la temperatura llegue hasta 35°C como máximo para que el grano de café alcance la humedad deseada (11%). Al llegar a dicho punto, se encenderá un piloto que indicará que ya se pueden retirar los granos. Para un mejor entendimiento, en la Figura 2.1 se observa el diagrama de funciones del sistema.

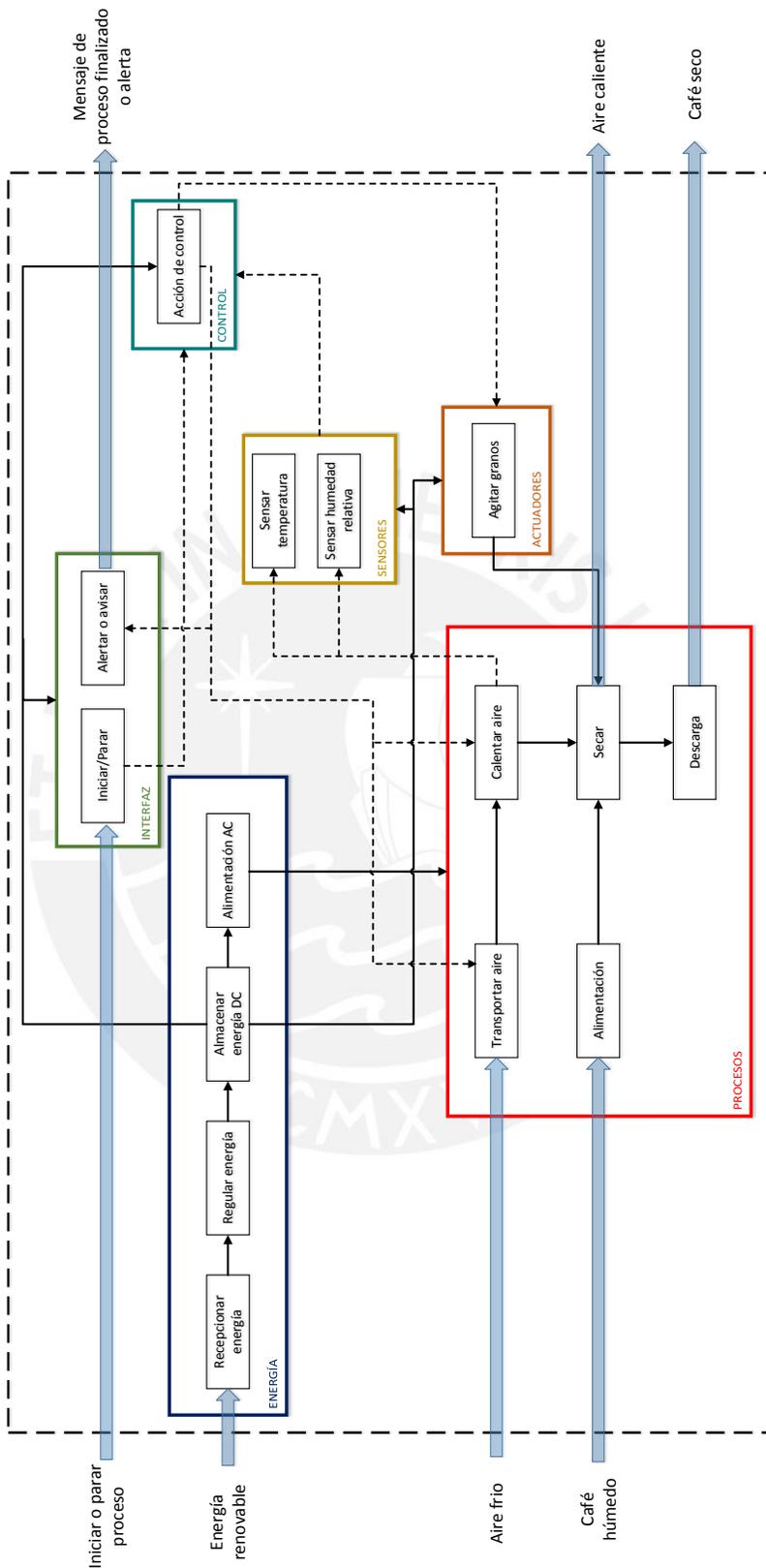


Figura 2.1. Estructura de funciones  
Fuente: Propia

## 2.4 Concepto del sistema mecatrónico

Haciendo uso de la matriz morfológica se obtienen tres posibles soluciones (ver Anexo A). A continuación, se detallarán las funciones y qué solución se dará para cada una.

- **Energizar el sistema**

Para recepcionar la energía se emplearán paneles solares fotovoltaicos ya que la zona en la que se encontrará la máquina la velocidad del viento es muy baja (3m/s). En este caso se tienen tres tipos de paneles solares: monocristalino, policristalino y amorfo flexible. De ellos, el mejor es el de silicio policristalino debido a su buena relación costo/eficiencia. También se usarán reguladores solares, existen 2 tipos: PWM y MPPT. Su elección depende si el voltaje de los paneles es mayor al del sistema o no. Asimismo, se utilizarán baterías para el almacenamiento de energía, estas pueden ser tipo gel, AGM o plomo ácido. Entre ellas, la que mejor destaca es la de tipo gel ya que no necesita mantenimiento y presenta una vida útil prolongada. Por último, se hará uso de un inversor DC/AC o un grupo electrógeno para alimentar las cargas alternas.

- **Proceso de secado**

Para transportar el aire se puede emplear un ventilador centrífugo o axial. Su selección depende de cómo el aire atravesará la capa de granos y de las pérdidas de presión en el sistema. Se calentará el aire mediante un intercambiador o un calentador eléctrico. El primero emplea un menor consumo de potencia, pero requiere de un mayor control y mantenimiento. Por otro lado, un calentador eléctrico facilita el control y necesita menos mantenimiento, pero posee un consumo mayor de potencia.

Los granos de café serán agitados a través de un rastrillo accionado por un motor a pasos o por paletas giratorias mediante un motor. La elección del mecanismo de agitación depende de la geometría del sistema; sin embargo, algunos no lo requieren debido a que la capa de granos es de bajo espesor. La alimentación y descarga de los granos serán de forma manual, esto con el fin de usar una menor cantidad de elementos.

- **Control, sensores e interfaz**

Para realizar un control adecuado del sistema se debe conocer la temperatura y humedad relativa mediante sensores. Para medir la primera magnitud física, se pueden emplear termistores, termopares o termorresistencia, la diferencia está en el grado de exactitud de cada uno y en el rango de medición. En el caso de la humedad se tienen los sensores tipo capacitivo, higroscópico y electrolítico, cada uno de estos presenta cierta ventaja como un mayor rango de humedad o una mejor precisión. Además, se contará con un controlador para evitar que la temperatura exceda los 35°C y estimar un tiempo de secado. El controlador puede ser un PLC (controlador lógico programable), esto dependiendo de la cantidad de salidas y entradas analógicas o digitales que requiera el sistema. Finalmente, este avisará mediante un piloto cuando el proceso haya finalizado o una alarma cuando ocurra algún fallo.

## 2.5 Concepto solución óptimo

Empleando la matriz morfológica se obtienen tres conceptos solución (ver Anexo B). Además, se evalúan sus criterios técnicos y económicos (ver Anexo C), eligiendo al más óptimo. Por lo cual, se realiza la comparación entre criterios según la recomendación VDI 2225 donde se les asigna un valor del 1 al 4. Asimismo, cada criterio tendrá un peso que dependerá del nivel de importancia que este tenga en el proyecto. Se observa que el concepto solución 2 presenta los mejores valores tanto técnicos como económicos; por ello, será nuestro concepto solución óptimo ya que se acerca al ideal (ver Figura 2.2).

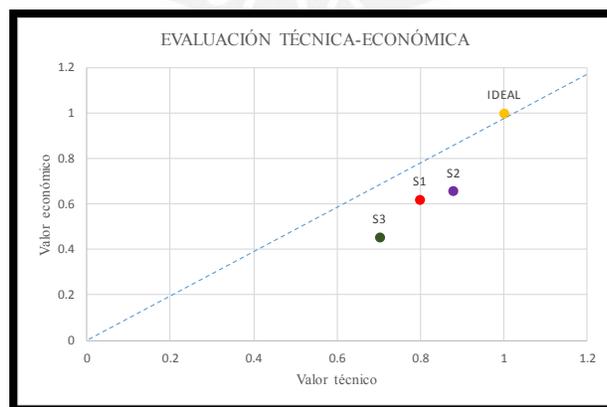


Figura 2.2: Evaluación técnica-económica de los conceptos solución

Fuente: Propia

Para energizar el sistema se emplearán paneles solares de silicio policristalino debido a que tienen una buena relación costo/eficiencia. Estos además trabajarán de manera óptima en caso el cielo esté nublado. Mediante un regulador solar tipo MPPT se controlará la carga que va hacia las baterías, evitando sobrecargas y alargando la vida útil de estas. Las baterías serán de tipo gel, porque no necesitan mantenimiento y son duraderas. Se usará un inversor DC-AC para obtener energía alterna, necesaria para alimentar las cargas alternas.

La cámara de secado tendrá una forma rectangular y el aire atravesará la capa de granos en forma perpendicular. Por ello, se usará un ventilador centrífugo para transportar el aire caliente, el cual alcanzará los 35°C mediante un calentador eléctrico, hacia la capa de granos. Para garantizar un secado uniforme es necesario agitar los granos de café con cierta regularidad, por lo cual, se empleará un rastrillo accionado mediante un motor a pasos como mecanismo de agitación. La alimentación y extracción de los granos se realizará de forma manual.

Finalmente, se usará un termopar para sensar la temperatura y un sensor de humedad higroscópico, estos irán conectados a un PLC que controlará todo el sistema. La interfaz estará conformada por un pulsador de inicio de proceso, parada de emergencia y una alarma de emergencia visible y sonora que avisará cuando ocurra alguna falla. (Ver Figura 2.3)

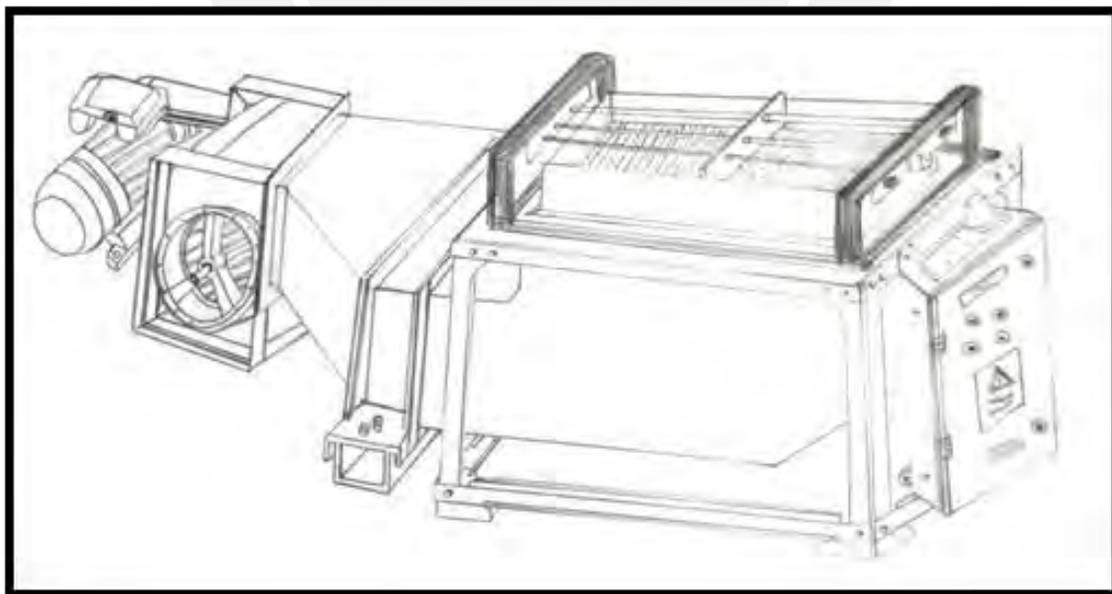


Figura 2.3: Concepto solución óptimo

Fuente: Propia

## **CAPÍTULO 3**

### **Diseño del sistema mecatrónico**

El sistema tendrá una capacidad de 30 kg de granos café, permitiendo que el diseño no sea muy grande y que no se emplee demasiada potencia. Los granos serán secados en un tiempo aproximado de 8 horas, equivalente a una jornada laboral. Para energizarlo se emplearán paneles solares de silicio policristalino, un regulador MPPT, baterías de gel y un inversor. Además, para la parte del proceso de secado se contará con un ventilador centrífugo, un calentador eléctrico y un rastrillo para agitar los granos con regularidad. El aire atravesará la capa de granos de forma perpendicular a través de una placa perforada. El sistema será controlado mediante un PLC y se obtendrán los datos con ayuda de un sensor de temperatura y humedad relativa. Finalmente, un piloto avisará que el proceso ha finalizado. (Ver Figura 3.1)

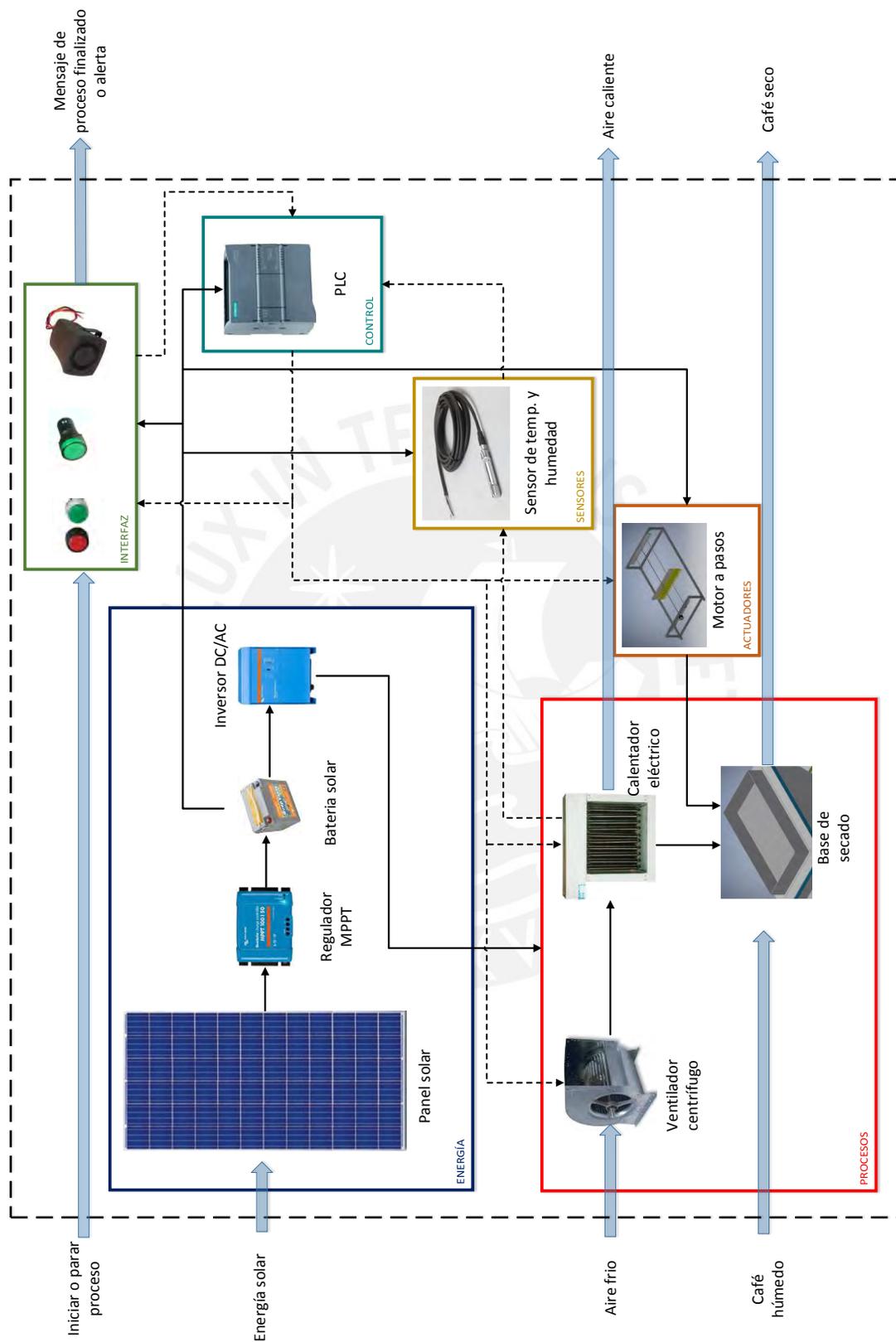


Figura 3.1. Diagrama de bloques  
Fuente: Propia

### 3.1 Propuesta del concepto solución

A continuación, se describirá detalladamente todo el funcionamiento del sistema:

Primero, se transformará la energía solar en energía eléctrica mediante los paneles solares fotovoltaicos de silicio policristalino. Cabe resaltar, que la salida de los paneles se conectará a un regulador solar tipo MPPT para controlar la carga que va hacia las baterías tipo gel. Tanto el calentador eléctrico como el ventilador centrífugo irán conectados a la salida del inversor. Los demás componentes serán alimentados directamente de las baterías.

Luego, se colocarán los granos de café de manera manual en la capa para secado. El aire será transportado del exterior hacia el calentador eléctrico, empleando un ventilador centrífugo. Dicho calentador elevará la temperatura del aire hasta alcanzar los 35°C. Después, el aire caliente se direccionará hacia los granos de café, los cuales reposarán sobre una placa de acero inoxidable perforada al 40% con agujeros de 4mm de diámetro. Para garantizar un secado uniforme se empleará un rastrillo que se desplazará por toda la capa de granos mediante tornillo sin fin accionado por un motor a pasos. (Ver Figura 3.2)

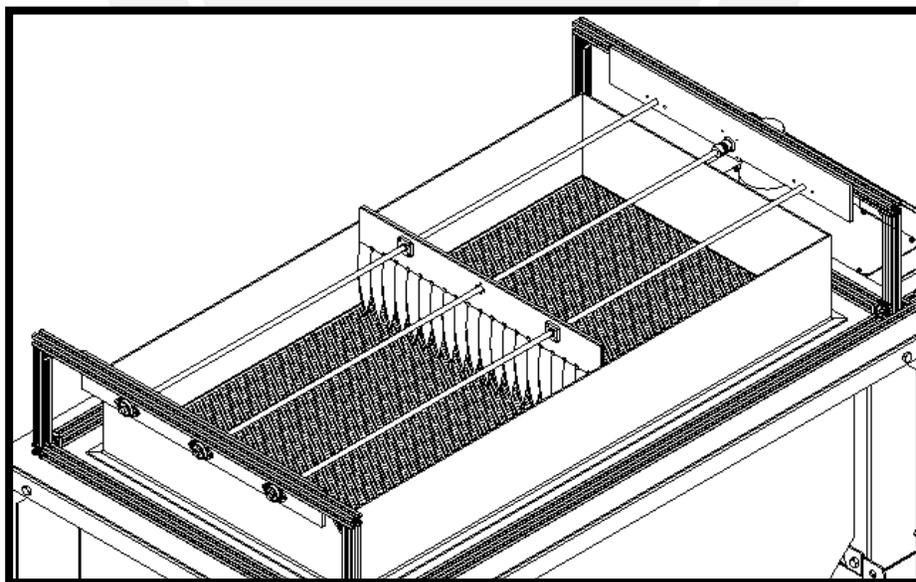


Figura 3.2: Vista isométrica de la capa de granos

Fuente: Propia

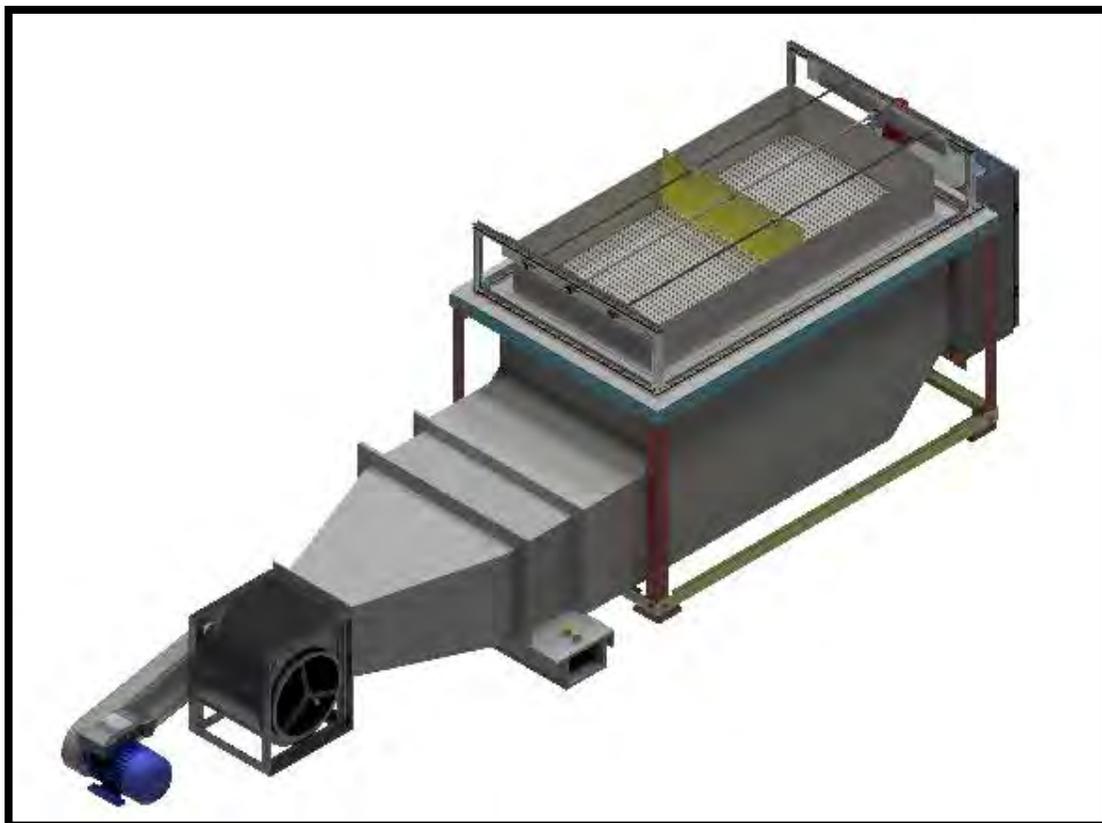


Figura 3.3: Diseño de la secadora de granos de café

Fuente: Propia

Posteriormente, se procederá a medir la temperatura y humedad mediante un sensor que enviará los datos a un PLC, el cual controlará la primera magnitud física usando un control On/Off para el calentador eléctrico y, en simultáneo, realizará el cálculo de tiempo de secado en función a la temperatura, humedad relativa, cantidad de granos de café, humedad inicial y final del producto, espesor de la capa, área de secado y velocidad del aire. Además, remitirá una señal al motor a pasos cuando se requiera agitar los granos.

Finalmente, una vez finalizado el proceso, se apagará el calentador, el ventilador y se encenderá una luz indicando que los granos han llegado a una humedad de 11%. La descarga de los granos se hará de forma manual. Se puede observar detalladamente el sistema en la Figura 3.3 y sus dimensiones principales en la Figura 3.4.

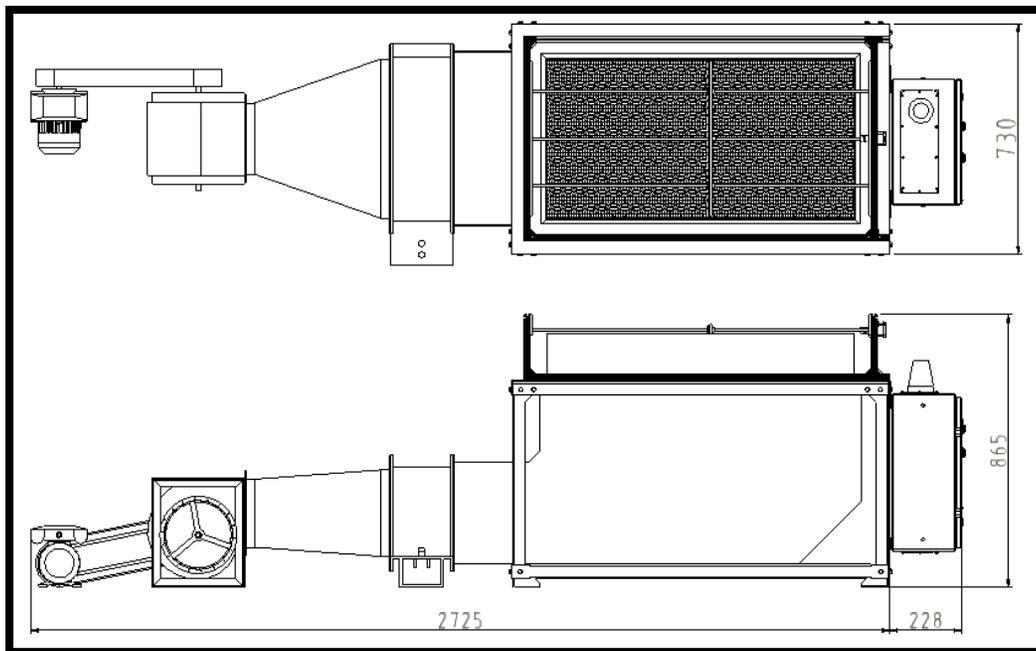


Figura 3.4: Dimensiones principales del sistema de secado

Fuente: Propia

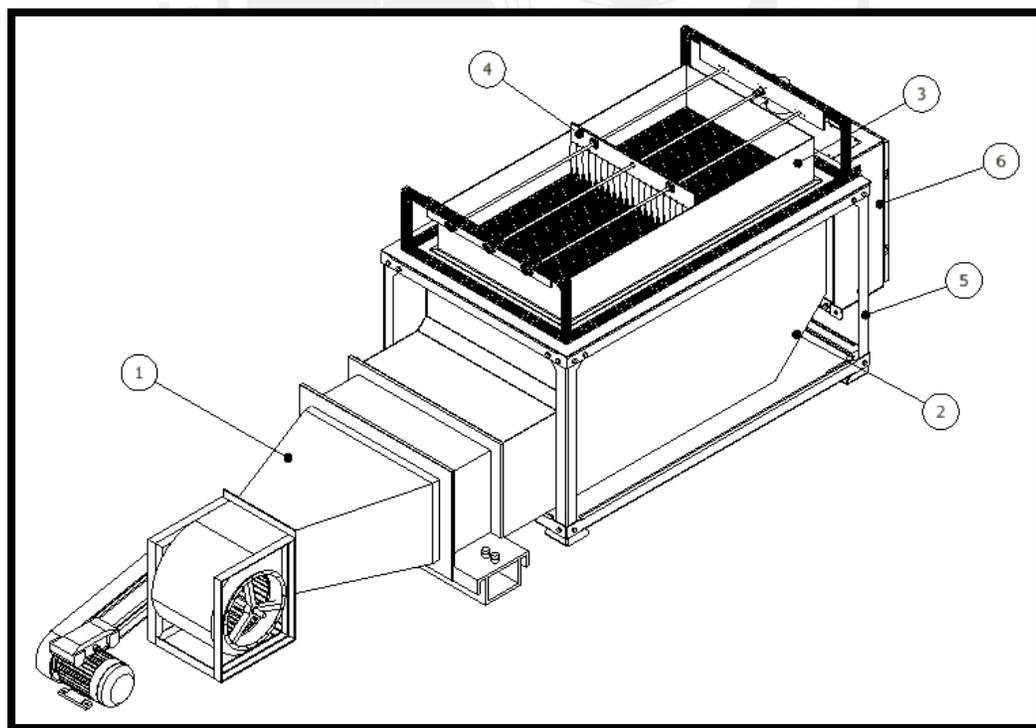


Figura 3.5: Secadora de café

Fuente Propia

En la Figura 3.5 se aprecia la vista isométrica del diseño resaltando las partes más relevantes. A continuación, se procederá a dilucidar cada parte indicada.

- **Ducto concéntrico**

La parte 1 corresponde al ducto concéntrico, por él pasará el aire proveniente del ventilador centrífugo hasta el calentador eléctrico. Su geometría se debe a la necesidad de unir el área de salida del aire del ventilador con la entrada del calentador eléctrico.

- **Ducto intermedio**

La parte 2 corresponde al ducto intermedio. El aire caliente atravesará este ducto, por lo cual es importante que posea un aislamiento térmico en su interior. Su geometría hace que el aire atraviese la capa de granos de manera perpendicular.

- **Base de secado**

La parte 3 corresponde a la base de secado, sobre esta reposarán los granos de café. Por tal motivo, debe ser de acero inoxidable para no dañar el grano y así resista el peso.

- **Mecanismo de agitación**

La parte 4 corresponde al rastrillo, el cual tendrá un movimiento lineal a través de la capa de granos. Dicha acción será realizada mediante un motor a pasos que girará un tornillo sin fin.

- **Soporte**

La parte 5 corresponde al soporte en el cual reposarán el ducto de 90°, la base de secado y el mecanismo de agitación. También está diseñado para posicionar de una manera óptima la unión entre el ducto de 90° con el calentador eléctrico y la base de secado.

- **Tablero de control**

La parte 6 corresponde al tablero de control del sistema, en él estará el PLC junto con los pulsadores de inicio y parada de emergencia. Así como también los pilotos y alarma de emergencia. El tablero será proporcionado por la empresa Manufacturas Eléctricas S.A.

## 3.2 Subsistema mecánico

### 3.2.1 Evaluación térmica

La secadora de café se ubicará en Pacaybamba, en el departamento de Junín, Perú; localidad que cuenta con una altitud 1369 m.s.n.m. Basándonos en datos meteorológicos, según The Weather Company, y asumiendo que la máquina empezará a trabajar a las 8 am, se tomará como indicador la temperatura y humedad relativa del ambiente (en este caso se tiene una temperatura de 20°C y una humedad del 70%). Se empleará un calentador eléctrico para alcanzar una  $T_s = 35^\circ\text{C}$  y obtener una  $T_c = 19.9^\circ\text{C}$  hasta llegar a la humedad final del café. (Ver Figura 3.7)

Para el cálculo del sistema se tomará en cuenta una capacidad de 30 kg de granos de café con una humedad de 55%. Estos granos serán distribuidos en una capa de 10 cm de espesor y tendrá un área de 0.5x0.97m. El sistema contará con un mecanismo de agitación y un ventilador para transportar el aire caliente hacia los granos. Para el cálculo de tiempo de secado se tienen los siguientes datos de entrada (ver Tabla 3.1):

Tabla 3.1  
Datos de entrada

Datos de entrada	Mt(kg)	Xi	Xf	Xc	Ts(C°)	T(C°)
	30	55	11	31	35	20
Tc(C°)	Hr	pc(kg/m <sup>3</sup> )	pa(kg/m <sup>3</sup> )	Ca(kJ/kg-°K)	r0(m)	e(m)
19.9	0.29	620	12	1	0.0028	0.1

Fuente: Propia

A continuación, se observa la Tabla 3.2 y 3.3 con los resultados obtenidos, los cuales fueron adquiridos utilizando la carta psicométrica y los parámetros de secado.

### Parámetros de secado:

- Humedad Relativa ( $\Phi$ ): es relación entre la cantidad de vapor de agua que tiene una masa de aire y la máxima que podría tener.

$$\Phi = \frac{m_v}{m_{max}} \times 100\% \quad (1.1)$$

Donde:  $m_v$ : Masa de vapor de agua, kg

$m_{max}$ : Masa de vapor máxima, kg

- Humedad en base húmeda y en base seca: la medición del grano se realiza en base húmeda, pero para ciertos cálculos es preferible usar la humedad en base seca. A continuación, se expresa la relación que existe entre ambas:

$$b_h = \frac{b_s}{100 + b_s} \quad (1.2)$$

Donde:  $b_h$ : Humedad en base seca, %

$b_s$ : Humedad en base húmeda, %

- Contenido de humedad en base húmeda: se define con la siguiente expresión

$$X_h = \frac{m_a}{m_s + m_a} \quad (1.3)$$

Donde:  $m_a$ : Masa de agua en el sólido, en kg

$m_s$ : Masa de materia seca, en kg

- Contenido de humedad en base seca: es el porcentaje de agua contenida en el sólido seco.

$$X_s = \frac{m_a}{m_s} \quad (1.4)$$

- Humedad de equilibrio: es cuando la presión de vapor de agua en el aire se iguala con la presión parcial de agua que está en el sólido. Según Trejos (1986), se determina el contenido de humedad de equilibrio para café empleando la siguiente fórmula:

$$X_e = (P_1 * H_r + P_2 * H_r^2 + P_3 * H_r^3) * e^{(Q_1 * H_r + Q_2 * H_r^2 + Q_3 * H_r^3) * T} \quad (1.5)$$

Donde:  $X_e$ : Contenido de humedad de equilibrio, en %Bs (Base seca)

$H_r$ : Humedad relativa del aire, decimal

$T$ : Temperatura del aire, °C

$P_1 = 61.030848$   $Q_1 = -0.037049$

$P_2 = -108.37141$   $Q_2 = 0.070114$

$P_3 = 74.461059$   $Q_3 = -0.035177$

La ecuación es válida en un rango de temperaturas entre 10 - 56°C y humedades relativas entre 0 y 100%. La  $H_r$  se calcula mediante la carta psicométrica.

- Humedad crítica: cuando un producto alcanza el porcentaje de humedad crítica, la velocidad de secado decrece como se aprecia en la Figura 3.6.

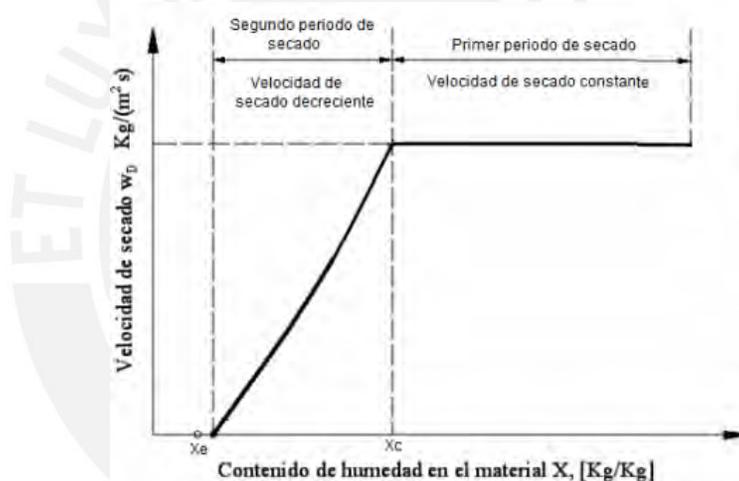


Figura 3.6 Contenido de humedad versus velocidad de secado  
Fuente: TREYBAL, R., 1980

En el caso del café, y debido a que sus propiedades son parecidas a las del cacao, según Shelton B (1967), para una temperatura de 35°C el contenido de humedad crítica ( $X_c$ ) es de 31%.

- Calor latente de vaporización del agua en el café pergamino: es la energía que se necesita para realizar el cambio de fase. Según Trejos (1986) se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$L = (2502.4 - 2.42958 * T_c)[1 + 1.44408 * e^{-21.5011 * X_i}] \quad (1.6)$$

Donde:  $L$ : Calor latente de vaporización del café pergamino,  $\text{kJ kg}^{-1}$

$T_c$ : Temperatura del café,  $^{\circ}\text{C}$

$X_i$ : Contenido de humedad inicial del café, decimal, bs

- Periodo de velocidad constante ( $R_c$ ): según Treybal (1980) se calcula con la siguiente fórmula:

$$R_c \geq \frac{H_c(T_s - T_c)}{L} \quad (1.7)$$

Donde:  $H_c$ : Coeficiente de transferencia de calor por convección entre el aire y el grano, en  $\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$

$T_s$ : Temperatura de secado, en  $^{\circ}\text{C}$

$T_c$ : Temperatura de la superficie del café, en  $^{\circ}\text{C}$

El coeficiente de transferencia de calor por convección entre el aire y el grano se calcula mediante la fórmula según Brooker et al (1992):

$$H_c = A * C_a * G_a * \left( \frac{2 * r_0 * G_a}{C + DT} \right)^B \quad (1.8)$$

Donde:  $r_0$ : radio equivalente del grano de café, en m

$C_a$ : calor específico del aire, en  $\text{kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$

$G_a$ : flujo de aire, en  $\text{kg m}^{-2} \text{h}^{-1}$

$T$ : temperatura del aire, en K

$A=0.2755$ ;  $B=-0.34$ ;  $C=0.06175$ ;  $D=0.000165$

El flujo de aire ( $G_a$ ) se calcula con la siguiente fórmula:

$$G_a = v_a * 3600 * p_a \quad (1.9)$$

Donde:  $v_a$ : velocidad del aire, en  $\text{m s}^{-1}$

$p_a$ : Densidad del aire,  $1.2 \text{ kg m}^{-3}$

El tiempo de secado se calcula con la siguiente ecuación:

$$t_c = \frac{m_s(X_i - X_c)}{A_s * R_c} \quad (1.10)$$

Donde:  $X_i$ : humedad inicial del café

$X_c$ : humedad crítica del café

$A_s$ : Área de secado, en  $\text{m}^2$

- Periodo de velocidad decreciente ( $R_d$ ): se da cuando el producto a secar alcanza la humedad crítica. Según Treybal (1980) se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$R_d \geq \frac{R_c}{\ln\left(\frac{X_c - X_e}{X_f - X_e}\right)} \quad (1.11)$$

Donde:  $X_f$ : humedad final del café

$X_e$ : humedad de equilibrio

El tiempo de secado decreciente se calcula con la siguiente ecuación, cuyos parámetros ya fueron definidos en líneas anteriores:

$$t_d = \frac{m_s(X_c - X_e)}{A_s * R_d} \quad (1.12)$$

Finalmente, el tiempo total de secado se obtiene:

$$T_t = t_c + t_d \quad (1.13)$$

- Temperatura del café durante el secado ( $T_c$ ): se obtiene a partir de la carta psicométrica. Para 35°C se adquiere una temperatura de bulbo húmedo de 19.9°C, es decir,  $T_c = 19.9^\circ\text{C}$ . (Ver Figura 3.7)
- Área de secado ( $A_s$ ): es el área de café que tendrá contacto con el aire caliente, se expresa con la siguiente fórmula:

$$A_s = \frac{m_t}{\rho_c * e} \quad (1.14)$$

Donde:  $m_t$ : masa de trabajo, en kg

$\rho_c$ : densidad del café, 620 kg m<sup>-3</sup>

e: espesor de la capa de granos, en m

### Carta Psicométrica:

Se puede apreciar en la Figura 3.6 el proceso que realiza el aire, el cual ingresa a una temperatura de 20°C y una humedad relativa del 70%, para posteriormente ser calentado hasta alcanzar los 35°C y una humedad del 29%. En este punto se puede apreciar que contenido de agua en aire seco ( $W$ ), tanto en el punto 1 como el 2 son iguales ( $W_1 = W_2 = 0.0124$  lb agua /lb aire seco = 0.0056 kg de vapor de agua / kg de aire seco).

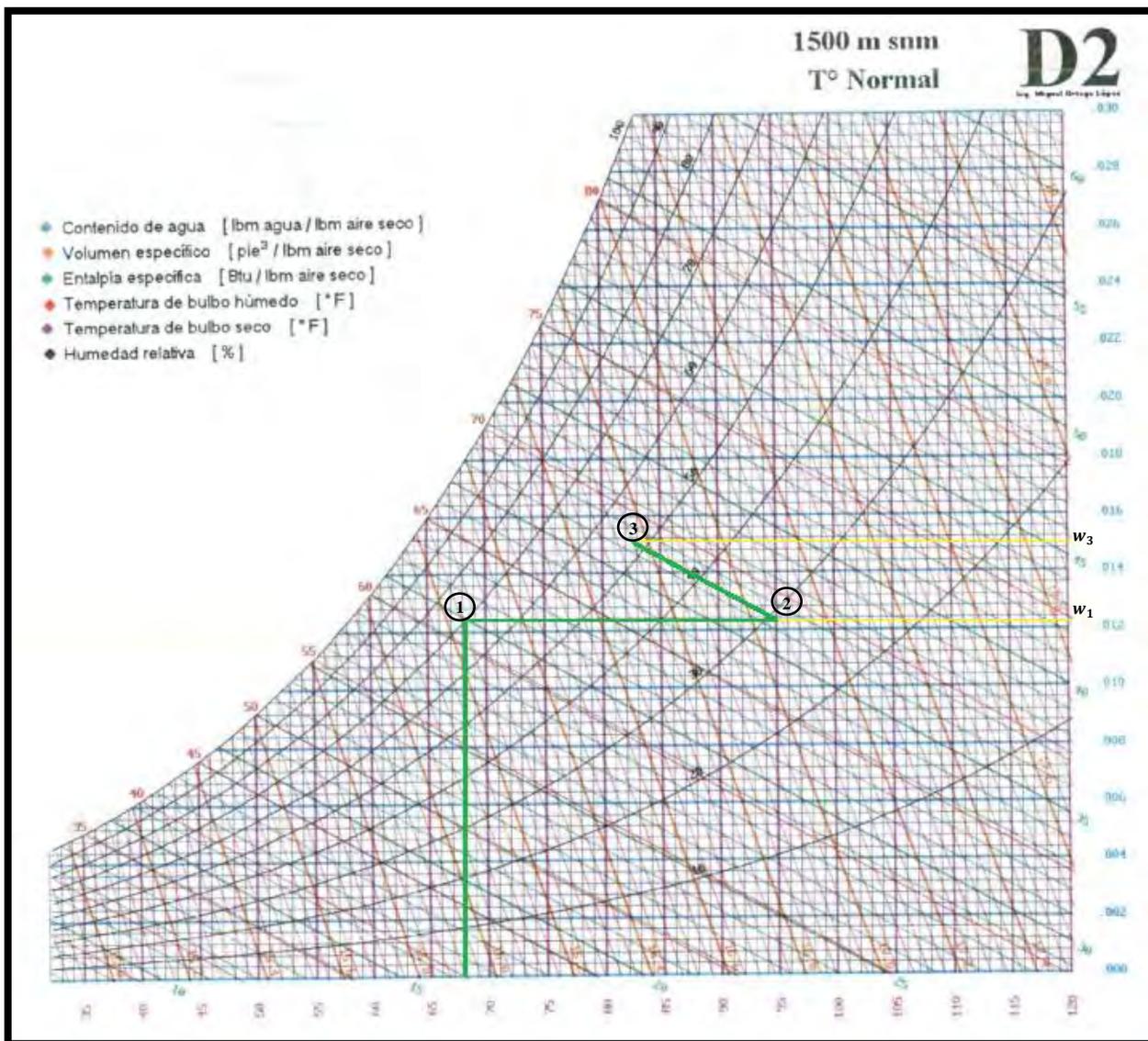


Figura 3.7. Carta Psicométrica a temperaturas normales

Fuente: <http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/bitstream/28000/861/1/L-SENESCYT-0077.pdf>

Tabla 3.2

Datos obtenidos a partir de las ecuaciones

Datos obtenidos:	Ms(kg)	L(kJ/kg)	As(m <sup>2</sup> )	Xe (bh)
	13.5	2454.08	0.484	7.85%

Fuente: Propia

Tabla 3.3  
Resultados variando la velocidad del aire

V(m/s)	Ga (kg/h*m <sup>2</sup> )	Hc (W/m <sup>2</sup> - °K)	Rc (kg/h*m <sup>2</sup> )	Tc (h)	Rd (kg/h*m <sup>2</sup> )	Td (h)	Tt (h)
0.4	1 728	104.71	2.32	2.89	1.16	5.55	8.44
0.42	1 814.4	108.14	2.40	2.80	1.20	5.38	8.17
0.44	1 900.8	111.51	2.47	2.71	1.24	5.22	7.93
0.46	1 987.2	114.83	2.54	2.63	1.28	5.06	7.70
0.48	2 073.6	118.10	2.62	2.56	1.31	4.92	7.48
0.5	2 160	121.33	2.69	2.49	1.35	4.79	7.28

Fuente: Propia

Para evitar daños en el grano (aplastamiento) se utilizará una velocidad de 0.42 m/s en la capa de granos. Esto debido a que el tiempo total de secado obtenido se asemeja a una jornada laboral y a que en la zona la temperatura no decrece menos de 20°C entre las 8am y 6pm (The Weather Company, 2016). El tiempo total para secar 30kg de café será de 8h aproximadamente.

Se procederá a calcular la humedad relativa con la que sale el aire. Esto para asegurarnos que el aire no sale condensado. Para ello emplearemos la siguiente ecuación:

$$\dot{m}_a = \frac{m_{ar}}{[T_t * (W_3 - W_1)]} \quad (1.15)$$

Donde:  $\dot{m}_a$ : flujo másico, kg h<sup>-1</sup>  
 $m_{ar}$ : masa de agua retirada, kg  
 $W_3$ : kg de vapor de agua / kg de aire seco

Para calcular el flujo másico ( $\dot{m}_a$ ) se usará la siguiente expresión:

$$Q_q = \vartheta * \dot{m}_a \quad (1.16)$$

Donde:  $\vartheta$ : volumen específico del aire, en m<sup>3</sup> kg<sup>-1</sup>  
 $Q_q$ : Caudal, m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>

El caudal se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$Q_q = v_a * A_s \quad (1.17)$$

Donde:  $v_a$ : velocidad del aire,  $0.42 \text{ m s}^{-1}$

$A$ : área de secado,  $0.484 \text{ m}^2$

Reemplazando,  $Q_q = 731.8 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$

El volumen específico del aire se calcula de la siguiente manera:

$$\vartheta = \frac{R_a * T(1 + 1.608 * W_1)}{P_a} \quad (1.18)$$

Donde:  $R_a$ :  $286.9 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$

$T$ : temperatura del aire,  $293\text{K}$

$W_1$ :  $0.0056 \text{ kg}$  de vapor de agua por  $\text{kg}$  de aire seco

$P_a$ : presión atmosférica,  $74600 \text{ Pa}$

Reemplazando se obtiene que  $\vartheta = 1.137 \text{ m}^3/\text{kg}$ , usando la ecuación (1.16) se obtiene que  $\dot{m}_a = 643.68 \text{ kg/h}$ .

Para calcular la masa de agua retirada ( $m_{ar}$ ) se emplearán las siguientes ecuaciones:

$$m_{ar} = m_{ai} - m_{af} \quad (1.19)$$

$$m_{ai} = m_t - m_s \quad (1.20)$$

$$m_{af} = \frac{X_f * m_s}{1 - X_f} \quad (1.21)$$

Donde:  $m_{ai}$ : masa de agua inicial,  $\text{kg}$

$m_{af}$ : masa de agua final,  $\text{kg}$

$m_t$ : masa total,  $30\text{kg}$

$m_s$ : masa de materia seca,  $13.5 \text{ kg}$

Operando las ecuaciones (1.19), (1.20) y (1.21), se obtiene que  $m_{ar} = 14.83 \text{ kg}$ . Reemplazando este valor en la ecuación (1.15), nos da como resultado que  $W_3 = 0.0069 \text{ kg}$  de vapor de agua por  $\text{kg}$  de aire seco o  $W_3 = 0.0152 \text{ lb agua} / \text{lb aire seco}$ . Es decir, el flujo de aire que sale de la máquina sale aproximadamente al 50% de humedad relativa., lo cual es un resultado válido y real. Ver Figura 3.7.

### 3.2.2 Selección de componentes

- **Ventilador centrífugo:**

Es necesario transportar el aire desde el calentador hasta la capa de granos. Para lograrlo se hará uso de un ventilador centrífugo para vencer cierta presión en el sistema. Se debe conocer el caudal y las pérdidas de presión. Esta última se calcula en el ducto concéntrico, en el calentador eléctrico, en el ducto de 90°, en la plancha perforada y en la capa de granos de café.

Según lo calculado en líneas anteriores, se sabe que el caudal ( $Qq$ ) es  $731.8 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ . Además de ello, se deben evaluar las pérdidas de presión en el sistema para seleccionar el ventilador más adecuado, de esta manera se garantiza un rendimiento óptimo. Según Gutierrez (2012), la pérdida de presión total ( $P_{pt}$ ) se calcula mediante la siguiente fórmula, la cual presenta un factor de seguridad del 20%:

$$P_{pt} = 1.2 * (P_{pa} + P_{pm} + P_{pc} + P_{pp} + P_{pe}) \quad (1.22)$$

Donde:

- $P_{pa}$ : pérdida de presión en la sección de entrada, Pa
- $P_{pm}$ : pérdida de presión en la sección media, Pa
- $P_{pc}$ : pérdida de presión en la capa de café, Pa
- $P_{pp}$ : pérdida de presión en la plancha perforada, Pa
- $P_{pe}$ : pérdida de presión en el calentador eléctrico, Pa

Para calcular la pérdida de presión en la sección de entrada (ducto concéntrico) se usará la siguiente fórmula planteada por Mataix (1982):

$$P_{pa} = p_a * m * \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2 * \frac{v_1^2}{2} \quad (1.23)$$

Donde:

- $p_a$ : densidad del aire,  $1.2 \text{ kg m}^{-3}$
- $m$ : coeficiente de la Tabla 3.4
- $A_1$ : área de ingreso del aire,  $0.0515 \text{ m}^2$
- $A_2$ : área de salida del aire,  $0.135 \text{ m}^2$
- $v_1$ : velocidad de ingreso del aire,  $3.95 \text{ m s}^{-1}$

Tabla 3.4  
Valores de  $m$  según el ángulo de inclinación

$\alpha^\circ$	2.5	5	7.5	10	15	20	25	30
$m$	0.18	0.13	0.14	0.16	0.27	0.43	0.62	0.81

Fuente: <https://conver2.files.wordpress.com/2012/11/ingenieria-claudio-mataix-mecanica-de-fluidos-y-maquinas-hidraulicas1.pdf>

Debido a la geometría del primer ducto,  $\alpha = 20^\circ$ . Reemplazando se obtiene que:

$$P_{pa} = 1.2 * 0.43 * \left(1 - \frac{0.0515}{0.135}\right)^2 * \frac{3.95^2}{2} = 1.54 Pa$$

Para calcular la pérdida de presión en la sección media (ducto intermedio) se hará uso de la siguiente fórmula:

$$P_{pm} = k * \frac{v^2}{16.35} * 9.8 \quad (1.24)$$

Donde:  $k$ : constante de perdidas en sección rectangular, ver Figura 3.8  
 $v$ : velocidad media, 1.5m/s

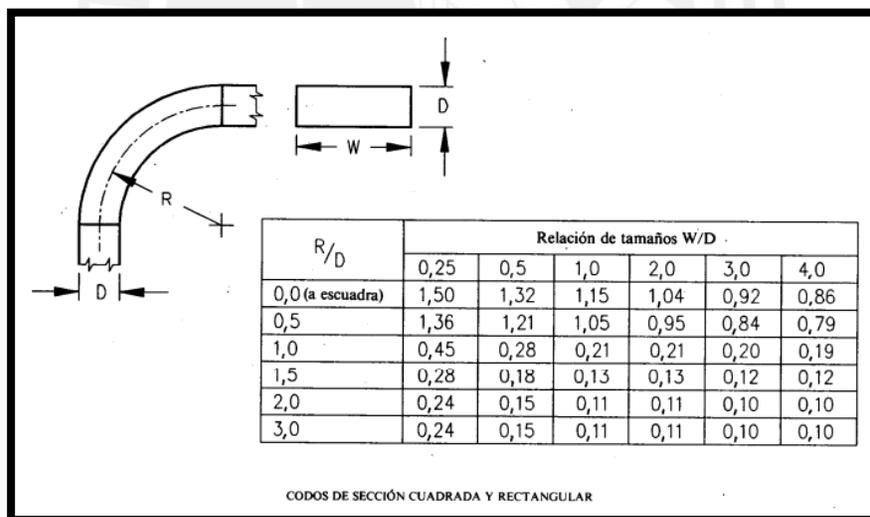


Figura 3.8. Coeficiente de codos de sección cuadrada y rectangular

Fuente: [http://www.fi.uba.ar/archivos/posgrados\\_apuntes\\_CAPITULO\\_CALCULO\\_CONDUCTOS.pdf](http://www.fi.uba.ar/archivos/posgrados_apuntes_CAPITULO_CALCULO_CONDUCTOS.pdf)

Según el diseño, se tiene un valor de  $R=950$  mm,  $D=970$ mm y  $W = 500$ , obteniendo  $k = 0.28$ , por lo tanto:

$$P_{pm} = 0.28 * \frac{1.5^2}{16.35} * 9.8 = 1.59 Pa$$

Para calcular la pérdida de presión en la capa de café se empleará la siguiente fórmula planteada por López y Ospina (1990):

$$\frac{Q_q}{A_s} = (9.523 - 0.0476 * X_i) \left| \frac{P_{pc}}{e} \right|^{0.676} \quad (1.25)$$

Donde:  $Q_q$ : caudal del aire,  $12.2 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$

$A_s$ : área de secado,  $0.484 \text{ m}^2$

$e$ : espesor de la capa de café,  $0.1 \text{ m}$

$X_i$ : contenido de humedad inicial del café,  $55 \%$

Por lo tanto:

$$P_{pc} = \sqrt[0.676]{\frac{e^{0.676} * \frac{Q_q}{A_s}}{(9.523 - 0.0476 * X_i)}}$$

$$P_{pc} = \sqrt[0.676]{\frac{0.1^{0.676} * \frac{12.2}{0.484}}{(9.523 - 0.0476 * 55)}}$$

$$P_{pc} = 66.52 \text{ Pa}$$

Para calcular la pérdida de presión en la plancha se usará la siguiente fórmula planteada por Costales (1995):

$$P_{pp} = 0.1 * p_{pc} \quad (1.26)$$

$$P_{pp} = 6.65 \text{ Pa}$$

Según Gutierrez (2012), la pérdida de presión promedio en intercambiadores de calor es de  $18.133 \text{ mmca}$  (milímetro columna de agua) para caudales de  $100 \text{ m}^3/\text{min}$  (en este caso el caudal es de  $12.2 \text{ m}^3/\text{min}$ ). Se sabe que las pérdidas varían de manera casi lineal, por tal motivo se hará uso de la regla de 3:

$$P_{pe} = 18.113 \text{ mm. c. d. a} \frac{9.80665 \text{ Pa}}{1 \text{ mm. c. d. a}} * \frac{12.2}{100} = 21.64 \text{ Pa}$$

Entonces  $P_{pt} = 1.2(1.54 + 1.59 + 66.52 + 6.65 + 21.64) = 117.53 \text{ Pa} = 12 \text{ mmca}$

Teniendo en cuenta un caudal de  $731.8 \text{ m}^3/\text{h}$  y una pérdida de presión de  $12 \text{ mmca}$ , se observa en la Figura 3.9 que el ventilador trabajará a una velocidad de  $1000 \text{ RPM}$ , tendrá una potencia aproximada de  $45 \text{ W}$  y un rendimiento ( $n_v$ ) del  $52\%$ .

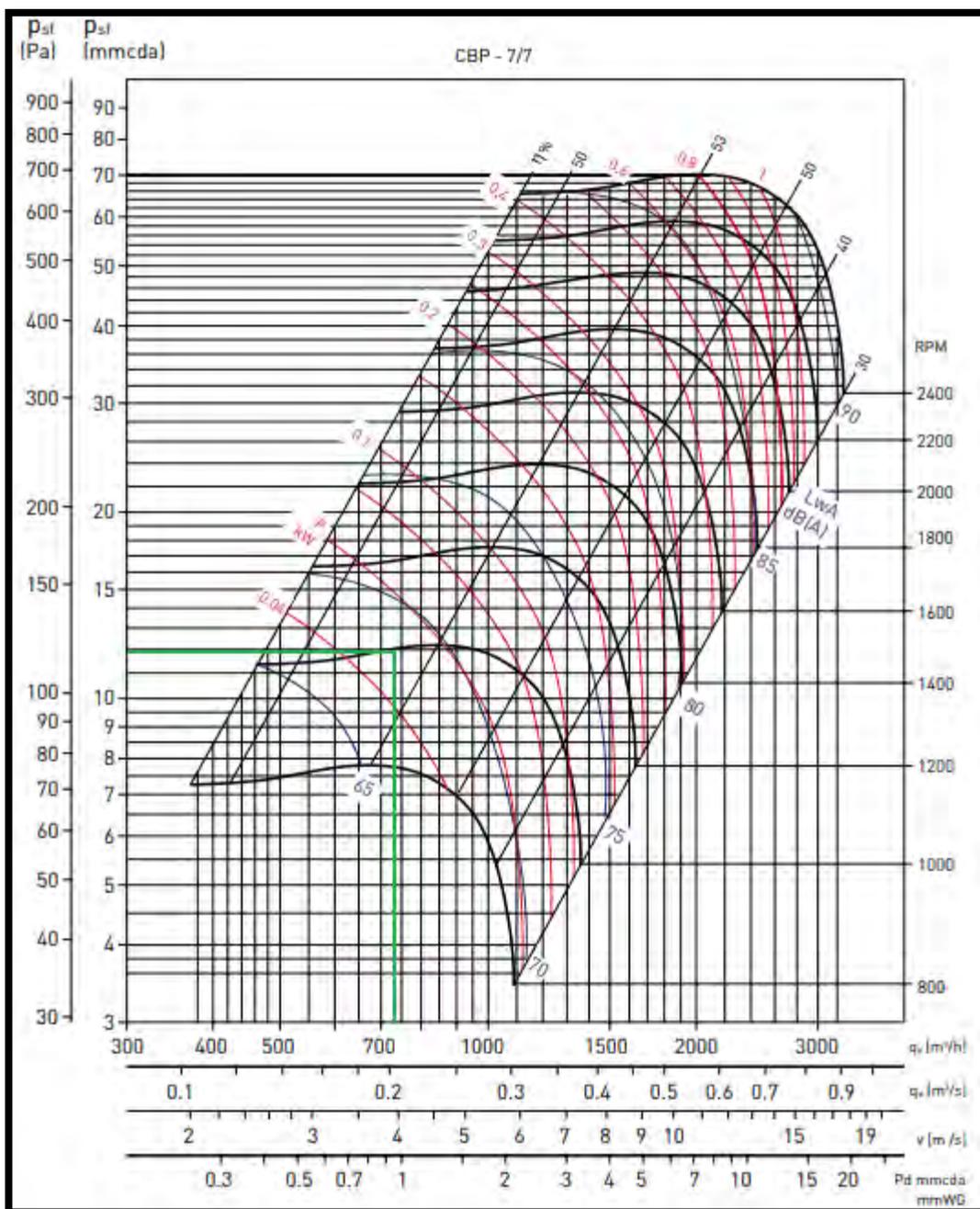


Figura 3.9 Curva característica del ventilador modelo CBP7/7

Fuente: [https://statics.solerpalau.com/media/import/documentation/ES\\_CBP.pdf](https://statics.solerpalau.com/media/import/documentation/ES_CBP.pdf)

Con el fin de verificar los datos obtenidos, utilizamos la siguiente fórmula para calcular la potencia que necesita el aire ( $Pot_a$ ) para vencer las resistencias del sistema:

$$Pot_a = Q_q * h_{TV} * g \quad (1.27)$$

Donde:  $Q_q$ : caudal,  $0.203 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$   
 $h_{TV}$ : altura de presión total a entregar por el ventilador, 12 mmca  
 $g$ : gravedad,  $9.8 \text{ m} \text{ s}^{-2}$

Se obtiene que  $Pot_a = 23.88 \text{ W}$ . La potencia que debe brindar el ventilador se obtiene de la siguiente relación:

$$Pot_v = \frac{Pot_a}{n_v} = \frac{23.88}{0.52} = 45.9 \text{ W}$$

Con los datos del caudal ( $Q_q = 731.8 \text{ m}^3/\text{h}$ ) y pérdidas de presión ( $P_{pt} = 117.53 \text{ Pa}$ ), se selecciona un ventilador centrífugo. En este caso se elegirá un ventilador centrífugo de la empresa S&P modelo CBP 7/7 ya que cumple con los requerimientos tanto de caudal como de presión (ver Figura 3.10), el cual viene con un motor monofásico proporcionado por el fabricante según los RPM y la potencia requerida. Para la parte de potencia, se usará un motor monofásico a 230Vac / 60Hz con una velocidad de 1000RPM, una potencia de 46W y un rendimiento del 52% (valores obtenidos mediante la gráfica del ventilador proporcionada por el fabricante, ver Figura 3.9)



Figura 3.10: Ventilador centrífugo modelo CPB7/7

Fuente: [https://statics.solerpalau.com/media/import/documentation/ES\\_CBP.pdf](https://statics.solerpalau.com/media/import/documentation/ES_CBP.pdf)

- **Calentador eléctrico:**

Para alcanzar la temperatura de 35°C se usará un calentador eléctrico ya que no genera emisión de residuos que pueden perjudicar la calidad del grano. Además, requiere de menos mecanismos para su funcionamiento. Por lo tanto, tendrá menos mantenimiento a diferencia de un intercambiador de calor o radiador. Se puede conocer la potencia a emplear en el sistema usando la siguiente fórmula:

$$\dot{Q} = \dot{m}_a * (h_1 - h_2) \quad (1.28)$$

Donde:  $\dot{m}_a$ : flujo másico de aire, 643.68 kg h<sup>-1</sup>

$h_1$ : entalpia al inicio, en kJ kg<sup>-1</sup>

$h_2$ : entalpia al final, en kJ kg<sup>-1</sup>

Usando la carta psicométrica, empezando a una temperatura de 20°C con una humedad del 70 % hasta los 35°C con una humedad del 29%, se obtiene que  $h_1 = 30 \text{ Btu/lb} = 69.8 \text{ kJ/kg}$  y  $h_2 = 36.5 \text{ Btu/lb} = 84.9 \text{ kJ/kg}$ . Reemplazando en la ecuación (1.28):

$$\dot{Q} = 643.68 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * (84.9 - 69.8) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} * \left( \frac{1 \text{h}}{3600 \text{s}} \right) = 2.7 \text{kW}$$

Se utilizará un calentador eléctrico ya fabricado, el proveedor nos brinda la siguiente fórmula (con un factor de seguridad de 1.2 incluida) para calcular la potencia (Ver Anexo E):

$$P = 0.349 * \dot{m}_a * \Delta T \quad (1.29)$$

Donde: P: potencia en el ventilador, en W

$\dot{m}_a$ : flujo másico de aire, 643.68 kg/h

$\Delta T$ : diferencial de temperatura, 15°C

Reemplazando se obtiene que P=3.370 kW, este resultado se asemeja al encontrado antes, lo cual asegura que el sistema funcionará adecuadamente. Según el catálogo, se seleccionará el modelo 6531 ya que se encuentra dentro del rango de temperatura a trabajar. (Ver Figura 3.11)



Figura 3.11. Calentador eléctrico modelo 6531

Fuente: <http://fr.zone-secure.net/55453/398952/#page=76>

### 3.2.3 Diseño de componentes

Los componentes más importantes a diseñarse se mencionan a continuación (Ver planos mecánicos). Además, los cálculos de uniones atornilladas se aprecian en el Anexo F.

- **Ducto concéntrico**

Estará fabricado de aluminio y será conectado al ventilador centrífugo y al calentador eléctrico, por él circulará el aire frío para, posteriormente, ser calentado. La unión del ducto concéntrico con el ventilador centrífugo será mediante tornillos y una empaquetadura. Adicionalmente, se recubrirá con una cinta de aluminio en las uniones para evitar fugas de aire. Esto de igual manera para la unión entre el ducto y el calentador eléctrico. El ducto será fabricado por la empresa CSIMEGA. Las dimensiones principales del ducto se aprecian en la Figura 3.12.

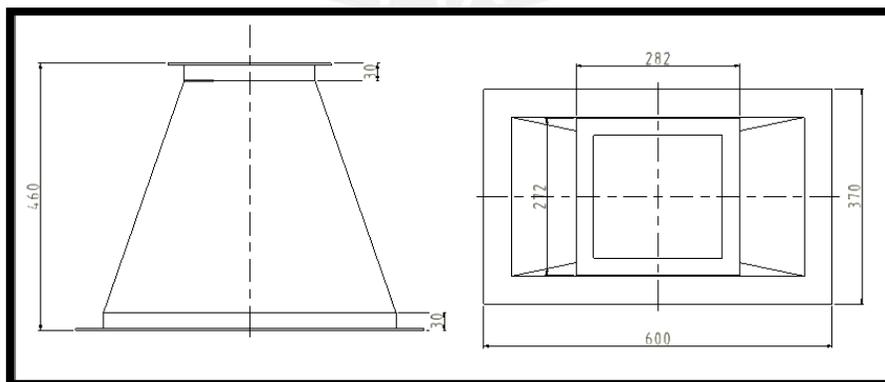


Figura 3.12. Dimensiones principales del ducto concéntrico

Fuente: Propia

- **Ducto intermedio**

La geometría que presenta es necesaria para que el aire que sale del calentador eléctrico llegue perpendicular a la capa de granos. Es un ducto elaborado en plancha de acero inoxidable cortada, doblada y soldada, brindándole estanqueidad al conducto. En su interior se colocarán paneles de lana de vidrio de alta densidad, aglomerada con resinas termoendurecibles. Se empleará una lana con 25mm de espesor ya que es el menor valor en el mercado. Su función es evitar pérdidas por transferencia de calor al ambiente. Se unirá al calentador eléctrico mediante tornillos y empaquetadura, de tal manera que sea lo más hermética posible. De manera similar, se unirá con la base de secado. Este ducto también será elaborado por la empresa CSIMEGA. Sus dimensiones principales se aprecian en la Figura 3.13.

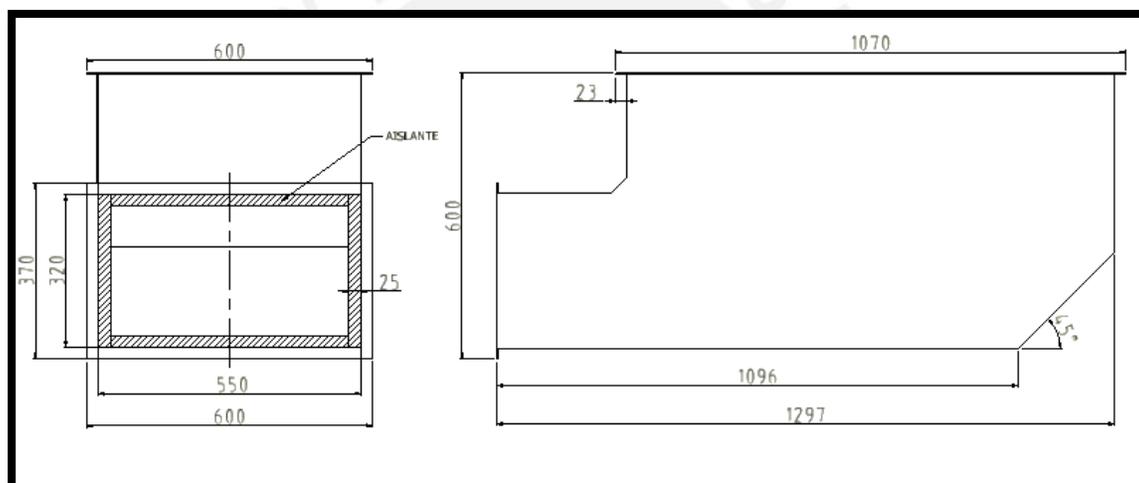


Figura 3.13: Dimensiones principales del ducto intermedio

Fuente Propia.

Es necesario conocer las pérdidas de calor en este ducto para hallar la potencia requerida por el sistema. Para el cálculo del flujo de calor partimos de la siguiente ecuación:

$$\dot{q} = \frac{\Delta T}{\sum R_T} \quad (1.30)$$

Donde:  $\dot{q}$ : Flujo por convección, en W

$\Delta T$ : diferencial de temperatura, 15°C

$\sum R_T$ : Sumatoria de resistencias térmicas, K/W

A continuación, se hallarán las resistencias térmicas que existen en el ducto intermedio.

Resistencia térmica en el interior ( $R_{T1}$ ): debido a que la temperatura del aire caliente y la cara interna del aislamiento serán iguales, este valor resulta muy bajo; por ello, para efectos prácticos se igualará a 0.

Resistencia térmica en el aislamiento ( $R_{T2}$ ): es la resistencia a través del aislamiento, en este caso lana de vidrio.

$$R_{T2} = \frac{e_a}{k_a * A} \quad (1.31)$$

Donde:  $e_a$ : Espesor del aislante, 0.025 m  
 $k_a$ : Conductividad del aislante, 0.04 W/m-K  
 $A_a$ : Área de la superficie del aislante, m<sup>2</sup>

Resistencia térmica en la plancha ( $R_{T3}$ ): es la resistencia a través de la plancha de acero inoxidable.

$$R_{T3} = \frac{e_p}{k_p * A_p} \quad (1.32)$$

Donde:  $e_p$ : Espesor de la plancha, 0.003 m  
 $k_p$ : Conductividad de la plancha, 45 W/m-K  
 $A_a$ : Área de la superficie de la plancha, m<sup>2</sup>

Resistencia térmica exterior ( $R_{T4}$ ): es la resistencia externa.

$$R_{T4} = \frac{1}{h_e * A_p} \quad (1.33)$$

Donde:  $h_e$ : Coeficiente convectivo exterior del aire, W/m<sup>2</sup>-K

El coeficiente convectivo exterior se calcula con los valores de la Tabla 3.5 y la ecuación empírica 1.29 (MELGAREJO,2005, P.88) propuesta por Pinzano (1993), Torella y Palau (1998).

Tabla 3.5  
Parámetros para el cálculo del coeficiente convectivo del aire

Estado de la superficie	v<5m/s			v>5m/s		
	a	b	n	a	b	n
Pulida	4.83	3.3	1	0	6.17	0.78
Rugosa	5.32	3.7	1	0	6.4	0.78

Fuente: MELGAREJO, 2005, P.88

$$h_e = (a + b * v^n) * 1.163 \quad (1.34)$$

Como la máquina se encontrará en un espacio cerrado,  $v = 0$  m/s, de esta manera  $h_e = 5.62$  W/m<sup>2</sup>-K.

El valor del área superficial de todas las caras del aislante se obtiene del modelo 3D, en este caso  $A_a = 2.467$  m<sup>2</sup> y  $A_p = 2.542$  m<sup>2</sup>. Entonces:

$$\sum R_T = R_{T1} + R_{T2} + R_{T3} + R_{T4} = 0 + 0.253 + 2.623 * 10^{-5} + 0.07$$

$$\sum R_T = 0.32 \text{ K/w}$$

De la misma manera,

$$\dot{q} = \frac{\Delta T}{\sum R_T} = \frac{15}{0.32} = 46.875 \text{ W}$$

Finalmente, la potencia requerida sería  $P_r = P + \dot{q} = 3370 + 47 = 3.417 \text{ kW}$

- **Base de secado**

Consta de una plancha de acero inoxidable agujereada con huecos de 4mm de diámetro y una distancia entre centros de 6mm, de esta manera se obtiene un área perforada del 40% por donde pasará el aire caliente hacia la capa de granos. Además, tendrá soldada 4 placas de acero inoxidable en la parte superior, de esta manera se podrá colocar los granos de café en su interior obteniendo un espesor de capa de 10 cm. Sus dimensiones principales se aprecian en la Figura 3.14.

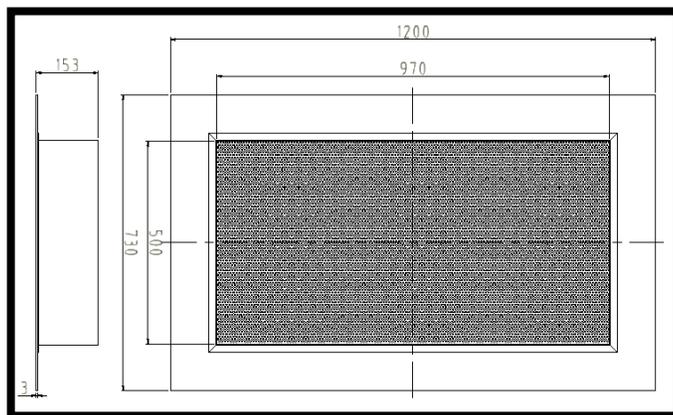


Figura 3.14: Dimensiones principales de la base de secado

Fuente: Propia

- **Mecanismo de agitación**

Consta de una placa de PVC, la cual se calientan hasta  $131^{\circ}\text{C}$  para obtener la forma requerida (rastrillo). Posee un diseño propuesto por CENICAFÉ, el cual garantiza que no se atascará o doblará ya que es usado para agitar granos tanto en el suelo como en bandejas sin problema alguno. Debido a su geometría, garantiza un secado uniforme en los granos (ver Figura 3.15). Dicho rastrillo se unirá a una placa de aluminio y ambas recorrerán la capa de secado de lado a lado mediante un tornillo sin fin accionado por un motor a pasos. La estructura del mecanismo consta de perfiles de aluminio estructural REXROTH, lo cual garantiza estabilidad y rigidez. (Ver Figura 3.16)

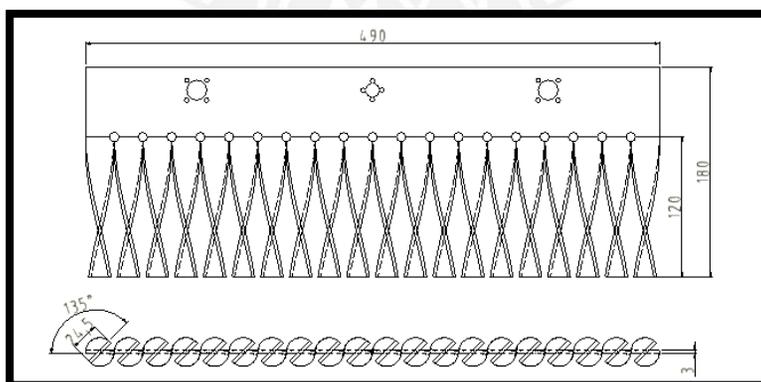


Figura 3.15. Adaptación Rastrillo de PVC propuesto por CENICAFÉ

Fuente: <http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/371/1/avt0346.pdf>

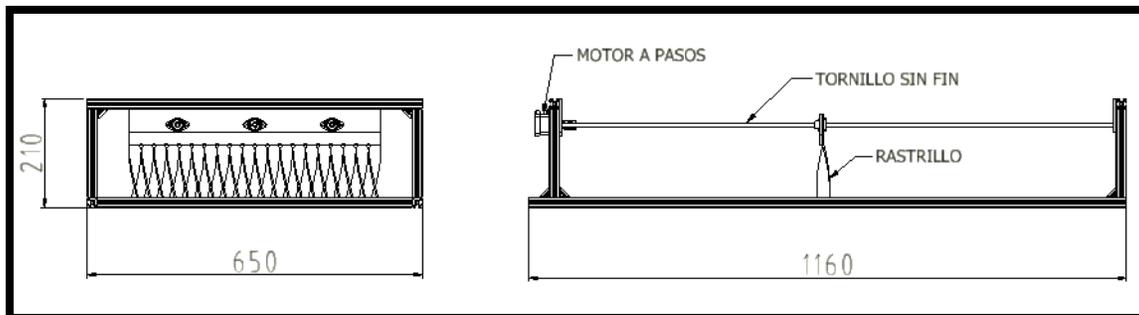


Figura 3.16: Dimensiones principales del rastrillo

Fuente: Propia

- **Soporte**

Es una estructura formada por planchas de 3mm de espesor dobladas y soldadas. Además, cada parte está unida mediante tornillos. Su función es soportar la base de secado, el mecanismo de agitación, el peso del café y el ducto intermedio, brindando estabilidad. Será elaborado por la empresa Manufacturas Eléctricas S.A. y sus dimensiones principales de aprecian en la Figura 3.17. Según el fabricante, dicho soporte es empleado para soportar un peso máximo de 150kg. Según el modelado 3D, el peso de todos los componentes que soportará es un aproximado de 132kg. Es decir, cumple con este requerimiento.

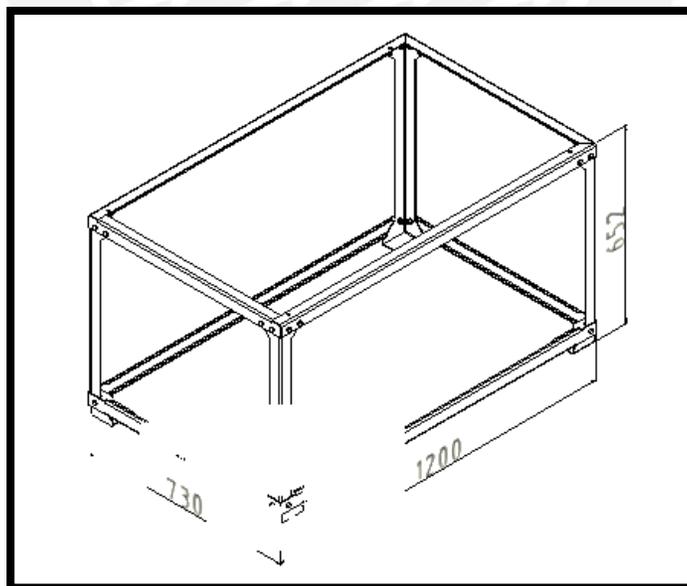


Figura 3.17: Dimensiones principales del soporte

Fuente: Propia

- **Tablero de control**

Está conformado por planchas de acero de 2mm de espesor dobladas, soldadas y empernadas. En él se encontrará el PLC, los circuitos de disparo y demás componentes electrónicos. (Ver figura 3.18)

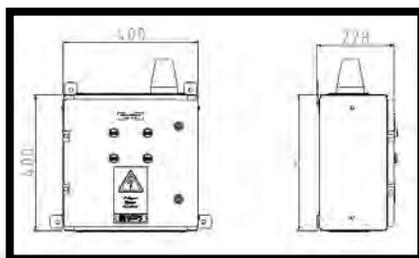


Figura 3.18: Dimensiones principales del tablero de control

Fuente: Propia

### 3.3 Subsistema eléctrico-electrónico

En la Figura 3.19 se puede apreciar el diagrama de conexiones del sistema, en donde de una manera general se observa como irán conectados todos los componentes. El PLC posee 6 salidas digitales, dos para encender o apagar tanto el calentador eléctrico como el motor del ventilador centrífugo. Otras dos para accionar y dar el sentido de giro del motor a pasos. Finalmente, dos salidas para encender la luz de proceso finalizado o una alarma en caso de fallo. Además, recibe dos entradas analógicas para medir la temperatura y humedad relativa. También, tendrá dos entradas digitales, una para inicio del proceso y la otra como parada de emergencia.

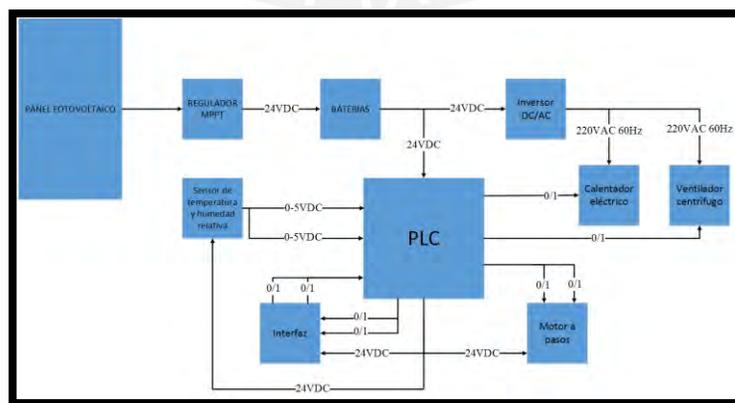


Figura 3.19. Diagrama de conexiones

Fuente: Propia

### 3.3.1 Selección de componentes

- **Sensor de temperatura y humedad relativa:**

Para evitar daños irreversibles en los granos de café es necesario sensor de una manera precisa la temperatura, por ello, se requiere un sensor de temperatura que trabaje en el rango de adecuado y tenga una buena precisión. Además, se necesita un sensor de humedad relativa para estimar el tiempo. Se escogerá un sensor Vaisala INTERCAP HMP60 (ver Figura 3.20) debido a que no requiere recalibración, posee un diseño robusto, dos salidas de voltaje configurables con medición escalable de humedad relativa y temperatura, un consumo de energía bajo y brinda diferentes longitudes de cable disponibles. Sus características principales se observan en la Tabla 3.6.

Tabla 3.6  
Características del sensor Vaisala INTERCAP HMP60

Vaisala INTERCAP HM P60	
Rango de temperatura	-40 ... +60 °C
Precisión	±0.5°C+
Rango de medición	0 ... 100%HR
Precisión	±3%HR
Precisión de salidas analógicas	±0.35%(a35°C)
Vcc	5 ... 28V
Consumo de corriente	1mA
Conector de cable	M8 de 4 pines
Peso	17g

Fuente: <http://es.vaisala.com/Vaisala%20Documents/Brochures%20and%20Datasheets/>



Figura 3.20. Sensor de humedad y temperatura Vaisala INTERCAP HMP60

Fuente: <http://es.vaisala.com/VaisalaImages>

- **Motor a pasos:**

Para garantizar un secado uniforme es necesario tener un mecanismo de agitación, en este caso será un rastrillo (modelo propuesto por CENICAFE), el cual desplazará los granos, que inicialmente se encuentran en la parte inferior, hacia arriba debido al ángulo de inclinación que tendrá. Dicho rastrillo se moverá mediante un tornillo sin fin acoplado a un motor a pasos. A continuación, se procederá a calcular el torque necesario del motor ( $M_l$ ), para ello se usará la siguiente fórmula planteada por Berger:

$$M_l = F * \left( \frac{h}{2 * \pi * \eta} + r_B * \mu_B \right) \quad (1.35)$$

Donde:

- $F$ : Fuerza total en la tuerca, N
- $h$ : Paso del husillo, 0.8 cm
- $\eta$ : Coeficiente de eficiencia para convertir torque en fuerza axial para husillos de acero con tuerca de bronce, 0.3
- $r_B$ : Radio del husillo, 0.4 cm
- $\mu_B$ : Coeficiente de fricción del rodamiento del husillo, cm

Según el DCL de la Figura 3.21,  $F$  se representa con la siguiente ecuación:

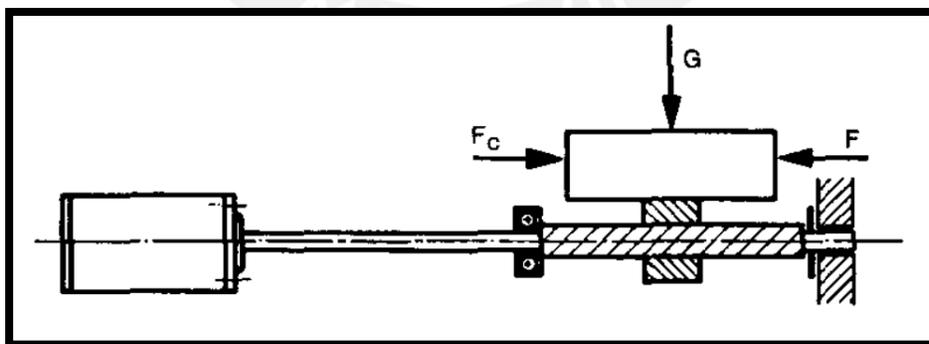


Figura 3.21 Diagrama de cuerpo libre del accionamiento del husillo horizontal  
Fuente: [http://www.esteca55.com.ar/downloads/Selection\\_PaP1-1.pdf](http://www.esteca55.com.ar/downloads/Selection_PaP1-1.pdf)

$$F = \mu_{ab} * G + F_c \quad (1.36)$$

Donde:  $\mu_{ab}$ : Coeficiente del acero en bronce, 0.11  
 $G$ : Peso del carro y estructura, N  
 $F_c$ : Fuerza necesaria para remover los granos, N

Para calcular la fuerza que tendrá el actuador ( $F$ ), se empleará la siguiente fórmula:

$$F_c = m * g * \mu_{ca} \quad (1.37)$$

Donde:  $m$ : masa de café, kg  
 $g$ : fuerza de gravedad,  $9.8 \text{ m s}^{-2}$   
 $\mu_{ca}$ : coeficiente de fricción entre el grano de café y el acero, 0.42

Como en un primer momento el rastrillo deberá mover la masa de granos, se tomará como caso crítico cuando  $m = 30 \text{ kg}$ , ya que conforme avance se removerán menos granos. Entonces  $F_c = 123.5 \text{ N}$ . Para calcular el peso del carro y estructura se usará el modelo 3D, en este caso  $G = 7.06 \text{ N}$ . Reemplazando los valores en la ecuación (1.36), se obtiene que  $F = 124.3 \text{ N}$ . Se sabe que  $r_B * \mu_B = 0.15 \text{ cm}$  para rodamientos de fricción acero/bronce, dicho valor se reemplaza en la ecuación (1.35) de la siguiente manera:

$$M_l = F * \left( \frac{h}{2 * \pi * \eta} + r_B * \mu_B \right) = 124.3 * \left( \frac{0.8}{2 * \pi * 0.3} + 0.15 \right) = 71.4 \text{ Ncm} = 0.714 \text{ Nm}$$

Una vez conocido el torque, es necesario calcular la frecuencia de operación requerida. Para ello se usa la siguiente ecuación:

$$f = \frac{v * Z}{h} \quad (1.38)$$

Donde:  $f$ : Frecuencia, Hz  
 $v$ : Velocidad de avance, cm/s  
 $Z$ : Número de pasos por revolución, pasos/rev

Se trabajará con  $v = 1\text{cm/s}$  y con  $Z = 400$  pasos/rev (half step). Reemplazando en la ecuación (1.38) se obtiene:

$$f = \frac{1 * 400}{0.8} = 500\text{Hz}$$

Las RPM del motor se calcula de la siguiente manera:

$$n = \frac{60 * f}{Z} \quad (1.39)$$

$$n = \frac{60 * 500}{400} = 75 \text{ RPM} = 7.854\text{rad/s}$$

Se utilizará un motor a pasos NEMA 23 cuyas características se observan en la Tabla 3.7. Además, la curva de RPM versus Torque se aprecia en la Figura 3.22. El torque correspondiente a 75RPM es poco más de 80 N.cm. Es decir, se trabajará de manera adecuada ya que se requiere 71.4 N.cm para mover el sistema.

Tabla 3.7  
Características Motor NEMA 23

Motor NEMA 23	
Amperaje por fase	2.8A
Resistencia por fase	0.9Ω
Ángulo de paso	1.8°
Torque	1.26N.m
Medidas	57x57x56mm
Peso	0.7kg

Fuente: <https://www.omc-stepperonline.com/download/23HS22-2804S.pdf>

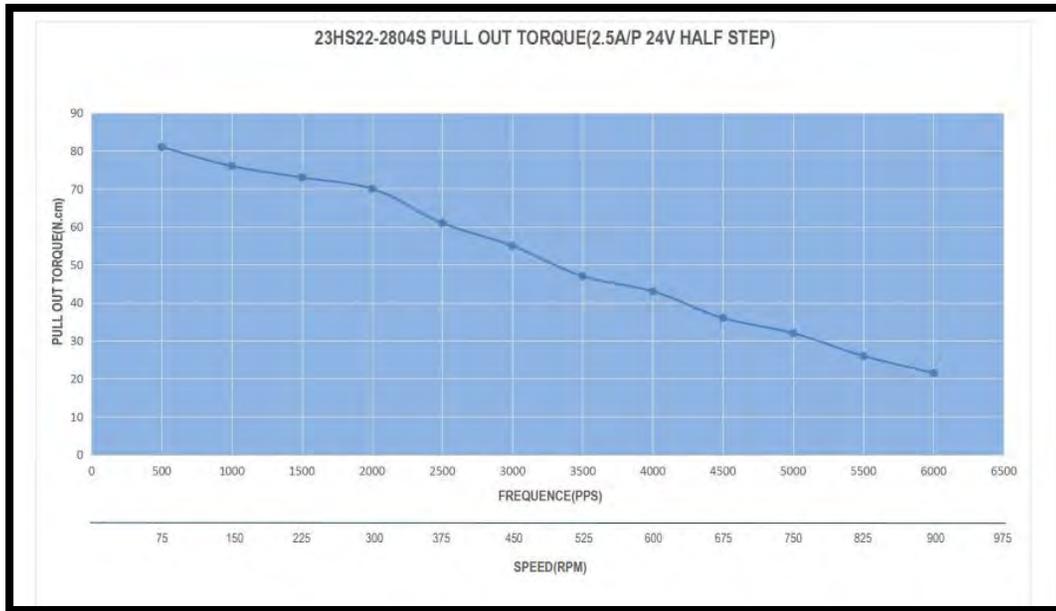


Figura 3.22 Curva RPM versus Torque

Fuente: [https://www.omc-stepperonline.com/download/23HS22-2804S\\_Torque\\_Curve.pdf](https://www.omc-stepperonline.com/download/23HS22-2804S_Torque_Curve.pdf)

Por último, se calcula la potencia del motor a pasos de la siguiente manera:

$$P_{mp} = M_l * n \quad (1.40)$$

$$P_{mp} = 0.714Nm * 7.854 \frac{rad}{s} = 5.6W$$

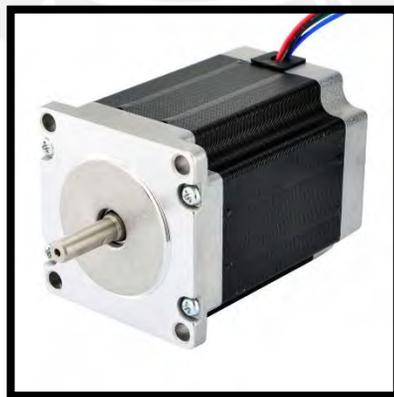


Figura 3.23 Motor NEMA 23

Fuente: <https://www.omc-stepperonline.com/nema-23-bipolar-18deg-126nm-1784ozin-28a-25v-57x57x56mm-4-wires-23hs22-2804s.html?search=23HS22-2804S>

### 3.4 Subsistema de control

#### 3.4.1 Selección de componentes

- **Controlador lógico programable (PLC):**

Es necesario usar un controlador el cual recibirá las señales de los sensores, enviará señales a los actuadores y ejecutará la lógica de control. Se requiere dos entradas digitales, una para iniciar el proceso y otra como parada de emergencia. También se debe disponer de seis salidas digitales independientes para encender o apagar tanto el motor AC del ventilador como el calentador eléctrico, para accionar y cambiar el giro del motor a pasos, para encender la luz de proceso finalizado y para la alarma. Además, es necesario dos entradas analógicas para recibir las mediciones de temperatura y humedad del sensor. Por ello, se elegirá el PLC de la marca Siemens cuyo modelo es el Simatic S7 1200 porque cuenta con el número necesario de entradas y salidas tanto digitales como analógicas (ver Figura 3.24). Sus características principales se aprecian en la Tabla 3.8.

Tabla 3.8  
Características PLC S7-1200

PLC Simatic-1200	
Rango de tensión	20.4 a 28.8 VDC
E/S digitales integradas	8E/6S
E/S analógicas integradas	2 entradas
Potencia	10W
Dimensiones	90x100x75mm
Peso	420g

Fuente: <https://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic>



Figura 3.24: PLC Siemens Simatic S7-1200  
Fuente: <http://www.conrad.com/ce/en/product/197494/>

### 3.5 Subsistema energético

Debido a que el sistema de secado se encontrará en un lugar alejado de corriente eléctrica es necesario contar con un sistema de energía renovable. En este caso se usará energía solar para alimentar las cargas que funcionen con corriente continua y alterna. Los componentes estarán ubicados en exteriores de donde estará ubicada la máquina, la energía llegará a esta última mediante cables.

#### 3.5.1 Selección de componentes

- **Panel solar fotovoltaico:**

Para transformar la energía solar en energía eléctrica se requiere el uso de paneles solares fotovoltaicos. Es necesario que estos sean los de mayor rendimiento en el mercado y que puedan trabajar en lugares con neblina o poca luz solar. Por ello, se emplearán paneles de silicio policristalino porque poseen una mejor relación costo/eficiencia. Es necesario conocer la potencia total a emplearse por día ( $P_t$ ). El procedimiento de cálculo fue brindado por la empresa SunFields Europe (2015).

$$P_t = (P_r + P_{mp} + P_{plc}) * T_t = (3390 + 5.6 + 10) * 8 = 27244.8h/día$$

Con el dato de la potencia total se calcula el consumo diario ( $Q_d$ ) usando la siguiente expresión:

$$Q_d = \frac{P_t * F}{R_{bat}} \quad (1.41)$$

Donde:  $P_t$ : Potencia total del sistema, 27244.8 Wh día<sup>-1</sup>

$F$ : Factor de diseño, 1.2

$R_{bat}$ : Rendimiento de la batería, 0.95

Reemplazando se obtiene que  $(Q_d) = 34414.5$  Wh/día. Se prosigue a calcular el consumo de energía medio ( $Q_{ah}$ ) en Ah/día, teniendo en cuenta que el voltaje del sistema ( $V_{sis}$ ) es 24V:

$$Q_{ah} = \frac{Q_d}{V_{sis}} \quad (1.42)$$

$$Q_{ah} = \frac{34414.5}{24} = 1433.92 \text{ Ah/día}$$

Para el cálculo se empleará el criterio del mes crítico ya que se usará un regulador MPPT. La máquina trabajará entre mayo y octubre. En la Figura 3.25 se aprecia que el mes crítico es mayo con un HSP = 4.12 h.

Se utilizarán paneles de silicio policristalinos ya que poseen una mejor relación costo/eficiencia. En este caso se usará el modelo CS6U-330P de la empresa DELTAVOLT. Sus especificaciones técnicas son las siguientes:

Tabla 3.9  
Características del panel solar modelo CS6U-330P

CS6U-330P	
Potencia máx. nominal	330W
Voltaje de operación	37.2V
Corriente de operación	8.88A
Corriente de corto circuito	9.45A
Tamaño	196x99.2x4cm
Peso neto	22.4kg

<https://deltavolt.pe/documentos/canadian-solar-datasheet-maxpower-CS6U-P.pdf>



Figura 3.25. Radiación solar mensual de Pacaybamba  
Fuente: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>

Se procede con el cálculo empleando la siguiente fórmula:

$$N_t = \frac{Q_d}{P_{mpp} * HSP * PR} \quad (1.43)$$

Donde:  $P_{mpp}$ : potencia pico del módulo, 330 Wp

$HSP$ : horas de sol pico, 4.12

$PR$ : factor global de funcionamiento, 0.9 (Sunfields Europe,2015)

Reemplazando se obtiene que  $N_t = 28.12$ , es decir se utilizarán 28 paneles solares

Teniendo en cuenta que el  $V_{mp} = 37.2$  se calcula el  $N_{serie}$  y  $N_{paralelo}$ .

$$N_{serie} = \frac{V_{sist}}{V_{mp}} = \frac{24}{37.2} = 0.64 = 1$$

$$N_{paralelo} = \frac{N_t}{N_{serie}} = 28$$

Se usará 28 paneles solares en total.

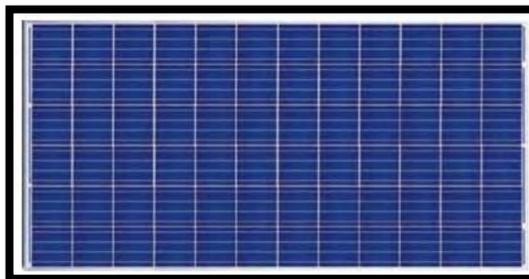


Figura 3.26: Panel solar fotovoltaico

Fuente: <http://deltavolt.pe/pv-systems/paneles-solares-oferta>

- **Batería solar:**

El sistema estará ubicado en una zona rural alejada, debido a esto es necesario que las baterías no requieran mantenimiento y tengan una vida útil larga. Por ello, se emplearán baterías de Gel Eco solar 12V 250Ah (ver Figura 3.27) porque presentan un mejor rendimiento y vida de la batería, sus características se aprecian en la Tabla 3.10. Mediante la siguiente fórmula se calculará la capacidad que debe tener el banco de baterías ( $C_{nd}$ ):

$$C_{nd} = \frac{Q_d * D}{DOD * V_{sist}} \quad (1.44)$$

Donde:  $D$ : días de autonomía, 2

$DOD$ : profundidad de descarga, 0.7

Reemplazando se obtiene que  $C_{nd} = 4096.7$ . Cada batería tiene una capacidad de 250Ah, por lo tanto, se necesitarán 16 baterías en paralelo. Como el sistema operara a 24 V, se necesita que estén en serie dos baterías ya que estas tienen una tensión de 12 V. Por ello, se requiere un total de 32 baterías.

Tabla 3.10  
*Características de la Batería de Gel Ecosolar*

Batería de Gel Ecosolar 250Ah C100 12V	
Voltaje	12 V
Tipo de batería	GEL
Capacidad de carga	250Ah
Medidas	520x240x220 mm
Peso	55 kg
Requiere mantenimiento	No

Fuente: [https://www.damiasolar.com/productos/bateria\\_solar](https://www.damiasolar.com/productos/bateria_solar)



Figura 3.27: Batería de Gel Ecosolar

Fuente: <http://www.damiasolar.com/data/files/imagenes/bateria-de-gel-energia-solar.png>

- **Regulador:**

La tensión máxima en los paneles es de 37.2 V y las baterías llegarán a 24 V en serie. Se elegirá un regulador MPPT ya que este aprovecha de una mejor manera la potencia del panel solar en base a la diferencia de tensión entre el panel y las baterías. Para calcular la corriente de entrada al regulador se emplea la corriente de cortocircuito ( $I_{cc}$ ), en este caso  $I_{cc} = 9.45$  A. La corriente de entrada se obtiene de la siguiente manera:

$$I_{entrada} = 1.25 * I_{cc} * N_p \quad (1.45)$$

De este modo, se obtiene que  $I_{entrada} = 330.75$  A. Además, es necesario calcular la corriente a la salida del regulador, para ello se utilizará la siguiente fórmula:

$$I_{salida} = \frac{1.25 * \left( P_{mp} + P_{plc} + \frac{P_r}{0.95} \right)}{V_{sist}} \quad (1.46)$$

$$I_{salida} = \frac{1.25 * (3584)}{24} = 186.7 \text{ A}$$

Se requiere un regulador que soporte a la entrada 330.75 A y a su salida 186.7 A. Por lo cual, se usarán dos reguladores MPPT SmartSolar 250/100 (ver figura 3.28). Cada uno estará conectado a 14 paneles solares y a 16 baterías. Las características del regulador se mencionan en la Tabla 3.11.

Tabla 3.11  
Características del regulador MPPT SmartSolar 250/100

Regulador MPPT 75/15	
Voltaje del sistema	24V
Corriente de carga	100A
Potencia de entrada máxima	2900W
Eficiencia	0.99
Medidas	216x295x103mm
Peso	4.5kg

Fuente: <https://www.victronenergy.com/upload/documents/Datasheet-SmartSolar-charge-controller-MPPT-250-60,-250-70,-250-85-&-250-100-EN.pdf>



Figura 3.28: Regulador MPPT SmartSolar 250/100

Fuente: <https://www.victronenergy.com/upload/documents/Datasheet-SmartSolar-charge-controller-MPPT-250-60,-250-70,-250-85-&-250-100-EN.pdf>

- **Inversor:**

El sistema requiere de un voltaje AC de 220V para el calentador eléctrico y el motor del ventilador centrífugo. Por ello, se utilizará un inversor DC-AC para transformar los 24V del sistema al voltaje alterno requerido. Para el cálculo del inversor se toma únicamente las cargas alternas. Como se sabe, el motor al momento de arrancar demandará una potencia de arranque hasta cuatro veces su potencia nominal. Por este motivo, es necesario hacer un sobredimensionamiento para prever los picos de arranque.

$$P_{in} = 1.2 * (P_r + Pot_v * 4) \quad (1.47)$$

$$P_{in} = 1.2 * (3390 + 46 * 4)$$

$$P_{in} = 4288.8 \text{ W}$$

Resolviendo la ecuación se obtiene que  $P_{in} = 4288.8 W$ . Es decir, se necesitará un equipo con una potencia de salida mayor a la calculada. En este caso, se usará el inversor modelo Victron Phoenix 24/5000 ya que cumple lo solicitado (ver Figura 3.29). Sus características se observan en la Tabla 3.12

Tabla 3.12  
*Características del inversor Victron Phoenix 24/5000*

Inversor Victron Phoenix	
Voltaje de entrada	24Vdc
Voltaje de salida	230Vac
Frecuencia de salida	50/60Hz
Potencia de salida	5Kw
Eficiencia	95%
Dimensiones	444x328x240mm
Peso	30kg

Fuente: <https://www.victronenergy.com/upload/documents/Datasheet-SmartSolar-charge-controller-MPPT-250-60,-250-70,-250-85-&-250-100-EN.pdf>



Figura 3.29: Inversor Victron Phoenix 24/5000

Fuente: <https://www.victronenergy.com.es/upload>

Cabe resaltar que la estructura sobre la cual reposarán los paneles será brindada por la empresa Deltavolt, dicho costo no es prestablecido ya que depende del tipo (techo o poste), material, módulos por poste y zona a colocar. Es por ello que su selección escapa de los límites de esta sección.

### 3.5.2 Viabilidad de selección de componentes

Enfocándose en la forma de energizar todo el sistema, los paneles solares poseen una serie de ventajas y desventajas. Los beneficios que se puede adquirir con su uso es que se prescinde de emplear una red eléctrica, ya que sin ningún problema se energizará a base de energía solar, logrando ser utilizado incluso en sitios remotos. Además, el costo de mantenimiento es relativamente barato porque solo requiere de dos limpiezas anuales.

Por el contrario, el uso de paneles solares tiene como desventaja el precio elevado de sus componentes e instalación, siendo una costosa inversión si se busca que el proyecto sea rentable a corto plazo. Otro punto negativo es el vasto espacio que deberán ocupar los paneles solares debido a que estos brindan determinada potencia por metro cuadrado, es decir, si se desea mayor potencia, se necesitará más espacio. Por último, a raíz de que la tecnología implicada en el desarrollo de paneles solares se encuentra emergiendo, aún no pueden ser totalmente efectivos como se requiere ya que solo posee un 16% de eficiencia (Valdiviezo, 2014).

Si bien es cierto el sistema solar fotovoltaico es una solución al problema de energía, se puede observar que los equipos que lo conforman son demasiados (paneles solares, baterías y reguladores), incrementando considerablemente el precio del proyecto, haciéndolo solo accesible a un determinado sector compuesto por grandes inversores. Por ello, es necesario emplear otra fuente de energía que brinde la potencia requerida para que el sistema funcione de manera ininterrumpida a un precio asequible. En este caso, se considerará un grupo electrógeno ya que brinda tanto corriente alterna (para alimentar el calentador eléctrico y el ventilador) como continua (para energizar el PLC y motor a pasos). De esta manera, el sistema operará con normalidad sin riesgo de quedarse sin energía. Cabe resaltar que el grupo electrógeno emite gases producto de la combustión; sin embargo, este se encontrará debidamente alejado de la secadora de granos de café, evitando una posible contaminación del grano.

- **Grupo electrógeno:**

Se seleccionará un grupo electrógeno de la marca Daewoo modelo GDA5250. Posee una potencia nominal de 4 Kw a 60 Hz, la cual es suficiente para alimentar al sistema ya que la potencia requerida es de 3.5 Kw. El equipo tiene una salida DC de 12V. Además, este grupo cuenta con una autonomía de 18 horas, lo que permite un llenado de combustible cada dos jornadas laborales aproximadamente. Se observan sus principales características en la Tabla 3.13.



Figura 3.30. Grupo electrógeno modelo GDA5250

Fuente: <http://daewoowerproducts.com/product-detail.php?lang=2&producto=1237>

Tabla 3.13

*Características principales del grupo electrógeno GDA5250*

GDA5250	
Voltaje	220V
Potencia nominal	4Kw
Capacidad del tanque de aceite	0.6L
Capacidad del tanque de combustible	15L

Fuente: <http://daewoowerproducts.com/product-detail.php?lang=2&producto=1237>

## **CAPÍTULO 4**

### **Integración de subsistemas**

El presente capítulo tiene como finalidad explicar las integraciones que existen en el sistema, de esta manera se entenderá mejor el diseño en general. Asimismo, se detallará la lógica del sistema de control. En los planos eléctricos se presenta el esquema de conexiones.

El primer plano corresponde al circuito de fuerza. Se aprecia las conexiones del grupo electrógeno del cual se obtiene 220 VAC para energizar el ventilador centrífugo y calentador eléctrico. Además, posee una salida de 12 VDC, la cual al pasar por un transformador se convierte en 24 VDC para alimentar al PLC.

El segundo plano contiene el circuito de control, aquí se observan las conexiones del PLC con el sensor, motor a pasos y demás dispositivos. Finalmente, el tercer plano brinda información acerca del circuito de disparo tanto del ventilador centrífugo como del calentador eléctrico. Para un mejor detalle se explicará a continuación cada circuito y conexión.

#### 4.1 Integración Mecánico-Eléctrico

Para poder encender o apagar el ventilador centrífugo o calentador eléctrico es necesario emplear un circuito de disparo. Esto porque se debe aislar la salida en baja tensión del PLC con la red. Se tienen los siguientes circuitos de disparo:

- **Circuito de disparo para el ventilador centrífugo**

El ventilador posee un motor AC el cual requiere un voltaje aproximado de 220 VAC. Por ello, se utilizará el circuito de disparo mostrado en la Figura 4.1 para aislar la parte de control (PLC) de la parte de potencia. Se usará un Optotriac (MOC3041M) para disparar el circuito y un regulador de voltaje (LM7805) ya que la salida digital número 3 del PLC posee una tensión de 24VDC y el Optotriac soporta una tensión máxima de 5 VDC. Este circuito también cuenta con Triac y una red Snubber para suavizar el encendido y no producir efectos indeseables o minimizarlos. Los valores de resistencias, condensadores y triacs empleados se seleccionaron de acuerdo a los datasheet (ver Anexo E).

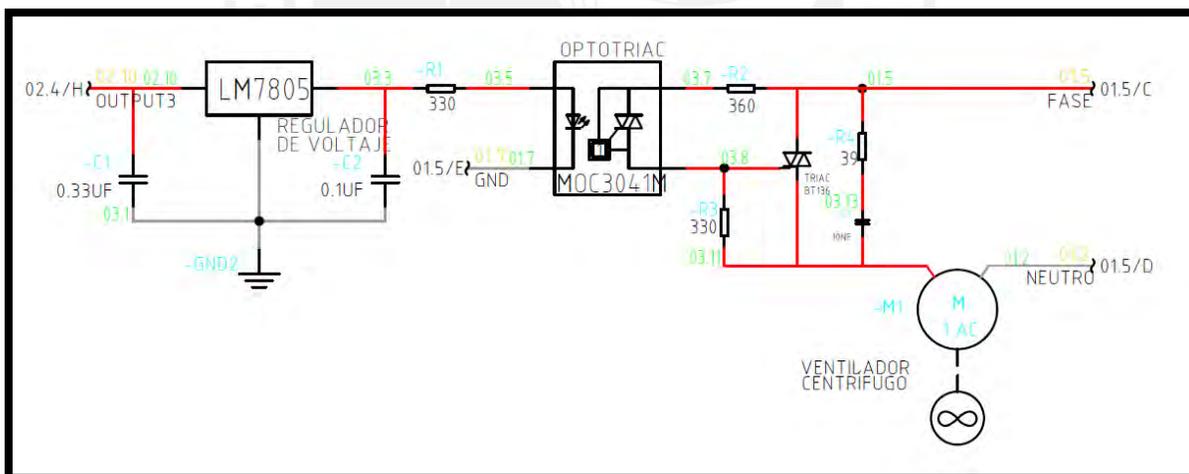


Figura 4.1: Circuito de disparo para el ventilado centrífugo

Fuente: Propia

- **Circuito de disparo para el calentador eléctrico**

Se requiere encender y apagar el calentador eléctrico para mantener una temperatura de 35°C. Por lo tanto, se empleará el circuito de disparo mostrado en la Figura 4.2. Al igual que el circuito anterior, se usará un Optotriac, un regulador de voltaje y una red Snubber.

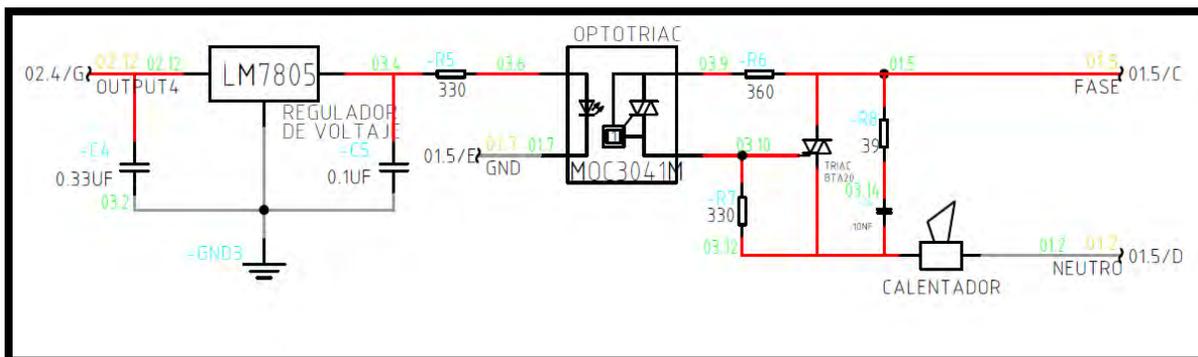


Figura 4.2: Circuito de disparo para el calentador eléctrico  
Fuente: Propia

## 4.2 Integración Eléctrico-Electrónico-Control

- **Conexión entre la interfaz y el PLC**

El sistema contará con un pulsador de inicio y parada de emergencia, ambos conectados a las entradas digitales 1 y 2 del PLC. Además, se tendrá un piloto amarillo para avisar que el proceso de secado ha concluido y una alarma en caso ocurra alguna falla (ver figura 4.3).

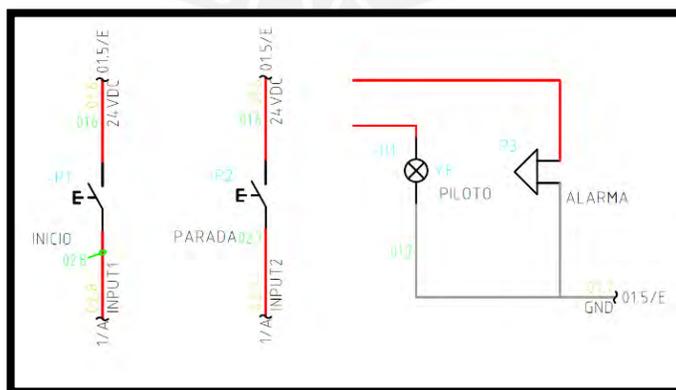


Figura 4.3: Conexiones entre la interfaz y el PLC  
Fuente: Propia

- **Conexión entre el motor a pasos y el PLC**

El motor a pasos NEMA 23 requiere de un driver, en este caso se usará el TB6600. Se utilizará una conexión cátodo común. Por ello, el pin de dirección (DIR+) y de pulso (PUL+) irán conectados a las salidas digitales 1 (.0) y 2 (1.) del PLC. El pin EN+ y EN- irán desconectados, esto para que al momento de la descarga del café el rastrillo se pueda mover de forma manual facilitando la labor del operario. El driver será alimentado mediante la salida DC del grupo electrógeno (ver Figura 4.4).

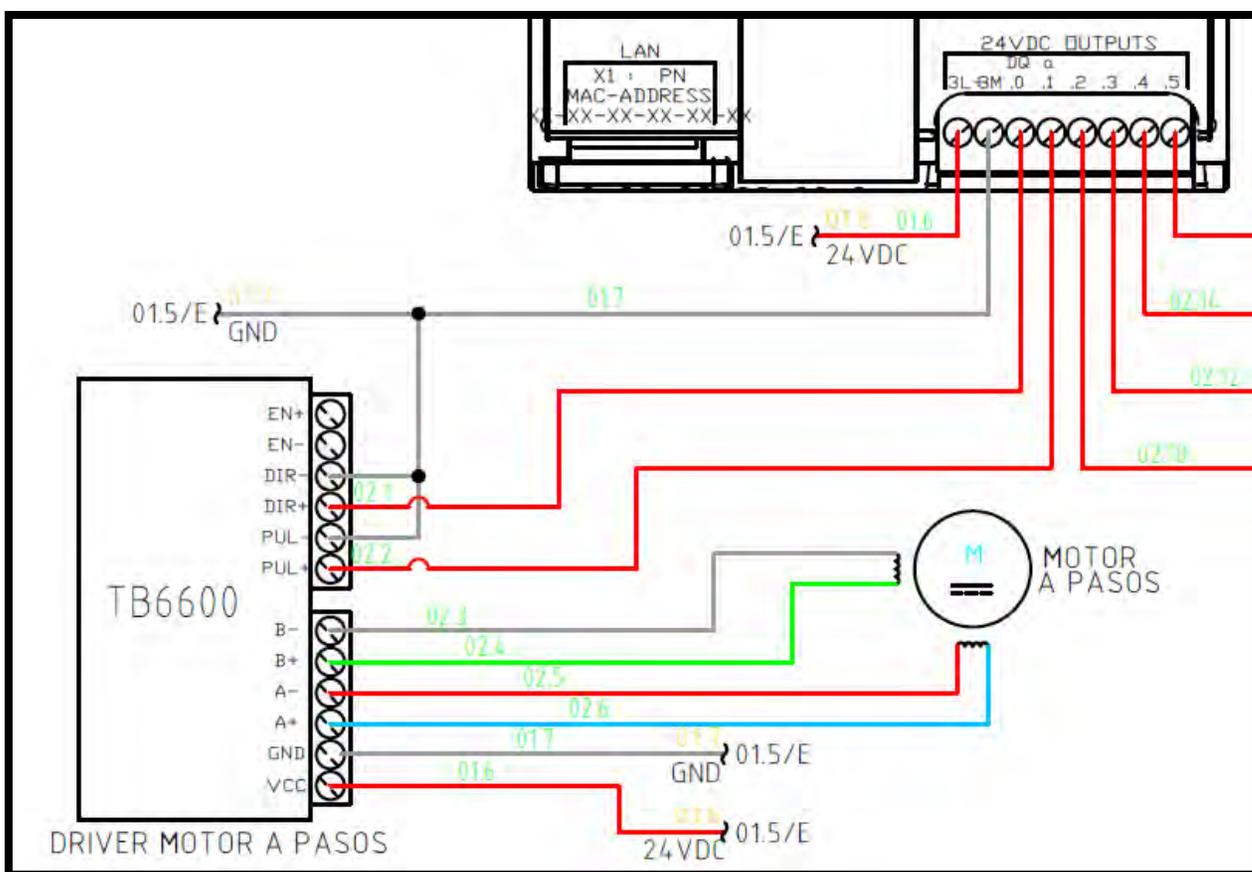


Figura 4.4: Circuito de conexión entre el motor a pasos y el PLC  
Fuente: Propia

- **Conexión entre PLC y el sensor HMP60**

El PLC estará conectado al sensor de temperatura y humedad HMP60 (ver Figura 4.5). Será alimentado directamente de la salida del transformador y este energizará al sensor con un voltaje de 24 VDC. La salida T del sensor se conectará a la entrada analógica 1 (A0) del PLC y la salida HR a la entrada A1.

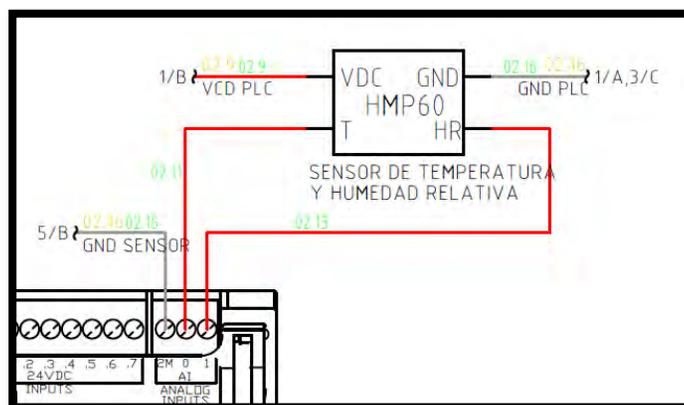


Figura 4.5: Circuito de conexión entre el PLC y el sensor HMP60  
Fuente: Propia

- **Conexión del grupo electrógeno**

El grupo electrógeno energizará tanto las cargas AC como DC. Por seguridad, tendrá un interruptor, el cual irá en el tablero de control, que será encendido o apagado cuando se requiera (ver Figura 4.6).

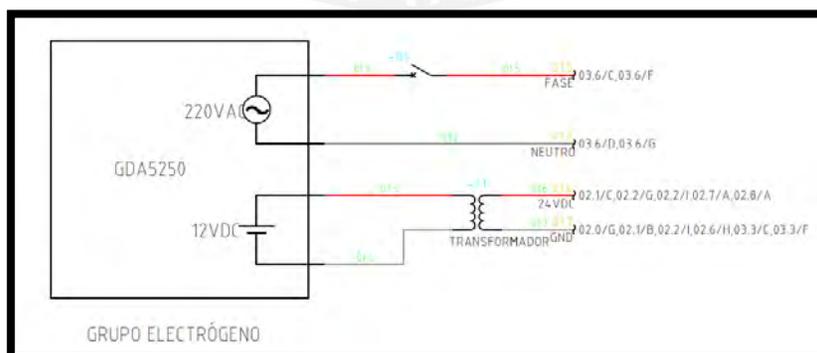


Figura 4.6: Circuito de conexión del grupo electrógeno  
Fuente: Propia

- **Diagrama de flujo**

El equipo trabajará con un sistema en tiempo real, ejecutando tres programas al mismo tiempo. El programa principal, el subprograma para calentar el aire y el subprograma para agitar los granos de café. De esta manera, se garantiza un mejor control de los procesos porque en todo momento el sistema se encargará que la temperatura no sobrepase los  $35^{\circ}\text{C}$  y que se agiten los granos.

Primero, se leen los datos de entrada (los cuales ya están incluidos en el programa), se procede a encender el ventilador, ejecutar el subprograma para calentar el aire y el subprograma para agitar los granos de café. Luego, se mide la temperatura y humedad relativa, se calcula el tiempo constante ( $t_c$ ) aproximado de secado y se inicia una cuenta (Timer). Se compara la humedad inicial ( $X_i$ ) con la humedad crítica ( $X_c$ ), si  $X_i$  no es menor a  $X_c$  se calcula un nuevo valor de  $X_i$  de acuerdo al tiempo que ha transcurrido. Nuevamente se mide la temperatura, humedad relativa y se calcula el tiempo constante aproximado. Esta lógica se repite hasta que  $X_i$  sea menor o igual a  $X_c$ , cuando esto ocurra se miden los valores de temperatura y humedad relativa para proceder a calcular el tiempo decreciente ( $t_d$ ) e iniciar una nueva cuenta. Finalmente, cuando el tiempo calculado haya transcurrido se apagará el ventilador y se encenderá una alarma para indicar el fin del proceso. El diagrama de flujo del programa principal se puede apreciar en la Figura 4.7.

La lógica para calentar el aire es mediante control ON-OFF. Es decir, si la temperatura baja de los  $34.25^{\circ}\text{C}$  se encenderá el calentador; sin embargo, si sobrepasa los  $34.75^{\circ}\text{C}$  este se apagará y así sucesivamente hasta que acabe todo el proceso de secado. De manera similar, la lógica para agitar los granos consiste en que el sistema impulsará el rastrillo hacia adelante hasta que llegue a desplazarse ciertos grados, es decir, recorrerá cierta distancia (esta acción se realiza mediante el final de carrera por software que posee el PLC). Cuando el rastrillo llegue al final de carrera y el programa principal haya culminado, el subprograma terminará. Caso contrario, procederá a retroceder hasta su posición inicial. Si el programa principal ha concluido, también lo hará el subprograma; de otra manera, el rastrillo volverá a avanzar y repetirá todo el proceso antes mencionado (ver Figuras 4.8 y 4.9).

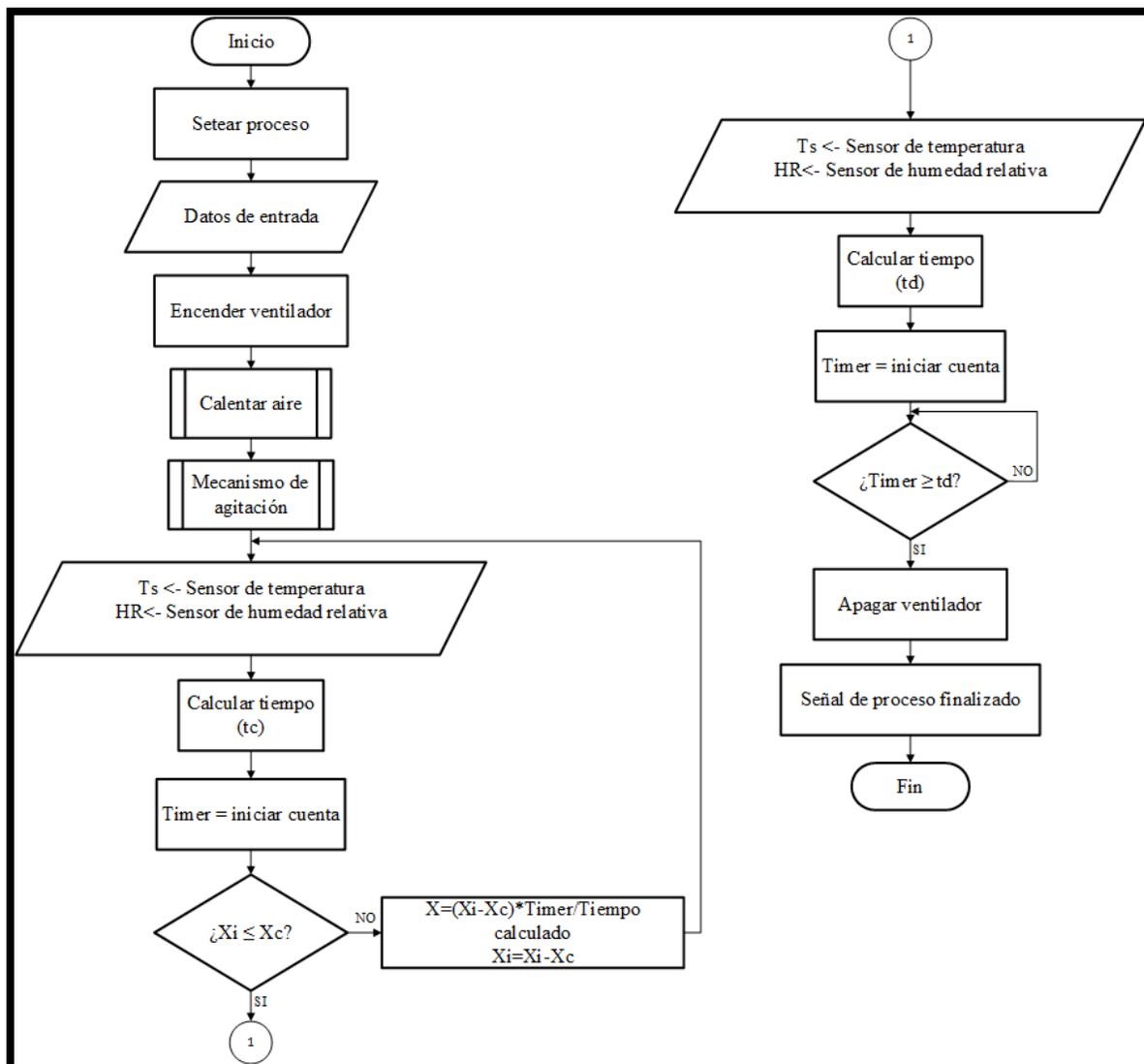


Figura 4.7: Diagrama de flujo del programa principal  
Fuente: Propia

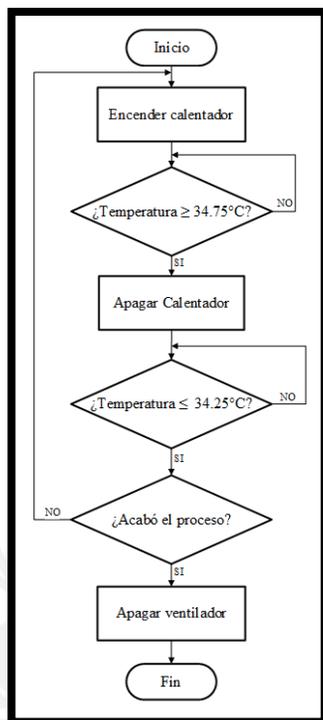


Figura 4.8: Diagrama de flujo del subprograma para calentar el aire  
Fuente: Propia

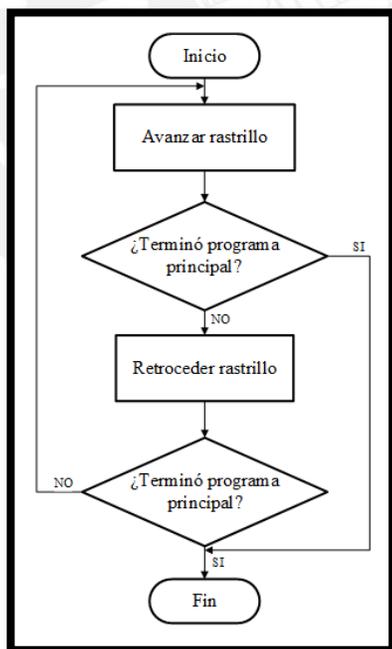


Figura 4.9: Diagrama de flujo del subprograma para agitar los granos de café  
Fuente: Propia

## CAPÍTULO 5

### Evaluación económica

Se realizó una estimación de costos, la cual se divide en: costos electrónicos (correspondiente a toda la parte electrónica y a la fuente de energía), costos mecánicos (correspondiente a las piezas mecánicas) y costos de mano de obra (correspondiente a los gastos de mecanizado y ensamblaje).

Tabla 5.1  
*Costos electrónicos*

Costos electrónicos				
Producto	Proveedor	Precio Unitario(S/.)	Cantidad	Precio Total (S/.)
Placa electrónica	PARURO	70	2	140
Motor Nema 23	UNITUTORES	290	1	290
Driver motor	UNITUTORES	70	1	70
PLC	SIEMENS	1200	1	1200
Sensor HMP60	VAISALA	880	1	880
Transformador	PARURO	30	1	30
Grupo electrógeno	DAEWOO	2000	1	2000
TOTAL				4610

Fuente: Propia

Tabla 5.2  
Costos mecánicos

Costos mecánicos				
Producto	Proveedor	Precio Unitario(S/.)	Cantidad	Precio Total (S/.)
Tablero de control	MANELSA	1000	1	1000
Soporte	MANELSA	300	1	300
Ducto concéntrico	CSIMEGA	500	1	500
Ducto intermedio	CSIMEGA	500	1	500
Plancha de fibra de vidrio 1.2mx2mx25mm	ISOVER	50	1	50
Tornillo M5	MALVINAS	0.1	140	14
Tuerca M5	MALVINAS	0.05	140	7
Arandela plana M5	MALVINAS	0.05	280	14
Arandela de presión M5	MALVINAS	0.05	140	7
Perfil aluminio estructural REXROTH (300cm)	UNITUTORES	140	2	280
Conector escuadra 20x20	UNITUTORES	7	16	112
Perno martillo M5x10 (10unid)	UNITUTORES	20	4	80
Tuerca martillo M5 (10unid)	UNITUTORES	11	4	44
Varilla acerada acero inox. D 8mm (120cm)	UNITUTORES	34	2	68
Rodamiento KFL08	UNITUTORES	8	5	40
LKM brida lineal	UNITUTORES	18	2	36
Tornillo trapezoidal T8 de 8mm (1200mm)	UNITUTORES	180	1	180
Acople flexible XA	UNITUTORES	14	1	14
Placas de aluminio de 5mm	NOVA	25	3	75
Plancha de PVC	VINILOS Y ROTULOS	30	1	30
Plancha perforada	MULTIMET	170	1	170
Ventilador centrífugo	S&P	1239	1	1239
Soporte del ventilador	S&P	748	1	748
Motor AC	MOTOREX	432	1	432
Transmisión	MOTOREX	481	1	481
Calentador eléctrico	VULCANIC	3000	1	3000
TOTAL				9421

Fuente: Propia

Tabla 5.3  
Costos de mano de obra

Costos de mano de obra	
Trabajo	Precio estimado(S/.)
Corte, doblado y perforado de PVC	150
Colocar aislamiento	150
Ensamble	300
TOTAL	600

Fuente: Propia

Agregando el costo por el diseño (precio a pagar al tesista), el cual sería en este caso S/.3000, el precio final de la máquina sería de S/. 17 631. Utilizando este sistema se obtendrán cafés especiales, los cuales se venderán a \$271 el quintal (1 quintal equivale a 46kg). En el Perú, empleando las máquinas existentes para secar café se genera un café que en promedio se vende a \$115 el quintal, esto se debe a que emplean una temperatura máxima de 50°C. Por otro lado, mediante secado al sol, se consigue un precio de café similar al antes mencionado. Como el sistema tiene una capacidad de 30 kg, se adquiere una ganancia extra de \$101.7 de producción diaria. El equipo se enfoca más en la calidad del café que en la cantidad, esto a raíz de las limitaciones de energía eléctrica que presenta la zona.

Se sabe que la inversión de la máquina es de S/.17 631 y que la protección tiene un costo aproximado de S/.100. Además, el costo de mantenimiento (pernería, calentador eléctrico, la base donde reposará el café, etc) es de unos S/.300 al mes y solo se necesitará a una persona que cargue y descargue el café, a quien se le pagará S/.200 mensuales. Cabe resaltar que, una persona para que coloque el café, lo rastille, esté al tanto si llueve o no y deposite los granos en los sacos correspondientes una vez terminado el secado, requiere de un pago aproximado de S/.1 500, es decir, se tiene un ahorro de S/.1 300. El grupo electrógeno funciona a gasolina, al trabajar 8 horas al día, al mes se tienen unas 176 horas de funcionamiento (jornadas de lunes a viernes). El precio del galón de gasolina es de S/. 13, es decir, el costo del combustible mensual sería de S/. 504. Como se mencionó anteriormente, por secar 30 kg de café se obtiene un valor agregado de \$101.7, esto en 1 mes nos da una producción de 660 kg, lo cual equivale a S/. 7 383 de ganancia extra a comparación de las formas de secado tradicionales.

En el caso del secado al sol, el tiempo promedio empleado es de 10 días y la cantidad depende de la producción. Para tener una mejor comparación se secará la misma cantidad en 1 mes, es decir 660 kg. Usando este tipo de secado se obtiene un café de \$115 el quintal, es decir no le da un valor agregado al producto. Además, se debe tener en cuenta que, si se contara con acceso a una red eléctrica, el costo de inversión sería S/.15 631; sin embargo, se pagaría un costo por el consumo de electricidad. En este caso, la tarifa correspondiente sería la TARIFA BT5B, lo cual corresponde a un monto de S/.413.96 (Cargo fijo mensual = S/.3.09 y Cargo por energía activa = S/0.667 /kW-h). A continuación, se aprecia un análisis de flujo de caja para saber el VAN (Valor Actual Neto) para determinar dentro de cuantos años la máquina sería rentable a comparación de la forma en la que actualmente se está secando el café (secado al sol) en la zona en donde se desea implementar la máquina. También se evaluará el caso en el que la zona posea una red eléctrica.

Tabla 5.4  
Resultados del análisis de flujo de caja sin máquina

Sin máquina													
FCI	Mes 0	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12
Inversión	17631	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Protección	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	17731	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FCE	Mes 0	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12
Mantenimiento	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Alistamiento	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Valor agregado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FCE	Mes 0	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12
Total	17731	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: Propia

Tabla 5.5  
Resultados del análisis de flujo de caja con máquina sin red / con red eléctrica

Sin red eléctrica													
FCI	Mes 0	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12
Inversión	-17631	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Protección	-100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	-17731	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FCO	Mes 0	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12
Mantenimiento	0	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-50	-50	-50	-50	-50	-50
Alistamiento	0	1300	1300	1300	1300	1300	1300	0	0	0	0	0	0
Gasolina	0	-504	-504	-504	-504	-504	-504	0	0	0	0	0	0
Valor agregado	0	7383	7383	7383	7383	7383	7383	0	0	0	0	0	0
Total	0	7879	7879	7879	7879	7879	7879	-50	-50	-50	-50	-50	-50
FCE	Mes 0	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12
Total	-17731	7879	7879	7879	7879	7879	7879	-50	-50	-50	-50	-50	-50
Con red eléctrica													
FCI	Mes 0	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12
Inversión	-15631	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Protección	-100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	-15731	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FCO	Mes 0	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12
Mantenimiento	0	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-50	-50	-50	-50	-50	-50
Electricidad	0	-411	-411	-411	-411	-411	-411	0	0	0	0	0	0
Alistamiento	0	1300	1300	1300	1300	1300	1300	0	0	0	0	0	0
Valor agregado	0	7383	7383	7383	7383	7383	7383	0	0	0	0	0	0
Total	0	7972	7972	7972	7972	7972	7972	-50	-50	-50	-50	-50	-50
FCE	Mes 0	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12
Total	-15731	7972	7972	7972	7972	7972	7972	-50	-50	-50	-50	-50	-50

Fuente: Propia

Con los datos de las Tablas 5.4 y 5.5 se calculará el VAN (Valor Actual Neto) por año para las 3 alternativas, de esta manera se conocerá en que año son rentables respecto a las otras. En la Figura 5.1 se presenta el resultado de la comparación, observándose que el diseño es rentable desde el primer año, lo cual indica ganancias a corto plazo.

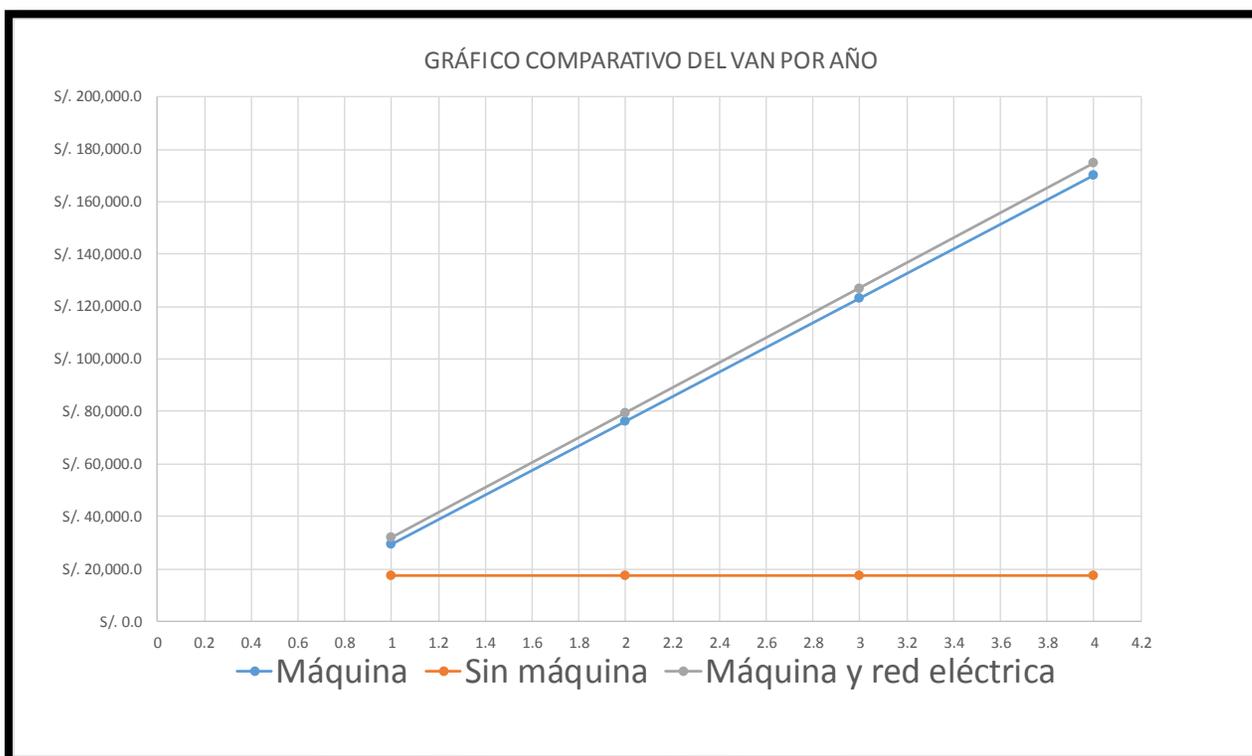


Figura 5.1: Gráfico comparativo del VAN por año  
Fuente: Propia

## CONCLUSIONES

El diseño de la secadora de granos de café facilita la obtención de 30 kg de granos de café especial (mejor tanto en sabor como en aroma) gracias a su proceso de secado que no sobrepasa los 35°C y a la agitación constante del producto. Esto debido a que el sistema de control estará monitoreando y regulando continuamente la temperatura y que, además, el mecanismo de agitación estará funcionando de manera constante.

Partiendo de las ecuaciones propuestas por Treybal, se logró diseñar un sistema para secar los granos de café especial en aproximadamente 8 horas gracias a la utilización de aire caliente de forma perpendicular a máximo 35°C en comparación a los 50°C que normalmente emplean los secadores mecánicos. Además, debido a la lógica y estrategia de control, el tiempo de secado se ajustará de acuerdo a la temperatura, definiendo el tiempo exacto de secado para así llegar al 11% de humedad. De esta manera, se cumple los requerimientos mecánicos y de control solicitados.

El sistema no requiere intervención humana durante el proceso de secado a diferencia de los secadores mecánicos y las maneras tradicionales (secado al sol) que utilizan una agitación manual cada tiempo determinado según su capacidad. A pesar que este diseño es el que menos capacidad tiene en comparación con otros secadores explorados en el estado del arte (ver capítulo 1), es en el que se obtiene un café de mejor calidad, logrando una mayor ganancia debido al valor adicional que presentan los cafés especiales.

A pesar de que se han cumplido con los requerimientos mecánicos y de control, no se logró satisfacer el eléctrico porque se tuvo que prescindir del sistema fotovoltaico debido a que encarecían sustancialmente el costo del proyecto. Sin embargo, si lo que se desea es utilizar energías renovables es necesario optimizar la tecnología implicada en el desarrollo de paneles solares con precios accesibles para su obtención.

Para satisfacer el consumo energético de la máquina se empleó un grupo electrógeno ya que brinda la potencia necesaria para funcionar de manera ininterrumpida y es menos costoso en comparación al uso de un sistema fotovoltaico. Si bien es cierto el grupo emite gases producto de la combustión, este se ubicará en un lugar alejado del equipo de secado, con el fin de no contaminar el producto durante el proceso.

## RECOMENDACIONES

Debido a que se estimó el tiempo de secado de manera analítica utilizando las ecuaciones propuestas por Robert E. Treybal y *papers* acerca del secado de granos según SECAFÉ, se recomienda realizar una prueba y verificar la humedad final en los granos de café. De esta manera se podría ajustar mejor el tiempo de secado y se obtendrá un producto cuya humedad sea de 11%.

El tiempo total de secado depende del contenido de humedad inicial del café, para este proyecto se tomó como referencia una humedad de 55%. Por ello, es importante saber con certeza la humedad inicial del producto ya que de ello depende el cálculo del tiempo exacto para alcanzar su humedad final. Caso contrario, se obtendrían granos que faltan secar o muy secos.

El equipo requiere que una persona cargue y descargue los granos de café, lo cual sería un poco difícil debido a que los rieles del mecanismo de agitación obstaculizarían la labor del operario. Esto se podría optimizar mejorando el diseño del mecanismo de agitación, es decir modificando la posición de los rieles o haciendo que todo el mecanismo se retire y se coloque con facilidad.



## BIBLIOGRAFÍA

- Berger. (s.f.). *Formulas + Calculations for Optimum Selection of a Stepmotor*. Recuperado el 15 de Marzo de 2019, de [https://diagramas.diagramasde.com/otros/Selection\\_PaP1-1.pdf](https://diagramas.diagramasde.com/otros/Selection_PaP1-1.pdf)
- Caballero Cava, J. A. (2015). *Diseño de una secadora de cacao para almacenaje con capacidad de 2T/día*. Lima: Pontificia Universidad católica del Perú.
- Cadena, A. (Agosto de 2017). How to improve quality when drying washed coffees. (A. Molina Ospina, Entrevistador) Recuperado el 10 de Marzo de 2019, de <https://www.perfectdailygrind.com/2017/08/improve-quality-drying-washed-coffees/>
- Cenicafé. (s.f.). *Cenicafé*. Recuperado el 10 de Marzo de 2019, de [http://www.cenicafe.org/es/publications/cartilla\\_21\\_Secado\\_del\\_cafe.pdf](http://www.cenicafe.org/es/publications/cartilla_21_Secado_del_cafe.pdf)
- Costales, R. (1995). "Estudio del secado de granos mediante fluidización" Tesis previa a la obtención del título de Ingeniero Mecánico. Escuela politécnica Nacional, Ecuador.
- E. Treybal, R. (1980). *Operaciones de transferencia de masa*. Mexico.
- Europe, S. (2015). *SunFields Europe*. Recuperado el 10 de Marzo de 2019, de <https://www.sfe-solar.com/baterias-solares/manual-calculo/>
- Global Solare. (2019). Sistemas solares fotovoltaicos interconectados a la red vs sistemas aislados. Recuperado el 10 de Marzo de 2019, de <https://globalsolare.com/2018/05/02/sistemas-solares-fotovoltaicos-interconectados-a-la-red-vs-sistemas-aislados/>
- Global Wind Statistics. (2011). *ACCIONA*. Recuperado el 10 de Marzo de 2019, de <http://www.acciona.com/es/energias-renovables/energia-eolica/>
- Gutierrez Flores, J. M., Sanz Uribe, J. R., Oliveros Tascón, C. E., & Orozco Hincapié, C. A. (2012). Ventiladores para secadores de café: Diagnóstico, diseño y construcción económica de ventialdores centrífugos. *Publicación de CENICAFÉ*.
- López, J., & Ospina, J. (1990). Ecuación de capa delgada para el café pergamino: Informe de año sabático. *Cenicafé*, 183p.
- Mataix, C. (1982). "Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas". México.
- Maupoey, P., & Barat, J. (2001). *Introducción al secado de alimentos por aire caliente*. Valencia: Universidad Politécnica de València.

- Oliveros Tascón, C. E., Peñuela Martínez, A. E., & Jurado Chana, J. M. (Septiembre de 2009). Controle la humedad del café en el secado solar, utilizando el método gravimet. Recuperado el 10 de Marzo de 2019, de <http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/385/1/avt0387.pdf>
- Opex Energy. (s.f.). Tipos de Aerogeneradores. Recuperado el 19 de Marzo de 2019, de [http://opex-energy.com/eolica/tipos\\_aerogeneradores.html](http://opex-energy.com/eolica/tipos_aerogeneradores.html)
- Parra Coronado, A., Roa Mejía, G., & Oliveros Tascón, C. E. (2008). SECAFÉ Parte I: Modelamiento y simulación matemática en el secado mecánico de café pergamino. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 12(4), 415-427.
- Raad, T. (4 de Julio de 2018). Specialty vs Commodity: How Yield, Quality, & Prices Interact. Recuperado el 10 de Marzo de 2019, de <https://www.perfectdailygrind.com/2017/12/specialty-vs-commodity-yield-quality-prices-interact/>
- Shelton, B. (1967). "Artificial dryng of cocoa beans", *Tropical agriculture*. Trinidad y Tobago.
- The Weather Company, LLC. (2016). *Weather*. Recuperado el 10 de Marzo de 2019, de <https://weather.com/weather/today/l/PEJI0600:1:PE>
- Twenergy. (2019). Energía Eólica. Recuperado el 10 de Marzo de 2019, de <https://twenergy.com/energia/energia-eolica>
- Twenergy. (2019). Energía Solar. Recuperado el 10 de Marzo de 2019, de <https://twenergy.com/energia/energia-solar>
- Valdiviezo Salas, P. D. (2014). *Diseño de un sistema fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica a 15 computadoras portátiles en la PUCP*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Villarubia López, M. (2012). *Ineniería de la Energía Eólica*. Barcelona: Marcombo.

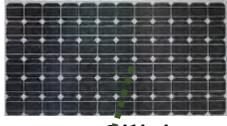


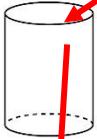
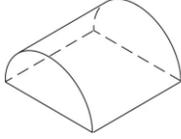
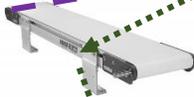
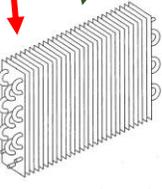
**INDICE DE CONTENIDO**

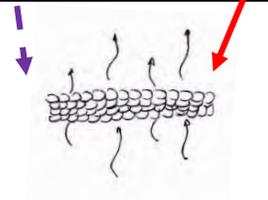
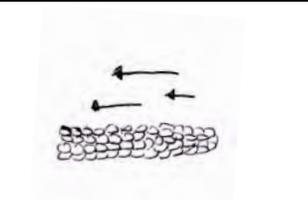
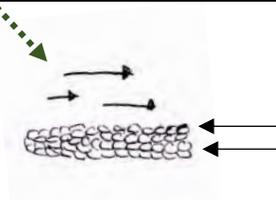
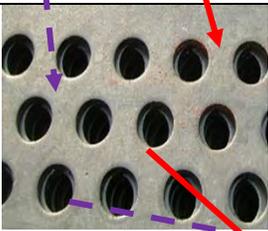
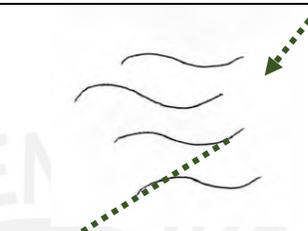
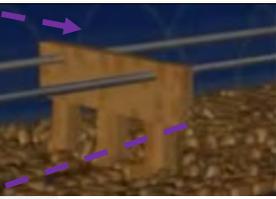
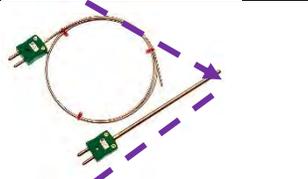
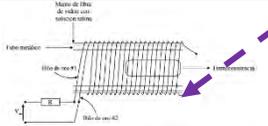
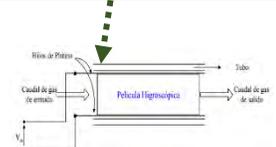
	Pág.
Anexo A : Matriz morfológica.....	2
Anexo B : Conceptos solución.....	6
Anexo C : Evaluación técnica y económica .....	9
Anexo D : Cotizaciones .....	10
Anexo E : Catálogos de componentes .....	13
Anexo F : Cálculos de uniones atornilladas.....	20



**Anexo A**  
**Matriz morfológica**

Funciones		Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
I n t e r f	Pantalla	 HMI	 Silicio Monocristalino	 Silicio Policristalino
	Iniciar proceso		 Teclado matricial	 GLCD
Recepcionar energía				 Silicio Amorfo Flexible
Regular energía		 Regulador solar		
Almacenar energía		 Batería AGM	 Batería Plomo-Ácido	 Batería de Gel
Alimentación AC		 Inverso AC-DC	 Grupo electrógeno	
Pantalla			 LED	 GLCD
Iniciar proceso			 Teclado matricial	 Pulsadores

<p>a z</p>	<p>Alarma</p>	 <p>De emergencia</p>	 <p>Sirena</p>	
<p>Cámara de secado</p>	 <p>Cilíndrica</p>	 <p>Semicilíndrica</p>	 <p>Rectangular</p>	
<p>Alimentación de café</p>	 <p>Manual</p>	 <p>Faja transportadora</p>		
<p>Transportar aire</p>	 <p>Ventilador centrífugo</p>	 <p>Ventilador axial</p>		
<p>Generar calor</p>	 <p>Resistencia eléctrica</p>	 <p>Combustión</p>		
<p>Calentar aire</p>	 <p>Directo</p>	 <p>Intercambiador de calor</p>		

<p>Flujo de aire</p>	 <p>Perpendicular</p>	 <p>Paralelo</p>	 <p>flujo contracorriente</p>
<p>Ingreso de aire</p>	 <p>Placa perforada</p>	 <p>Directo</p>	
<p>Mecanismo de agitación</p>	 <p>Sin agitación</p>	 <p>Paletas giratorias</p>	 <p>Rastrillo</p>
<p>Controlador</p>	 <p>PLC</p>	 <p>LOGO</p>	
<p>Sensar temperatura</p>	 <p>Termistor</p>	 <p>Termopar</p>	 <p>Termorresistencia</p>
<p>Sensar humedad</p>	 <p>Higroscópico</p>	 <p>Capacitivo</p>	 <p>Electrolíticos</p>

Descarga	 <p>Paletas giratorias</p>	 <p>Manual</p>	
----------	---	---	--

Leyenda:

Solución 1	
Solución 2	
Solución 3	



## Anexo B

### Conceptos solución

- Concepto 1

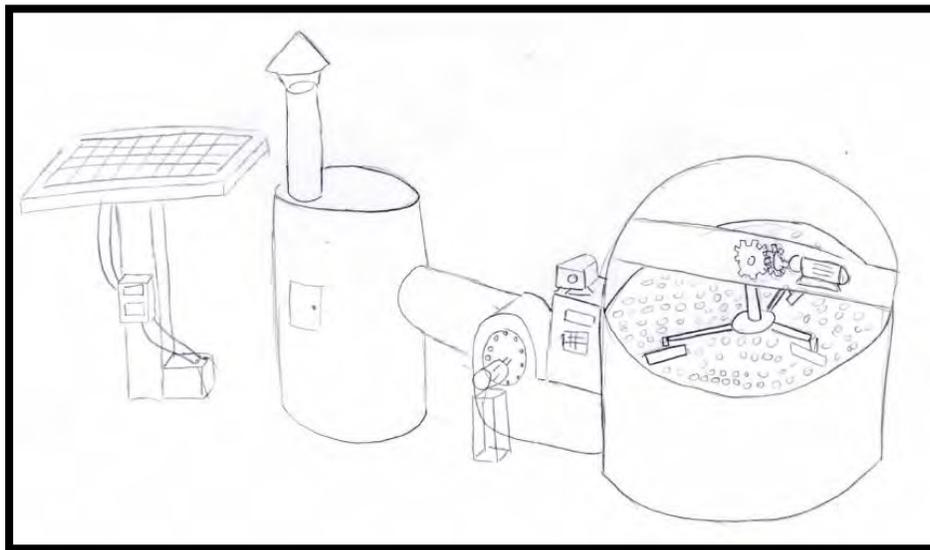


Figura B.1. Concepto solución 1  
Fuente: propia

- Concepto 2

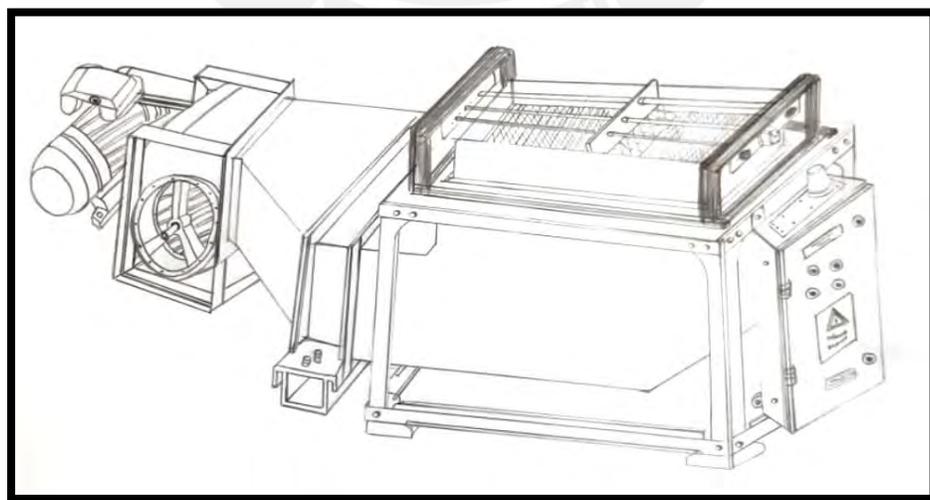


Figura B.2. Concepto solución 2  
Fuente: Propia

- Concepto 3

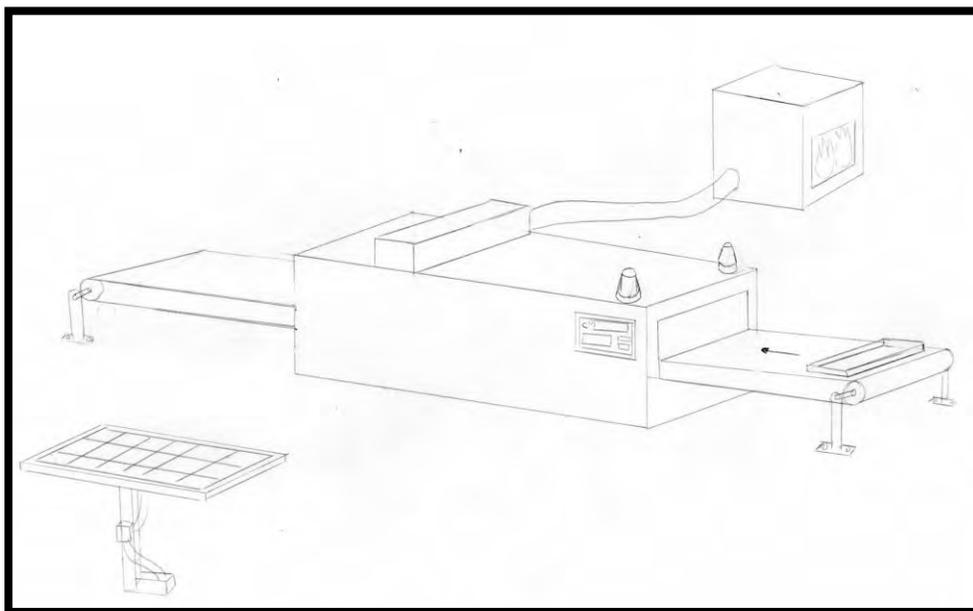


Figura B.3. Concepto solución 3  
Fuente: Propia

✓ Concepto 1:

En el primer concepto (Figura B.1) se usarán paneles solares de silicio amorfo flexible ya que tiene un buen aprovechamiento de la radiación difusa. Se empleará un regulador solar y baterías de plomo-ácido debido a que son las más usadas y son las de menor precio en el mercado. Para la alimentación AC se usará un inversor DC-AC. La interfaz estará conformada por una pantalla GLCD, un teclado matricial y contará con una alarma sonora. La cámara de secado tendrá una forma cilíndrica, la alimentación y extracción de café será manual. Para calentar el aire se empleará un intercambiador de calor el cual estará conectado a una caldera en donde se quemará biomasa o algún combustible. Un ventilador centrífugo transportará el aire del intercambiador a la cama de secado. El flujo de aire atravesará la cama de secado de una forma perpendicular a través de una placa perforada. Para garantizar un secado uniforme se empleará un mecanismo de agitación con paletas giratorias. Se usará un sensor de humedad capacitivo y un termistor para sensar la temperatura. Todo el sistema será controlado por un PLC.

✓ Concepto 2:

En el segundo concepto (Figura B.2) se usarán paneles solares de silicio policristalino ya que tienen una buena relación costo/eficiencia. Se empleará un regulador solar y baterías de gel puesto que presentan una vida larga y no necesitan mantenimiento. Para alimentar al sistema con voltaje AC se usará un inversor DC-AC. La interfaz estará conformada por 2 pulsadores, inicio y parada de emergencia, 2 pilotos y una alarma de emergencia visible y sonora. La cámara de secado tendrá una forma rectangular, la alimentación y extracción de los granos de café se realizarán de forma manual. Para calentar y transportar el aire se empleará una resistencia eléctrica y un ventilador axial respectivamente. El flujo de aire atravesará la cama de granos de forma perpendicular a través de una placa perforada. Para garantizar un secado uniforme se empleará un rastrillo como mecanismo de agitación. Se usará un termopar para sensar la temperatura y un sensor de humedad higroscópico, todo el sistema será controlado por un PLC.

✓ Concepto 3:

En el tercer concepto (Figura B.3) se usarán paneles solares de silicio monocristalino debido a que tiene una eficiencia mayor al resto. Se empleará un regulador solar y baterías AGM debido a su costo reducido. Para regular el voltaje se empleará un inversor DC-AC. La interfaz será una pantalla HMI y una alarma de emergencia visible y sonora. La cámara de secado tendrá una forma rectangular, la alimentación será mediante una faja transportadora la cual llevará los granos hacia la cámara de secado y, una vez secos, los sacará de dicha cámara. Posteriormente los granos secos se extraerán de forma manual. Para calentar el aire se usará un intercambiador de calor, el cual estará conectado a una caldera en donde se quemará biomasa o algún combustible. El flujo de aire atravesará la cama de granos a contra corriente. Este sistema no contara con mecanismo de agitación, por ello no se puede garantizar un secado uniforme. Se empleará una termorresistencia para sensar la temperatura y un sensor de humedad electrolítico, todo el sistema será controlado por un PLC.

## Anexo C

### Evaluación técnica y económica

Tabla C.1: Evaluación técnica del sistema

N°	Criterios técnicos	g	S1		S2		S3		IDEAL	
			p	gp	p	gp	p	gp	p	gp
1	Función principal	5	4	20	4	20	4	20	4	20
2	Forma	3	3	9	4	12	3	9	4	12
3	Diseño	4	4	16	4	16	3	12	4	16
4	Seguridad	4	3	12	3	12	3	12	4	16
5	Consumo	4	3	12	4	16	2	8	4	16
6	Fabricación	4	3	12	3	12	3	12	4	16
7	Montaje	3	2	6	3	9	2	6	4	12
8	Mantenimiento	4	3	12	3	12	2	8	4	16
	Puntaje máximo		99		109		87		124	
	Valor técnico		0.80		0.88		0.70		1	
	Orden		2		1		3			

Si: Soluciones / g: Peso ponderado / p: puntaje

Fuente: Propia

Tabla C.2: Evaluación económica del sistema

N°	Criterios económicos	g	S1		S2		S3		IDEAL	
			p	gp	p	gp	p	gp	p	gp
1	Número de piezas	5	3	15	3	15	2	10	4	20
2	Costo de componentes	5	2	10	1	5	1	5	4	20
3	Costo de mantenimiento	5	2	10	3	15	2	10	4	20
4	Costo de fabricación	4	2	8	3	12	2	8	4	16
5	Costo de montaje	4	3	12	3	12	2	8	4	16
6	Costo de transporte	4	3	12	3	12	2	8	4	16
	Puntaje máximo		67		71		49		108	
	Valor económico		0.62		0.65741		0.45		1	
	Orden		2		1		3			

Si: Soluciones / g: Peso ponderado / p: puntaje

Fuente: Propia

## Anexo D

### Cotizaciones

A continuación, se muestran las cotizaciones más relevantes.



#### COTIZACIÓN :CJM-000510

**Cliete:** PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU **Fecha:** 22/11/2016  
**R.U.C.:** 20155945860 **Teléfono:** 626-2000  
**Dirección:** AV. UNIVERSITARIA NRO. 1801 URB. PANDO LIMA - LIMA - SAN MIGUEL **Fax:** 626-2841

**Atención:** GILBERTH LOJA  
**Proyecto / Referencia:** N/D

Estimados Señores:  
 En atención a su amable solicitud nos es grato ofrecerle lo siguiente:

It	Código	Descripción	Und	Cantidad	Prec Lista	% Dcto	Prec Uml.	Total
1	C01021218	EXTRACTOR CBP 7/7 S/M S&P	PZ	1.00	386.0000	20.00	308.8000	308.80
2	C09990300	GABINETE D/A/B 7/7 MOTOREX	PZ	1.00	233.0000	20.00	186.4000	186.40
3	D01111330	MOTOR TRIF 4P CE 1HP AL IE2 T2A 802-4 IP56 KRAFTMANN	PZ	1.00	215.5000	50.00	107.7500	107.75
4	C07990514	TRANSMISION 0.3-1.5HP (1050- 2450RPM) 1A-AL	PZ	1.00	150.0000	20.00	120.0000	120.00

**Tiempo de Entrega:** 1 Días **SubTotal:** US\$ 722.95  
**Condición de Pago:** Contado **IGV:** US\$ 130.13  
**Validez de Oferta:** Vigencia 15 Días **Total:** US\$ 853.08  
**Garantía:** 1 Años

**Observaciones:**

El tiempo de entrega rige a partir de recibida la orden de compra.  
 Esperamos que nuestra propuesta sea de su interés, para cualquier consulta quedamos a su disposición.

Atentamente

Figura D.1. Cotización del ventilador centrífugo

### Order Information

1. Shopping cart		2. Order Information		3. Order Confirmation		4. Payment	
	<b>Product</b>	<b>Quantity</b>	<b>Unit price</b>	<b>Total</b>	<b>Remove</b>		
	HMP60 Humidity and Temperature Probe Part no. HMP60A12A1A3B0	1	\$259.00	\$259.00			
		<b>Update</b>					
				<b>Subtotal</b>	\$259.00 USD		
				<b>Delivery and handling</b>	\$0.00 USD		
				<b>Tax</b>	TBD		
				<b>Total</b>	\$259.00 USD		
				<b>Estimated delivery time</b>	1 week		

Figura D.2. Precio del sensor de temperatura y humedad relativa

### Módulos de 320W: Canadian Solar MaxPower CS6U-320P

Este panel moderno de 320Wp para sistemas grandes tiene 72 celdas y cuenta con la última tecnología de 5 busbars. Ventaja de paneles grandes son menos cables y conexiones. Así se mejora la eficiencia del sistema. Además se reducen fallos y los costos por vatios son más favorables.

Este módulo policristalino funciona bien también en condiciones difíciles como bajo la luz difusa (por ejemplo neblina) y altas temperaturas.

El marco de 40mm es de aluminio anodizado. El vidrio templado es de 3.2 mm y muy resistente por ejemplo contra granizos fuertes (vea datos en las especificaciones descargable abajo).

**Especificaciones** (pdf, en inglés) para descargar: **MaxPower CS6U-P**

**Garantía:** 25 años sobre el rendimiento, 10 años contra defectos de fabricación.

#### Datos del Modelo CS6U-320P

- o Rendimiento (STC): 320Wp
- o Voltaje de operación (Vmp): 36.8V
- o Corriente de operación (Imp): 8.69A
- o Voltaje abierto (Voc): 45.3V
- o Corriente circuito cerrado: 9.26A
- o NOCT: 45°C
- o Coeficiente de temperatura. Pmax: -0.41%/C, Voc: -0.31%/C, Isc: 0.053%/C
- o Tamaño: 195.4x98.2x4.0cm
- o Peso (neto): 22.4kg

**Precio** (Lima) 220.80US\$ (más IGV)



Figura D.3. Precio del panel solar fotovoltaico

**Batería de Gel Ecosolar 250Ah C100 12V**



Envío Gratis

Batería de gel de la marca Ecosolar con 250Ah de capacidad y fabricada para uso en instalaciones de energía solar o energía eólica. Gracias a su composición en gel, tiene una vida útil de hasta 12 años en condiciones normales de funcionamiento. Este tipo de batería está sellada con lo cual no emite gases al entorno y no requiere de mantenimiento. Su uso es ideal en energía solar ya que permite ciclos constantes de carga-descarga sin que ello afecte al rendimiento de la batería. Además permite descargas profundas y tiene una muy baja autodescarga, lo que es muy útil para instalaciones aisladas donde no hay un control diario de la instalación. Con la garantía de Damia Solar.

Envío gratuito  
**325.00 €**  
IVA incluido

Figura D.4. Precio de la batería de Gel Ecosolar

### Regulador Bluesolar MPPT 75/15 (12/24V - 15A). VICTRON ENERGY

de **Victron**

★★★★☆ 34 opiniones de EE. UU.

Disponibles a través de estos vendedores.

Nuevos: 1 desde EUR 110,00

Tamaño: **75V 15A**

<b>75V 15A</b> De 1 vendedor	100/50 EUR 303,45	150V 45A Tr EUR 459,00	150V 70A Tr EUR 561,00
---------------------------------	----------------------	---------------------------	---------------------------

- Para un máximo de 200 vatios de paneles a 12 voltios, 400 vatios a 24 voltios
- Ultra-fast MPPT y la eficiencia de pico 98%
- carga con la gestión de batería inteligente de múltiples etapas
- salida de carga separada con programable recorte de batería baja

Figura D.5. Precio del regulador solar

### Grupo Electrónico Gasolina GDA5250 3500W Daewoo

MODELO: GDA 5250 | SKU 264491-6 | ★★★★★ Compartir



Precio corresponde a tienda: SODIMAC SAN MIGUEL.  
El precio puede cambiar al modificar la ciudad de despacho o retiro.

S/ **1,999.90** C/U

Acumulas: 1.999 CMR Puntos

Cantidad

1

Agregar al carro

Agregar a mi lista

REVISLA DISPONIBILIDAD DE ESTE PRODUCTO AQUÍ:

Disponble para despacho a domicilio

Simular costo de despacho

Disponble para retiro en tienda

Ver tiendas disponibles

Sin stock disponible en tiendas

Ver stock

Figura D.6. Precio del grupo electrógeno



Oferta N° HR7996-001

## PROPUESTA COMERCIAL

### RESUMEN DE PRECIOS

Ítem	Cant.	Descripción	V.V.Unít US \$	V.V.Total US \$
1	1	<b>TABLERO DE CONTROL PARA PLC SEGÚN SOLICITUD</b> Tablero mural 400x400x220mm, incluye bornes de fuerza, 2 pulsadores, 3 pilotos e interruptor principal.	256.8	256.8
2	1	<b>SOPORTE</b> Soporte modificado según plano. Estructura de 730x1200x652mm conformada de planchas de fierro de 3mm de espesor.	75.00	75.00
<b>VALOR VENTA TOTAL US \$</b>				<b>331.8</b>

### CONDICIONES COMERCIALES PARTICULARES

<b>PRECIOS:</b>	Los precios están expresados en Dólares Americanos, no incluyen IGV y son válidos por el monto total de la oferta.
<b>FORMA DE PAGO:</b>	50% con la orden de compra, saldo contra entrega. El pago se efectuará en US\$ dólares o en moneda nacional al valor venta del tipo de cambio promedio ponderado vigente a la fecha de cancelación según R.C. No 007-91-EF/90.
<b>VALIDEZ DE LA OFERTA:</b>	15 días.

Figura D.7. Cotización tablero de control y soporte

Los costos de los componentes a adquirirse en UNITUTORES se encuentran en el siguiente link: <https://goo.gl/DGSQuM>.

## Anexo E

### Catálogos de componentes



#### CALENTADORES DE CONDUCTO DE AIRE RECTANGULAR

#### APLICACIONES DE LOS CALENTADORES DE CONDUCTO DE AIRE RECTANGULAR

Estos calentadores ofrecen un significativo incremento de la temperatura del aire en circulación en el conducto y se utilizan en procesos industriales o en la construcción de aplicaciones de aire acondicionado.

Cuando el circuito es cerrado (aire reciclado), el incremento de temperatura generado por el calentador rectangular, está limitada a unos pocos grados.

Si el circuito es abierto (aire perdido), el incremento de temperatura puede alcanzar los 400°C.



#### SELECCIÓN DE UN CALENTADOR DE CONDUCTO DE AIRE RECTANGULAR

Nuestros calentadores de conducto de aire estandarizados están diseñados para calentamiento de aire seco o ligeramente húmedo, limpio o ligeramente contaminado a una presión máxima de 100 mm head. Si nuestros calentadores de conducto no cumplen con los criterios requeridos por su aplicación, fabricaremos uno especial para usted.

Parámetros principales para definir un calentador de conducto:

- 1 – Modelo de calentador  carcasa  cajón
- 2 – Calidad del aire a calentar  aire seco  ligeramente húmedo  aire limpio
- aire ligeramente contaminado
- 3 – Circulación de aire :  aire perdido  aire reciclado
- aire reciclado con aire fresco de entrada

4 – Temperatura min. de entrada del aire : \_\_\_\_\_ Temperatura máx. de salida del aire : \_\_\_\_\_

5 – Caudal nominal del aire (especificar la unidad, m<sup>3</sup>/h, Nm<sup>3</sup>/h, kg/h...): \_\_\_\_\_

6 – Potencia del calentador (W) : \_\_\_\_\_

Si no conoce la potencia a instalar, la siguiente fórmula le ayudará a determinarla, principalmente para aplicaciones en circuitos abiertos (aire perdido):

$$P = 0,349 \times Mq \times \Delta t$$

P = Potencia a instalar W (permitiendo un coeficiente de seguridad de 1,2)

Mq = Caudal máscico (kg/h) = Caudal ( m<sup>3</sup>/h) x Densidad (kg/m<sup>3</sup>)

Δt = Incremento de temperatura entre la entrada y salida del calentador de conducto rectangular °C

En caso de operación en circuito cerrado (aire perdido), aunque se aplica la fórmula de manera idéntica, el incremento de temperatura es gradual y no de una sola vez.

Cuando el Δt es desconocido, para determinar la potencia a instalar, es necesario tener consideración los siguientes parámetros : pérdidas de calor específico de los recintos, volumen del aire y masa de la habitación a ser calentada, tiempo de incremento de temperatura, etc. ...

7 – Número de etapas de potencia : \_\_\_\_\_

8 – Tensión (monofásico o trifásico) : \_\_\_\_\_

9 – Sección de paso del aire (Ancho en mm x alto en mm) : \_\_\_\_\_  
profundidad si es requerida (mm) : \_\_\_\_\_

10 – Presión máxima de operación (especificando la unidad : mm de WC, Pa, mBar...): \_\_\_\_\_

11 – Máxima pérdida de carga admisible en la batería permissible load losses in battery :

12 – Material de la carcasa :  Acero inoxidable  
 Acero inoxidable 304L

13 – Protección de la caja :  IP 55  IP 30

#### IDENTIFICACION DE UN MODELO DE CALENTADOR DE CONDUCTO POR EL N° DE TIPO

Temperatura trabajo	aire seco	ligeramente húmedo o contaminado
temp. ≤ 110°C	6531/6532	6533/6096
110°C < temp. ≤ 200°C	6534	6534
110°C < temp. ≤ 300°C	6097	6097
Temp. > 300°C	consúltenos	consúltenos

Nota : Calentadores de conducto compactos tipo 6096 y 6097 tienen un elevado ratio alta-potencia/volumen.

El particular posicionamiento de las resistencias mejora considerablemente los intercambios térmicos.

Tipo modelo en carcasa	REF.	Pwr min (kW)	Pwr máx (kW)	calentado por	Tipo modelo de cajón	L (mm)	H (mm)	P (mm)	Min. aire (m/s)	Max. carcasa aire (m/s)	Forma	Protección de la caja conexiones
6531	0,25	171		resistencias aletas 25 X 50	6535	75 to 1635	190 to 1540	195 to 645	1,5	7	Rectangular	30 or 55
6532	1,25	285		resistencias aletas 40 X 80	6536	130 to 1755	350 to 1510	225 to 810	2	7	Rectangular	30 or 55
6533	0,25	228		resistencias en tubo Ø 10,2	6537	75 to 1795	210 to 1300	245 to 895	3	7	Rectangular	30 or 55
6534	0,25	228		resistencias en tubo Ø 10,2	6538	75 to 1795	250 to 1620	245 to 895	2	7	Rectangular	30 or 55
6096	1,35	368		resistencias en tubo Ø 16	-	125 to 1725	500 to 1500	120 to 900	3	7	Rectangular	30
6097	1,125	368		resistencias en tubo Ø 16	-	125 to 1725	500 to 1500	120 to 900	2,5	7	Rectangular	20 or 55

## CALENTADORES DE CONDUCTO DE AIRE RECTANGULAR



Todos nuestros calentadores estándar de conducto de aire tienen un termostato de seguridad de rearme automático en una funda, un prensaestopas para cada etapa de potencia y un prensaestopas para el termostato de seguridad. La conexión eléctrica por parte del cliente se realiza directamente a la barra de conexiones de las resistencias excepto para los modelos de potencia elevada 6096 y 6097, donde la conexión se realiza a un terminal. Los modelos de carcasa se pueden montar en conductos de flujo de aire vertical u horizontal. Los modelos de cajón rectangular, pueden ser montados preferentemente con las resistencias en posición vertical. Las bridas de fijación de los calentadores de carcasa rectangular y de cajón rectangular de la placa de soporte, no están perforadas. La perforación se realizará en el sitio. Todos nuestros modelos están equipados con carcasa de acero protegido o inoxidable.

<p><b>Tipos 6531 y 6532</b></p>	<p><b>Tipos 6535 y 6536</b></p> <table border="1" style="float: right; margin-top: 10px; font-size: small;"> <thead> <tr> <th>Tipo</th> <th>A</th> <th>B</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>6535</td> <td>80</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>6536</td> <td>60</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	Tipo	A	B	6535	80	20	6536	60	0
Tipo	A	B								
6535	80	20								
6536	60	0								
<p><b>Tipo 6533</b></p>	<p><b>Tipo 6537</b></p>									
<p><b>Tipo 6534</b></p>	<p><b>Tipo 6538</b></p>									
<p><b>Tipo 6096</b></p>	<p><b>Tipo 6097</b></p>									



August 2015

## MOC3031M, MOC3032M, MOC3033M, MOC3041M, MOC3042M, MOC3043M 6-Pin DIP Zero-Cross Triac Driver Output Optocoupler (250/400 Volt Peak)

### Features

- Simplifies Logic Control of 115 VAC Power
- Zero Voltage Crossing
- $dv/dt$  of 2000 V/ $\mu$ s Typical, 1000 V/ $\mu$ s Guaranteed
- Peak Blocking Voltage
  - 250 V, MOC303XM
  - 400 V, MOC304XM
- Safety and Regulatory Approvals
  - UL1577, 4,170 VAC<sub>RMS</sub> for 1 Minute
  - DIN EN/IEC60747-5-5

### Applications

- Solenoid/Valve Controls
- Lighting Controls
- Static Power Switches
- AC Motor Drives
- Temperature Controls
- E.M. Contactors
- AC Motor Starters
- Solid State Relays

### Description

The MOC303XM and MOC304XM devices consist of a GaAs infrared emitting diode optically coupled to a monolithic silicon detector performing the function of a zero voltage crossing bilateral triac driver.

They are designed for use with a triac in the interface of logic systems to equipment powered from 115 VAC lines, such as teletypewriters, CRTs, solid-state relays, industrial controls, printers, motors, solenoids and consumer appliances, etc.

### Schematic

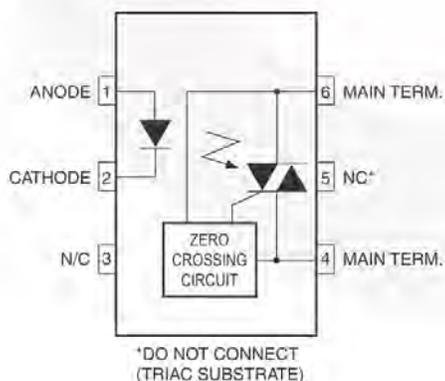


Figure 1. Schematic

### Package Outlines

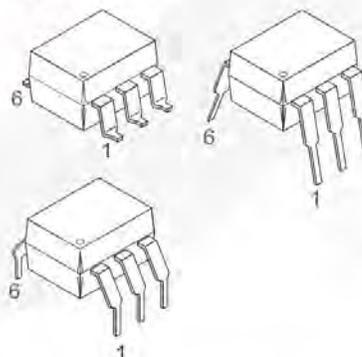


Figure 2. Package Outlines

MOC303XM, MOC304XM — 6-Pin DIP Zero-Cross Triac Driver Output Optocoupler (250/400 Volt Peak)

### Safety and Insulation Ratings

As per DIN EN/IEC 60747-5-5, this optocoupler is suitable for "safe electrical insulation" only within the safety limit data. Compliance with the safety ratings shall be ensured by means of protective circuits.

Parameter		Characteristics
Installation Classifications per DIN VDE 0110/1.89 Table 1, For Rated Mains Voltage	< 150 V <sub>RMS</sub>	I-IV
	< 300 V <sub>RMS</sub>	I-IV
Climatic Classification		40/85/21
Pollution Degree (DIN VDE 0110/1.89)		2
Comparative Tracking Index		175

Symbol	Parameter	Value	Unit
V <sub>PR</sub>	Input-to-Output Test Voltage, Method A, V <sub>IORM</sub> × 1.6 = V <sub>PR</sub> , Type and Sample Test with t <sub>m</sub> = 10 s, Partial Discharge < 5 pC	1275	V <sub>peak</sub>
	Input-to-Output Test Voltage, Method B, V <sub>IORM</sub> × 1.875 = V <sub>PR</sub> , 100% Production Test with t <sub>m</sub> = 1 s, Partial Discharge < 5 pC	1594	V <sub>peak</sub>
V <sub>IORM</sub>	Maximum Working Insulation Voltage	850	V <sub>peak</sub>
V <sub>IOTM</sub>	Highest Allowable Over-Voltage	6000	V <sub>peak</sub>
	External Creepage	≥ 7	mm
	External Clearance	≥ 7	mm
	External Clearance (for Option TV, 0.4" Lead Spacing)	≥ 10	mm
DTI	Distance Through Insulation (Insulation Thickness)	≥ 0.5	mm
R <sub>IO</sub>	Insulation Resistance at T <sub>S</sub> , V <sub>IO</sub> = 500 V	> 10 <sup>9</sup>	Ω

### Absolute Maximum Ratings

Stresses exceeding the absolute maximum ratings may damage the device. The device may not function or be operable above the recommended operating conditions and stressing the parts to these levels is not recommended. In addition, extended exposure to stresses above the recommended operating conditions may affect device reliability. The absolute maximum ratings are stress ratings only.  $T_A = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise specified.

Symbol	Parameters	Device	Value	Unit
<b>TOTAL DEVICE</b>				
$T_{STG}$	Storage Temperature	All	-40 to +150	$^\circ\text{C}$
$T_{OPR}$	Operating Temperature	All	-40 to +85	$^\circ\text{C}$
$T_J$	Junction Temperature Range	All	-40 to +100	$^\circ\text{C}$
$T_{SOL}$	Lead Solder Temperature	All	260 for 10 seconds	$^\circ\text{C}$
$P_D$	Total Device Power Dissipation at 25 $^\circ\text{C}$ Ambient	All	250	mW
	Derate Above 25 $^\circ\text{C}$		2.94	mW/ $^\circ\text{C}$
<b>EMITTER</b>				
$I_F$	Continuous Forward Current	All	60	mA
$V_R$	Reverse Voltage	All	6	V
$P_D$	Total Power Dissipation at 25 $^\circ\text{C}$ Ambient	All	120	mW
	Derate Above 25 $^\circ\text{C}$		1.41	mW/ $^\circ\text{C}$
<b>DETECTOR</b>				
$V_{DRM}$	Off-State Output Terminal Voltage	MOC3031M MOC3032M MOC3033M	250	V
		MOC3041M MOC3042M MOC3043M	400	
$I_{TSM}$	Peak Repetitive Surge Current (PW = 100 $\mu\text{s}$ , 120 pps)	All	1	A
$P_D$	Total Power Dissipation at 25 $^\circ\text{C}$ Ambient	All	150	mW
	Derate Above 25 $^\circ\text{C}$		1.76	mW/ $^\circ\text{C}$

## Electrical Characteristics

$T_A = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise specified.

### Individual Component Characteristics

Symbol	Parameters	Test Conditions	Device	Min.	Typ.	Max.	Unit
<b>EMITTER</b>							
$V_F$	Input Forward Voltage	$I_F = 30\text{ mA}$	All		1.25	1.50	V
$I_R$	Reverse Leakage Current	$V_R = 6\text{ V}$	All		0.01	100	$\mu\text{A}$
<b>DETECTOR</b>							
$I_{DRM1}$	Peak Blocking Current, Either Direction	Rated $V_{DRM}$ , $I_F = 0^{(1)}$	All			100	nA
$V_{TM}$	Peak On-State Voltage, Either Direction	$I_{TM} = 100\text{ mA peak}$ , $I_F = 0$	All		1.8	3.0	V
dv/dt	Critical Rate of Rise of Off-State Voltage	$I_F = 0$ (Figure 11) <sup>(2)</sup>	All	1000	2000		V/ $\mu\text{s}$

### Transfer Characteristics

Symbol	DC Characteristics	Test Conditions	Device	Min.	Typ.	Max.	Unit
$I_{FT}$	LED Trigger Current	Main Terminal Voltage = 3 V <sup>(3)</sup>	MOC3031M			15	mA
			MOC3041M				
			MOC3032M			10	
			MOC3042M				
			MOC3033M			5	
			MOC3043M				
$I_H$	Holding Current, Either Direction		All		400		$\mu\text{A}$

### Zero Crossing Characteristics

Symbol	Characteristics	Test Conditions	Device	Min.	Typ.	Max.	Unit
$V_{IH}$	Inhibit Voltage	$I_F = \text{rated } I_{FT}$ , MT1-MT2 voltage above which device will not trigger off-state	All			20	V
$I_{DRM2}$	Leakage in Inhibited State	$I_F = \text{rated } I_{FT}$ , rated $V_{DRM}$ off-state	All			2	mA

### Isolation Characteristics

Symbol	Parameter	Test Conditions	Device	Min.	Typ.	Max.	Unit
$V_{ISO}$	Isolation Voltage <sup>(4)</sup>	$t = 1\text{ Minute}$	All	4170			VAC <sub>RMS</sub>

#### Notes:

- Test voltage must be applied within dv/dt rating.
- This is static dv/dt. See Figure 11 for test circuit. Commutating dv/dt is a function of the load-driving thyristor(s) only.
- All devices are guaranteed to trigger at an  $I_F$  value less than or equal to max  $I_{FT}$ . Therefore, recommended operating  $I_F$  lies between max  $I_{FT}$  (15 mA for MOC3031M and MOC3041M, 10 mA for MOC3032M and MOC3042M, 5 mA for MOC3033M and MOC3043M) and absolute maximum  $I_F$  (60 mA).
- Isolation voltage,  $V_{ISO}$ , is an internal device dielectric breakdown rating. For this test, pins 1 and 2 are common, and pins 4, 5 and 6 are common.

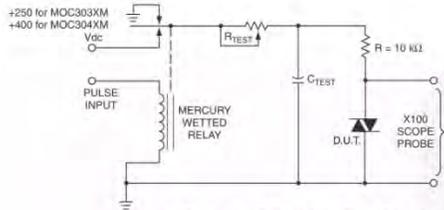


Figure 11. Static dv/dt Test Circuit

1. The mercury wetted relay provides a high speed repeated pulse to the D.U.T.
2. 100x scope probes are used, to allow high speeds and voltages.
3. The worst-case condition for static dv/dt is established by triggering the D.U.T. with a normal LED input current, then removing the current. The variable  $R_{TEST}$  allows the dv/dt to be gradually increased until the D.U.T. continues to trigger in response to the applied voltage pulse, even after the LED current has been removed. The dv/dt is then decreased until the D.U.T stops triggering.  $\tau_{RC}$  is measured at this point and recorded.

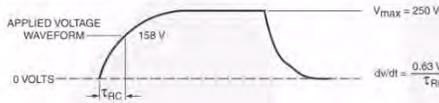


Figure 12. Static dv/dt Test Waveform (MOC3031M, MOC3032M, MOC3033M)

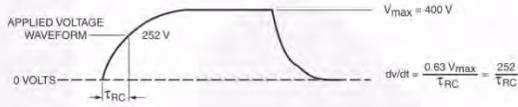


Figure 13. Static dv/dt Test Waveform (MOC3041M, MOC3042M, MOC3043M)

Typical circuit (Fig 14, 15) for use when hot line switching is required. In this circuit the "hot" side of the line is switched and the load connected to the cold or neutral side. The load may be connected to either the neutral or hot line.

$R_{in}$  is calculated so that  $I_F$  is equal to the rated  $I_{FT}$  of the part, 5mA for the MOC3033M and MOC3043M, 10mA for the MOC3032M and MOC3042M, or 15mA for the MOC3031M and MOC3041M. The 39 ohm resistor and 0.01μF capacitor are for snubbing of the triac and may or may not be necessary depending upon the particular triac and load used.

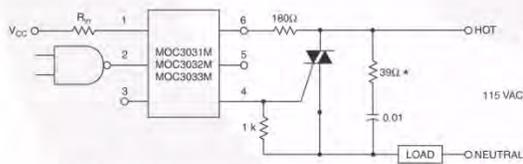


Figure 14. Hot-Line Switching Application Circuit (MOC3031M, MOC3032M, MOC3033M)

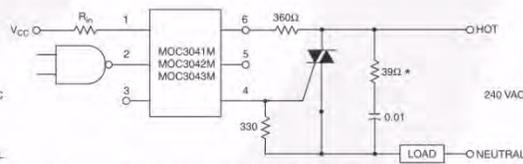


Figure 15. Hot-Line Switching Application Circuit (MOC3041M, MOC3042M, MOC3043M)

## Anexo F

### Cálculos de uniones atornilladas

A continuación, se detallan los cálculos de las uniones atornilladas más importantes. Se emplearon los apuntes del curso de Introducción al diseño de máquinas, año 2015.

- Ducto concéntrico

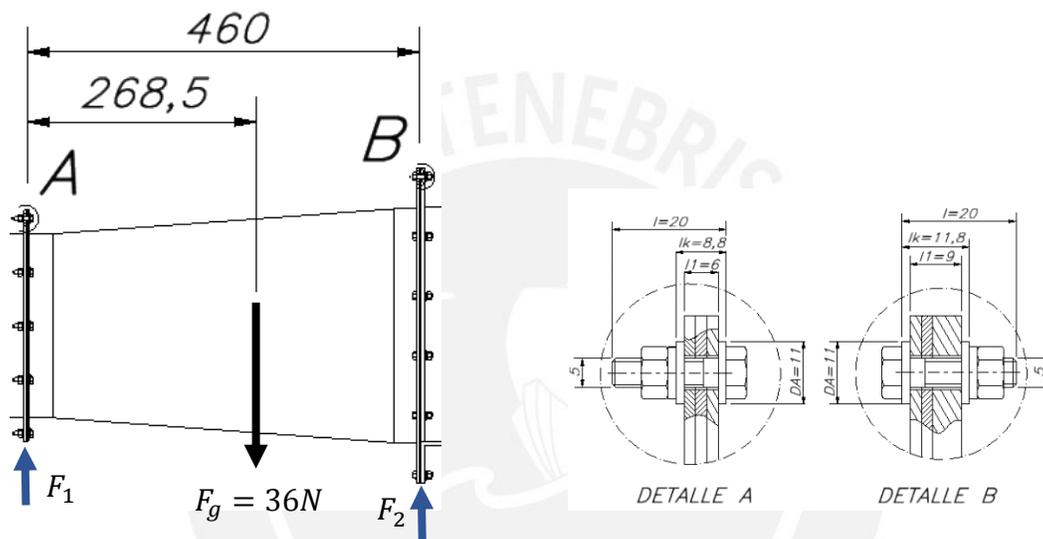


Figura F.1. DLC del ducto concéntrico

Figura F.2. Detalle de pernos

$$\sum F_y = 0$$

$$F_1 + F_2 = 36N$$

$$\sum M_A = 0$$

$$F_g * 268.5mm = F_2 * 460mm$$

$$21N = F_2 \quad \Rightarrow \quad F_1 = 15N$$

En el lado A se han colocado 16 tornillos, cada uno de ellos soportará una fuerza de:

$$F = \frac{15N}{16} = 1N$$

Se trata de una carga transversal.

Cálculo aproximado del diámetro (según Tabla 7, ver final de este anexo).

Ubicar 1N, fila con 250N (por ser el más cercano)

$F_{M\ min}$ : +4 filas hacia adelante (1600N) -> por carga transversal

$F_{M\ max}$ : +2 filas hacia adelante (4000N) -> por ajuste simple

Para tornillo (calidad 8.8); la tabla propone usar tornillos M5

Se puede apreciar en la Figura F.2 que la longitud del tornillo ( $l$ ) es 20mm y que la longitud de contacto entre arandelas ( $l_k$ ) es 8.8.

Según Tabla 10 y 12 (ver final de este anexo), se obtienen los siguientes datos:

Tabla F.1  
Medidas principales tornillo hexagonal M5 según DIN 931

d	$d_k$	b	$D_B$	$l_{s/r}$	$l_r$	$A_3\text{mm}^2$	$A_d\text{mm}^2$
M5	8	12	5.5	8	0.8	12.69	19.64

Fuente: Propia

Elasticidad del tornillo ( $\delta_t$ ):  $\delta_t = \sum \frac{l_i}{E_t * A_i}$

$$\delta_t = \frac{1}{E_t} \left( \frac{0.4d}{A_d} + \frac{l_{sr}}{A_d} + \frac{l_r}{A_3} + \frac{0.5d}{A_3} + \frac{0.4d}{A_d} \right)$$

Donde el módulo de elasticidad del tornillo ( $E_t$ ) es  $2.1 \times 10^5 \text{N/mm}^2$ . Reemplazando se obtiene que  $\delta_t = 4.15 \times 10^{-6} \text{mm/N}$ .

Elasticidad de la placa ( $\delta_p$ ):  $\delta_p = \frac{l_k}{E_p A_{eq}}$

$d_k = 8 < D_A = 11$ , entonces

$$x = \sqrt[3]{\frac{l_k}{D_A^2} d_k} = 0.835$$

$$A_{eq} = \frac{\pi}{4} (d_k^2 - D_B^2) + \frac{\pi}{8} d_k (D_A - d_k) [(x + 1)^2 - 1] = 48.82 \text{mm}^2$$

El módulo de elasticidad del aluminio es  $E_p = 7 \times 10^4 \text{N/mm}^2$ . Reemplazando se obtiene que  $\delta_p = 2.58 \times 10^{-6} \text{mm/N}$ .

Relación entre fuerzas ( $\Phi$ ):

$$\Phi = \frac{\delta_p}{\delta_t + \delta_p} = 0.383$$

Asentamiento ( $f_z$ ):

$$f_z = 3.25 \left( \frac{l_k}{d} \right)^{0.34} 10^{-3} \text{mm} = 3.94 \times 10^{-3} \text{mm}$$

Perdida de pretensión ( $F_z$ ):

$$F_z = f_z \frac{\Phi}{\delta_p} = 584.9 \text{N}$$

Fuerza de pretensión en montaje:

$$F_M = \alpha_A \left[ F_k + \left( 1 - \frac{l_1}{l_k} \Phi \right) F + F_z \right]$$

El valor de  $\alpha_A$  se obtiene de la Tabla 8, (ver final de este anexo), en este caso  $\alpha_A = 1.8$ . La fuerza residual ( $F_k$ ) será de 150N, ya que es un valor promedio en este tipo de cálculos. Reemplazando todos los valores se obtiene lo siguiente:

$$F_M = 1324.2 \text{N} < 5100 \text{N} \text{ (Valor obtenido de la Tabla 1 tomando en cuenta } \mu_g = 0.24)$$

Como el valor de  $F_M$  es menor, se comprueba que el tornillo M5x20 no fallará. De manera análoga se puede comprobar que los tornillos del lado B no fallarán ya que  $F_M = 1189.6 \text{N} < 5100 \text{N}$ .

- Ducto intermedio

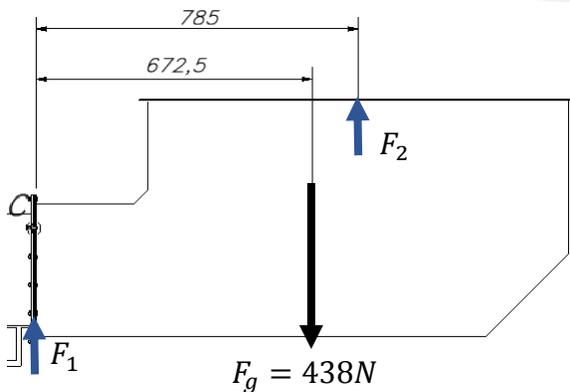
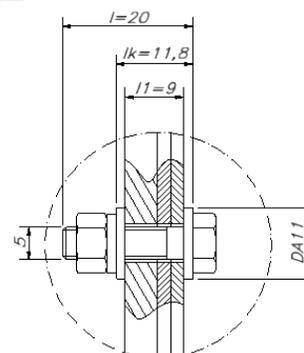


Figura F.3. DLC del ducto intermedio



DETALLE C

Figura F.4. Detalle del perno

$$\sum F_y = 0$$

$$F_1 + F_2 = 438N$$

$$\sum M_A = 0$$

$$F_g * 672.5mm = F_2 * 785mm$$

$$375.2N = F_2 \quad \Rightarrow \quad F_1 = 62.8N$$

En el lado C se han colocado 26 tornillos, cada uno de ellos soportará una fuerza de:

$$F = \frac{62.8N}{26} = 2.4N$$

Se trata de una carga transversal.

Cálculo aproximado del diámetro (según Tabla 7, ver final de este anexo).

Ubicar 2.4N, fila con 250N (por ser el más cercano)

$F_{M \min}$ : +4 filas hacia adelante (1600N) -> por carga transversal

$F_{M \max}$ : +2 filas hacia adelante (4000N) -> por ajuste simple

Para tornillo (calidad 8.8); la tabla propone usar tornillos M5

Se puede apreciar en la Figura F.4 que la longitud del tornillo ( $l$ ) es 20mm y que la longitud de contacto entre arandelas ( $l_k$ ) es 11.8.

Según Tabla 10 y 12 (ver final de este anexo), se obtienen los siguientes datos:

Tabla F.2

Medidas principales tornillo hexagonal M5 según DIN 931

d	$d_k$	b	$D_B$	$l_{s/r}$	$l_r$	$A_3 mm^2$	$A_d mm^2$
M5	8	12	5.5	8	3.8	12.69	19.64

Fuente: Propia

Elasticidad del tornillo ( $\delta_t$ ):  $\delta_t = \sum \frac{l_i}{E_t * A_i}$

$$\delta_t = \frac{1}{E_t} \left( \frac{0.4d}{A_d} + \frac{l_{sr}}{A_d} + \frac{l_r}{A_3} + \frac{0.5d}{A_3} + \frac{0.4d}{A_d} \right)$$

Donde el módulo de elasticidad del tornillo ( $E_t$ ) es  $2.1 \times 10^5 N/mm^2$ . Reemplazando se obtiene que  $\delta_t = 5.27 \times 10^{-6} mm/N$ .

Elasticidad de la placa ( $\delta_p$ ):  $\delta_p = \frac{l_k}{E_p A_{eq}}$

$d_k = 8 < D_A = 11$ , entonces

$$x = \sqrt[3]{\frac{l_k}{D_A^2} d_k} = 0.92$$

$$A_{eq} = \frac{\pi}{4}(d_k^2 - D_B^2) + \frac{\pi}{8}d_k(D_A - d_k)[(x + 1)^2 - 1] = 51.83 \text{ mm}^2$$

El módulo de elasticidad del acero inoxidable es  $E_p = 2.1 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ . Reemplazando se obtiene que  $\delta_p = 1.08 \times 10^{-6} \text{ mm/N}$ .

Relación entre fuerzas ( $\Phi$ ):

$$\Phi = \frac{\delta_p}{\delta_t + \delta_p} = 0.17$$

Asentamiento ( $f_z$ ):

$$f_z = 3.25 \left(\frac{l_k}{d}\right)^{0.34} 10^{-3} \text{ mm} = 4.35 \times 10^{-3} \text{ mm}$$

Perdida de pretensión ( $F_z$ ):

$$F_z = f_z \frac{\Phi}{\delta_p} = 685 \text{ N}$$

Fuerza de pretensión en montaje:

$$F_M = \alpha_A \left[ F_k + \left(1 - \frac{l_1}{l_k} \Phi\right) F + F_z \right]$$

El valor de  $\alpha_A$  se obtiene de la Tabla 8, (ver final de este anexo), en este caso  $\alpha_A = 1.8$ . La fuerza residual ( $F_k$ ) será de 150N, ya que es un valor promedio en este tipo de cálculos. Reemplazando todos los valores se obtiene lo siguiente:

$$F_M = 1506.76 \text{ N} < 5100 \text{ N} \text{ (Valor obtenido de la Tabla 1 tomando en cuenta } \mu_g = 0.24)$$

Como el valor de  $F_M$  es menor, se comprueba que el tornillo M5x20 no fallará.

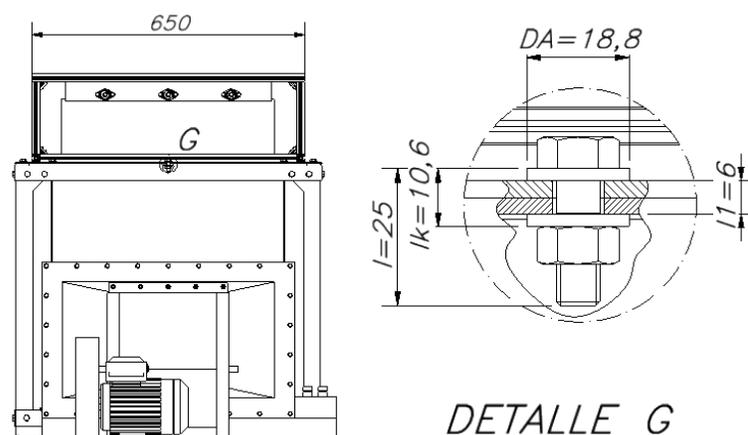


Figura F.5. Detalle de la unión

En el lado G se han colocado 9 tornillos M8x20, cada uno de ellos soportará una fuerza de:

$$F = \frac{375.2N}{9} = 41N$$

Se puede apreciar en la Figura F.5 que la longitud del tornillo ( $l$ ) es 25mm y que la longitud de contacto entre arandelas ( $l_k$ ) es 10.6.

Según Tabla 10 y 12 (ver final de este anexo), se obtienen los siguientes datos:

Tabla F.3

Medidas principales tornillo hexagonal M8 según DIN 931

d	$d_k$	b	$D_B$	$l_{s/r}$	$l_r$	$A_3 mm^2$	$A_d mm^2$
M8	13	18	9	7	3.6	32.84	50.27

Fuente: Propia

Elasticidad del tornillo ( $\delta_t$ ):  $\delta_t = \sum \frac{l_i}{E_t * A_i}$

$$\delta_t = \frac{1}{E_t} \left( \frac{0.4d}{A_d} + \frac{l_{sr}}{A_d} + \frac{l_r}{A_3} + \frac{0.5d}{A_3} + \frac{0.4d}{A_d} \right)$$

Donde el módulo de elasticidad del tornillo ( $E_t$ ) es  $2.1 \times 10^5 N/mm^2$ . Reemplazando se obtiene que  $\delta_t = 2.37 \times 10^{-6} mm/N$ .

Elasticidad de la placa ( $\delta_p$ ):  $\delta_p = \frac{l_k}{E_p A_{eq}}$

$d_k = 13 < D_A = 18.8$ , entonces

$$x = \sqrt[3]{\frac{l_k}{D_A^2} d_k} = 0.73$$

$$A_{eq} = \frac{\pi}{4}(d_k^2 - D_B^2) + \frac{\pi}{8}d_k(D_A - d_k)[(x + 1)^2 - 1] = 128.12 \text{ mm}^2$$

El módulo de elasticidad del acero inoxidable es  $E_p = 2.1 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ . Reemplazando se obtiene que  $\delta_p = 3.94 \times 10^{-7} \text{ mm/N}$ .

Relación entre fuerzas ( $\Phi$ ):

$$\Phi = \frac{\delta_p}{\delta_t + \delta_p} = 0.143$$

Asentamiento ( $f_z$ ):

$$f_z = 3.25 \left(\frac{l_k}{d}\right)^{0.34} 10^{-3} \text{ mm} = 3.58 \times 10^{-3} \text{ mm}$$

Perdida de pretensión ( $F_z$ ):

$$F_z = f_z \frac{\Phi}{\delta_p} = 1298 \text{ N}$$

Fuerza de pretensión en montaje:

$$F_M = \alpha_A \left[ F_k + \left(1 - \frac{l_1}{l_k} \Phi\right) F + F_z \right]$$

El valor de  $\alpha_A$  se obtiene de la Tabla 8, (ver final de este anexo), en este caso  $\alpha_A = 1.8$ . La fuerza residual ( $F_k$ ) será de 150N, ya que es un valor promedio en este tipo de cálculos. Reemplazando todos los valores se obtiene lo siguiente:

$$F_M = 2674 < 13300 \text{ N (Valor obtenido de la Tabla 1 tomando en cuenta } \mu_g = 0.24)$$

Como el valor de  $F_M$  es menor, se comprueba que el tornillo M8x25 no fallará.

- Soporte

Como se mencionó en el documento principal, el soporte será elaborado por la empresa Manufacturas Eléctricas S.A. la cual garantiza que dicho soporte puede cargar un peso de 1500N aproximadamente. A continuación, se procederá a verificar las uniones atornilladas en las cuales trabajen con cargas transversales ya que son las más críticas.

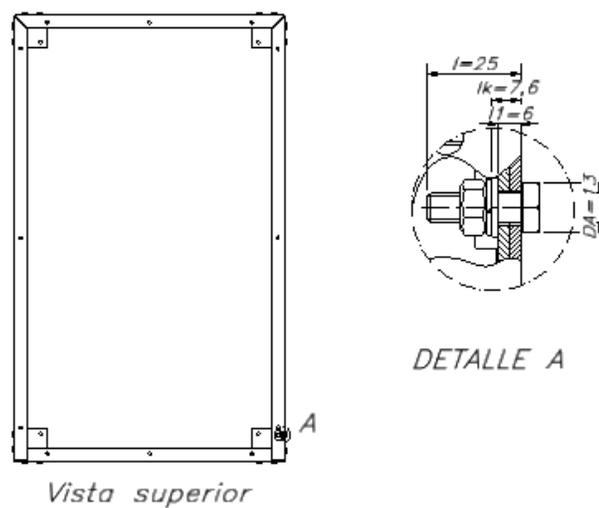


Figura F.6. Detalle de la unión

Como nuestra carga es de 132kg, eso sería un peso aproximado de 1294N. El cual se reparte en cada parante del soporte, es decir, cada uno soportará un peso de 323.5N. Se han colocado 4 tornillos M8x25, cada uno de ellos soportará una fuerza de:

$$F = \frac{323.5N}{4} = 81N$$

Se puede apreciar en la Figura F.6 que la longitud del tornillo ( $l$ ) es 25mm y que la longitud de contacto entre arandelas ( $l_k$ ) es 7.6.

Según Tabla 10 y 12 (ver final de este anexo), se obtienen los siguientes datos:

Tabla X.3  
Medidas principales tornillo hexagonal M8 según DIN 931

d	$d_k$	b	$D_B$	$l_{s/r}$	$l_r$	$A_3 \text{mm}^2$	$A_d \text{mm}^2$
M8	13	18	9	7	0.6	32.84	50.27

Fuente: Propia

Elasticidad del tornillo ( $\delta_t$ ):  $\delta_t = \sum \frac{l_i}{E_t \cdot A_i}$

$$\delta_t = \frac{1}{E_t} \left( \frac{0.4d}{A_d} + \frac{l_{sr}}{A_d} + \frac{l_r}{A_3} + \frac{0.5d}{A_3} + \frac{0.4d}{A_d} \right)$$

Donde el módulo de elasticidad del tornillo ( $E_t$ ) es  $2.1 \times 10^5 \text{N/mm}^2$ . Reemplazando se obtiene que  $\delta_t = 1.94 \times 10^{-6} \text{mm/N}$ .

Elasticidad de la placa ( $\delta_p$ ):  $\delta_p = \frac{l_k}{E_p A_{eq}}$

$d_k = 13 \leq D_A = 13$ , entonces

$$x = \sqrt[3]{\frac{l_k}{D_A^2} d_k} = 0.84$$

$$A_{eq} = \frac{\pi}{4} (d_k^2 - D_B^2) + \frac{\pi}{8} d_k (D_A - d_k) [(x+1)^2 - 1] = 69.11 \text{mm}^2$$

El módulo de elasticidad del acero es  $E_p = 2.1 \times 10^5 \text{N/mm}^2$ . Reemplazando se obtiene que  $\delta_p = 5.24 \times 10^{-7} \text{mm/N}$ .

Relación entre fuerzas ( $\Phi$ ):

$$\Phi = \frac{\delta_p}{\delta_t + \delta_p} = 0.213$$

Asentamiento ( $f_z$ ):

$$f_z = 3.25 \left( \frac{l_k}{d} \right)^{0.34} 10^{-3} \text{mm} = 2.93 \times 10^{-3} \text{mm}$$

Perdida de pretensión ( $F_z$ ):

$$F_z = f_z \frac{\Phi}{\delta_p} = 1192.3 \text{N}$$

Fuerza de pretensión en montaje:

$$F_M = \alpha_A \left[ F_k + \left( 1 - \frac{l_1}{l_k} \Phi \right) F + F_z \right]$$

El valor de  $\alpha_A$  se obtiene de la Tabla 8, (ver final de este anexo), en este caso  $\alpha_A = 1.8$ . La fuerza residual ( $F_k$ ) será de 150N, ya que es un valor promedio en este tipo de cálculos. Reemplazando todos los valores se obtiene lo siguiente:

$$F_M = 2537.4 < 13300\text{N (Valor obtenido de la Tabla 1 tomando en cuenta } \mu_g = 0.24)$$

Como el valor de  $F_M$  es menor, se comprueba que el tornillo M8x25 no fallará.

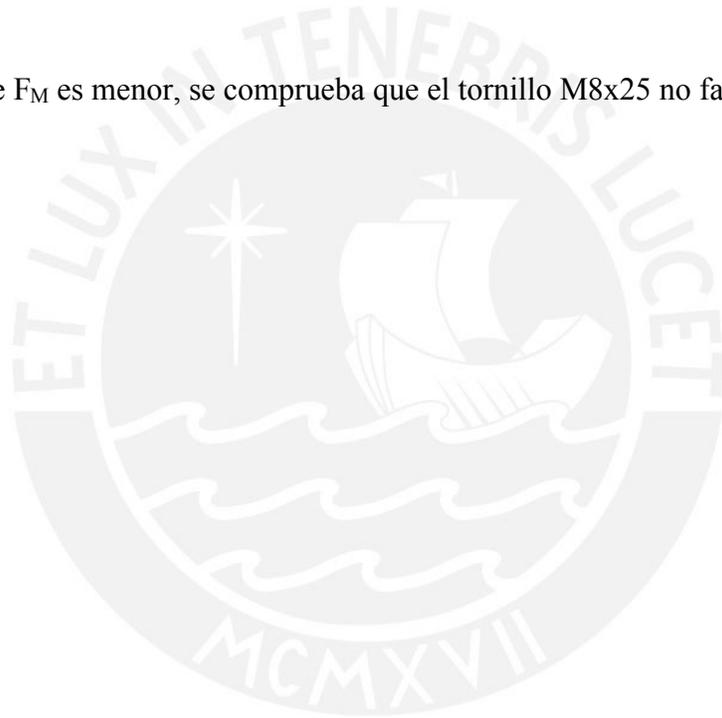


Tabla 1 Fuerza de pretensión de montaje  $F_H$  y Momento de ajuste  $M_A$  (calculados con el valor promedio del coeficiente de fricción en la roca de  $\mu_0 = 0,12$ ) para tornillos normales con rosca normal según DIN 13 parte 13 y medidas de la cabeza de tornillos hexagonales según DIN 931 o tornillos de cabeza cilíndrica según DIN 912

Medida	Clase	Fuerza de pretensión de montaje $F_H$ en N para $\mu_0 =$							Momento de ajuste $M_A$ en Nm para $\mu_1 =$						
		0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,20	0,24	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,20	0,24
M 4	8.8	4400	4200	4050	3900	3700	3400	3150	2.2	2.5	2.8	3.1	3.3	3.7	4.0
	10.9	6400	6200	6000	5700	5500	5000	4600	3.2	3.7	4.1	4.5	4.9	5.4	5.9
	12.9	7500	7300	7000	6700	6400	5900	5400	3.8	4.3	4.8	5.3	5.7	5.4	6.9
M 5	8.8	7200	6900	6600	6400	6100	5600	5100	4.3	4.9	5.5	6.1	6.5	7.3	7.9
	10.9	10500	10100	9700	9300	9000	8200	7500	6.3	7.3	8.1	8.9	9.6	10.7	11.6
	12.9	12300	11900	11400	10900	10500	9600	8800	7.4	8.5	9.5	10.4	11.2	12.5	13.5
M 6	8.8	10100	9700	9400	9000	8600	7900	7200	7.4	8.5	9.5	10.4	11.2	12.5	13.5
	10.9	14900	14300	13700	13200	12600	11600	10600	10.9	12.5	14.0	15.5	16.5	18.5	20.0
	12.9	17400	16700	16100	15400	14800	13500	12400	12.5	14.5	16.5	18.0	19.5	21.5	23.5
M 7	8.8	14800	14200	13700	13100	12600	11600	10600	12.0	14.0	15.5	17.0	18.5	21.0	22.5
	10.9	21700	20900	20100	19300	18500	17000	15600	17.5	20.5	23.0	25	27	31	33
	12.9	25500	24500	23500	22600	21700	19900	18300	20.5	24.0	27	30	32	36	39
M 8	8.8	18500	17900	17200	16500	15800	14500	13300	18	20.5	23	25	27	31	33
	10.9	27000	26000	25000	24200	23200	21300	19500	26	30	34	37	40	45	49
	12.9	32000	30500	29500	28500	27000	24900	22800	31	35	40	43	47	53	57
M 10	8.8	29500	28500	27500	26000	25000	23100	21200	36	41	46	51	55	62	67
	10.9	43500	42000	40000	38500	37000	34000	31000	52	60	68	75	80	90	98
	12.9	50000	49000	47000	45000	43000	40000	36500	61	71	79	87	94	106	115
M 12	8.8	43000	41500	40000	38500	36500	33500	31000	61	71	79	87	94	106	115
	10.9	63000	61000	59000	56000	54000	49500	45500	90	104	117	130	140	155	170
	12.9	74000	71000	69000	66000	63000	58000	53000	105	121	135	150	160	180	195
M 14	8.8	59000	57000	55000	53000	50000	46500	42500	97	113	125	140	150	170	185
	10.9	87000	84000	80000	77000	74000	68000	62000	145	165	185	205	220	250	270
	12.9	101000	98000	94000	90000	87000	80000	73000	165	195	215	240	260	290	320
M 16	8.8	81000	78000	75000	72000	70000	64000	59000	145	170	195	215	230	260	280
	10.9	119000	115000	111000	106000	102000	94000	86000	215	250	280	310	340	380	420
	12.9	139000	134000	130000	124000	119000	110000	101000	250	300	330	370	400	450	490
M 18	8.8	102000	98000	94000	91000	87000	80000	73000	210	245	280	300	330	370	400
	10.9	145000	140000	135000	129000	124000	114000	104000	300	350	390	430	470	530	570
	12.9	170000	164000	157000	151000	145000	133000	122000	350	410	460	510	550	620	670
M 20	8.8	131000	126000	121000	117000	112000	103000	95000	300	350	390	430	470	530	570
	10.9	186000	180000	173000	166000	159000	147000	135000	420	490	560	620	670	750	820
	12.9	218000	210000	202000	194000	187000	171000	158000	500	580	650	720	780	880	960
M 22	8.8	163000	157000	152000	146000	140000	129000	118000	400	470	530	580	630	710	780
	10.9	232000	224000	216000	208000	200000	183000	169000	570	670	750	830	900	1020	1110
	12.9	270000	260000	250000	243000	233000	215000	197000	670	780	880	970	1050	1190	1300
M 24	8.8	188000	182000	175000	168000	161000	148000	136000	510	600	670	740	800	910	990
	10.9	270000	260000	249000	239000	230000	211000	194000	730	850	960	1060	1140	1300	1400
	12.9	315000	305000	290000	280000	270000	247000	227000	850	1000	1120	1240	1350	1500	1650
M 27	8.8	247000	239000	230000	221000	213000	196000	180000	750	880	1000	1100	1200	1350	1450
	10.9	350000	340000	330000	315000	305000	280000	255000	1070	1250	1400	1550	1700	1900	2100
	12.9	410000	400000	385000	370000	355000	325000	300000	1250	1450	1650	1850	2000	2250	2450
M 30	8.8	300000	290000	280000	270000	260000	237000	218000	1000	1190	1350	1500	1600	1800	2000
	10.9	430000	415000	400000	385000	370000	340000	310000	1450	1700	1900	2100	2300	2600	2800
	12.9	500000	485000	465000	450000	430000	395000	365000	1700	2000	2250	2500	2700	3000	3300
M 33	8.8	375000	360000	350000	335000	320000	295000	275000	1400	1600	1850	2000	2200	2500	2700
	10.9	530000	520000	495000	480000	460000	420000	390000	1950	2300	2600	2800	3100	3500	3900
	12.9	620000	600000	580000	560000	540000	495000	455000	2300	2700	3000	3400	3700	4100	4500
M 36	8.8	440000	425000	410000	395000	380000	350000	320000	1750	2100	2350	2600	2800	3200	3500
	10.9	630000	600000	580000	560000	540000	495000	455000	2500	3000	3300	3700	4000	4500	4900
	12.9	730000	710000	680000	660000	630000	580000	530000	3000	3500	3900	4300	4700	5300	5800
M 39	8.8	530000	510000	490000	475000	455000	420000	385000	2300	2700	3000	3400	3700	4100	4500
	10.9	750000	730000	700000	670000	650000	600000	550000	3300	3800	4300	4800	5200	5900	6400
	12.9	880000	850000	820000	790000	760000	700000	640000	3800	4500	5100	5600	6100	6900	7500

**Tabla 2** Fuerza de pretensión de montaje  $F_A$  y Momento de ajuste  $M_A$  (calculados con el valor promedio del coeficiente de fricción en la roca de  $\mu_0 = 0,12$ ) para tornillos entallados,  $d_T = 0,9 \cdot d_s$  con rosca normal según DIN 13 parte 13 y medidas de la cabeza de tornillos hexagonales según DIN 931 o tornillos de cabeza cilíndrica según DIN 912

Medida	Clase	Fuerza de pretensión de montaje $F_A$ en N para $\mu_0 =$							Momento de ajuste $M_A$ en Nm para $\mu_1 =$						
		0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,20	0,24	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,20	0,24
M 4	8.8														
	10.9														
	12.9														
M 5	8.8	5000	4750	4500	4300	4100	3700	3350	3,0	3,4	3,8	4,1	4,4	4,8	5,2
	10.9	7300	7000	6600	6300	6000	5400	4900	4,4	5,0	5,5	6,0	6,4	7,1	7,6
	12.9	8600	8200	7800	7400	7000	6400	5800	5,1	5,8	6,5	7,0	7,5	8,3	8,9
M 6	8.8	7000	6700	6300	6000	5700	5200	4700	5,1	5,8	6,5	7,0	7,5	8,2	8,8
	10.9	10200	9800	9300	8800	8400	7600	6900	7,5	8,6	9,5	10,3	11,0	12,1	13,0
	12.9	12000	11400	10900	10300	9800	8900	8000	8,8	10,0	11,1	12,0	13,0	14,0	15,0
M 7	8.8	10400	10000	9500	9100	8600	7800	7100	8,5	9,8	10,9	11,9	12,5	14,0	15,0
	10.9	15300	14700	14000	13300	12700	11500	10400	12,5	14,5	16,0	17,5	18,5	20,5	22,0
	12.9	18000	17200	16400	15600	14800	13400	12200	14,5	17,0	18,5	20,5	22,0	24,0	26
M 8	8.8	12900	12300	11800	11200	10600	9600	8700	12,4	14,0	16,0	17,0	18,5	20,5	21,5
	10.9	19000	18100	17300	16400	15600	14100	12800	18,0	21,0	23,0	25,0	27,0	30,0	32,0
	12.9	22200	21200	20200	19200	18300	16500	15000	21,5	24,5	27,1	30,0	32,0	35,0	37,0
M 10	8.8	20700	19800	18900	18000	17100	15400	14000	25	29	32	35	37	41	44
	10.9	30500	29000	27500	26500	25000	22700	20600	37	42	47	51	55	60	65
	12.9	35500	34000	32500	31000	29500	26500	24100	43	49	55	60	64	71	76
M 12	8.8	30500	29000	27500	26500	25000	22600	20500	43	49	55	60	64	71	76
	10.9	44500	42500	40500	38500	36500	33000	30000	63	73	81	88	94	104	112
	12.9	52000	50000	47500	45000	43000	39000	35500	74	85	95	103	110	122	130
M 14	8.8	42000	40000	38000	36000	34500	31000	28500	69	79	88	96	103	114	122
	10.9	61000	59000	56000	53000	51000	46000	41500	101	116	130	140	150	165	180
	12.9	72000	69000	65000	62000	59000	54000	48500	118	135	150	165	175	195	210
M 16	8.8	58000	56000	53000	51000	48500	44000	40000	106	123	135	150	160	180	195
	10.9	86000	82000	79000	75000	71000	65000	59000	155	180	200	220	235	260	280
	12.9	100000	96000	92000	88000	83000	76000	69000	185	210	235	260	280	310	330
M 18	8.8	72000	69000	66000	63000	60000	54000	49000	150	175	195	210	225	250	270
	10.9	103000	99000	94000	89000	85000	77000	70000	215	245	280	300	320	360	380
	12.9	121000	115000	110000	105000	100000	90000	82000	250	290	320	350	380	420	450
M 20	8.8	94000	90000	86000	82000	78000	71000	64000	215	250	280	300	330	360	390
	10.9	134000	128000	123000	117000	111000	101000	92000	310	350	410	430	460	520	560
	12.9	157000	150000	144000	137000	130000	118000	107000	360	410	460	510	540	610	650
M 22	8.8	119000	114000	109000	104000	99000	90000	82000	290	340	380	420	450	500	540
	10.9	169000	162000	155000	148000	141000	128000	116000	420	480	540	590	640	710	770
	12.9	198000	190000	182000	173000	165000	150000	136000	490	560	630	690	740	830	900
M 24	8.8	136000	130000	124000	118000	113000	102000	93000	370	430	480	520	560	620	670
	10.9	193000	185000	177000	168000	160000	145000	132000	530	610	680	740	800	890	960
	12.9	226000	216000	207000	197000	188000	170000	154000	620	710	800	870	940	1040	1120
M 27	8.8	181000	173000	166000	158000	151000	137000	124000	550	640	720	790	850	940	1020
	10.9	255000	247000	236000	225000	215000	195000	177000	780	910	1020	1120	1200	1350	1450
	12.9	300000	290000	275000	265000	250000	228000	207000	920	1060	1190	1300	1400	1550	1700
M 30	8.8	218000	209000	200000	191000	182000	165000	150000	740	860	970	1060	1140	1250	1350
	10.9	310000	300000	285000	270000	260000	235000	214000	1060	1230	1400	1500	1600	1800	1950
	12.9	365000	350000	335000	320000	305000	275000	250000	1240	1450	1600	1750	1900	2100	2300
M 33	8.8	275000	265000	250000	241000	230000	208000	189000	1010	1180	1300	1450	1550	1750	1900
	10.9	390000	375000	360000	345000	325000	295000	270000	1450	1700	1900	2050	2250	2500	2700
	12.9	460000	440000	420000	400000	385000	345000	315000	1700	1950	2200	2400	2600	2900	3100
M 36	8.8	320000	310000	295000	280000	270000	243000	221000	1300	1500	1700	1850	2000	2250	2400
	10.9	460000	440000	420000	400000	380000	345000	315000	1850	2150	2400	2600	2800	3200	3400
	12.9	535000	510000	490000	470000	445000	405000	370000	2150	2500	2800	3100	3300	3700	4000
M 39	8.8	390000	375000	355000	340000	325000	295000	270000	1700	1950	2200	2400	2600	2900	3200
	10.9	550000	530000	510000	485000	465000	420000	380000	2400	2800	3100	3500	3700	4200	4500
	12.9	650000	620000	600000	570000	540000	490000	445000	2800	3300	3700	4000	4400	4900	5300

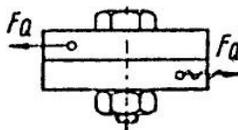
Tabla N° 7 Estimación del diámetro nominal del tornillo.

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

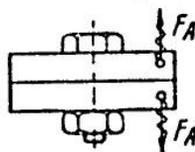
A Escoja en la columna 1 la carga inmediata superior correspondiente a la carga de trabajo a que esta sometida la unión atornillada  $F_{A,Q}$

B La fuerza de pretensión mínima necesaria  $F_{W, min}$  resulta de avanzar hacia adelante con esa cifra

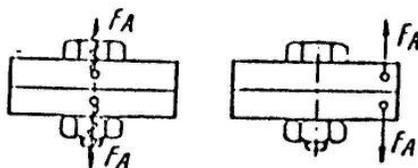
4 pasos hacia adelante si se trata de cargas transversales, estáticas o dinámicas



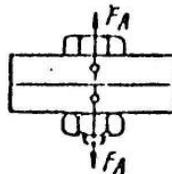
2 pasos hacia adelante para cargas axiales de trabajo dinámicas y excéntricas



- 1 paso hacia adelante si se trata de cargas de trabajo dinámicas centradas o cargas de trabajo estáticas y excéntricas



- 0 pasos hacia adelante para cargas axiales de trabajo estáticas y centradas



- C La fuerza de pretensión máxima necesaria  $F_{N \max}$  se obtiene si se avanza hacia adelante con el valor de la carga  $F_{N \min}$

- 2 pasos hacia adelante si el ajuste de los tornillos se hace con atornilladores simples y se regula el momento de reajuste

- 1 paso hacia adelante para ajuste con torquímetero o entornillador de precisión, el ajuste se regula y controla a través de un medidor dinámico de momentos o con medición de deformaciones

- 0 pasos hacia adelante para ajuste con control de ángulo en el campo elástico o control del límite de fluencia a través de computadora.

- D Al lado de la cifra encontrada desde la columna 2 hasta la 4 se encuentran la medida necesaria de los tornillos según la clase de material.

#### Ejemplo:

Una unión atornillada está sometida a una carga axial dinámica y excéntrica de  $F_A = 8\,500\text{ N}$ . El tornillo es de clase de material 12.9 y se ajusta con un torquímetero.

- A 10 000 N es la carga inmediata superior que se asume como  $F_A$  de la columna 1
- B 2 pasos hacia adelante por ser carga "axial dinámica y excéntrica", esto nos conduce a  $F_{N \min} = 25\,000\text{ N}$
- C 1 paso hacia adelante por el "ajuste con torquímetero", esto nos conduce a  $F_{N \max} = 40\,000\text{ N}$
- D Con  $F_{N \max} = 40\,000\text{ N}$  se encuentra en la columna 2 para tornillos de clase de resistencia 12.9 el tamaño M10.

Tabla N° 8 Valores recomendados para el factor de ajuste  $\alpha_A$ 

Factor de Ajuste $\alpha_A$	Desviación $\frac{\Delta F_M}{2 \cdot F_{Mm}}$ %	Método de ajuste	Proceso de ajuste	Observaciones
(1)*	$\pm 5$ bis $\pm 12$	Ajuste con límite de fluencia controlado, motorizado o manual		La dispersión de la fuerza de pretensión es determinada por la dispersión del límite de fluencia en los lotes de los tornillos fabricados. Los tornillos son aquí dimensionados para $F_{t,0.1}$ ; por eso el factor de ajuste $\alpha_A$ no le corresponde para estos métodos de ajuste.
(1)*	$\pm 5$ bis $\pm 12$	Ajuste con ángulo de torsión controlado, motorizado o manual	De acuerdo a la práctica se determina el momento de torsión y el ángulo antes de ajustar	
1,2 bis 1,6	$\pm 9$ bis $\pm 23$	Ajuste hidráulico	Ajuste a traves de medición de la deformación de la presión.	Valores bajos para tornillos largos ( $l_1/d \geq 5$ ) Valores altos para tornillos cortos ( $l_1/d \leq 2$ )
1,4 bis 1,6	$\pm 17$ bis $\pm 23$	Ajuste con momento de torsión controlado, con torquímetro, llave con señal indicadora o entornillador de precisión con medidor dinámico del momento de torsión	De acuerdo a la práctica se determina el momento nominal de ajuste con las partes originales de la unión atornillada, p.e. traves de medición de la deformación del tornillo.	Valores bajos para: - gran número de pruebas de ajuste o pruebas de control (p.e. 20). Poca dispersión de los momentos dados. Limitación electrónica del momento durante el montaje con atornilladores de precisión  Valores altos para: - ángulos de torsión pequeños esto es, para uniones relativamente rígidas - para apoyos relativamente blandos - apoyos, los cuales no tienen inclinación a agarrarse p.e. fosfatado
1,6 bis 1,8	$\pm 23$ bis $\pm 28$		Determinación del momento nominal de torsión a traves de la apreciación del coeficiente de fricción, comportamiento del acabado superficial y la lubricación	Valores bajos para: - Llaves con medición de momentos - momentos de ajuste uniformes - atornilladores de precisión  Valores altos para: - Llave de torsión con indicadores o colapsables  Valores altos para: - grandes ángulos de torsión, esto es, uniones relativamente elásticas así como para rosca fina - apoyos con alta dureza, uniones con acabado superficial áspero - desviaciones de forma
1,7 bis 2,5	$\pm 26$ bis $\pm 43$	Ajuste con momento de torsión controlado, con entornillador	Reajuste del tornillo con un momento, cuyo valor es configurado con el momento de ajuste nominal (con la apreciación del coeficiente de fricción) es un valor adicional	Valores bajos para: - gran número de pruebas de ajuste o pruebas de control (momentos de reajuste) - atornillador con acoplamiento de desconexión
2,5 bis 4	$\pm 43$ bis $\pm 60$	Ajuste de impulsos controlados, con entornillador de percusión	Ajuste del tornillo con un momento de reajuste como arriba antes mencionado.	Valores bajos para: - gran número de pruebas de ajuste o pruebas de control (momentos de reajuste) - las características del atornillador en el eje horizontal - transmisión de los impulsos libre de juegos

\* )  $\alpha_A$  es siempre mayor que 1, pero para el dimensionamiento se usa  $\alpha_A = 1$ .

Tabla 9 Presión superficial límite para piezas de diferentes materiales sometidas a compresión (valores recomendados)

Material	Resistencia a la tracción $R_m$ (N/mm <sup>2</sup> )	Presión superficial límite *) $p_G$ (N/mm <sup>2</sup> )
St37	370	260
St50	500	420
C45	800	700
42CrMo4	1000	850
30CrNiMo8	1200	750
X5CrNiMo1810**)	500 - 700	210
X10CrNiMo189**)	500 - 750	220
Acero inoxidable, material endurecido por precipitación	1200 - 1500	1000 - 1250
Titanio sin alea	390 - 540	300
Ti-6Al-4V	1100	1000
GG15	150	600
GG25	250	800
GG35	350	900
GG40	400	1100
GGG35.3	350	480
GD MgAl9	300 (200)	220 (140)
GK MgAl9	200 (300)	140 (220)
GK AlSi6 Cu4	-	200
AlZnMg Cu 0,5	450	370
Al99	160	140
GFK- Materiales compuestos	-	120
CFK- Materiales compuestos	-	140

\*) Para ajustes motorizados, se pueden reducir los valores de la presión superficial límite hasta en 25%

\*\*\*) Para materiales laminados en frío los valores de la presión superficial límite son considerablemente altos

- Tabla 10 Valores nominales para el paso, sección de tensión y de la raíz, así como  $F_{0,2}$  para tornillos normales con rosca normal y fina (paso según DIN 13 hoja 1 y parte 28; sección de tensión y de la raíz según DIN 13 parte 28; resistencia mínima a la fluencia según DIN ISO 898 parte 1)

Medida	Paso	Sección de tensión $A_s$	Sección de la raíz $A_{r_1}$	Fuerza con el límite mínimo de fluencia $F_{0,2} = R_{p0,2min} \cdot A_s$		
				Clase de resistencia		
	$P$	$A_s$	$A_{r_1}$	8.8	10.9	12.9
	mm	mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	N	N	N
<b>Rosca métrica normal</b>						
M 4	0.7	8.78	7.749	5600	8300	9700
M 5	0.8	14.2	12.69	9100	13300	15600
M 6	1.0	20.1	17.89	12500	18900	22100
M 7	1.0	28.9	26.18	18500	27000	32000
M 8	1.25	36.6	32.84	23400	34500	40500
M 10	1.5	58.0	52.30	37000	55000	64000
M 12	1.75	84.3	76.25	54000	79000	93000
M 14	2.0	115	104.7	74000	108000	127000
M 16	2.0	157	144.1	100000	148000	173000
M 18	2.5	193	175.1	127000	181000	212000
M 20	2.5	245	225.2	162000	230000	270000
M 22	2.5	303	281.5	200000	285000	335000
M 24	3.0	353	324.3	233000	330000	390000
M 27	3.0	459	427.1	305000	430000	500000
M 30	3.5	551	519.0	370000	530000	620000
M 33	3.5	694	647.2	460000	650000	760000
M 36	4.0	817	759.3	540000	770000	900000
M 39	4.0	976	913.0	640000	920000	1070000
<b>Rosca métrica fina</b>						
M 8	1	39.2	36.03	25000	37000	43000
M 9	1	51.0	47.45	32500	48000	56000
M 10	1	64.5	60.45	41500	61000	71000
M 10	1.25	61.2	56.29	39000	58000	67000
M 12	1.25	92.1	86.03	59000	87000	101000
M 12	1.5	88.1	81.07	56000	83000	97000
M 14	1.5	125	116.1	80000	118000	138000
M 16	1.5	167	157.5	107000	157000	184000
M 18	1.5	216	205.1	143000	203000	238000
M 18	2	204	189.8	135000	192000	224000
M 20	1.5	272	259.0	180000	255000	300000
M 22	1.5	333	319.2	220000	315000	365000
M 24	1.5	401	385.7	265000	375000	440000
M 24	2	384	364.6	255000	360000	420000
M 27	1.5	514	497.2	340000	485000	570000
M 27	2	496	473.2	325000	465000	550000
M 30	1.5	642	622.8	425000	600000	710000
M 30	2	621	596.0	410000	580000	680000
M 33	1.5	784	762.6	520000	740000	860000
M 33	2	761	732.8	500000	720000	840000
M 36	1.5	940	916.5	620000	880000	1030000
M 36	3	865	820.4	570000	810000	950000
M 39	1.5	1110	1085	730000	1040000	1220000
M 39	3	1028	979.7	680000	970000	1120000

Tabla 11 Valores nominales para el paso, sección de la raíz, diámetro de la entalladura, sección de la entalladura, así como  $F_{0.2}$  para tornillos entallados con rosca normal y fina (paso y diámetro del núcleo según DIN 13 hojas 1, 5, 6, 7, 8; resistencia mínima a la fluencia según DIN ISO 898 parte 1)

Medida	Paso $P$	Diámetro de raíz $d_3$	Diámetro de la entalladura $d_r = 0.9 \cdot d_3$	Sección de la entalladura $A_r = \frac{\pi}{4} (0.9 \cdot d_3)^2$	Fuerza con el límite mínimo de fluencia $F_{0.2} = R_{0.2 \min} \cdot \frac{\pi}{4} (0.9 \cdot d_3)^2$		
					Clase de resistencia		
					8.8	10.9	12.9
					N	N	N
mm	mm	mm	mm <sup>2</sup>				
<b>Rosca métrica normal</b>							
M 4	0.7	3,141	2,83	6,28	4000	5900	6900
M 5	0.8	4,019	3,62	10,3	6600	9700	11300
M 6	1,0	4,773	4,30	14,5	9300	13600	15900
M 7	1,0	5,773	5,20	21,2	13600	19900	23300
M 8	1,25	6,466	5,82	26,6	17000	25000	29500
M 10	1,5	8,160	7,34	42,4	27000	40000	46500
M 12	1,75	9,853	8,87	61,8	39500	58000	68000
M 14	2	11,546	10,4	84,8	54000	80000	93000
M 16	2	13,546	12,2	117	75000	110000	128000
M 18	2,5	14,933	13,4	142	94000	133000	156000
M 20	2,5	16,933	15,2	182	120000	171000	201000
M 22	2,5	18,933	17,0	228	151000	214000	250000
M 24	3,0	20,319	18,3	263	173000	247000	290000
M 27	3,0	23,319	21,0	346	228000	325000	380000
M 30	3,5	25,706	23,1	420	275000	395000	460000
M 33	3,5	28,706	25,8	524	345000	495000	580000
M 36	4	31,093	28,0	615	405000	580000	680000
M 39	4	34,093	30,7	739	490000	700000	810000
<b>Rosca métrica fina</b>							
M 8	1	6,773	6,10	29,2	18700	27500	32000
M 9	1	7,773	7,00	38,4	24600	36000	42500
M 10	1	8,773	7,90	49,0	31500	46000	54000
M 10	1,25	8,466	7,62	45,6	29000	43000	50000
M 12	1,25	10,466	9,42	69,7	44500	66000	77000
M 12	1,5	10,160	9,14	65,7	42000	62000	72000
M 14	1,5	12,160	10,94	94,1	60000	88000	103000
M 16	1,5	14,160	12,74	128	82000	120000	140000
M 18	1,5	16,160	14,54	166	110000	156000	183000
M 18	2	15,546	13,99	154	101000	145000	169000
M 20	1,5	18,160	16,34	210	138000	197000	231000
M 22	1,5	20,160	18,14	259	171000	243000	285000
M 24	1,5	22,160	19,94	312	206000	295000	345000
M 24	2	21,546	19,39	295	195000	280000	325000
M 27	1,5	25,160	22,64	403	265000	380000	445000
M 27	2	24,546	22,09	383	255000	360000	420000
M 30	1,5	28,160	25,34	504	335000	475000	550000
M 30	2	27,546	24,79	483	320000	455000	530000
M 33	1,5	31,160	28,04	618	410000	580000	680000
M 33	2	30,546	27,49	594	390000	560000	650000
M 36	1,5	34,160	30,74	742	490000	700000	820000
M 36	3	32,319	29,09	664	440000	620000	730000
M 39	1,5	37,160	33,44	878	580000	830000	970000
M 39	3	35,319	31,79	794	520000	750000	870000

Tabla 12 Medidas principales de tornillos hexagonales según DIN 931 y superficie de apoyo de la cabeza (evitar las magnitudes entre paréntesis)

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

- 1) Corresponde a  $d$ , según DIN 69  
 2) Tornillos de cabeza hexagonal según DIN 931  
 3) Para tornillo de cabeza redonda con agujero hexagonal según DIN 912 y 6912  
 4) Escalonamiento: 18, 20, 25, 28, 30, 40, 45, 50, etc.

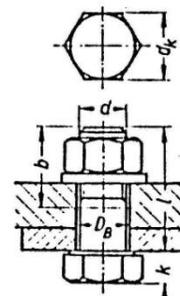
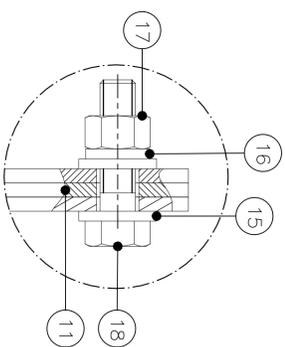
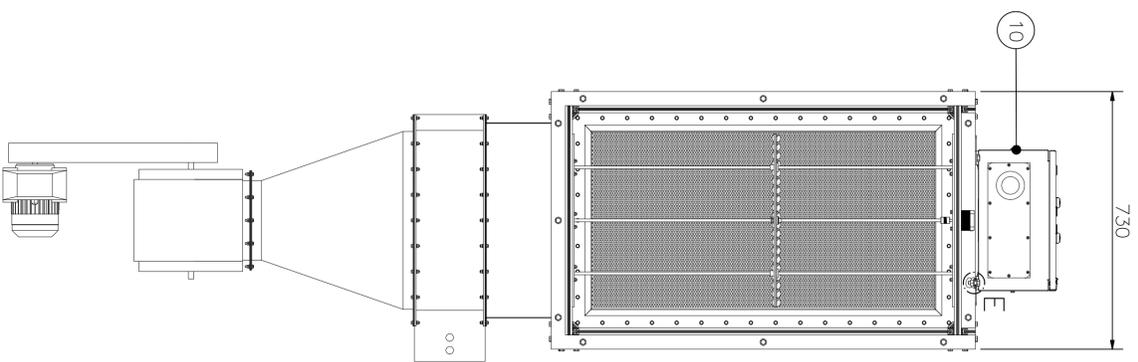


Tabla 10/14 Dimensiones de tornillos de cabeza cilíndrica (selección de las normas DIN). Los tamaños intermedios M 14; M 18; M 22; M 27 y M 33 deben evitarse. Para las dimensiones de la rosca, véase la tabla 10/9

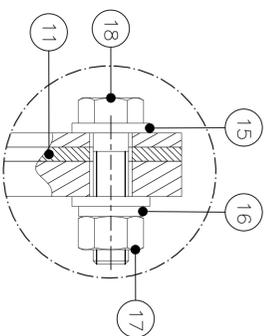
Forma de los tornillos	Tamaños de rosca	M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36	DIN		
	Diámetro cabeza	$D$	mm	5,5	7	8,5	10	13	16	18	24	30	36	45	54	
	Altura cabeza	$k$	mm	3	4	5	6	8	10	12	16	20	24	30	36	912
	Altura cabeza	$k'$	mm	2	2,8	3,5	4	5	6,5	7,5	10	12	14	17,5	21,5	84, 6912
	Altura cabeza	$k''$	mm	2	2,8	3,5	4	5	6,0	7,0	9	11	13	-	-	7984
	Anchura llave	$s$	mm	-	3	4	5	6	8	10	14	17	19	22	27	912, 6912
	Anchura llave	$s''$	mm	2	2,5	3	4	5	7	8	12	14	17	-	-	7984
	Longitud roscada* mínima	$b$	mm	-	14	16	18	22	26	30	38	46	54	66	78	6912
	Longitud tornillo**	$l_{min}$	mm	-	10	10	10	12	16	16	20	30	60	70	70	6912 (7984)

\* Para longitudes hasta 120 mm.

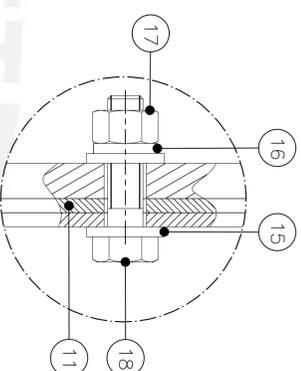
\*\* Longitudes mínimas según DIN 6912; longitudes comerciales mínimas según DIN 6912: tornillos de cabeza cilíndrica con hexágono interior, cabeza baja con guía de llave: 10(M4), 10(M5), 10(M6), 16(M8), 16(M10), 25,5(M12), 63(M16), 128(M20), 263(M24).  
 Longitudes comerciales mínimas según DIN 7984: tornillos de cabeza cilíndrica con hexágono interior, cabeza baja sin guía de llave: 6(M3), 8(M4), 10(M5), 10(M6), 16(M8), 16(M10), 20(M10), 25(M12), 30(M16), 40(M20).  
 Longitudes comerciales mínimas según DIN 912: tornillos de cabeza cilíndrica con hexágono interior, cabeza alta: 8(M3), 8(M4), 10(M5), 10(M6), 16(M8), 16(M10), 20(M12), 30(M16), 40(M20), 50(M24).



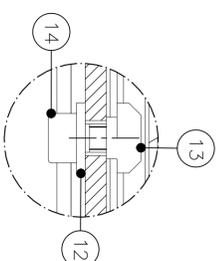
DETALLE A  
ESCALA 2 : 1



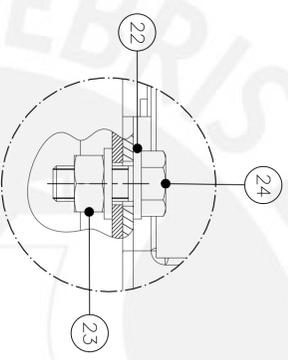
DETALLE B  
ESCALA 2 : 1



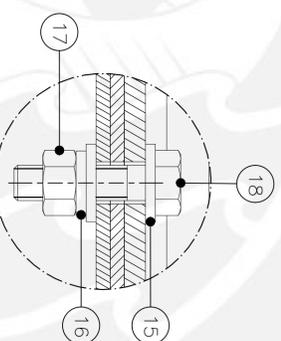
DETALLE C  
ESCALA 2 : 1



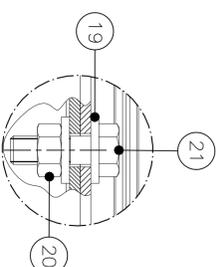
DETALLE D  
ESCALA 2 : 1



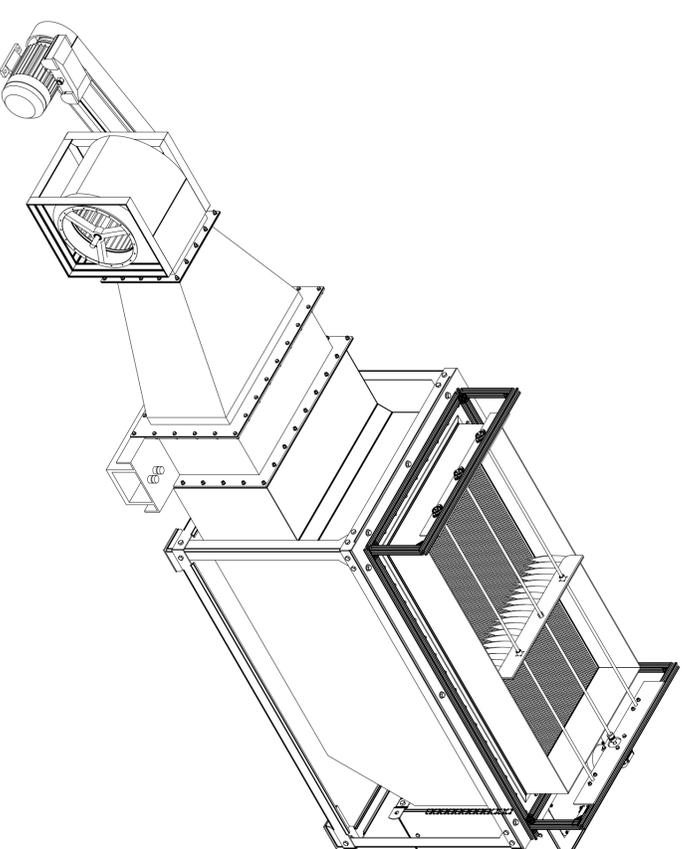
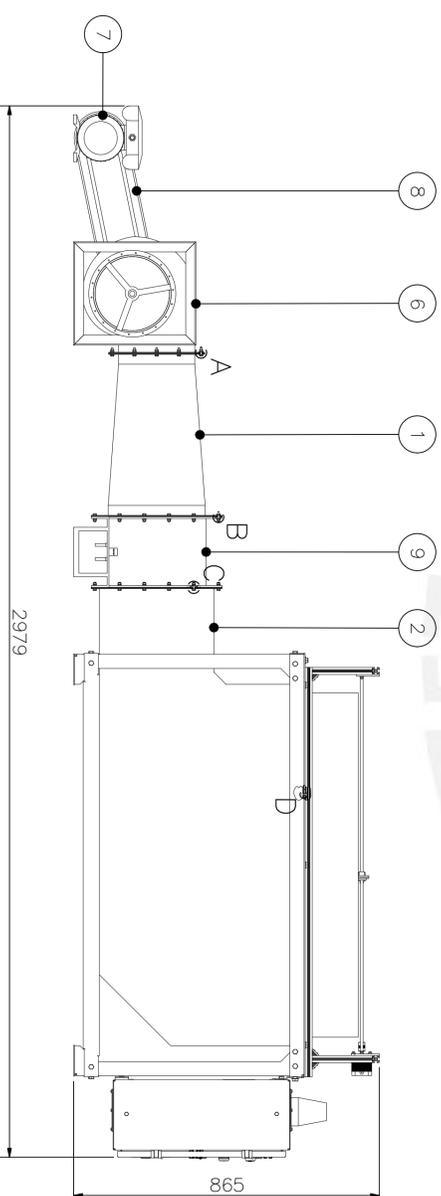
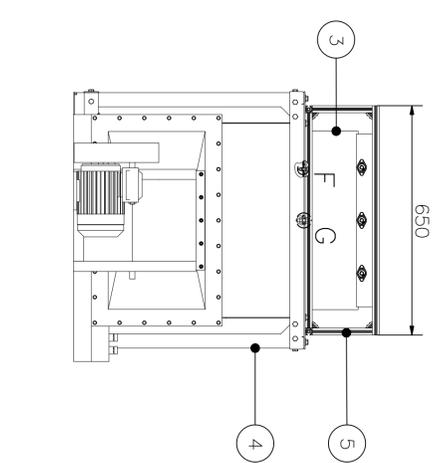
DETALLE E  
ESCALA 1 : 1



DETALLE F  
ESCALA 2 : 1



DETALLE G  
ESCALA 1 : 1



24	2	TORNILLO HEXAGONAL M10 X 30	DIN 931	18,8	
23	2	TUERCA HEXAGONAL M10	ANSI	8	
22	4	ARANDELA A10	ANSI	SI 50	
21	12	TORNILLO HEXAGONAL M8 X 20	DIN 931	8,8	
20	12	TUERCA HEXAGONAL M8	ANSI	8	
19	24	ARANDELA A8	ANSI	SI 50	
18	114	TORNILLO HEXAGONAL M5 X 20	DIN 931	8,8	
17	114	TUERCA HEXAGONAL M5	ANSI	8	
16	114	ARANDELA DE PRECISION A5	ASME	SI 50	
15	228	ARANDELA A5	ANSI	SI 50	
14	18	TORNILLO ALLEN M4 X 8	ANSI	8,8	
13	18	TUERCA ALLEN M4	ANSI	8	
12	18	ARANDELA A4	ANSI	SI 50	
11	4	EMPAQUETADORA 20x5			Poliuretano
10	1	TABLERO DE CONTROL			MANEISA
9	1	CALENTADOR ELECTRICO P=3400W			VULCANIC
8	1	TRANSMISION			SOLER & PALAU
7	1	MOTOR AC			SOLER & PALAU
6	1	VENTILADOR GBP 7/7			SOLER & PALAU
5	1	MECANISMO DE AGITACION			VER LAMINA 19
4	1	SOPORTE DE SECAADO			VER LAMINA 12
3	1	BASE DE SECAADO			VER LAMINA 8
2	1	DUCTO INTERMEDIO			VER LAMINA 3
1	1	DUCTO CONCENTRICO			VER LAMINA 2

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU  
FCI - INGENIERIA MECATRONICA

SECADORA DE CAFE

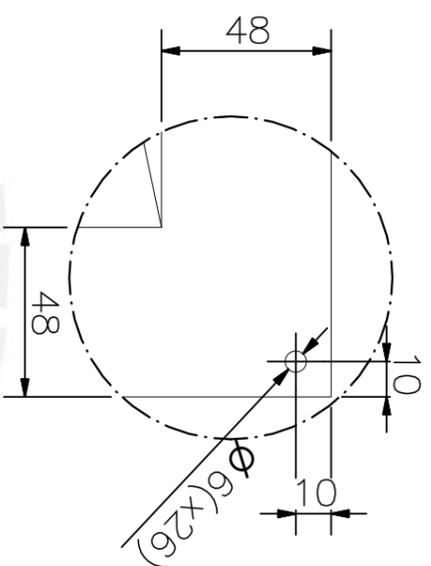
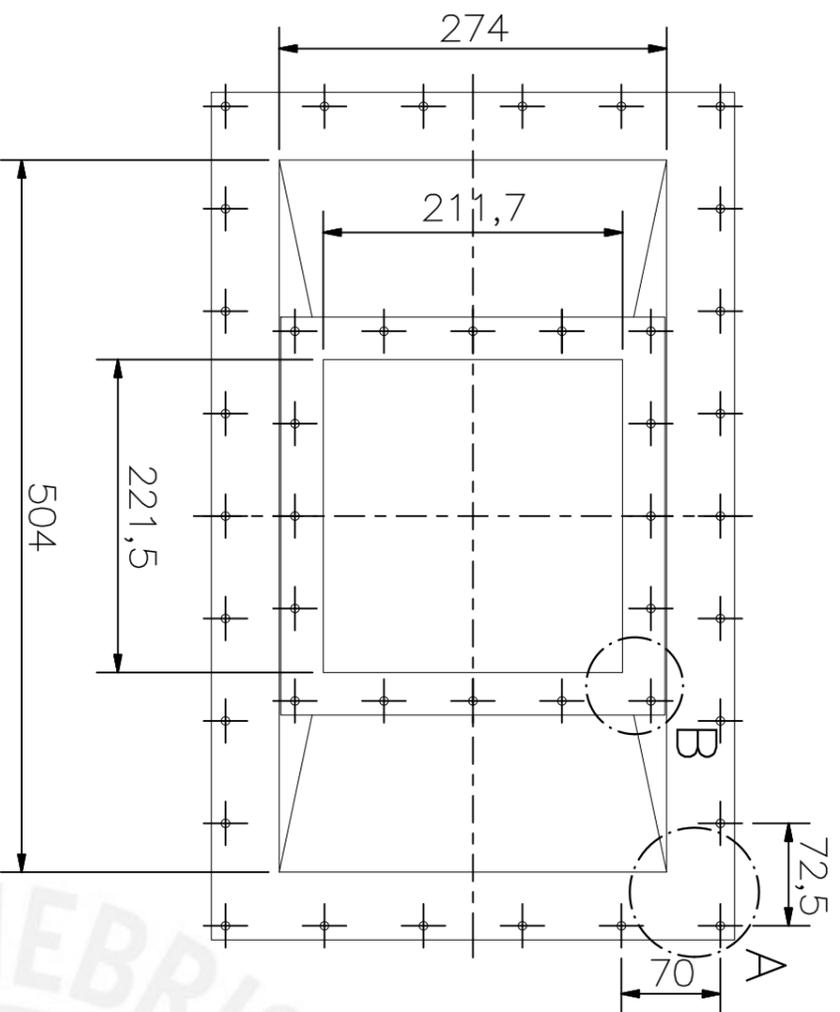
ESCALA  
1:10

20105723 LOJA ACUÑA, GILBERTH ANDRÉ

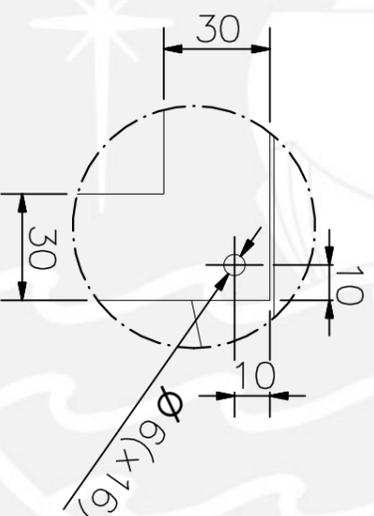
FECHA: 2019.08.12  
LÁMINA: LT-01

METODO DE PROTECCION

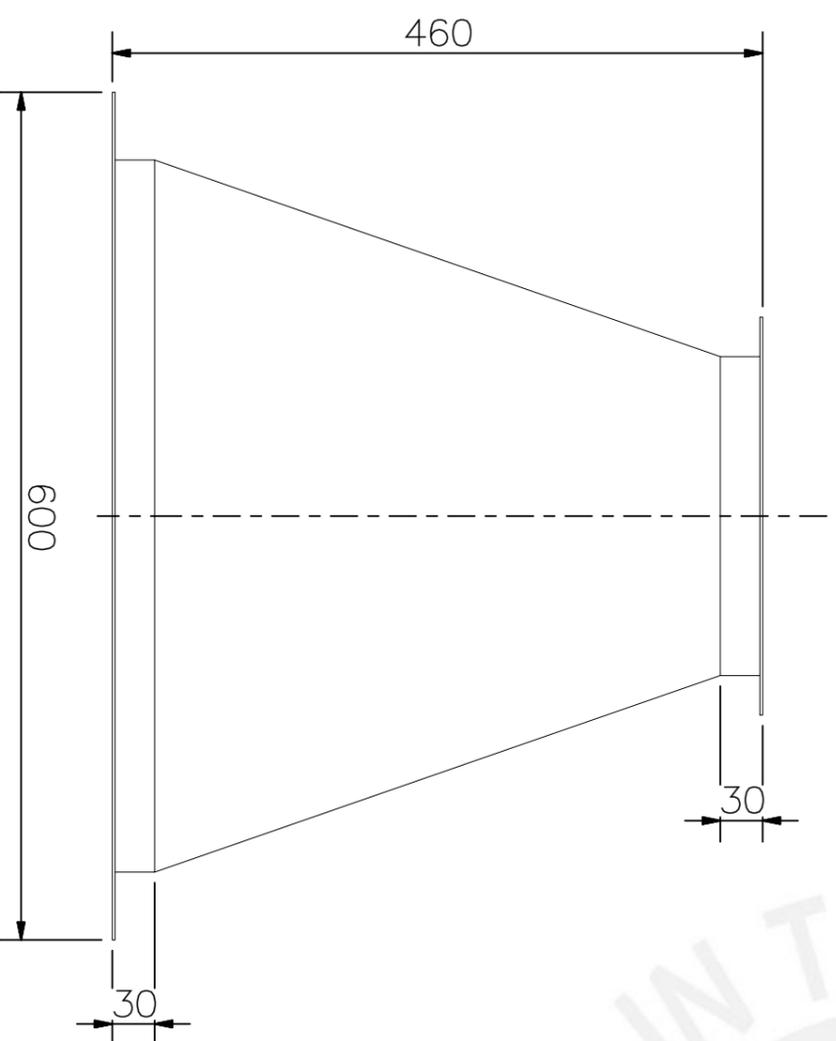
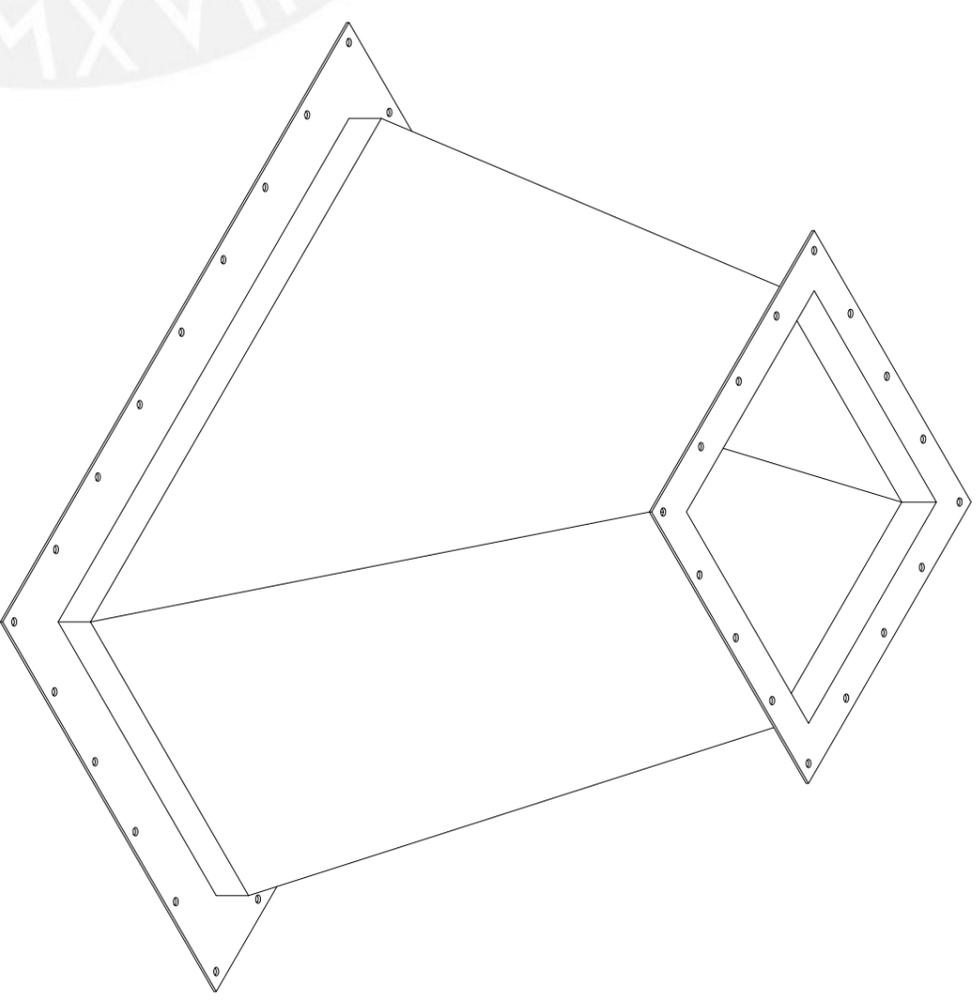




DETALLE A  
ESCALA 1 : 2



DETALLE B  
ESCALA 1 : 2



ESPESOR 2mm

TOLERANCIAS DIMENSIONALES

SEGÚN DIN 7168

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

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
✓	DIN 7168 MECANIZADO MEDIO	AL 1100
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ		
FCI INGENIERIA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	ESCALA	
	1:10	

DUCTO CONCÉNTRICO

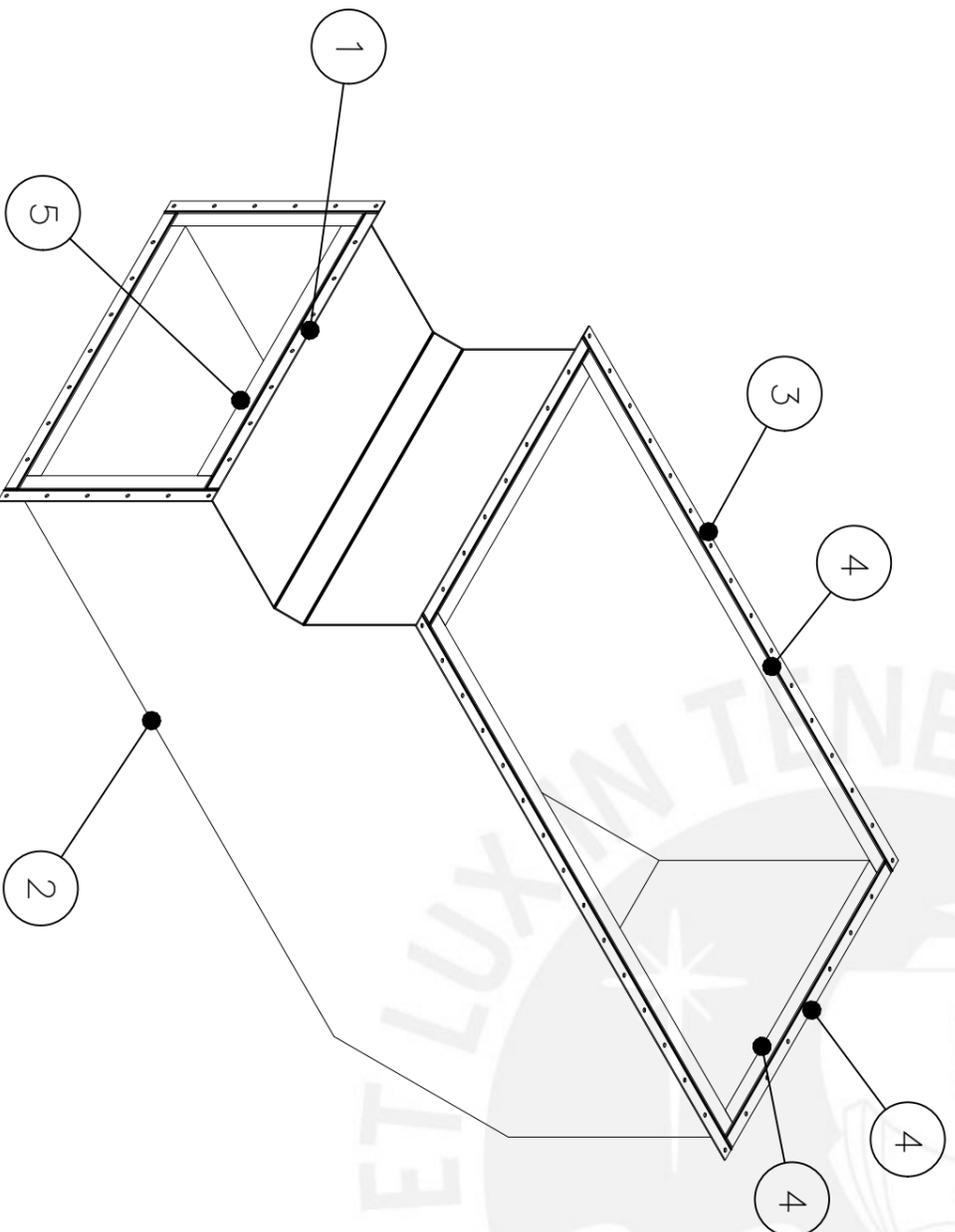
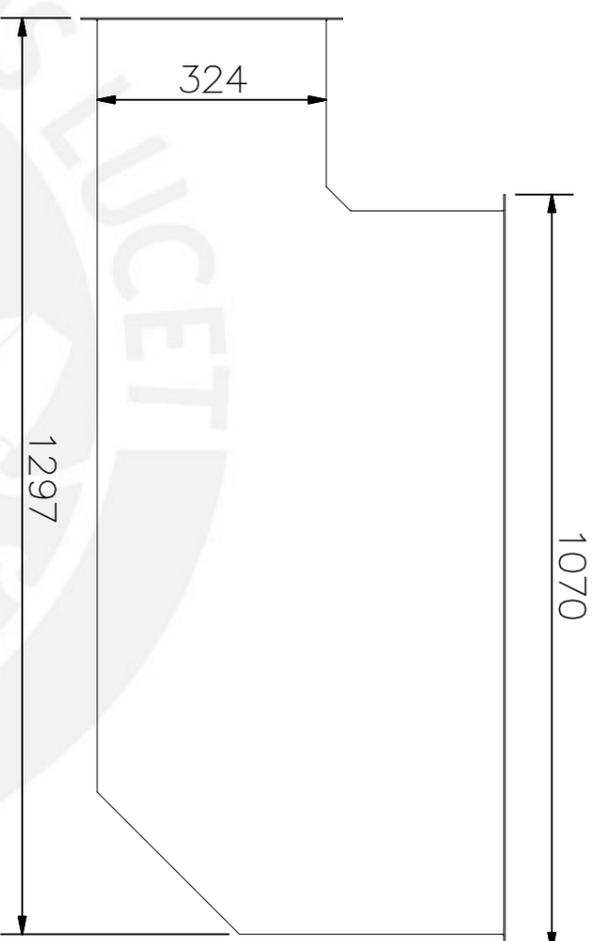
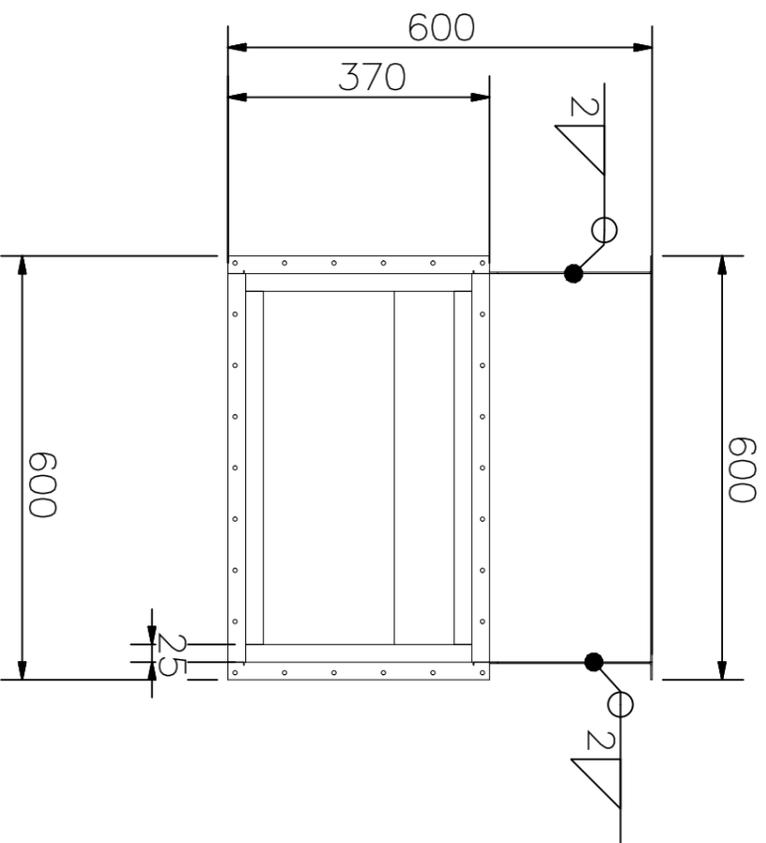
1:10

20105723

LOJA ACUÑA, GILBERTH ANDRÉ

FECHA:  
2019.08.12

LÁMINA:  
L2 - A3

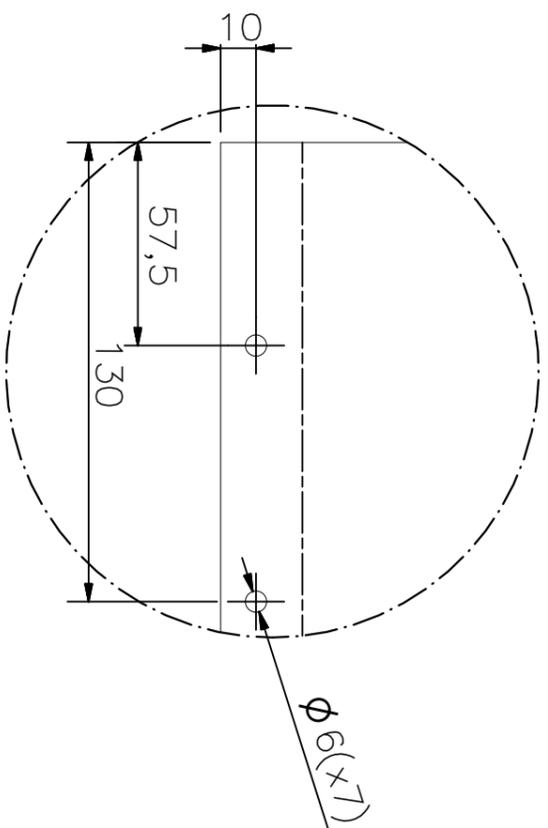


POS. CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES
5 1	ASLAMIENTO		F. DE VIDRIO	
4 1	PORTE INFERIOR	ANSI 304	VER LÁMINA 7	
3 1	PORTE LATERAL 2	ANSI 304	VER LÁMINA 6	
2 1	PORTE LATERAL 1	ANSI 304	VER LÁMINA 5	
1 1	PORTE SUPERIOR	ANSI 304	VER LÁMINA 4	

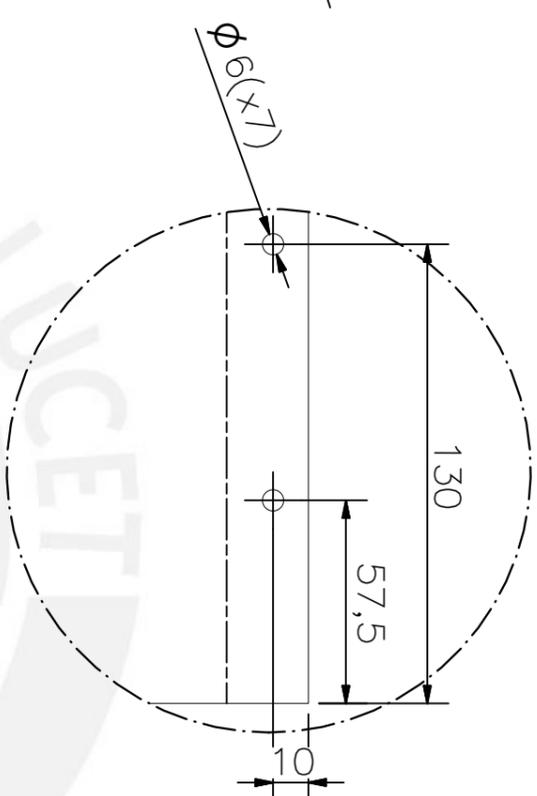
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
 FCI INGENIERIA MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN	ESCALA
	1:10

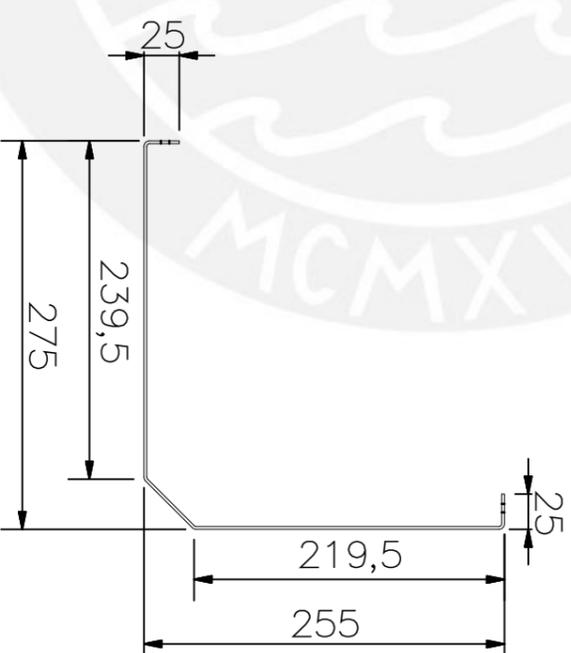
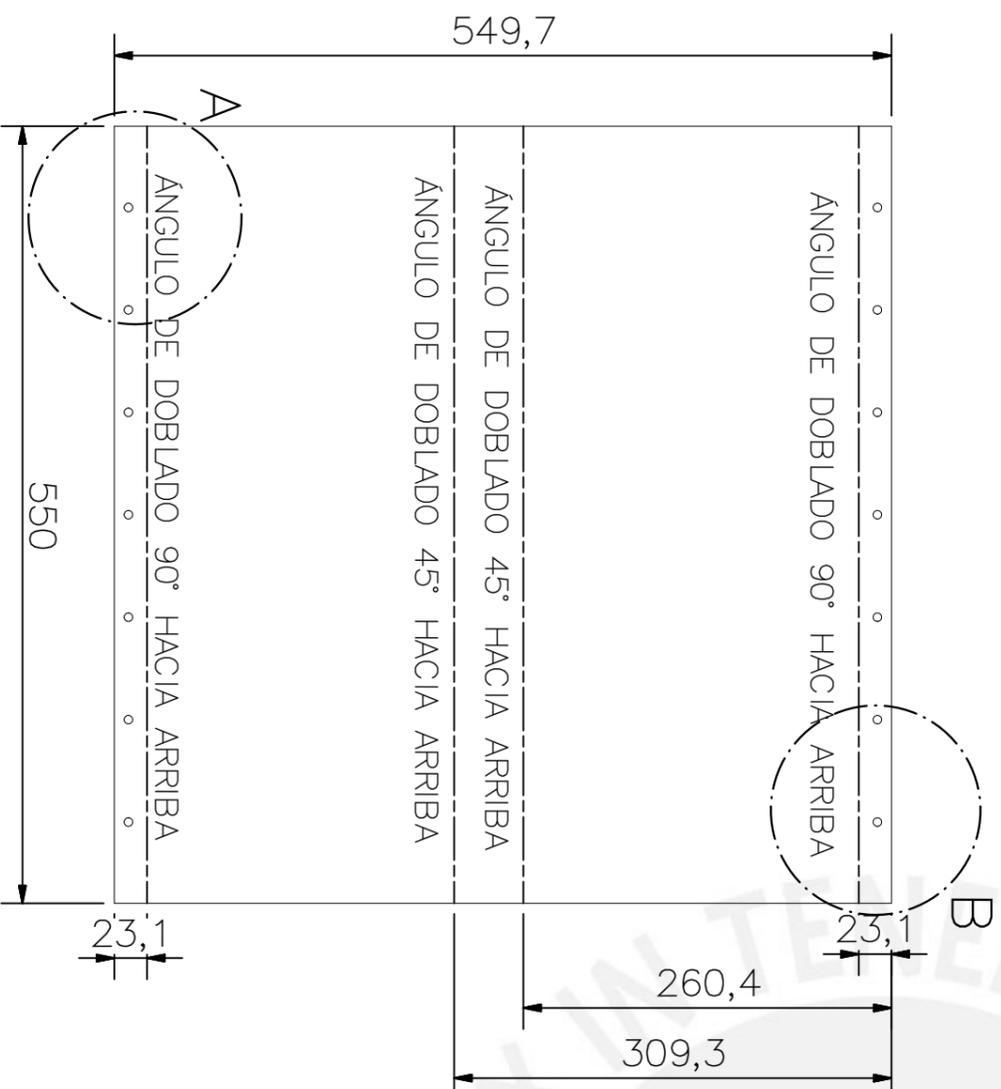
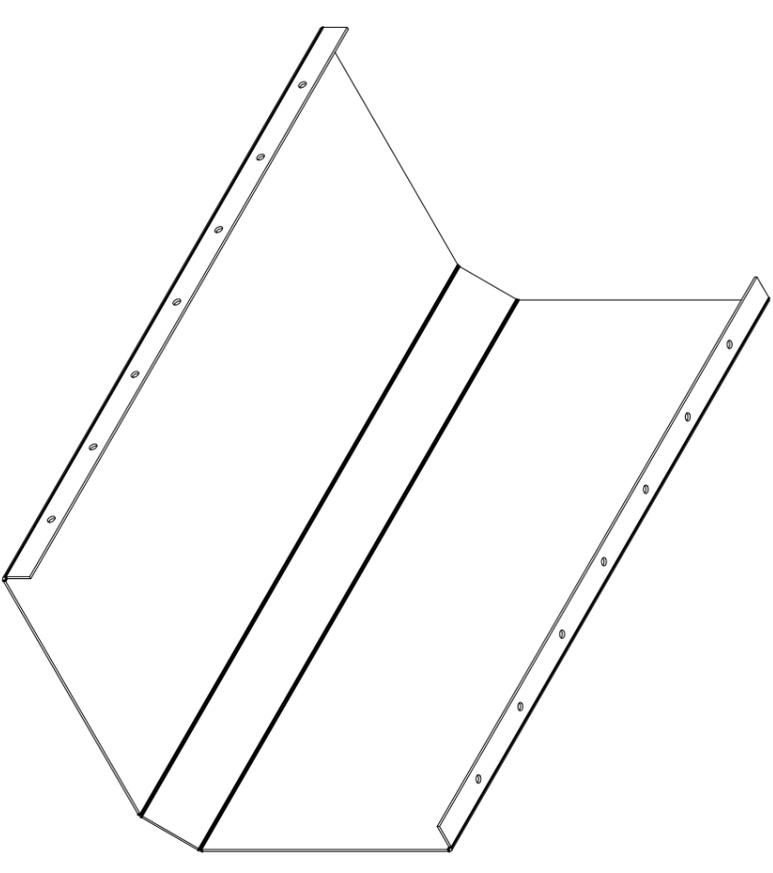
20105723	LOJA ACUÑA, GILBERTH ANDRÉ	FECHA: 2019.08.12
		LÁMINA: L3 - A3



DETALLE A  
ESCALA 1 : 2



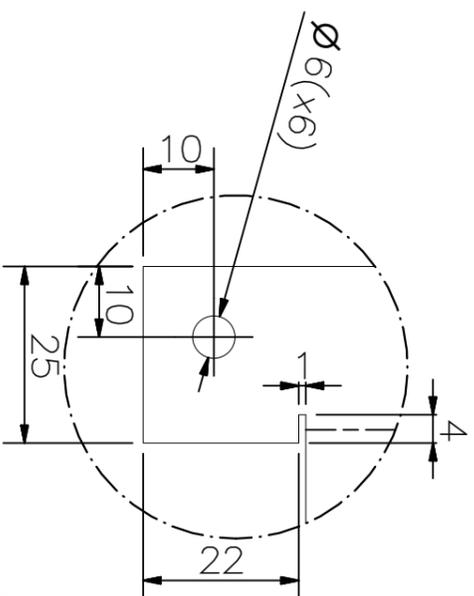
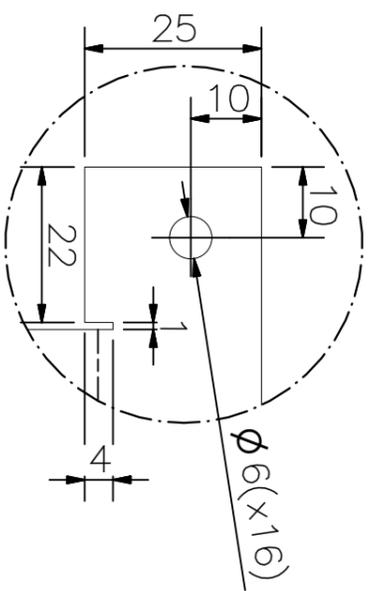
DETALLE B  
ESCALA 1 : 2



ESPESOR 2mm

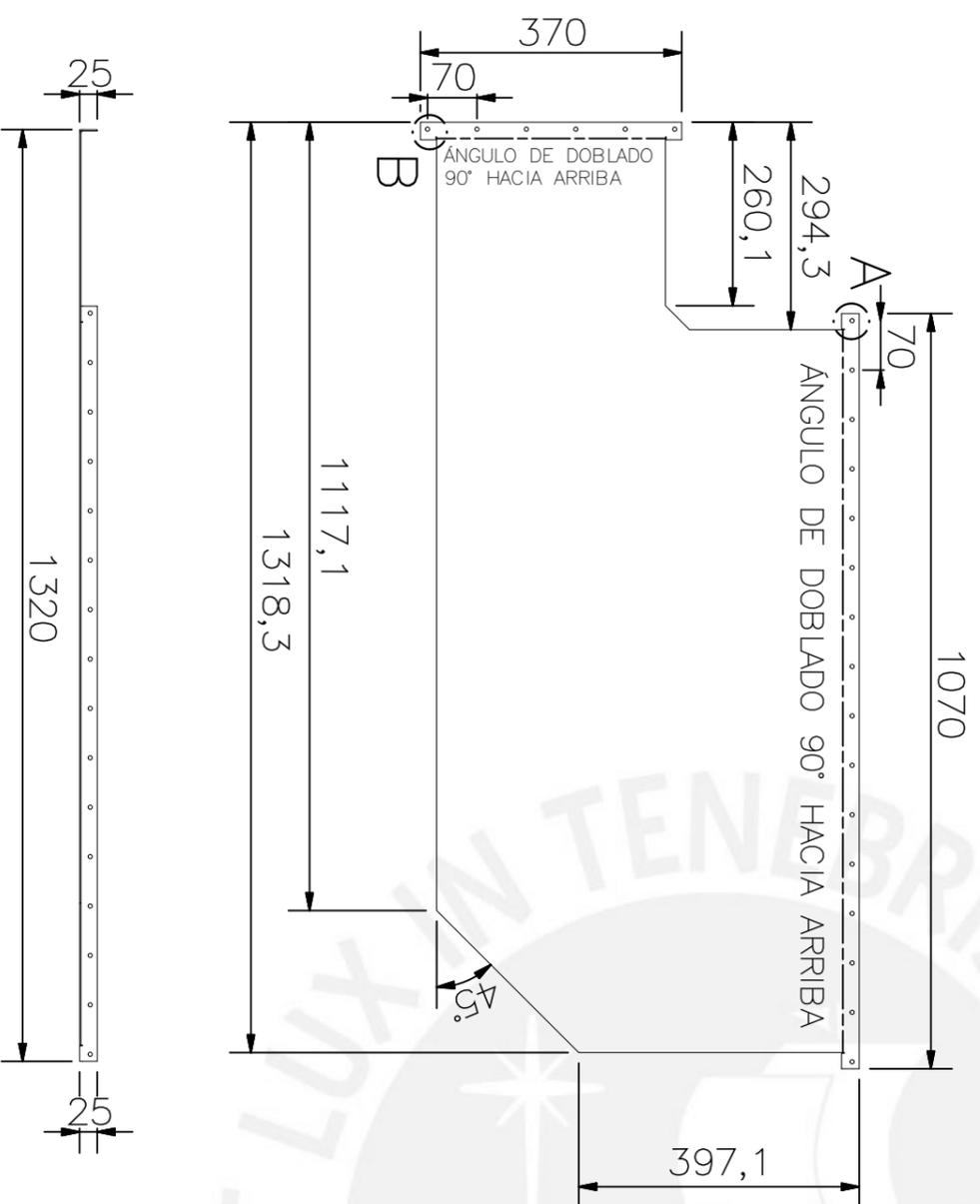
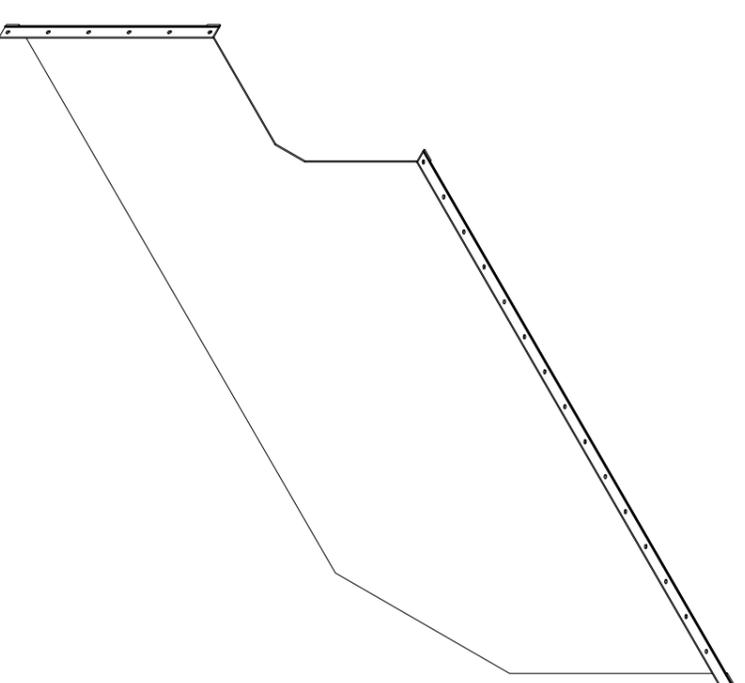
TOLERANCIAS DIMENSIONALES				
SEGUN DIN 7168				
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120
FINO	±0,05	±0,05	±0,1	±0,15

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
	DIN 7168 MECANIZADO FINO	AISI 304
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FCI INGENIERIA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	PARTE SUPERIOR	ESCALA
		1:5
20105723	LOJA ACUÑA, GILBERTH ANDRÉ	FECHA: 2019.08.12
		LAMINA: L4 - A3



DETALLE A  
ESCALA 1 : 1

DETALLE B  
ESCALA 1 : 1

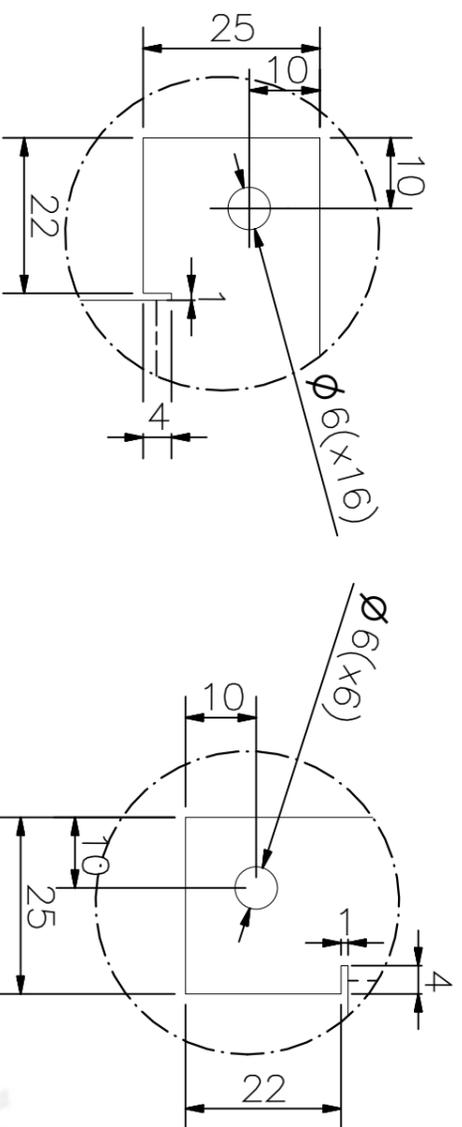


ESPESOR 2mm

TOLERANCIAS DIMENSIONALES  
SEGUN DIN 7168

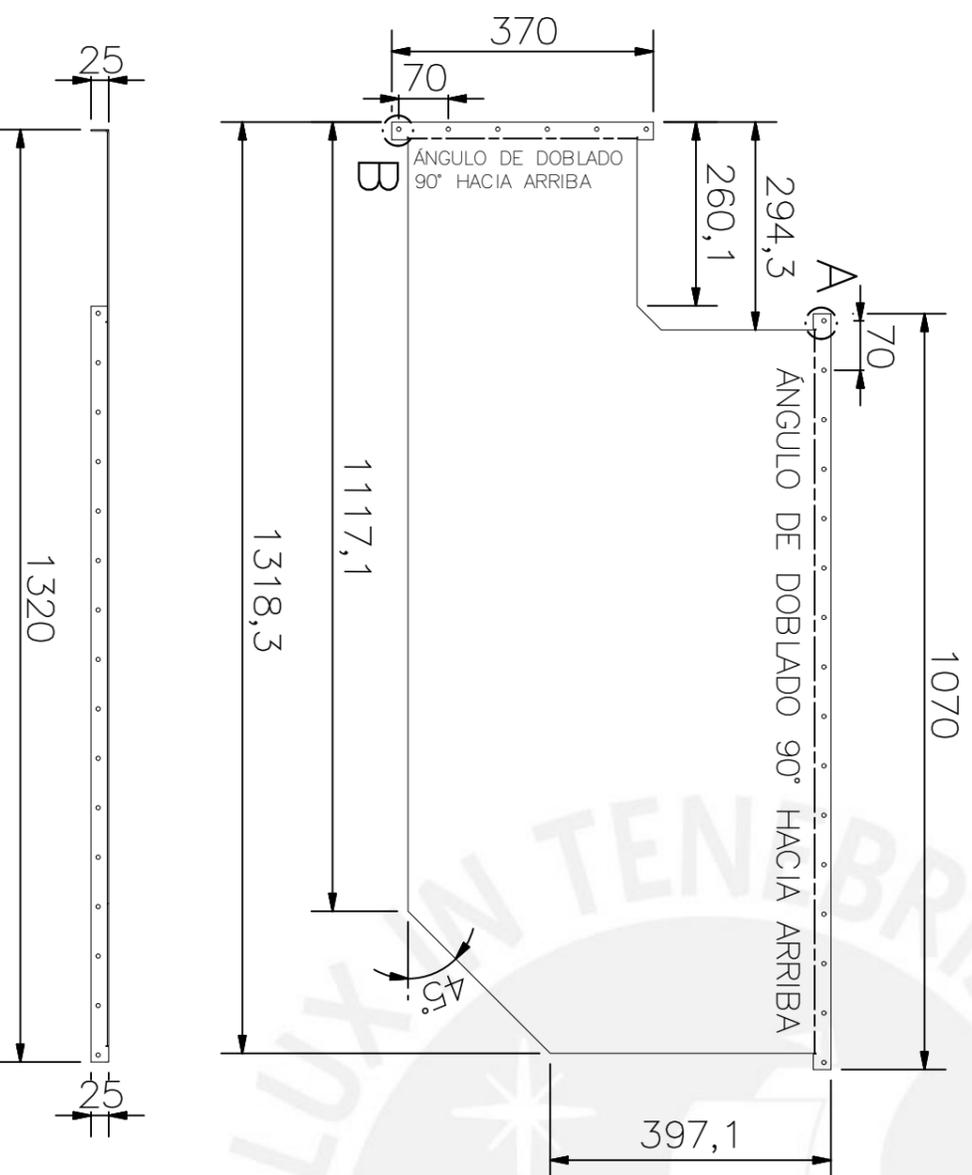
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
FINO	±0,05	±0,05	±0,1	±0,15	±0,2

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
	DIN 7168 MECANIZADO FINO	AISI 304
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FCI INGENIERIA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	PARTE LATERAL 1	ESCALA
		1:10
20105723	LOJA ACUÑA, GILBERTH ANDRÉ	FECHA: 2019.08.12
		LAMINA: L5 - A3



DETALLE A  
ESCALA 1 : 1

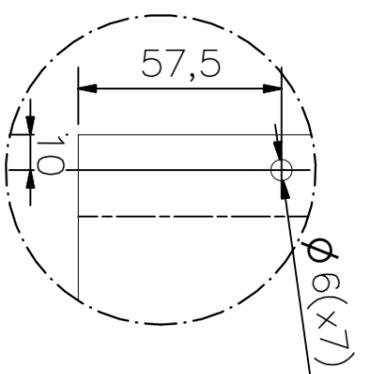
DETALLE B  
ESCALA 1 : 1



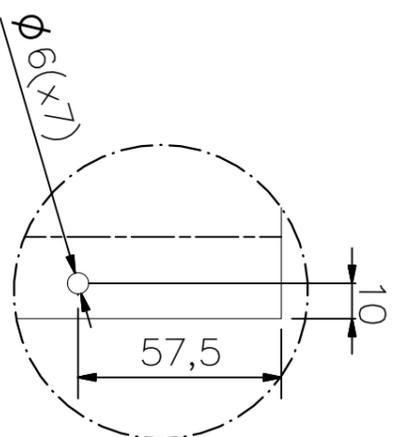
ESPESOR 2mm

TOLERANCIAS DIMENSIONALES					
SEGUN DIN 7168					
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
FINO	±0,05	±0,05	±0,1	±0,15	±0,2

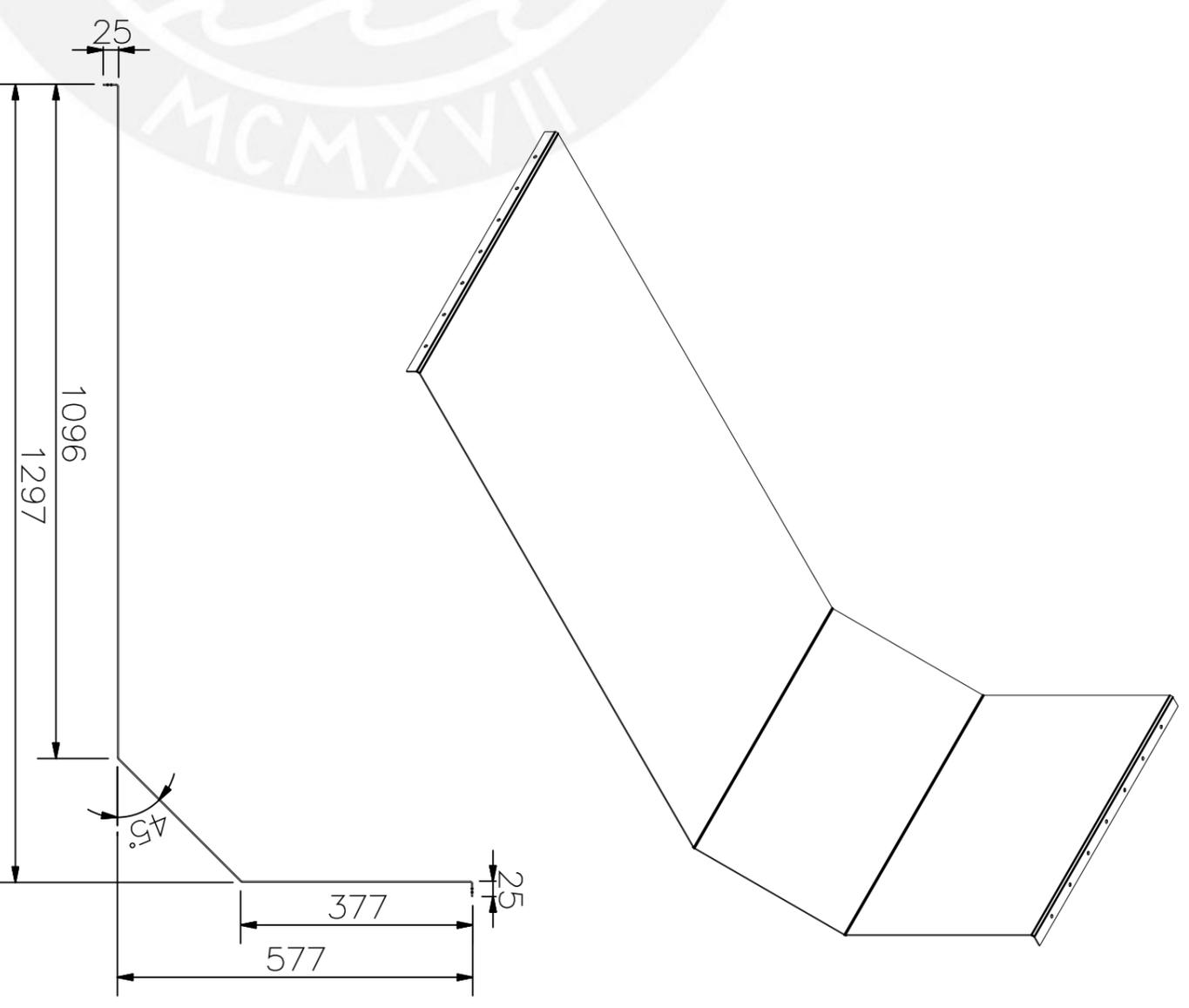
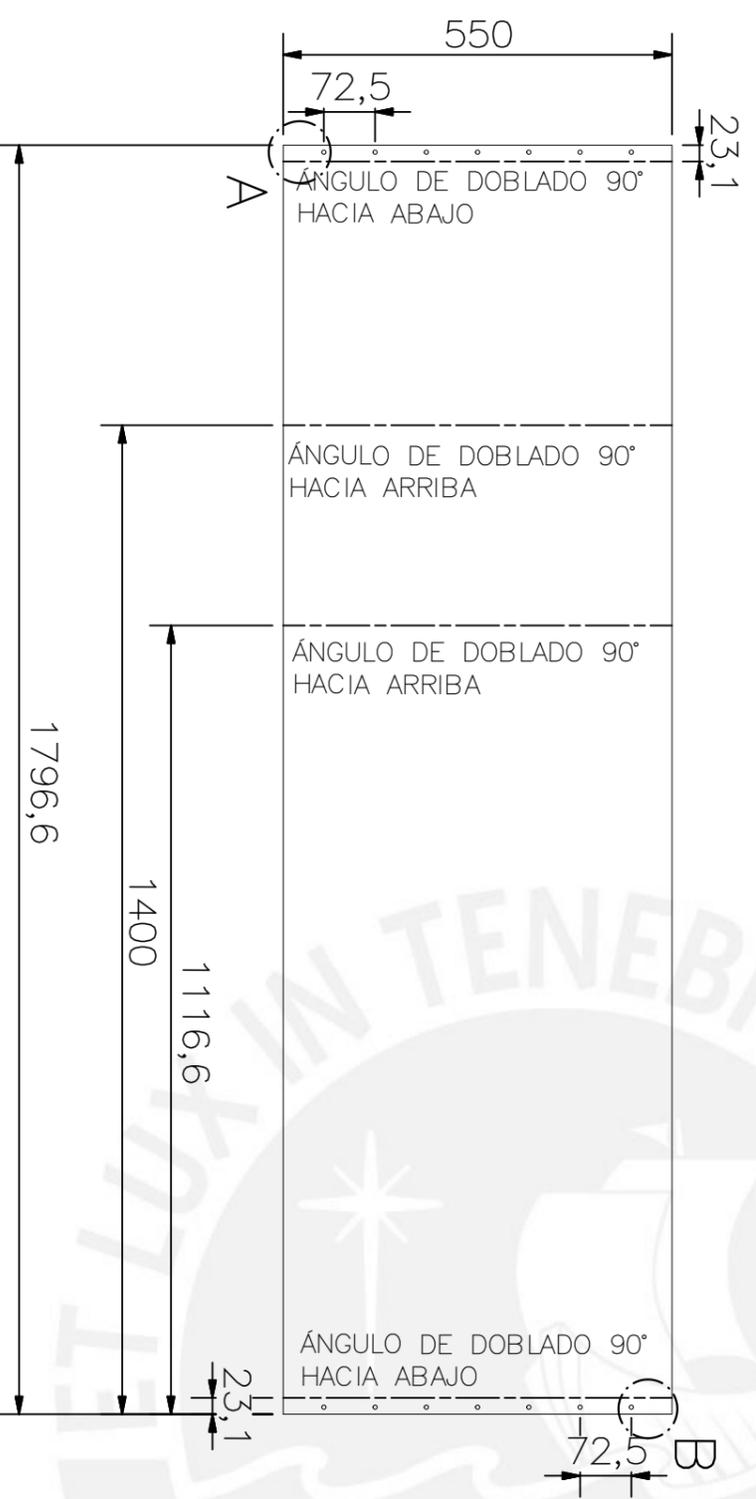
ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
✓	DIN 7168 MECANIZADO FINO	AISI 304
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FCI INGENIERIA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	PARTE LATERAL 2	
20105723	LOJA ACUÑA, GILBERTH ANDRÉ	ESCALA
		1:10
		FECHA: 2019.08.12
		LAMINA: L6 - A3



DETALLE A  
ESCALA 1 : 2



DETALLE B  
ESCALA 1 : 2

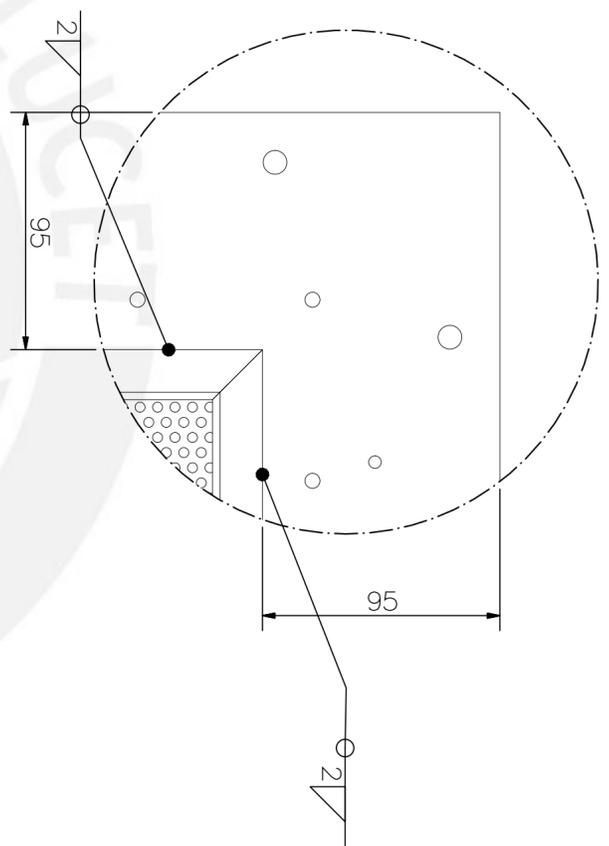
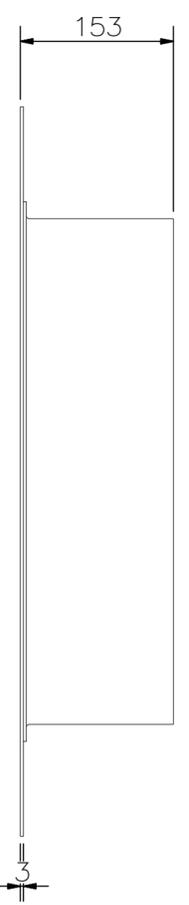
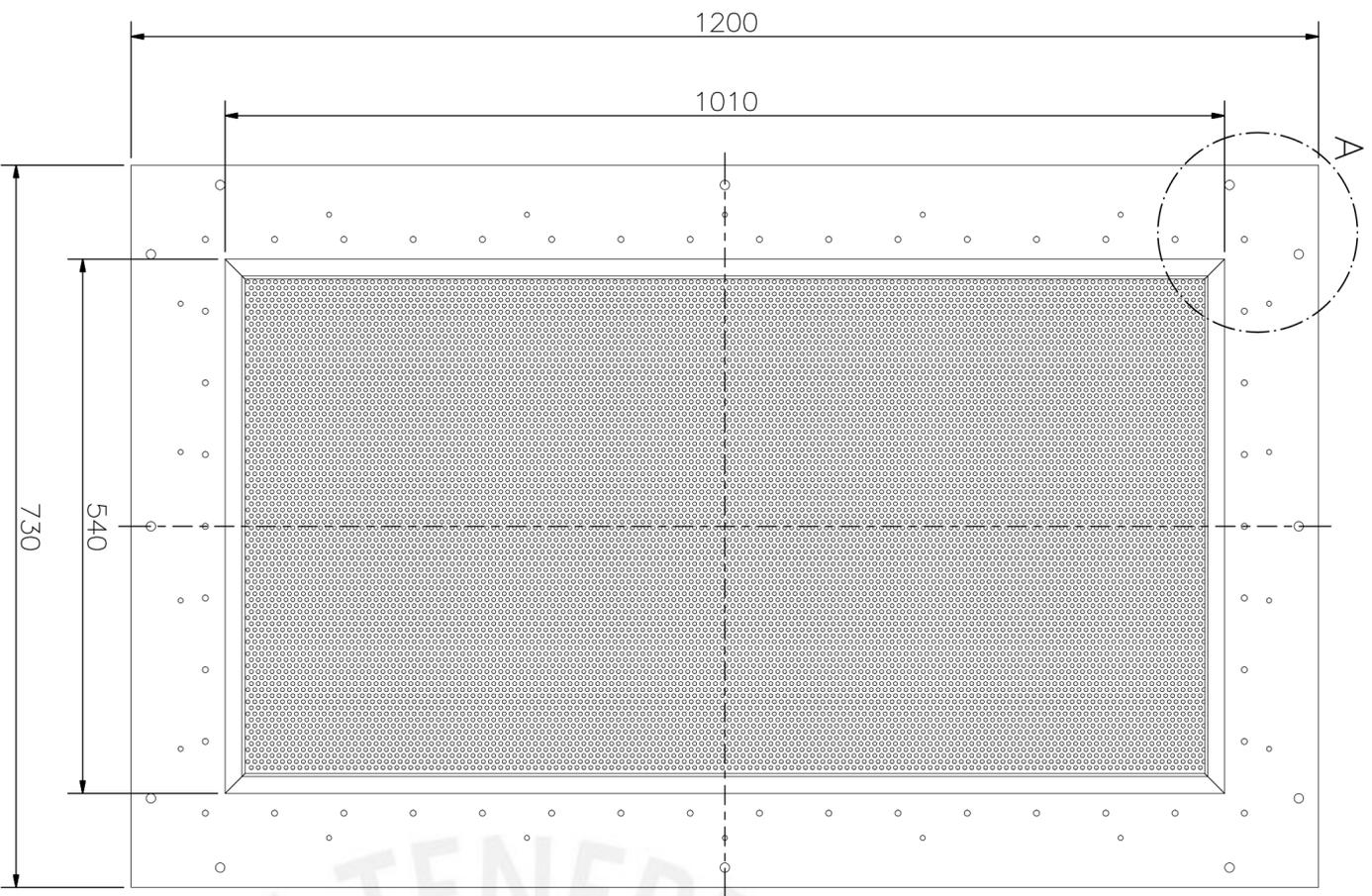


ESPESOR 2mm

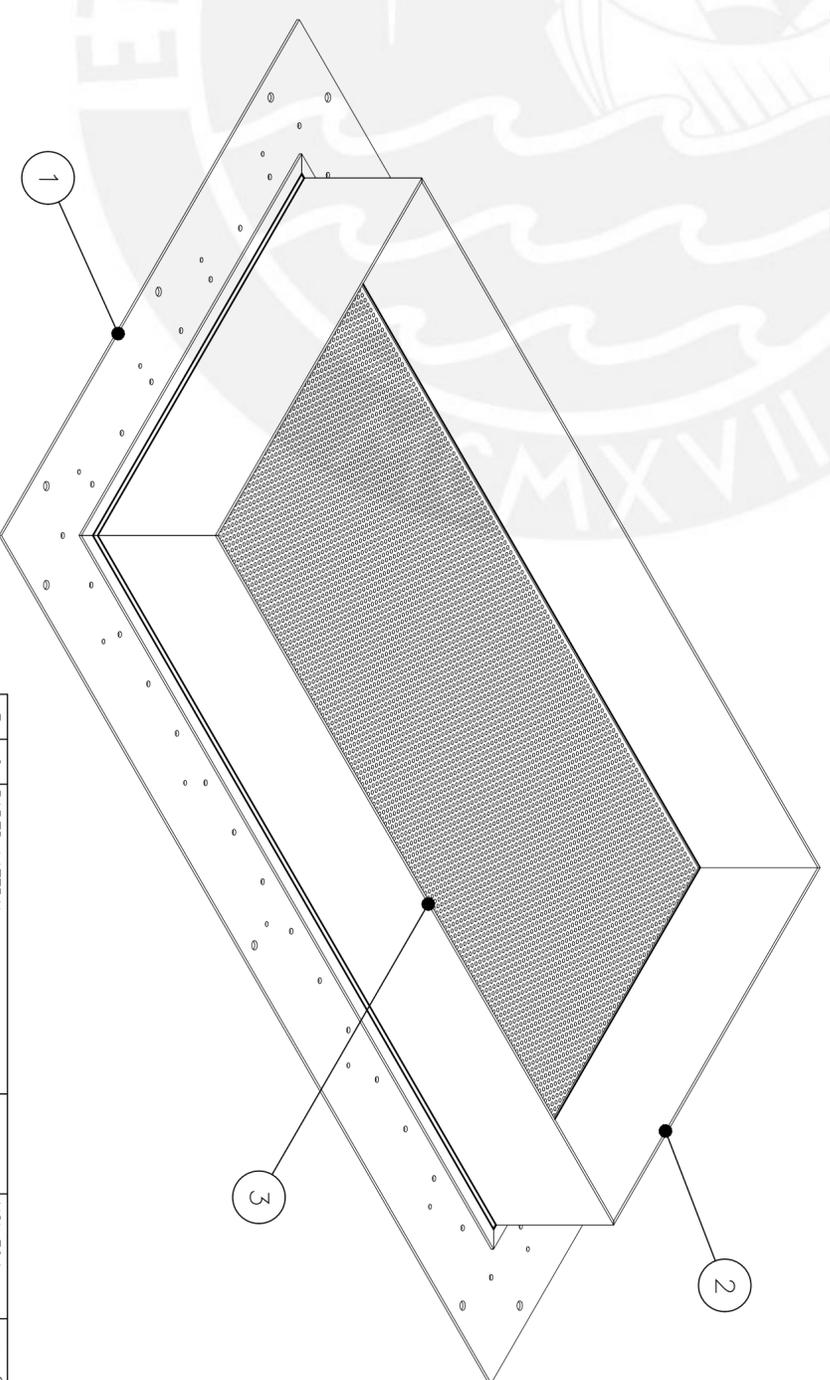
TOLERANCIAS DIMENSIONALES  
SEGUN DIN 7168

GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
FINO	±0,05	±0,05	±0,1	±0,15	±0,2

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL DIN 7168	MATERIAL AISI 304
	MECANIZADO FINO	
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FCI INGENIERIA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	PARTE INFERIOR	ESCALA 1:10
20105723	LOJA ACUÑA, GILBERTH ANDRÉ	FECHA: 2019.08.12
		LAMINA: L7 - A3



DETALLE A  
ESCALA 1 : 2

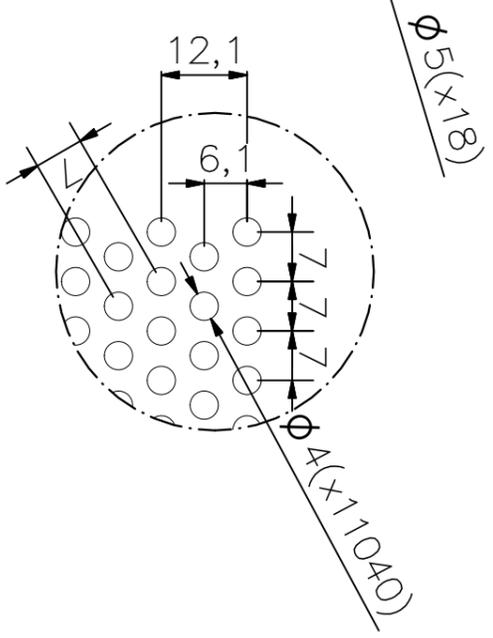
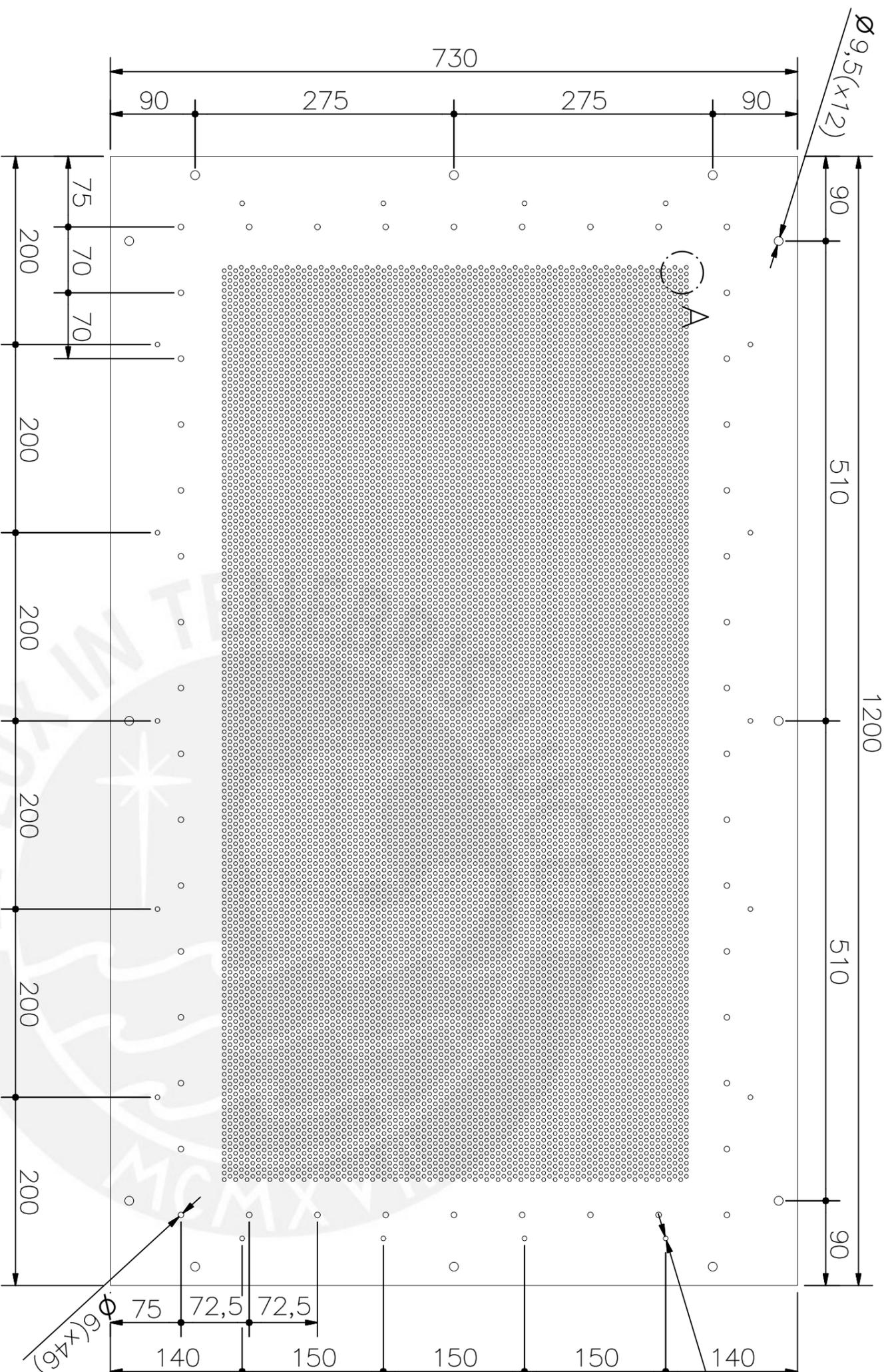


3	2	PARED LATERAL	VER LÁMINA 11
2	2	PARED FRONTAL	VER LÁMINA 10
1	1	PLANCHA DE SECADO	VER LÁMINA 9
POS. CANT.		DESCRIPCIÓN	NORMA MATERIAL OBSERVACIONES

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
FCI INGENIERÍA MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN  
BASE DE SECADO  
ESCALA 1:10

20105723	LOJA ACUÑA, GILBERTH ANDRÉ	FECHA: 2019.08.12
		LÁMINA: L8 - A3

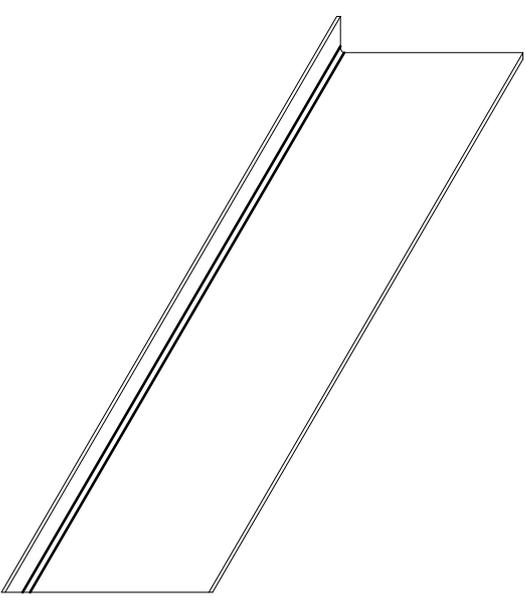
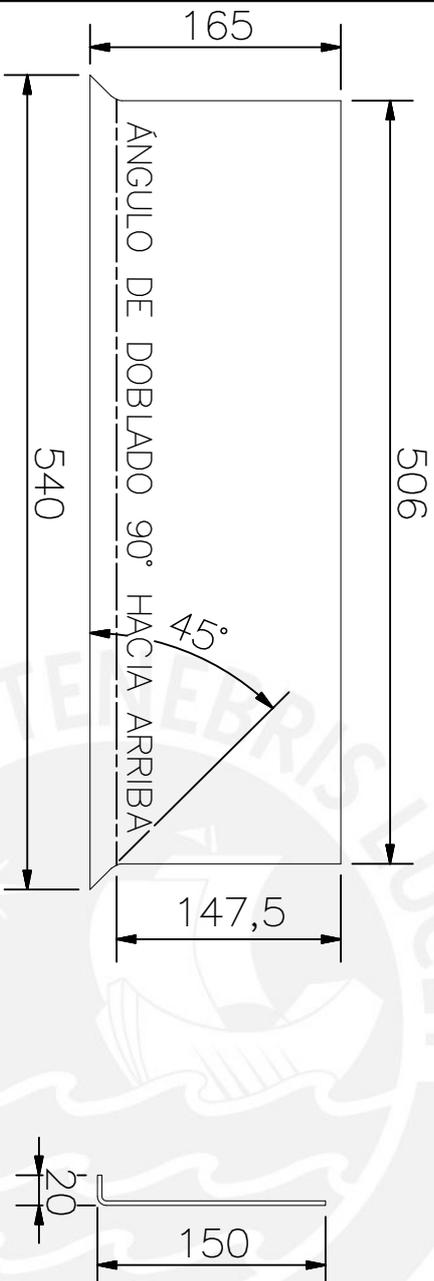


DETALLE A  
ESCALA 1 : 1

ESPESOR 3mm

ACABADO SUPERFICIAL		TOLERANCIA GENERAL		MATERIAL	
0,8		DIN 7168		AISÍ 304	
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ		MECANIZADO FINO		FCI INGENIERIA MECATRÓNICA	
MÉTODO DE PROYECCIÓN		PLANCHHA		ESCALA	
20105723		LOJA ACUÑA, GILBERTH ANDRÉ		1:5	
GRADO DE EXACTITUD		FECHA:		LÁMINA:	
FINO		2019.08.12		L9 - A3	

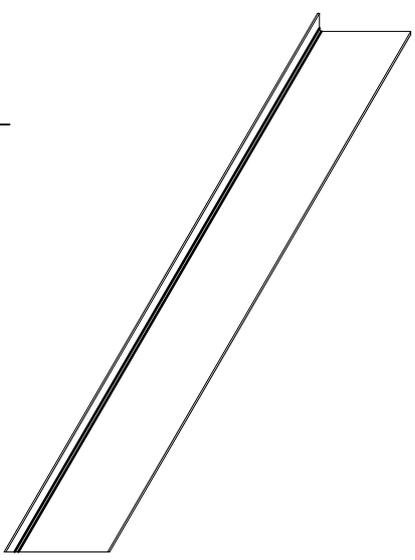
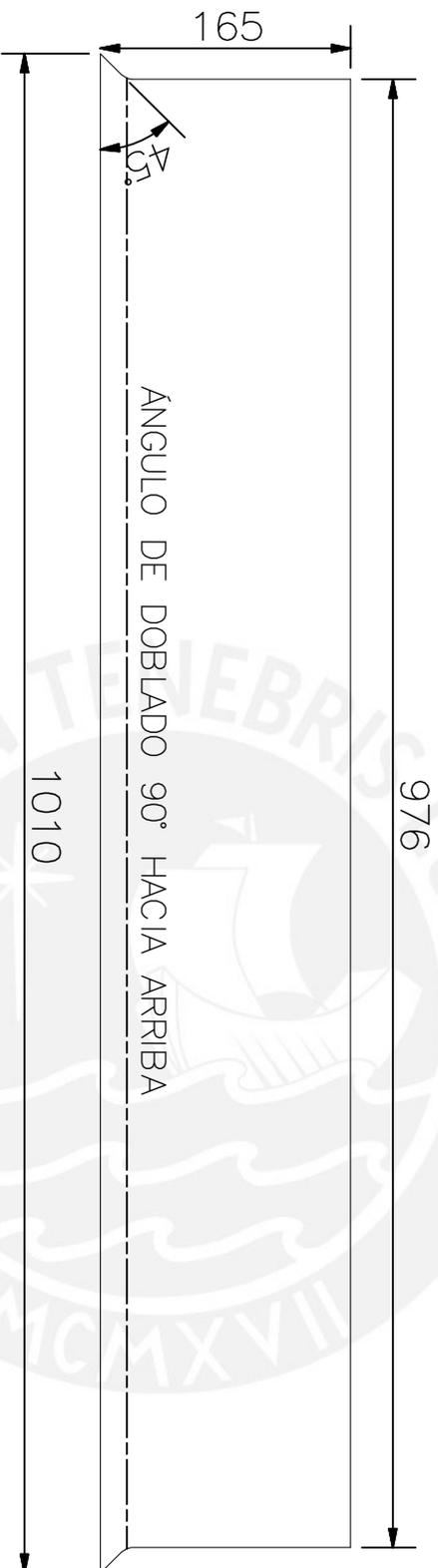
TOLERANCIAS DIMENSIONALES					
SEGUN DIN 7168					
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
FINO	±0,05	±0,05	±0,1	±0,15	±0,2



ESPESOR 3mm

TOLERANCIAS DIMENSIONALES					
SEGÚN DIN 7168					
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5

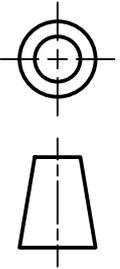
ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
0.8 /	DIN 7168 MECANIZADO MEDIO	ANSI 304
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FCI INGENIERIA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	PARED FRONTAL	
	ESCALA 1:10	
20105723	LOJA ACUÑA, GILBERTH ANDRÉ	FECHA: 2019.08.12
		LÁMINA: L10 - A4

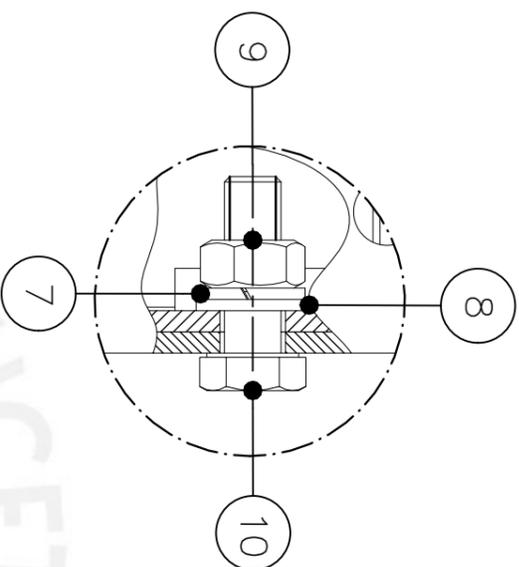
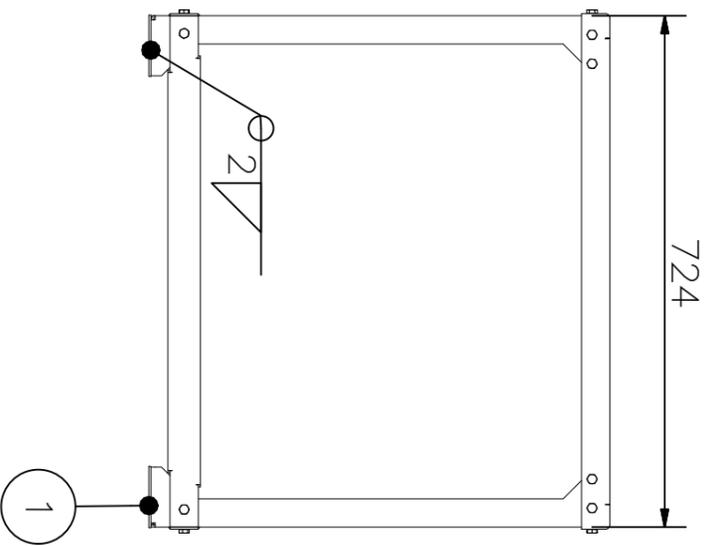
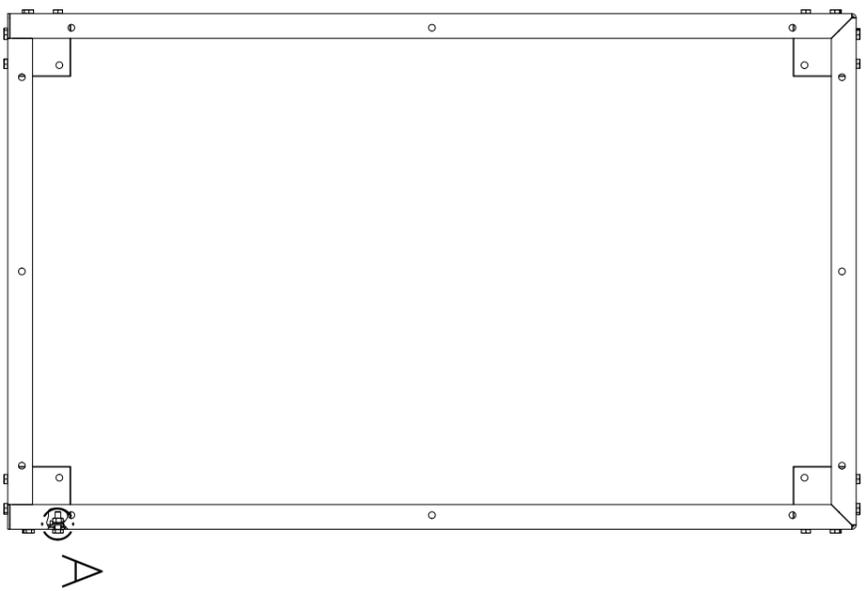


**TOLERANCIAS DIMENSIONALES**  
SEGÚN DIN 7168

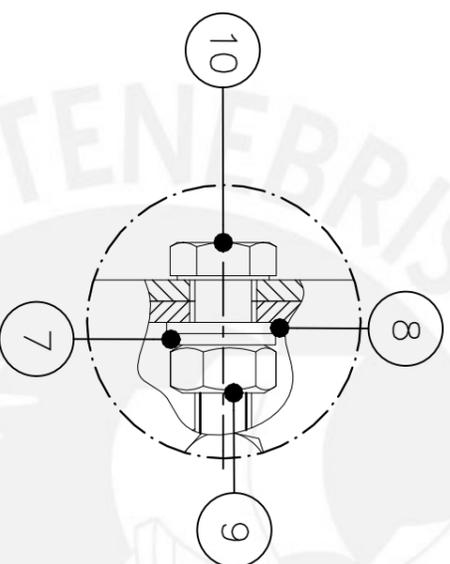
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL DIN 7168 MECANIZADO MEDIO	MATERIAL ANSI 304
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FCI INGENIERIA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	PARED LATERAL	
20105723	LOJA ACUÑA, GILBERTH ANDRÉ	FECHA: 2019.08.12
		LÁMINA: L11 - A4
		ESCALA 1 : 5

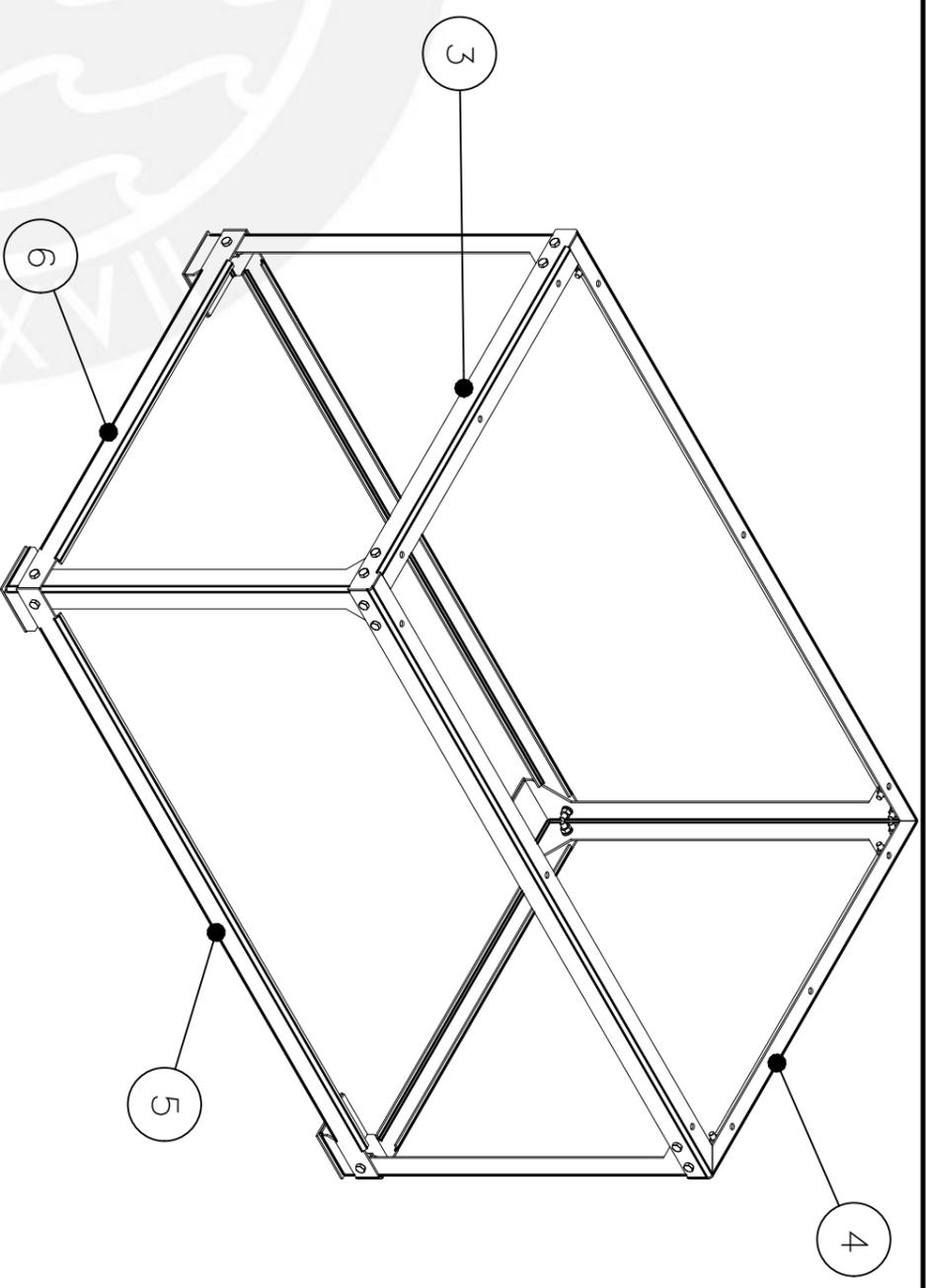
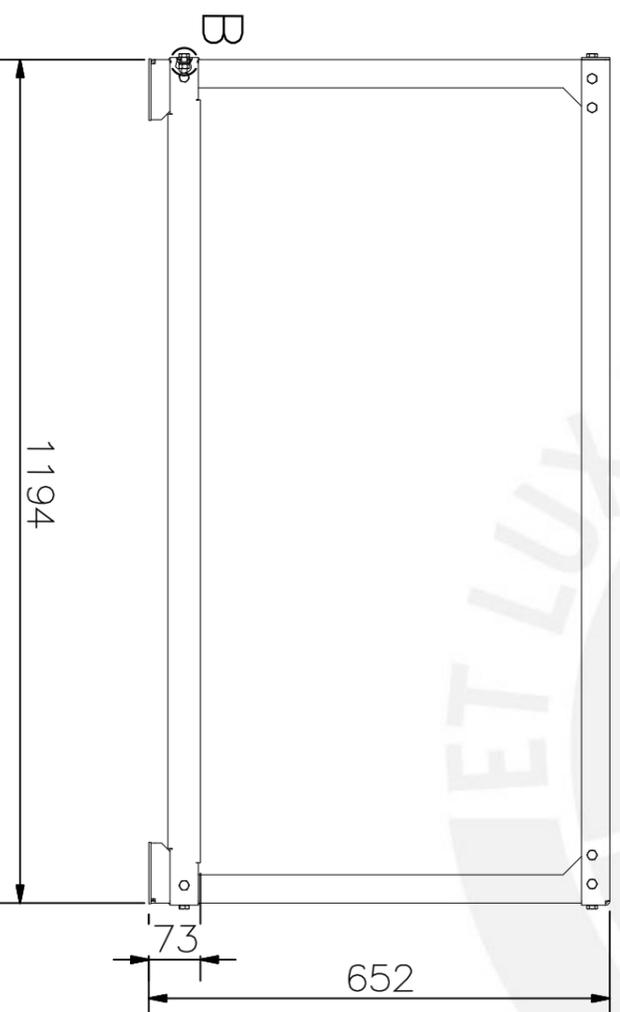




DETALLE A  
ESCALA 1 : 1



DETALLE B  
ESCALA 1 : 1



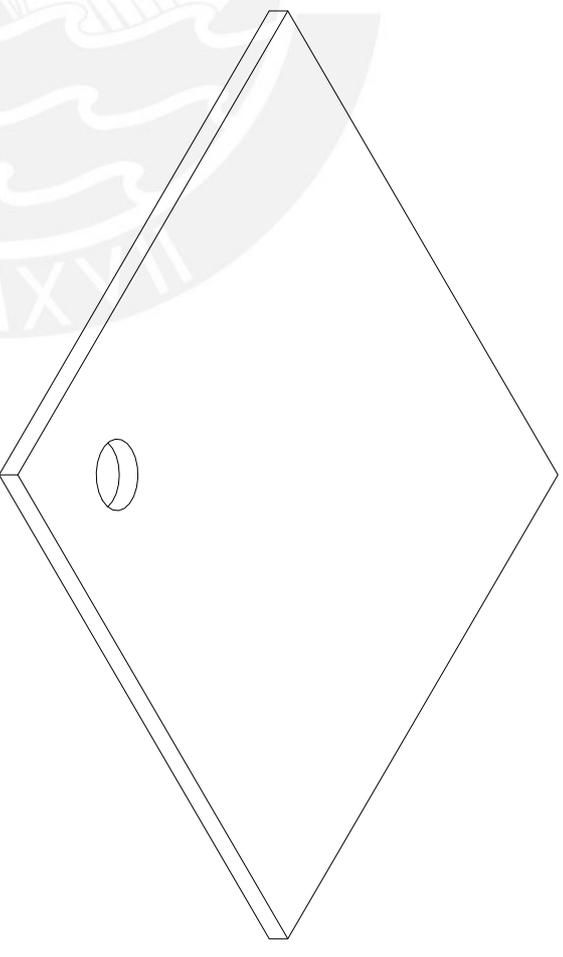
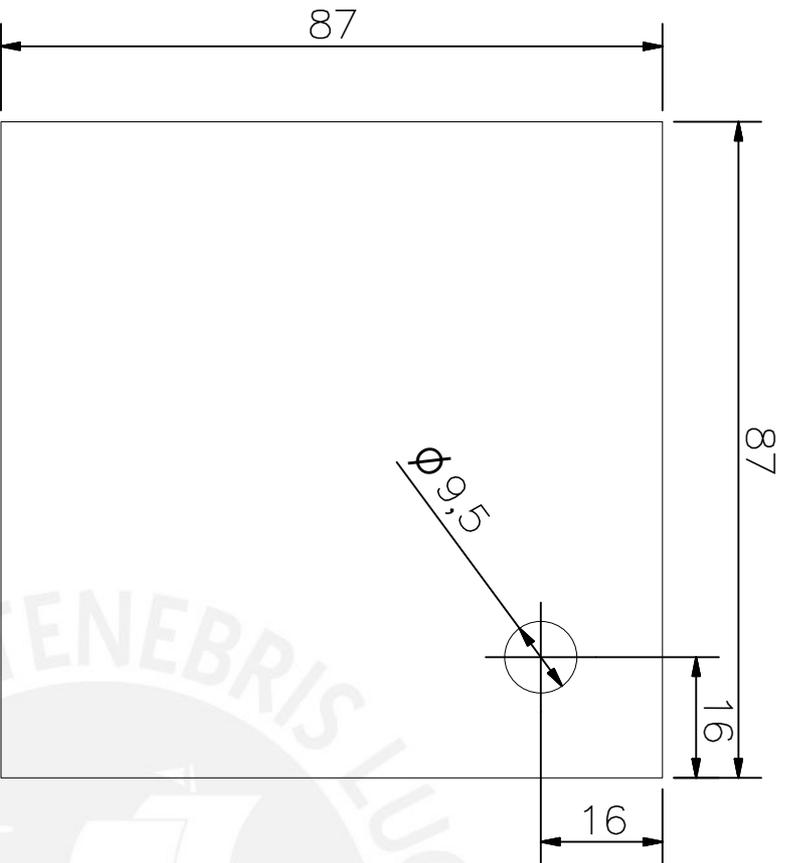
PARTS LIST

10	24	TORNILLO HEXAGONAL M8X25	DIN 931	8.8	
9	24	TUERCA HEXAGONAL M8	ISO 4032	8	
8	24	ARANDELA A8	ISO 7089	St 50	
7	24	ARANDELA PRESION M8	DIN 128	St 50	
6	1	SOPORTE CENTRAL 2		ASTM A36	VER LÁMINA 18
5	1	SOPORTE CENTRAL		ASTM A36	VER LÁMINA 17
4	1	SOPORTE SUPERIOR 2		ASTM A36	VER LÁMINA 16
3	1	SOPORTE SUPERIOR 1		ASTM A36	VER LÁMINA 15
2	4	PARANTE VERTICAL		ASTM A36	VER LÁMINA 14
1	4	BASE		ASTM A36	VER LÁMINA 13

POS. CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES
<b>PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ</b> FCI INGENIERIA MECATRÓNICA				

MÉTODO DE PROYECCIÓN	ESCALA
	1:5

	SOPORTE DE SECADO	1:5
20105723	LOJA ACUÑA, GILBERTH ANDRÉ	FECHA: 2019.08.12
		LÁMINA: L12 - A3

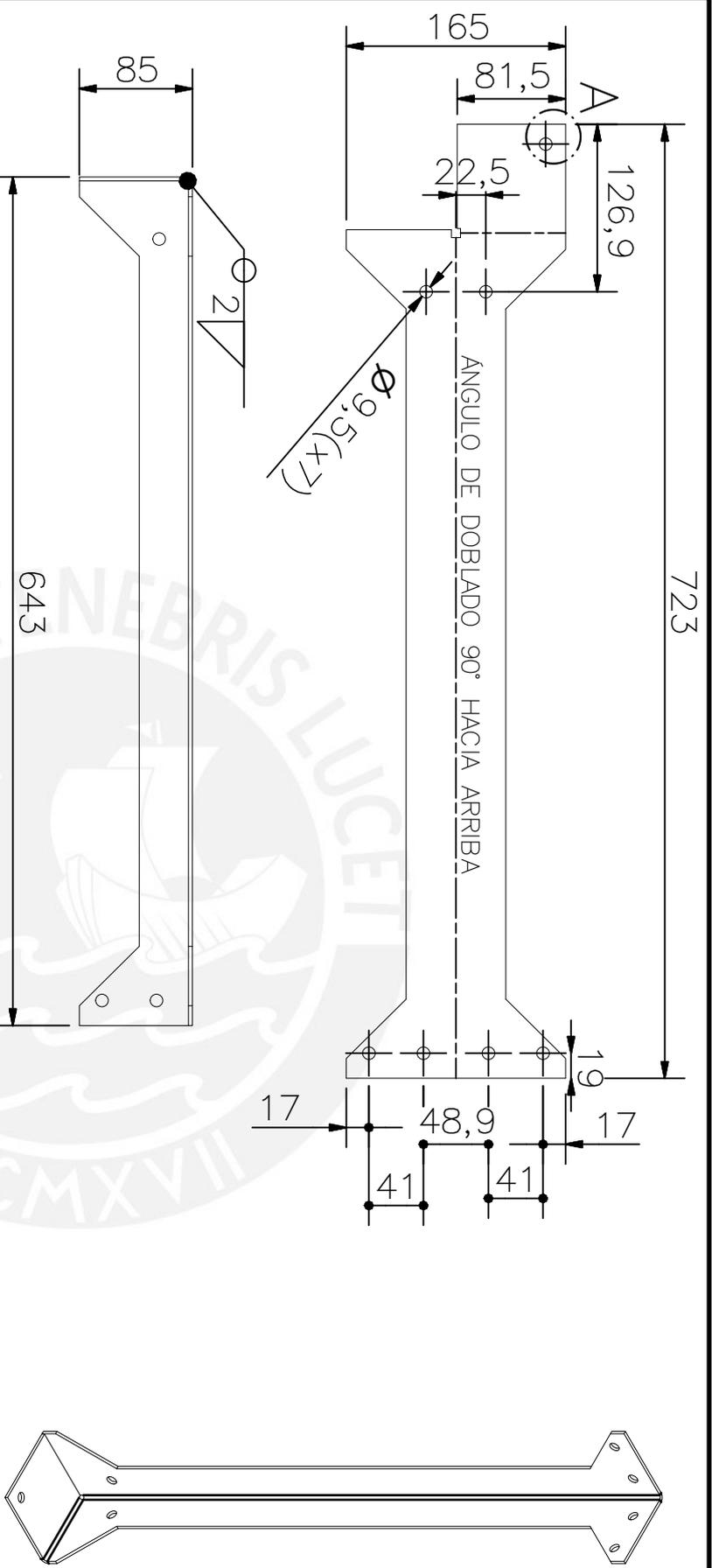


ESPESOR 3mm

TOLERANCIAS DIMENSIONALES  
SEGÚN DIN 7168

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

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
$\sqrt{\text{R}}$	DIN 7168 MECANIZADO MEDIO	ASTM A36
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FCI INGENIERIA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	BASE	ESCALA
		1:1
20105723	LOJA ACUÑA, GILBERTH ANDRÉ	FECHA: 2019.08.12
		LÁMINA: L13 - A4



DETALLE A  
ESCALA 1 : 2

TOLERANCIAS DIMENSIONALES

SEGÚN DIN 7168

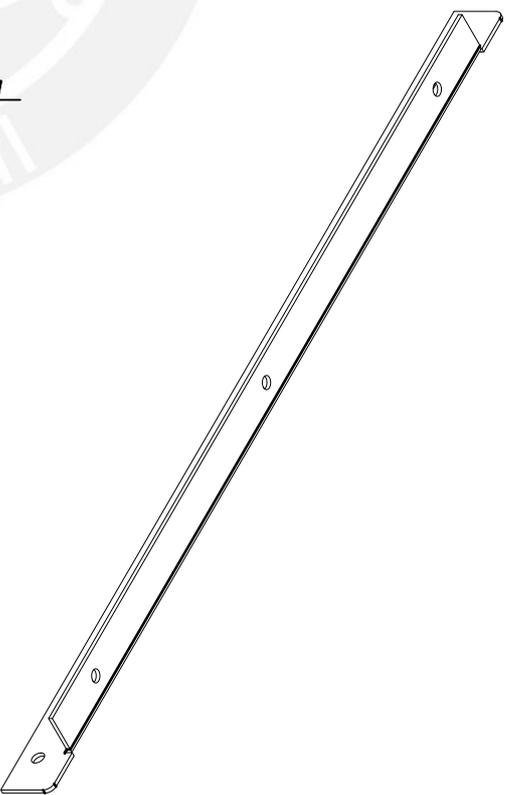
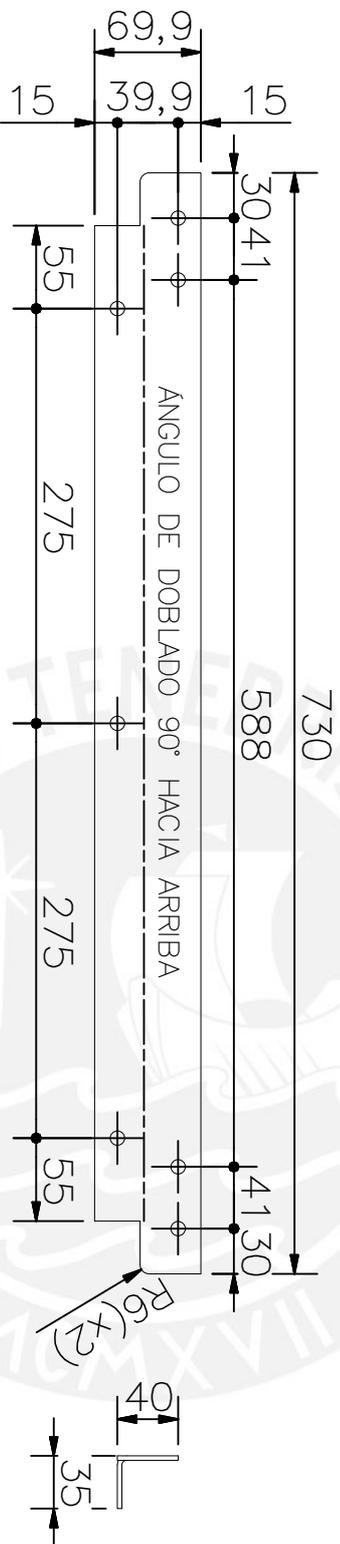
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
	DIN 7168 MECANIZADO MEDIO	ASTM A36

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
FCI INGENIERIA MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN	PARANTE VERTICAL	ESCALA
		1:5

20105723	LOJA ACUÑA, GILBERTH ANDRÉ	FECHA: 2019.08.12
		LÁMINA: L14 - A4



ESPESOR 3mm

TOLERANCIAS DIMENSIONALES  
SEGÚN DIN 7168

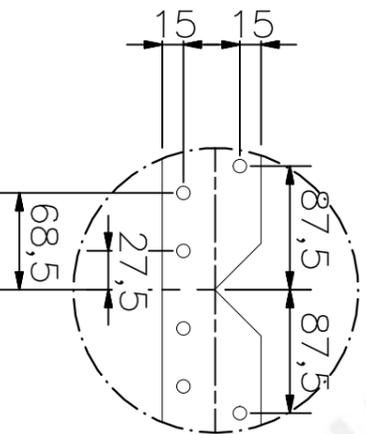
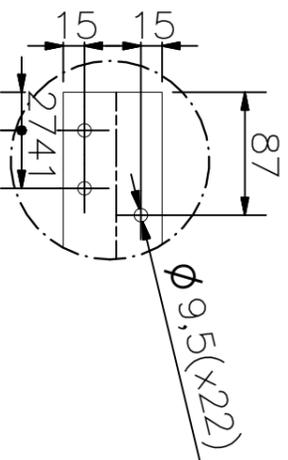
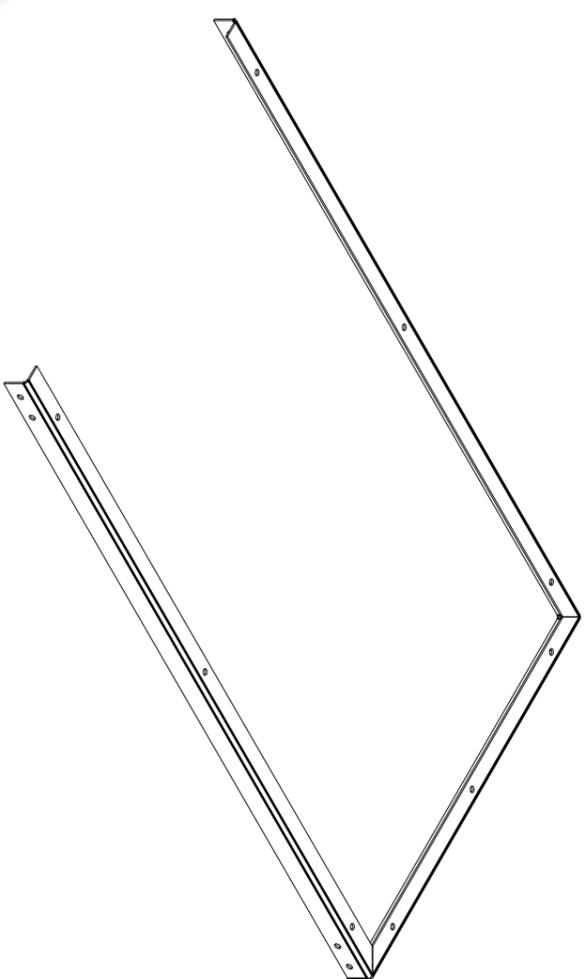
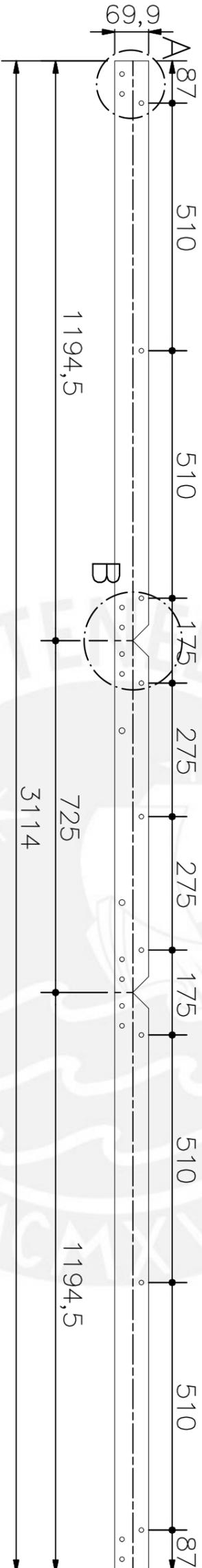
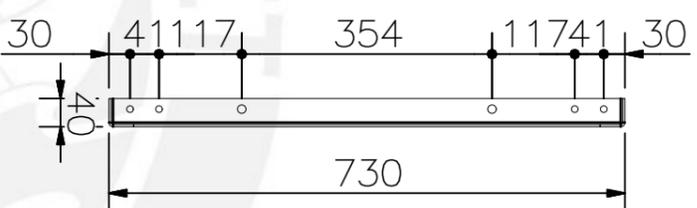
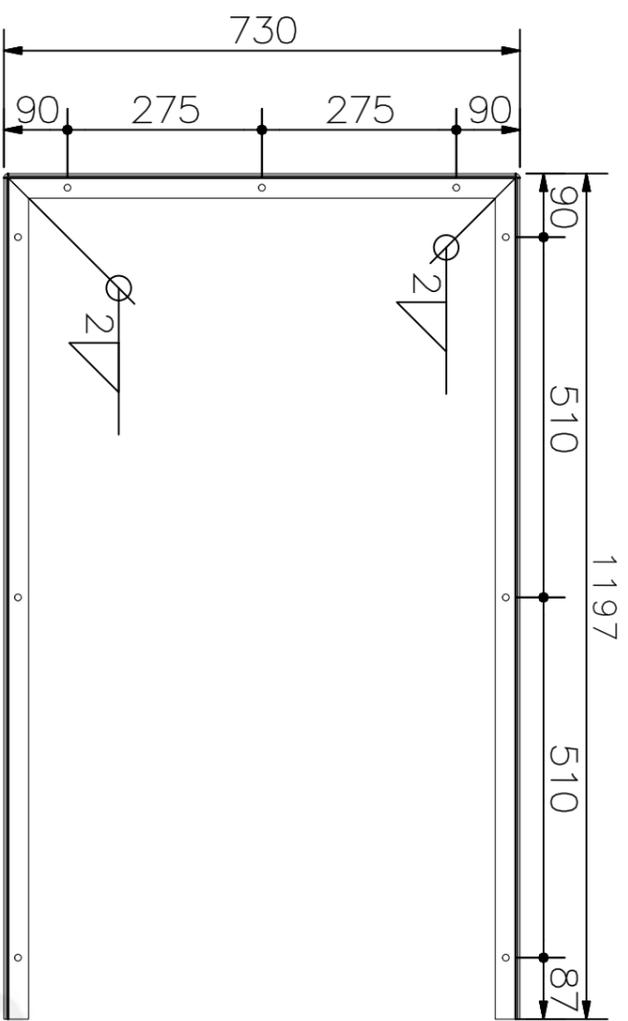
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
	DIN 7168 MECANIZADO MEDIO	ASTM A36

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
FCI INGENIERIA MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN	ESCALA
	1:5
20105723	SOPORTE SUPERIOR 1
LOJA ACUÑA, GILBERTH ANDRÉ	1: 5

FECHA:	LÁMINA:
2019.08.12	L15 - A4



DETALLE A  
 ESCALA 1 : 5

DETALLE B  
 ESCALA 1 : 5

TOLERANCIAS DIMENSIONALES

SEGÚN DIN 7168	
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3
MEDIO	±0,1
	Más de 3 hasta 6
	±0,1
	Más de 6 hasta 30
	±0,2
	Más de 30 hasta 120
	±0,3
	Más de 120 hasta 400
	±0,5

ESPESOR 3mm

ACABADO SUPERFICIAL

TOLERANCIA GENERAL

MATERIAL

DIN 7168

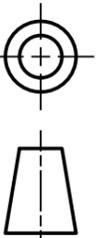
ASTM A36

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
 FCI INGENIERIA MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN

SOPORTE SUPERIOR 2

ESCALA



20105723

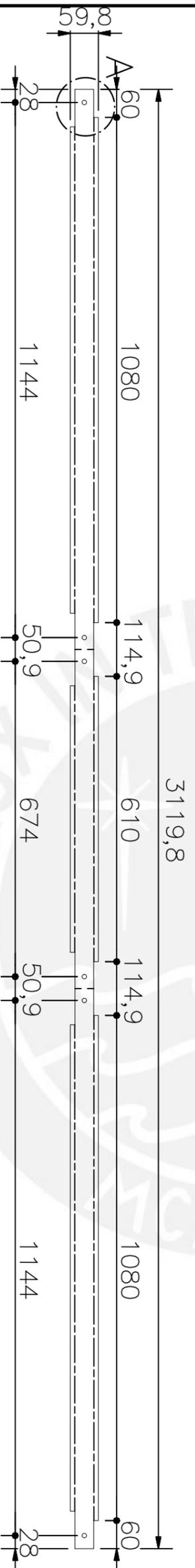
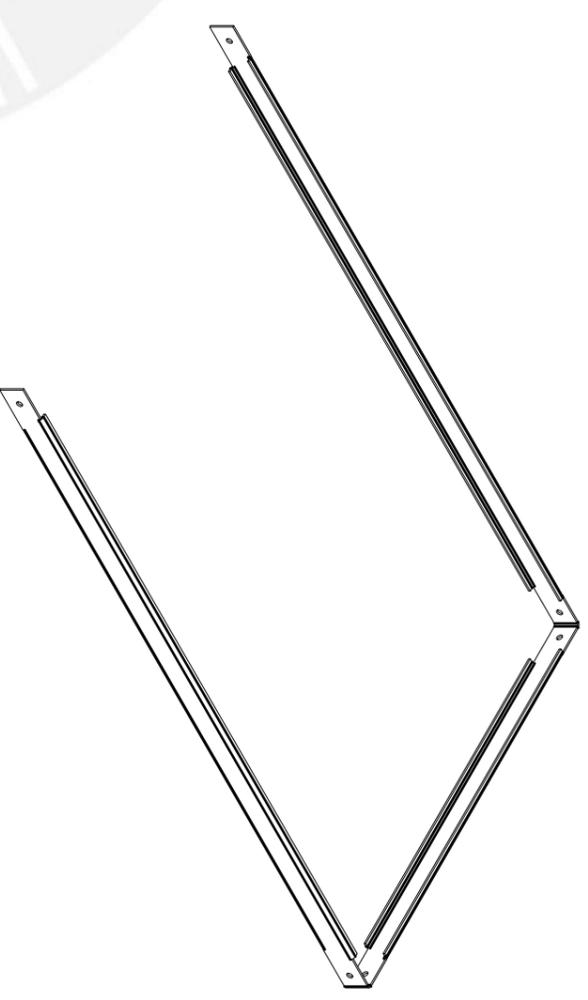
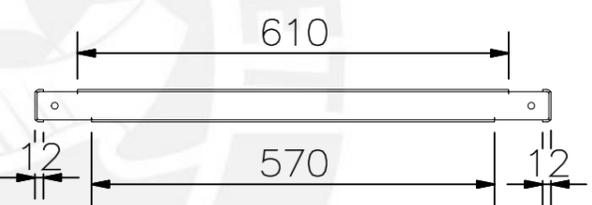
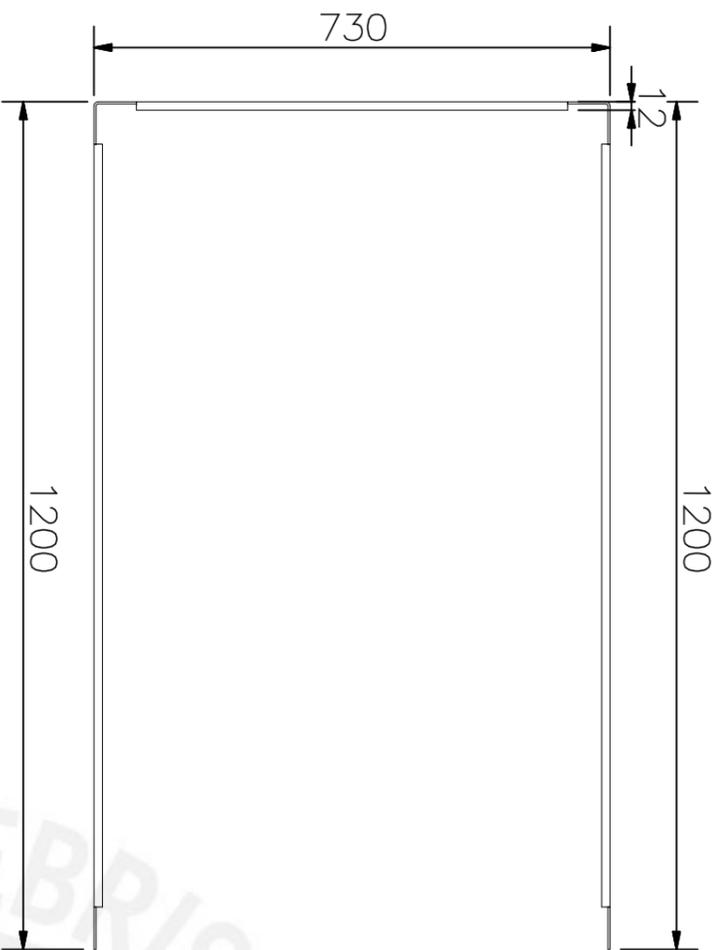
1:10

20105723

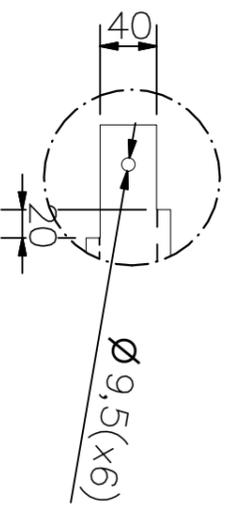
LOJA ACUÑA, GILBERTH ANDRÉ

FECHA:  
2019.08.12

LAMINA:  
L16 - A4



ESPESOR 3mm



DETALLE A

ESCALA 1 : 5

TOLERANCIAS DIMENSIONALES

SEGÚN DIN 7168

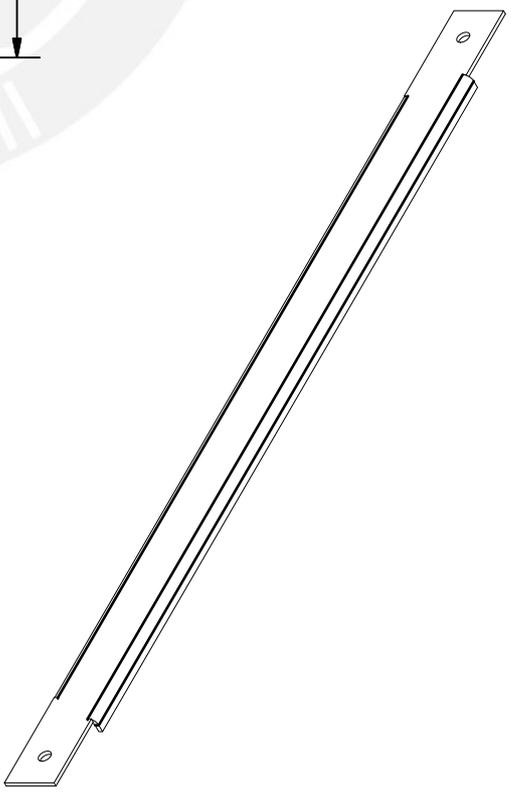
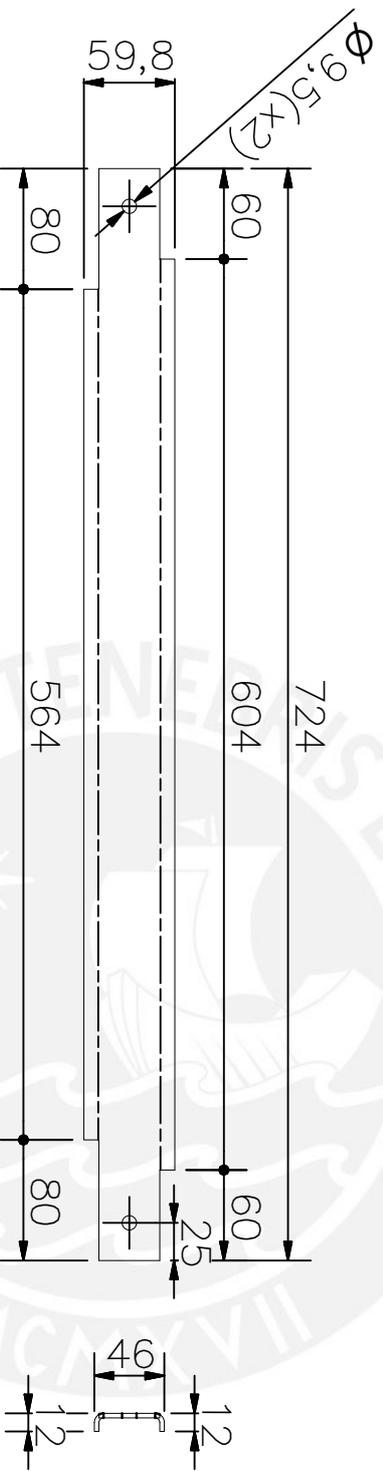
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
∇	DIN 7168 MECANIZADO MEDIO	ASTM A36

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
FCI INGENIERIA MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN	SOPORTE CENTRAL	ESCALA
⊕	LOJA ACUÑA, GILBERTH ANDRÉ	1 : X

20105723	LOJA ACUÑA, GILBERTH ANDRÉ	FECHA: 2019.08.12
		LÁMINA: L17 - A3



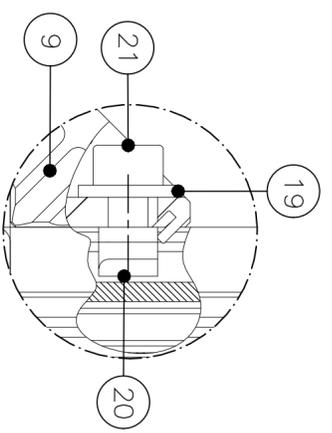
ESPESOR 3mm

TOLERANCIAS DIMENSIONALES  
SEGÚN DIN 7168

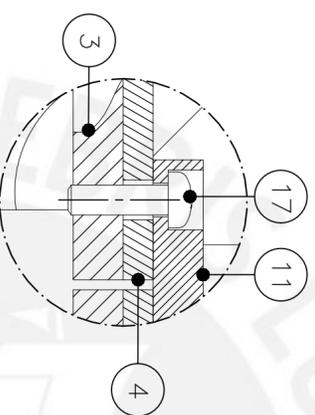
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
$\sqrt{\quad}$	DIN 7168 MECANIZADO MEDIO	ASTM A36
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FCI INGENIERIA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	SOPORTE CENTRAL 2	
	LOJA ACUÑA, GILBERTH ANDRÉ	
20105723	FECHA: 2019.08.12	
	LÁMINA: L18 - A4	

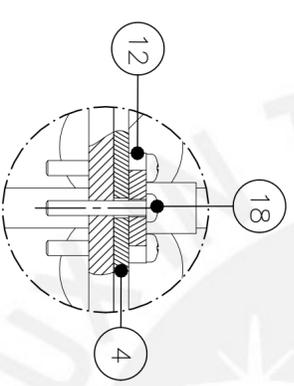
ESCALA 1 : 5



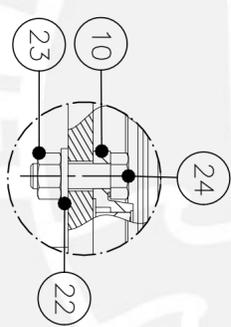
DETALLE A  
ESCALA 2 : 1



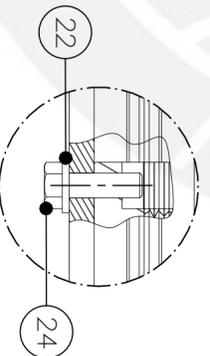
DETALLE B  
ESCALA 2 : 1



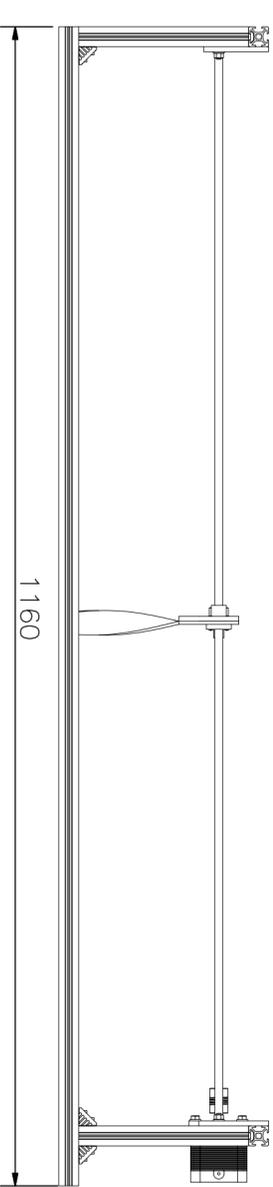
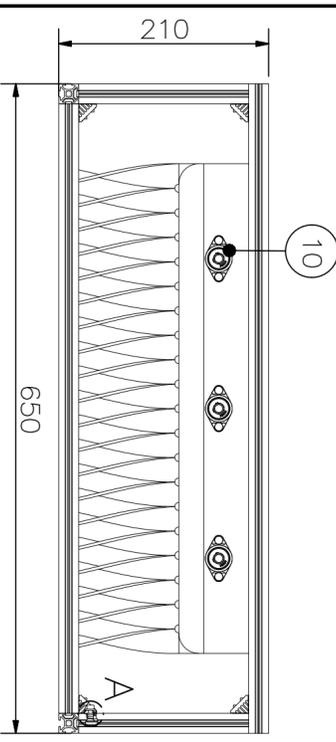
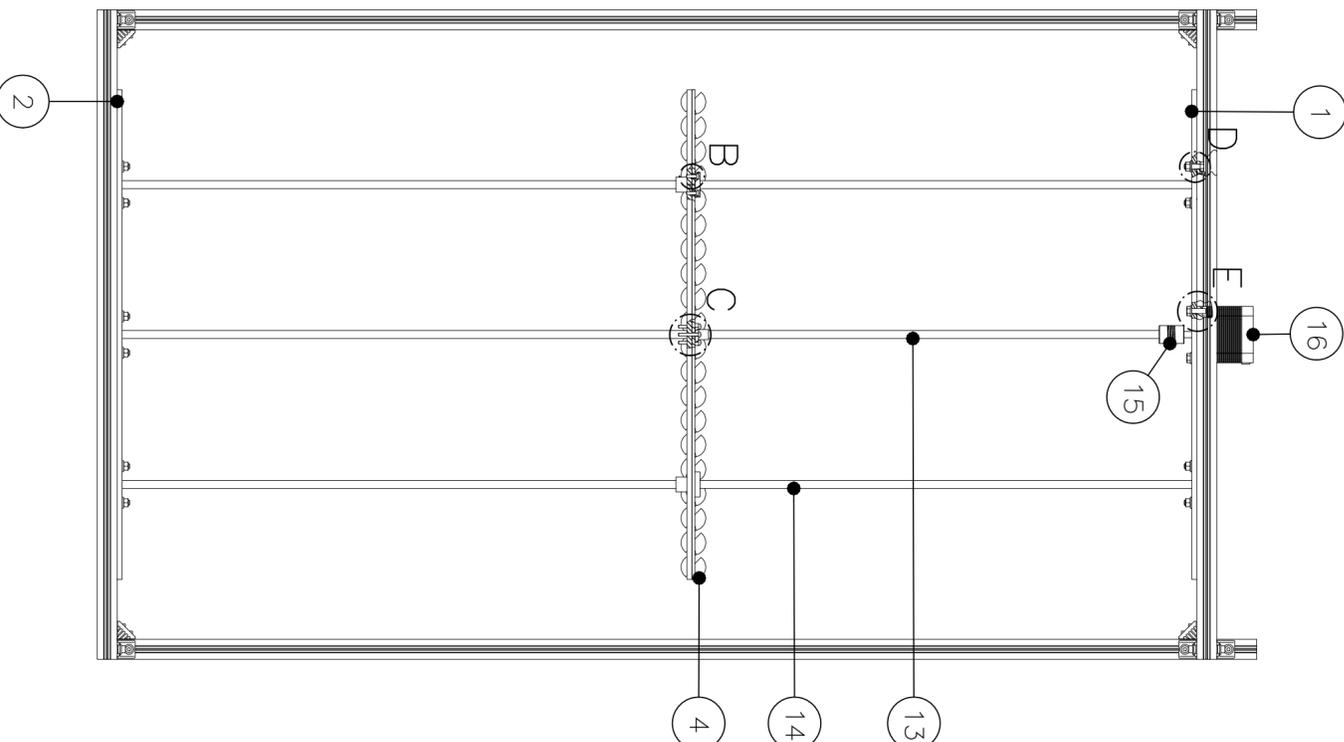
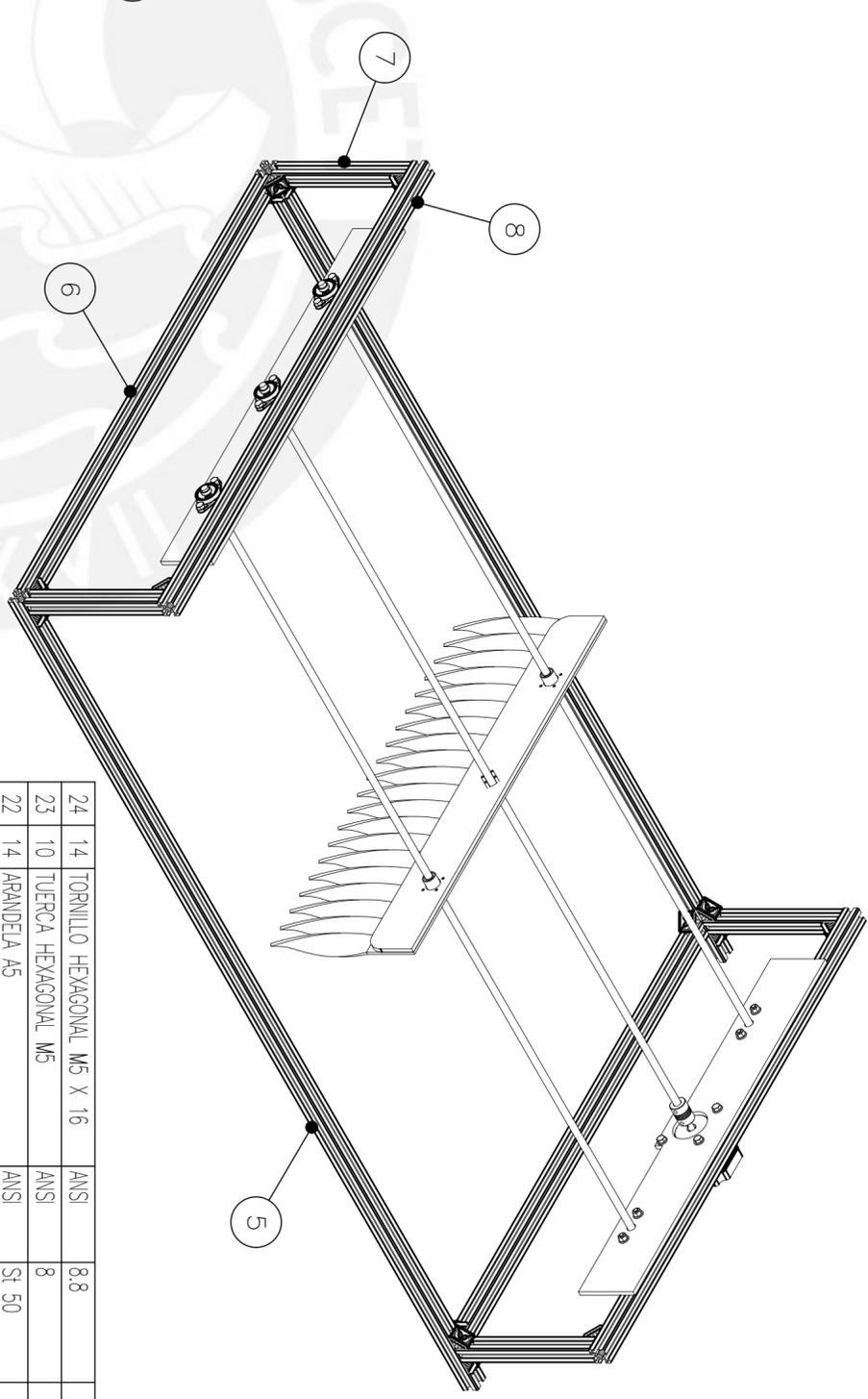
DETALLE C  
ESCALA 1 : 1



DETALLE D  
ESCALA 1 : 1



DETALLE E  
ESCALA 1 : 1

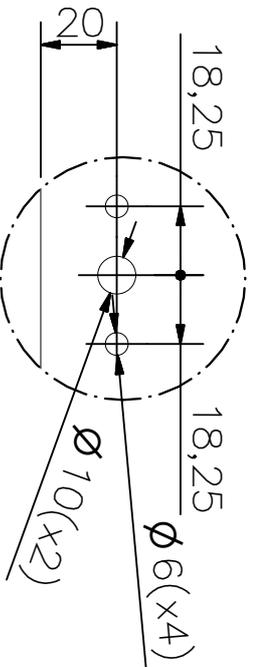


24	14	TORNILLO HEXAGONAL M5 X 16	ANSI	8.8	
23	10	TUERCA HEXAGONAL M5	ANSI	8	
22	14	ARANDELA A5	ANSI	St 50	
21	32	TORNILLO ALLEN M4 X 8	ANSI	8.8	
20	32	TUERCA MARTILLO M4	ANSI	8	
19	32	ARANDELA A4	ANSI	St 50	
18	4	TORNILLO M3 X 20	ANSI	8	
17	8	TORNILLO M3 X 10	ANSI	8	
16	1	MOTOR A PASOS Nemo 23			STEPPERONLINE
15	1	ACOPLE FLEXIBLE 6.35-8mm			UNITUTORES
14	2	VARILLA ACERADA L=1110mm	INOX		UNITUTORES
13	1	TOR. TRAP. 78 8mm L=1070mm			UNITUTORES
12	1	TUERCA NUT 78 8mm	Bronze		UNITUTORES
11	2	BRIDA LINEAL LMK8			UNITUTORES
10	5	RODAMIENTO KFL08			UNITUTORES
9	16	CONECTOR ESCUADRA 20 X 20	AL 6063-T5		UNITUTORES
8	2	REXROTH 20x20 L=650mm	AL 6063-T5		UNITUTORES
7	4	REXROTH 20x20 L=170mm	AL 6063-T5		UNITUTORES
6	2	REXROTH 20x20 L=610mm	AL 6063-T5		UNITUTORES
5	2	REXROTH 20x20 L=1160mm	AL 6063-T5		UNITUTORES
4	1	RASTRILLO CENICAFÉ	PVC		VER LÁMINA 23
3	1	PLACA INTERMEDIA	AL 6061		VER LÁMINA 22
2	1	PLACA FIJA 2	AL 6061		VER LÁMINA 21
1	1	PLACA FIJA 1	AL 6061		VER LÁMINA 20
POS. CANT.		DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES

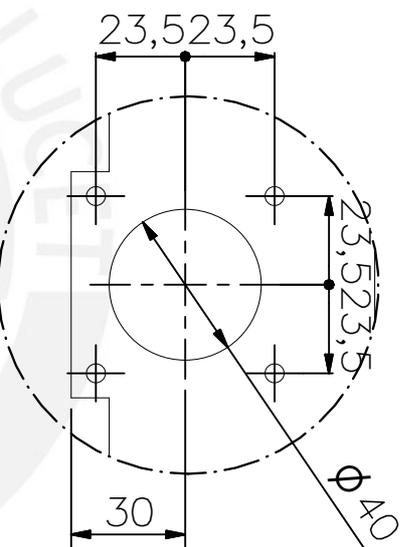
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
FCI. INGENIERÍA MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN  
MECANISMO DE AGITACIÓN  
ESCALA 1 : X

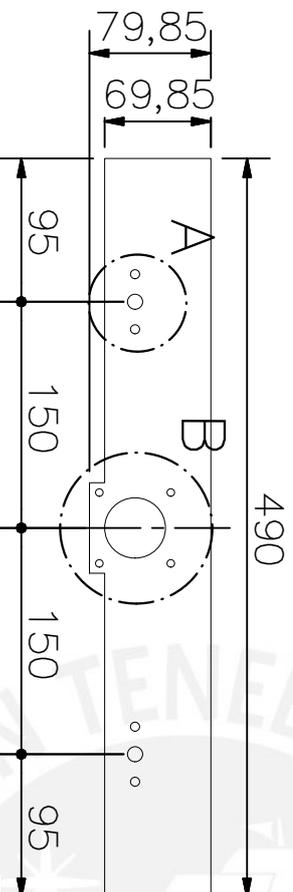
20105723 LOJA ACUÑA, GILBERTH ANDRÉ  
FECHA: 2019.08.12  
LÁMINA: L19 - A2



DETALLE A  
ESCALA 1 : 2

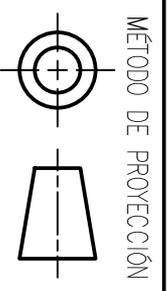


DETALLE B  
ESCALA 1 : 2



ESPESOR 5mm

TOLERANCIAS DIMENSIONALES				
SEGUN DIN 7168				
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120
FINO	±0,05	±0,05	±0,1	±0,15



MÉTODO DE PROYECCIÓN

PLACA FIJA 1

ESCALA 1:5

ACABADO SUPERFICIAL  


TOLERANCIA GENERAL  
DIN 7168  
MECANIZADO FINO

MATERIAL  
AL 6061

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
 FCI INGENIERIA MECATRÓNICA

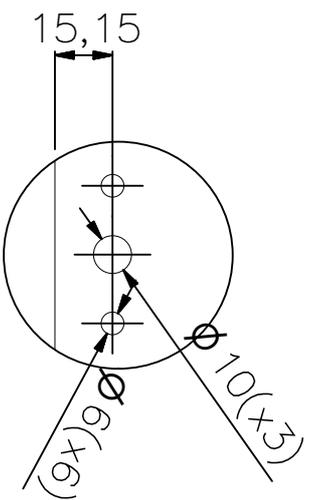
20105723

LOJA ACUÑA, GILBERTH ANDRÉ

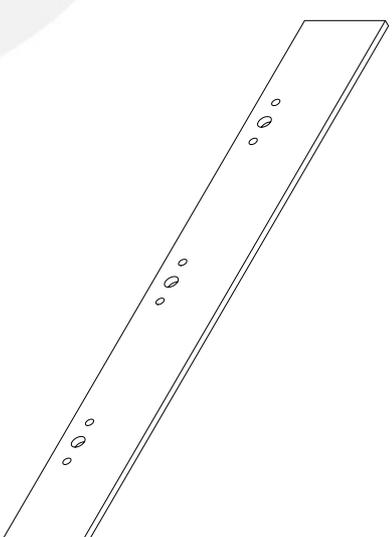
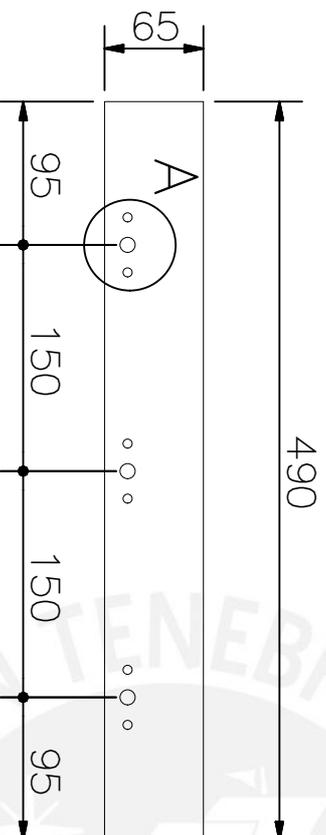
FECHA:  
2019.08.12

FINO ±0,05 ±0,05 ±0,1 ±0,15 ±0,2

LÁMINA:  
L20 - A4



DETALLE A  
ESCALA 1 : 2



ESPESOR 5mm

TOLERANCIAS DIMENSIONALES  
SEGUN DIN 7168

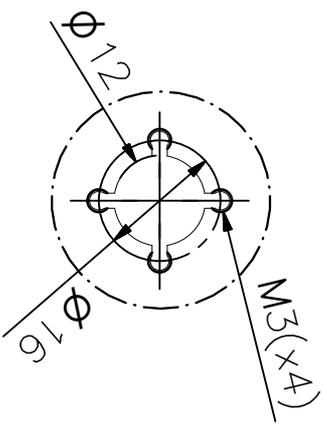
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
FINO	±0,05	±0,05	±0,1	±0,15	±0,2

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
	DIN 7168 MECANIZADO FINO	AL 6061

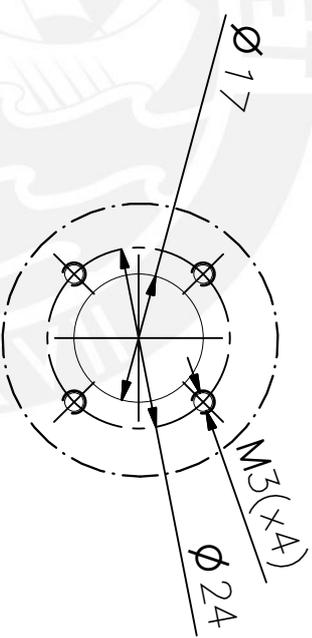
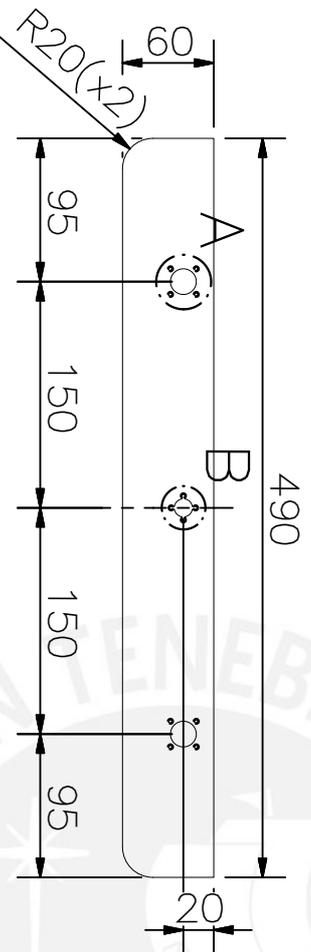
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
FCI INGENIERIA MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN	PLACA FIJA 2	ESCALA
		1 : 5

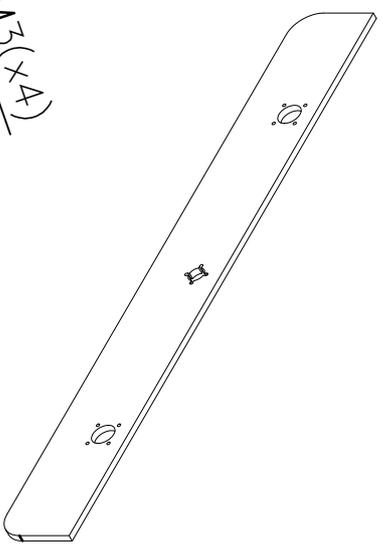
20105723	LOJA ACUÑA, GILBERTH ANDRÉ	FECHA: 2019.08.12
		LÁMINA: L21 - A4



DETALLE B  
ESCALA 1 : 1



DETALLE A  
ESCALA 1 : 1



ESPESOR 5mm

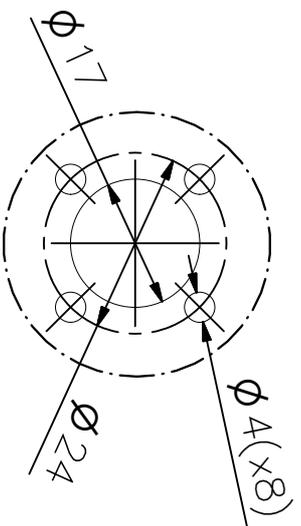
ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
	DIN 7168 MECANIZADO FINO	AL 6061

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
FCI INGENIERIA MECATRÓNICA

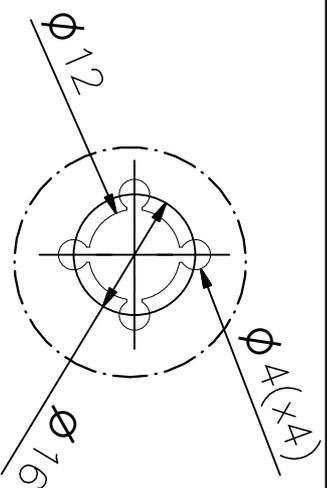
MÉTODO DE PROYECCIÓN	PLACA INTERMEDIA	ESCALA
		1 : 5

TOLERANCIAS DIMENSIONALES				
SEGUN DIN 7168				
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120
FINO	$\pm 0,05$	$\pm 0,05$	$\pm 0,1$	$\pm 0,15$

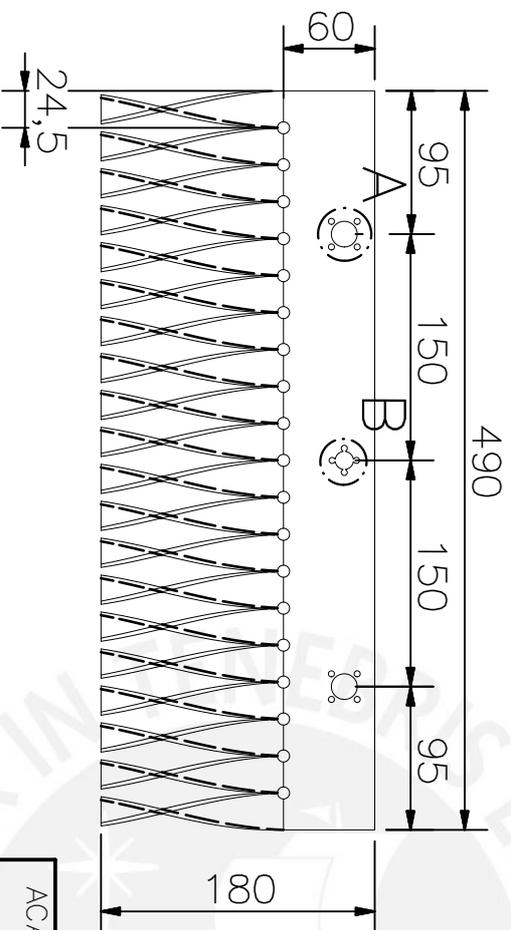
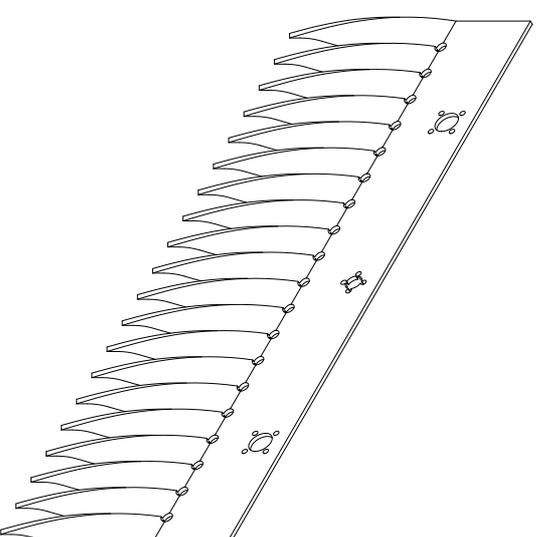
20105723	LOJA ACUÑA, GILBERTH ANDRÉ	FECHA: 2019.08.12
		LÁMINA: L22 - A4



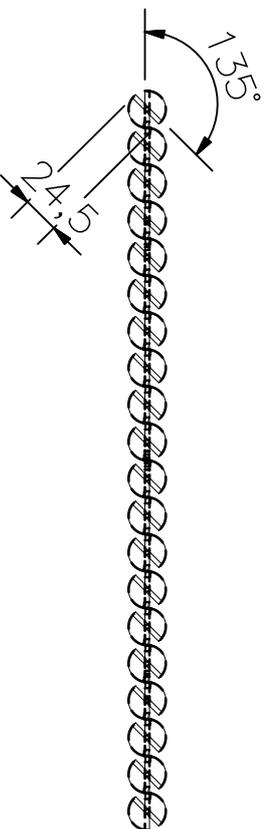
DETALLE A  
ESCALA 1 : 1

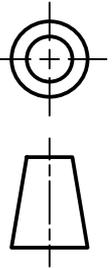


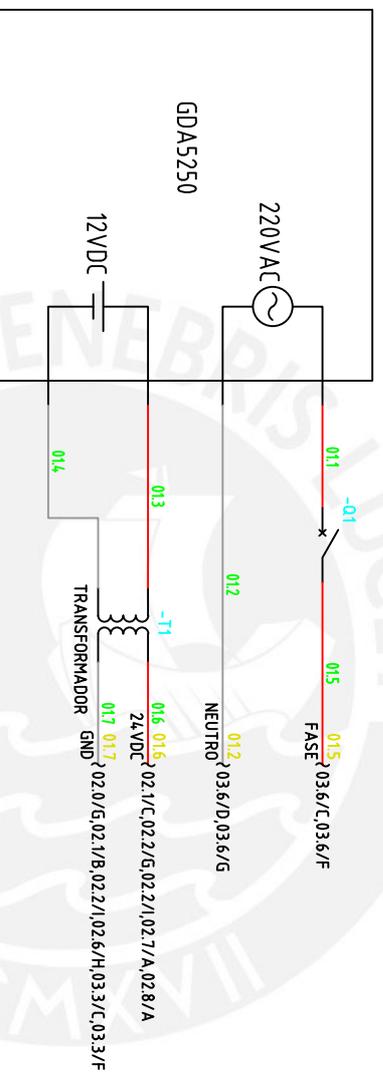
DETALLE B  
ESCALA 1 : 1



ESPESOR 3mm



ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
		PVC
<b>PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ</b> FCI INGENIERIA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN		ESCALA
	<b>RASTRILLO CENICAFÉ</b>	<b>1:5</b>
20105723	LOJA ACUÑA, GILBERTH ANDRÉ	FECHA: 2019.08.12
		LÁMINA: L23 - A4



GRUPO ELECTRÓGENO

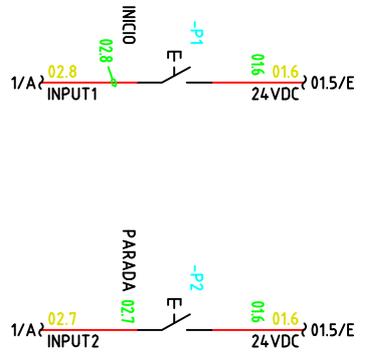
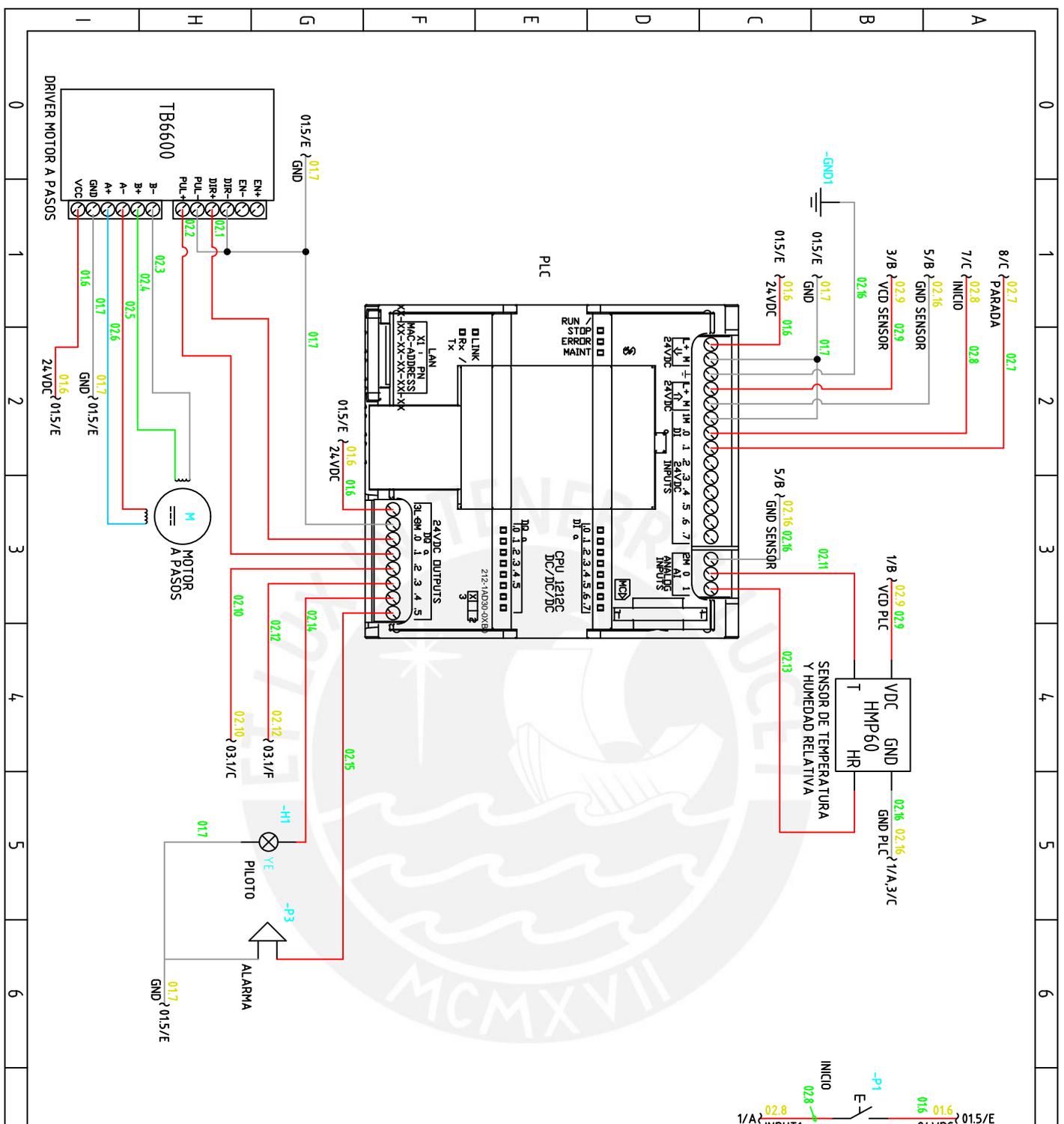
NUM.	CAN.	POS.	DESCRIPCIÓN	OBSERVACIONES
3	2	C1	TRANSFORMADOR	
2	1	C1	INTERRUPTOR	
1	2	C1	GRUPO ELECTRÓGENO	SALIDA CON CABLES

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
 FCI - INGENIERÍA MECATRÓNICA  
 TRABAJO DE FIN DE CARRERA  
 CIRCUITO DE POTENCIA

LOJA ACUÑA, GILBERTH ANDRÉ

FECHA: 12/08/19

LÁMINA: A4



8	1	C8	PULSADOR PARADA	
7	1	C7	PULSADOR INICIO	
6	1	G6	ALARMA	
5	1	G5	PILOTO AMARILLO	
4	1	B4	SENSOR DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA	
3	1	H3	MOTOR A PASOS NEMA 23	
2	1	C1	PLC 1212C	
1	1	G0	DRIVER MOTOR A PASOS	

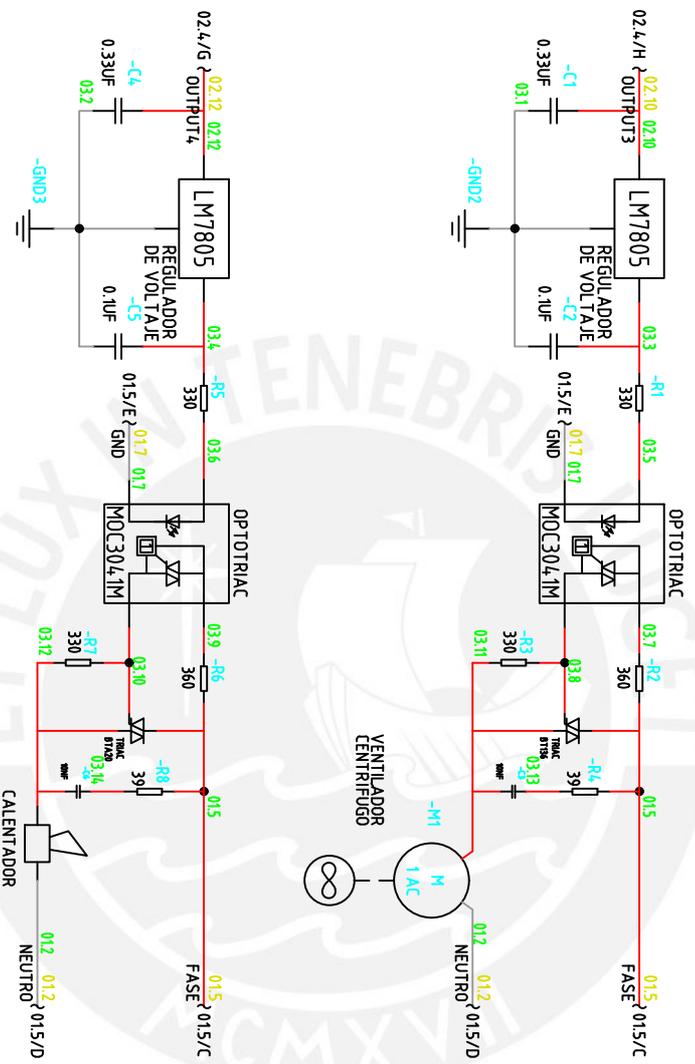
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
 FC - INGENIERÍA MECATRÓNICA

TRABAJO DE FIN DE CARRERA  
 CIRCUITO DE CONTROL

LOJA ACUÑA, GILBERTH ANDRÉ

FECHA: 12/08/19

LÁMINA: A4



NUM.	CAN.	POS.	DESCRIPCIÓN	OBSERVACIONES
4	1	G5	CALENTADOR	
3	1	D5	VENTILADOR	
2	2	C3	OPTOTRIAC	
1	2	C2	REGULADOR DE VOLTAJE	

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
 FCI - INGENIERÍA MECATRÓNICA  
 TRABAJO DE FIN DE CARRERA  
 CIRCUITO DE DISPARO

LOJA ACUÑA, GILBERTH ANDRÉ

FECHA: 12/08/19

LÁMINA: A4