

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

Diseño de un secador rotatorio para el laboratorio de Ingeniería en
Alimentos de la Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingenieros Mecánicos

Presentado por:

René Jesús Andrade Ruíz

Karla Stefania Tovar Vera

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2022

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a mi madre, quien fue mi motivación para iniciar mi carrera universitaria y ha sido siempre mi ejemplo de perseverancia. Aunque ya no estés junto a mí, gracias Meche por convencerme que estoy hecha para cosas grandes.

Karla Stefania Tovar Vera

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la vida, por ponerme sin darme cuenta en una maravillosa carrera; a mis padres por mostrarme su apoyo, en especial a mi papá y por último a mi tutora, Ph. D. Emérita Delgado por su conocimiento y paciencia.

René Jesús Andrade Ruíz

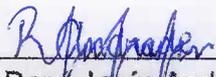
AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi abuela y hermanos por su apoyo incondicional, a mis amigos por su motivación y ánimos, y a la Ph.D. Emérita Delgado por su ayuda durante este proyecto.

Karla Stefania Tovar Vera

DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, me(nos) corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *René Jesús Andrade Ruíz* y *Karla Stefania Tovar Vera* damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"



René Jesús Andrade
Ruíz



Karla Stefania Tovar
Vera

EVALUADORES

Ph.D. Emérita Delgado Plaza
PROFESOR DE LA MATERIA

Msc. Fausto Maldonado Galarza
PROFESOR TUTOR

RESUMEN

La carrera de Ingeniería en Alimentos no cuenta con equipos de secado de granos de baja capacidad, por lo que se diseñó un secador de tipo rotatorio para eliminar parcialmente el contenido de humedad en los granos. El diseño se fundamentó en un análisis termodinámico, de transferencia de calor y masa para obtener la energía requerida para secar los granos y el flujo másico de aire caliente necesario para lograr la humedad final recomendada por la norma INEN 176. También, se realizó el dimensionamiento del secador y cálculos para selección de los equipos y elementos mecánicos. En el diseño se consideró un cilindro exterior de 1 m de largo y 470 mm de diámetro, y un cono truncado en el interior de 300 mm de diámetro, se seleccionó una resistencia eléctrica, ventilador y motorreductor eléctrico. Se obtuvo un flujo de aire de $242 \frac{m^3}{h}$ para una temperatura de operación de 60°C y se evaluó por método de elementos finitos la carga que soportará el eje. Se obtuvo un costo total de \$2,832 para la futura construcción e implementación. Finalmente se concluye que, se diseñó el sistema para el secado de granos teniendo en cuenta no alterar las propiedades del producto y con una capacidad de procesamiento de 2kg de sólido en un período de 5 horas, además, con la aplicación de los principios de diseño mecánico se asegura el correcto funcionamiento del equipo bajo los parámetros establecidos y con factores de seguridad que proporcionan confiabilidad al sistema.

Palabras Clave: Secador rotatorio, granos de cacao, humedad, temperatura.

ABSTRACT

The Food Engineering program does not have low-capacity grain drying equipment, so a rotary dryer was designed to partially eliminate the moisture content of the grains. The design was based on a thermodynamic analysis of heat and mass transfer to obtain the energy required to dry the grains and the mass flow of hot air necessary to achieve the final moisture content recommended by INEN 176 standard. The design considered an outer cylinder 1 m long and 470 mm in diameter, and a truncated cone inside of 300 mm in diameter, an electric resistance, fan and electric motor reducer were selected. An air flow of $242 \frac{m^3}{h}$ was obtained for an operating temperature of 60 °C and the load to be supported by the shaft was evaluated by finite element method. A total cost of \$2,832 was obtained for future construction and implementation. Finally, it is concluded that the system for grain drying was designed considering not to alter the properties of the product and with a processing capacity of 2kg of solid in a period of 5 hours, in addition, with the application of the principles of mechanical design the correct operation of the equipment is ensured under the established parameters and with safety factors that provide reliability to the system.

Keywords: *Rotary dryer, cocoa beans, humidity, temperature.*

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	I
ABSTRACT.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS	VI
SIMBOLOGÍA.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	IX
ÍNDICE DE PLANOS.....	XI
CAPÍTULO 1	1
1. Introducción.....	1
1.1 Descripción del problema	1
1.2 Justificación del problema	1
1.3 Objetivos	2
1.3.1 Objetivo General.....	2
1.3.2 Objetivos Específicos.....	2
1.4 Marco teórico	3
1.4.1 Información acerca del producto a secar: cacao	3
1.4.2 El secado y tipos de secadores	3
1.4.3 Información del proceso de secado artificial de los granos de cacao	5
1.4.4 Términos involucrados en el secado.....	7
CAPÍTULO 2.....	9
2. Metodología.....	9
2.1 Análisis del proceso de secado	9
2.2 Parámetros de diseño	9

2.3	Alternativas de diseño existentes	10
2.3.1	Alternativa I. Combustible	10
2.3.2	Alternativa II. Resistencia eléctrica	10
2.4	Factores para la evaluación de las alternativas	10
2.5	Evaluación y selección de la mejor alternativa	11
2.6	Diseño de secador rotatorio	12
2.7	Análisis termodinámico	13
2.7.1	Energía requerida para calentar aire.....	15
2.7.2	Energía retenida del cacao	17
2.7.3	Flujo de aire requerido	18
2.7.4	Caudal de aire	18
2.7.5	Dimensionamiento del cilindro	19
2.7.6	Energía perdida por conducción, convección y radiación.....	19
2.7.7	Energía total Requerida	24
2.8	Análisis mecánico.....	24
2.8.1	Potencia del motor	24
2.8.2	Dimensionamiento del sistema de transmisión de potencia	29
2.8.3	Análisis de falla en el eje	35
CAPÍTULO 3		39
3.	Resultados y análisis	39
3.1	Análisis termodinámico	39
3.2	Análisis mecánico.....	45
3.3	Costos.....	52
CAPÍTULO 4		55
4.	Conclusiones Y Recomendaciones	55
4.1	Conclusiones.....	55

4.2 Recomendaciones..... 56

BIBLIOGRAFÍA

APÉNDICES

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
IAL	Ingeniería en Alimentos
ODS	Objetivo de Desarrollo Sostenible
FIMCP	Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción
INEN	Servicio Ecuatoriano de Normalización
GLP	Gas Licuado de Petróleo
AISI	American Iron and Steel Institute
ISO	International Organization for Standardization

SIMBOLOGÍA

kg	Kilogramo
m	Metro
mm	Milímetro
in	Pulgada
pH	Potencial de Hidrógeno
%	Porcentaje
°C	Grados Celsius
V	Voltios
h	hora
s	segundo
kJ	kiloJoule
J	Joule
K	Grados Kelvin
kPa	kiloPascal
Pa	Pascal
MPa	MegaPascal
m ²	Metro cuadrado
m ³	Metro cúbico
cm ³	Centímetro cúbico
kW	kilovatios
W	Vatios
ft	Pies
min	Minuto
rpm	Revoluciones por minuto
rad	Radián
N	Newton
lbf	Libra fuerza
HP	Caballo de fuerza

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Esquema general del secador rotatorio	6
Figura 1.2 Curvas de temperatura para el aire caliente y cacao	6
Figura 2.1 Diseño conceptual del secador rotatorio.....	13
Figura 2.2 Parámetros para el balance de energía en la cámara de secado	13
Figura 2.3 Entrada y salida de aire en la resistencia eléctrica	15
Figura 2.4 Esquema de espesores del cilindro	20
Figura 2.5 Esquema de resistencias eléctricas	20
Figura 2.6 Radios considerados para la inercia del cono truncado.....	25
Figura 2.7 Placa rectangular considerada para la inercia	26
Figura 2.8 Eje sólido.....	27
Figura 2.9 Tipos de bandas y sus características.....	29
Figura 2.10 Fuerzas y pares de torsión en la polea.....	30
Figura 2.11 Secciones de bandas en V estándar	31
Figura 2.12 Circunferencias interiores de bandas en V estándar	32
Figura 2.13 Dimensiones de conversión de longitud	32
Figura 2.14 Diagrama de cuerpo libre del sistema (eje)	36
Figura 3.1 Diagrama de fuerza cortante y momento flector en el eje.....	50
Figura 3.2 Gráfica de deformación total en el eje	52
Figura 3.3 Gráfica de esfuerzo Von Mises en el eje	52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Composición de las semillas de cacao	3
Tabla 1.2 Tipos de secadores	4
Tabla 2.1 Criterios de evaluación de alternativas	11
Tabla 2.2 Matriz de decisión.....	12
Tabla 2.3 Consideraciones del producto para la cámara de secado.....	14
Tabla 2.4 Ventajas y desventajas del uso de bandas	29
Tabla 3.1 Parámetros iniciales de operación	39
Tabla 3.2 Temperaturas de operación en el proceso de secado	39
Tabla 3.3 Constantes usadas durante el análisis termodinámico	40
Tabla 3.4 Resultados del análisis térmico de la cámara de secado.....	41
Tabla 3.5 Parámetros del cacao.....	42
Tabla 3.6 Dimensionamiento de la cámara de secado	43
Tabla 3.7 Resultados de las resistencias térmicas	44
para el secador rotatorio	44
Tabla 3.8 Resultados de las pérdidas de calor durante el	44
proceso de secado.....	44
Tabla 3.9 Masas de los componentes principales del secador	45
Tabla 3.10 Inercias de los componentes principales del secador	46
Tabla 3.11 Potencia del motor.....	46
Tabla 3.12 Datos de factores de diseño para	47
dimensionamiento de la banda.....	47
Tabla 3.13 Resultados de distancia de fuerzas en el eje.....	47
Tabla 3.14 Resultados de fuerzas en la banda	48
Tabla 3.15 Fuerzas aplicadas en el eje.	49

Tabla 3.16 Resultado de esfuerzos en el eje.....	50
Tabla 3.17 Resultados del factor de seguridad en el eje	51
Tabla 3.18 Parámetros para selección de rodamientos.....	51
Tabla 3.19 Costo total de materiales/equipos para construcción del	53
secador rotatorio y soporte.....	53
Tabla 3.20 Costo de componentes electrónicos	54
Tabla 3.21 Costos de mano de obra	54

ÍNDICE DE PLANOS

- PLANO 1 Cono truncado mallado
- PLANO 2 Cilindro cobertor del secador
- PLANO 3 Platinas elevadoras para distribución del grano
- PLANO 4 Placas unidas al eje y coraza para soporte
- PLANO 5 Eje del sistema
- PLANO 6 Tapa de protección del secador
- PLANO 7 Estructura de soporte del sistema secador rotatorio
- PLANO 8 Polea para transmisión de potencia

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Descripción del problema

El secado es un proceso en el que se busca eliminar parcialmente el contenido de humedad en las semillas con la finalidad de que no pierda sus propiedades naturales, garantizando la prolongación del tiempo de almacenamiento del grano y así evitar el desarrollo de hongos.

El laboratorio de Desarrollo y Procesos de alimentos de la carrera de ingeniería en Alimentos no cuenta con prototipos de secado de tipo rotatorio para pruebas de laboratorio con fines educativos para los estudiantes. A partir de la importancia de este proceso surge la necesidad de un secado basado en la eficiencia y optimización de tiempo, en el presente proyecto se diseñará un secador tipo rotatorio y móvil para el secado de granos de cacao.

1.2 Justificación del problema

La Carrera de Ingeniería en Alimentos perteneciente a la FIMCP-ESPOL, se crea en respuesta a la demanda del sector productivo alimentario del Ecuador para satisfacer actuales y futuras necesidades en el ámbito de nutrición y alimentación involucrando al sector industrial, académico y social.

En la actualidad, la carrera IAL tiene laboratorios de Investigación y Desarrollo, Operaciones Unitarias, Planta Piloto, Bromatología, Microbiología, Evaluación Sensorial y un laboratorio de investigación avanzada de Análisis Físico Químico y Biológico de los Alimentos. En el laboratorio de Desarrollo y Procesos de alimentos, los estudiantes realizan sus prácticas de secado de diversos productos usando secadores de bandejas con convección forzada y tipo lecho fluidizado con capacidad entre 3 kg a 5 kg a temperaturas de 70 °C, el tiempo de operación depende del producto tales como frutas y harinas. Al no contar con un secador para grano surge la necesidad del diseño del secador tipo rotatorio para usarse en la deshidratación de granos.

En el mercado industrial existen el secador rotatorio directo en flujo paralelo y en contraflujo, y el secador rotatorio indirecto, pero estos cuentan con grandes capacidades entre 40 kg a 300 toneladas de operación debido a su aplicación.

Por tales razones, se propone el diseño de un secador rotatorio con una capacidad máxima de 2kg de granos para prácticas de laboratorio, con el fin de “garantizar una educación inclusiva y equitativa de calidad y promover oportunidades de aprendizaje permanente para todos” (Organización de las Naciones Unidas, 2015), establecido dentro del ODS 4. Además, el proyecto promueve el ODS 8 “alcanzar un crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todos” (Organización de las Naciones Unidas, 2015).

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar un secador rotatorio con fines educativos utilizando conceptos fundamentales de Ingeniería Mecánica y simulación para el laboratorio de Ingeniería en Alimentos.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Analizar los principios fundamentales de los sistemas de secadores rotatorios y los mecanismos de transferencia de calor.
2. Diseñar el sistema de tambor, selección de elementos mecánicos y transmisión de potencia utilizando fundamentos de diseño mecánico.
3. Analizar la viabilidad económica y factibilidad de construcción.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Información acerca del producto a secar: cacao

El grano de cacao es la semilla proveniente del árbol *Theobroma cacao*, está formado de dos cotiledones y una reducida planta embrional, todo esto dentro de la cáscara. Los cotiledones son los encargados de acumular el alimento cuando la planta está en desarrollo convirtiéndose en las dos primeras hojas una vez germinada la semilla. (De la Cruz Medina, Vargas Ortiz, & Del Angel Coronel, 2012)

Tabla 1.1 Composición de las semillas de cacao
[De la Cruz Medina, Vargas Ortiz, & Del Angel Coronel, 2012]

SUSTANCIA	% EN LA SEMILLA	% EN LA CÁSCARA
Grasa	45,57	4,66
Proteína	14,19	13,95
Theobromina	1,43	0,73
Almidones y azúcares	23,92	43,29
Celulosa	4,78	16,02
Ceniza	4,61	10,71
Agua	7,93	11,73

Una vez finalizada la fermentación del grano de cacao, este contiene una humedad aproximadamente del 60% que debe ser reducida (Rohan, 1964), de acuerdo con la norma INEN 176:2018, Quinta Revisión “Granos de cacao, Requisitos” en la tabla 1 establece que el porcentaje máximo de humedad debe ser de 7,00%, además, que debe cumplir los siguientes requisitos: no presentar olor o sabor a humo y no estar infestados.

1.4.2 El secado y tipos de secadores

El secado consiste en la deshidratación de alimentos, es una de las operaciones unitarias más antiguas utilizadas por la industria alimentaria. La deshidratación de alimentos es un proceso de reducción de la humedad

de los alimentos a niveles bajos para mejorar su vida útil mediante la adición de una o más formas de energía a los alimentos. Lo más habitual es que se añada calor a los alimentos mediante aire caliente, que también arrastra la humedad de los alimentos. Este proceso implica la transferencia simultánea de masa y calor dentro del alimento y del medio utilizado para transferir energía al alimento. En los métodos de deshidratación de alimentos que suministran energía al alimento utilizando medios distintos del aire caliente, puede ser necesario el aire o algún otro gas para alejar la humedad del alimento. (Jayas, 2016)

Existen varios tipos de secadores, seleccionando el óptimo de acuerdo con la naturaleza del producto a secar, el aspecto del producto final, la economía y condiciones operacionales. En la tabla 1.2 se mencionan los diferentes tipos de secadores existentes.

Tabla 1.2 Tipos de secadores [Dr. Rodiles López & Dr. Zamora Vega, 2020]

Tipo de secador		Productos utilizados	Características
Secador directo	Flujo paralelo	Minerales, pulpas, carbón, alimentos animales, lodos	<ul style="list-style-type: none"> • Tolerancia al calor. • La velocidad del flujo es favorable al arrastre.
	Contraflujo	Gel de sílice, azúcar, sales, pigmentos, minerales	<ul style="list-style-type: none"> • Buena distribución de calor. • Productos que soporten temperaturas altas.
Secador indirecto		Deshidratación de frutas	<ul style="list-style-type: none"> • Transferencia de calor por conducción. • Los gases y el producto no entran en contacto.
Secador Louvre		Sales minerales	<ul style="list-style-type: none"> • Menos paralización de producto.

1.4.3 Información del proceso de secado artificial de los granos de cacao

El proceso de secado y los efectos sobre la calidad apuntan a tres cuestiones principales: el método, la temperatura y la duración del secado. Las variaciones de estos parámetros de secado tienen efectos significativos sobre el contenido de humedad, el color del grano, el pH, los ácidos grasos, los polifenoles, las metilxantinas, las proteínas y los compuestos aromáticos que constituyen parámetros de calidad destacados. (Castellanos, Quintero, & Carreno, 2018)

Aunque, la fermentación y el secado influyen de forma complementaria en la calidad del grano, un proceso de secado deficiente de granos de cacao bien fermentados puede dar lugar a granos de muy baja calidad, ya que los tratamientos térmicos afectan a los parámetros de calidad del grano de forma diferente.

Existen diversas maneras de secar artificialmente el grano de cacao, entre las que destacan están el uso de: el secador de bandejas donde la transferencia de calor se realiza por conducción, y el secador rotatorio por convección que se usará en este proyecto.

El secador rotatorio consiste en un cilindro metálico con aletas o rejillas internas, el cual está ligeramente inclinado. El material se alimenta por el extremo superior y se descarga por el extremo inferior. El aire caliente se sopla en dirección de la corriente o contracorriente. A medida que el cilindro gira, el material asciende en el sentido de la rotación, cuando alcanza una posición en la que se ha superado su ángulo de reposo, el material vuelve a caer al fondo del cilindro. La mayor parte del secado tiene lugar mientras el material cae a través del chorro de aire. Utilizando aire muy caliente o gases de combustión, los secadores rotativos también pueden funcionar como tostadores de frutos secos, semillas de sésamo y granos de cacao. (Berk, 2009)

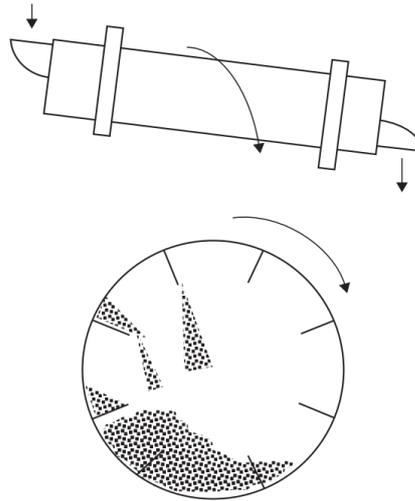


Figura 1.1 Esquema general del secador rotatorio [Berk, 2009]

Se han realizado diversos trabajos de investigación sobre el diseño y modelación de secadores rotatorios. Parra, Saavedra, e Ipanaqué (2012) plantearon un modelo matemático de una cámara de secado de longitud 2 m y diámetro de 0.5 m. En la figura 1.3 se muestran los cambios producidos en la temperatura del aire caliente y los granos de cacao donde se observa que la máxima temperatura de entrada del gas T_{gi} es de $50\text{ }^{\circ}\text{C}$, al tratarse de secado de granos sólo se admiten valores menores a los $60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Además, se observa que la temperatura de salida de los granos de cacao T_{so} se aproxima a la temperatura de salida del flujo de aire T_{go} (págs. 54-60).

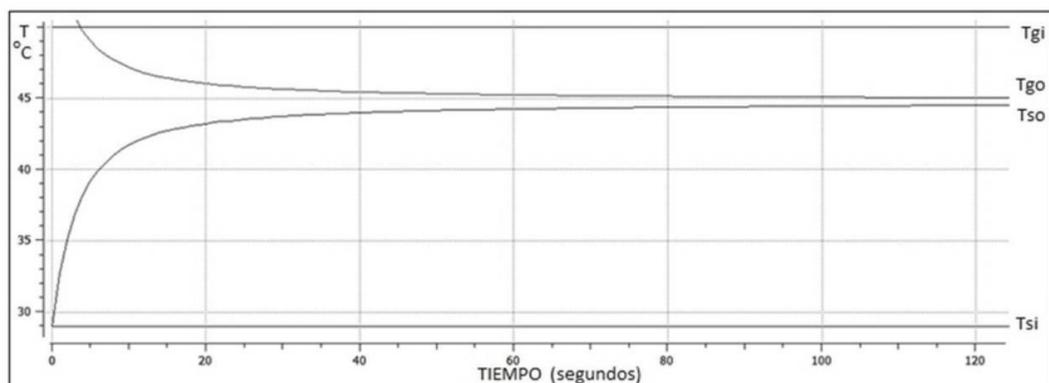


Figura 1.2 Curvas de temperatura para el aire caliente y cacao [Parra, Saavedra, & Ipanaqué, 2012]

1.4.4 Términos involucrados en el secado

- **Humedad relativa:** Es la relación existente entre la cantidad real de humedad en el aire a cierta temperatura y la máxima cantidad que el aire puede contener a esa temperatura. Esta humedad varía de 0 para aire seco a 1 para aire saturado. (Cengel & Boles, 2011)
- **Contenido de humedad en base húmeda:** Se define como la relación entre la cantidad de agua que tiene el sólido y su masa total. (Martines L. & Lira C., 2010)
- **Contenido de humedad en base seca:** Es la relación entre la masa de agua presente en el material y su masa seca. (Martines L. & Lira C., 2010)
- **Temperatura de bulbo seco:** Es la temperatura que se obtiene con un termómetro convencional de mercurio en una mezcla de aire y vapor de agua.
- **Temperatura de bulbo húmedo:** Es la temperatura que se obtiene si el bulbo de un termómetro de mercurio se envuelve en un tejido húmedo y el aire fluye por encima del bulbo, el aire se enfriará hasta la temperatura de saturación. (Berk, 2009)
- **Transferencia de calor:** “Es la energía en tránsito ocasionada por una diferencia de temperaturas. Entre los modos de transferencia están: la conducción que es la transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia hacia las menos energéticas como consecuencia de la interacción entre ellas, la convección hace referencia a la transferencia entre una superficie y un fluido en movimiento al estar a diferentes temperaturas, y la radiación que es la energía emitida por la materia en forma de ondas electromagnéticas a

causa de los cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos". (Incropera & DeWitt, 1999)

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

2.1 Análisis del proceso de secado

El proceso de secado abarca la absorción de calor para evaporar el agua presente en el producto, por lo que debe existir un elemento que caliente el flujo de aire para que este aumente su temperatura y reduzca la humedad relativa dentro del secador rotatorio. El proceso es adiabático por ende la humedad absoluta será la misma en toda la trayectoria.

La energía que se requiere para el acondicionamiento de aire será el calor perdido por convección, conducción y radiación añadiendo el calor necesario para evaporar el agua y absorción de calor del cacao para lograr la reducción de humedad de este. Además, se usará un aislante térmico para hacer más eficiente energéticamente el proceso.

2.2 Parámetros de diseño

La temperatura, humedad relativa y presión atmosférica dependen del lugar donde se realizará el proyecto, en este caso, la ciudad de Guayaquil. Cuenta con una temperatura promedio de 25 °C, y humedad relativa aproximadamente del 74%. (NASA, 2020)

Los granos de cacao a secar previamente deben ingresar fermentados con un porcentaje de humedad del 60% que debe ser reducido hasta el 7% según la norma INEN 176 para evitar la proliferación de hongos.

La temperatura permitida para el secado de los granos de cacao es de máxima 60 °C y el tiempo de secado del equipo es de 5 horas con una capacidad máxima de 2kg de masa.

El diseño del equipo debe considerar en gran parte el uso de materiales y equipos existentes en la universidad para su futura construcción. Además, el área de instalación del equipo deberá tener las instalaciones eléctricas para el suministro de energía al ventilador y motor a usar.

2.3 Alternativas de diseño existentes

El sistema consta de: la cámara de acondicionamiento de aire, cámara de secado y la transmisión para el movimiento de la cámara del secador rotatorio. En la etapa de acondicionamiento de aire se requiere de una fuente de energía para el tratamiento del aire, la cual puede ser obtenida por diversos mecanismos, entre los que se destacan para este proyecto están la combustión y calefacción (el aire es calentado al estar en contacto con resistencias eléctricas).

2.3.1 Alternativa I. Combustible

Se considera el GLP (gas licuado del petróleo), que es una mezcla de hidrocarburos principalmente de propano y butano que se encuentran en el gas natural o diluidos en el petróleo. Se considera una fuente de energía limpia ya que presenta una disminución de emisiones de gases de efecto invernadero que algún otro combustible fósil, además, la mayor parte de su contenido energético es convertido en calor y su eficiencia es superior a los combustibles tradicionales. (Amorin, Broni-Bediako, Worlanyo, & Konadu, 2018)

2.3.2 Alternativa II. Resistencia eléctrica

Es una fuente constante de energía que depende del suministro de conexión a la red del laboratorio con una conexión de 110V.

2.4 Factores para la evaluación de las alternativas

Para la evaluación de las alternativas se consideraron algunos criterios que se seleccionaron con base a los requerimientos del proyecto.

Tabla 2.1 Criterios de evaluación de alternativas

CRITERIOS
Costo
Seguridad
Facilidad de mantenimiento
Logística

- **Costo**

Se evalúo costos totales en la inversión de la fuente principal de energía.

- **Seguridad**

Se evalúo condiciones adecuadas de operación y bienestar a los estudiantes y profesores.

- **Facilidad de mantenimiento**

Se evalúo la limpieza del equipo y cambio de partes basado en un plan programado de mantenimiento.

- **Logística**

Se evalúo la fácil adquisición del GLP y resistencias eléctricas en el mercado nacional.

2.5 Evaluación y selección de la mejor alternativa

Se elaboró una matriz de decisión (tabla 2.2) para seleccionar la mejor alternativa estableciendo una ponderación cuantitativa a las especificaciones de diseño y designando la siguiente calificación de acuerdo con lo establecido por el cliente:

Muy bueno: 4

Bueno: 3

Regular: 2

Malo: 1

Tabla 2.2 Matriz de decisión

		Combustible (GLP)	Resistencia eléctrica
Criterio	Ponderación	Calificación	Calificación
Costo	0.30	2	4
Seguridad	0.25	2	3
Facilidad de mantenimiento	0.20	3	3
Logística	0.25	1	3
Total	1	1,95	3,30

El valor total de la calificación se obtuvo sumando cada valor de la ponderación multiplicado por cada calificación establecida en el rango de 1 a 4. Finalmente, la alternativa seleccionada como fuente de energía para calentar el aire es la resistencia eléctrica.

2.6 Diseño de secador rotatorio

El sistema incluyó el análisis de dos partes fundamentales, la parte mecánica y térmica. En el diseño mecánico el equipo contó con un sistema de transmisión de potencia de bandas y poleas, las que estarán unidas a un motor que mediante un eje le dará el movimiento rotativo al cono. El cilindro funcionó como coraza ya que en su interior se encontró un cono truncado donde habrá placas para distribuir el material con la finalidad de obtener un secado uniforme en los granos de cacao y esto a su vez hace más eficiente el proceso (ver figura 2.1). En el diseño térmico se usó una resistencia eléctrica, siendo suficiente para calentar el flujo de aire al ser un prototipo a baja escala, además, contó con un ventilador para contribuir al flujo de aire que ingresa a la cámara de secado.



Figura 2.1 Diseño conceptual del secador rotatorio

2.7 Análisis termodinámico

Durante el proceso de secado existieron condiciones iniciales, las que se transformaron a través del cambio energético y parámetros planteados (ver figura 2.2).

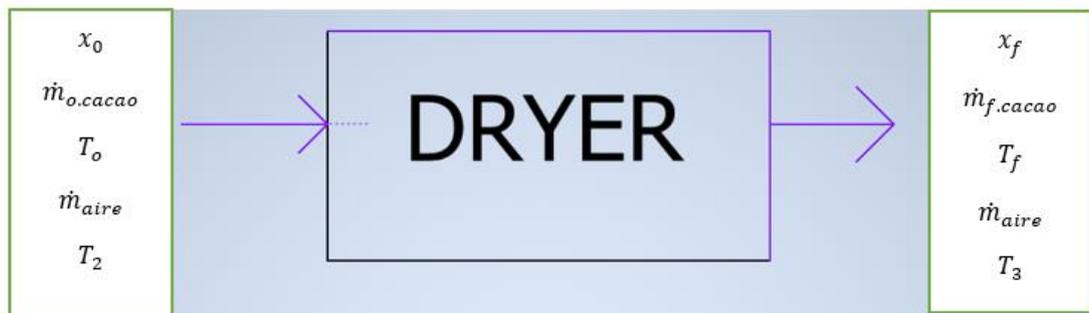


Figura 2.2 Parámetros para el balance de energía en la cámara de secado

Donde:

X_o : Porcentaje inicial de humedad presente en el cacao

X_f : Porcentaje final de humedad presente en el cacao

$\dot{m}_{o,cacao}$: Tasa inicial del producto

$\dot{m}_{f,cacao}$: Tasa final del producto

T_o : Temperatura inicial del cacao

T_f : Temperatura final del cacao

\dot{m}_{aire} : Flujo de aire caliente que transita en el cilindro

T_2 : Temperatura inicial del aire caliente

T_3 : Temperatura final del aire caliente

Es importante mencionar que la cámara de secado se acopló a un sistema de control para regulación de temperaturas y velocidades de viento.

Tabla 2.3 Consideraciones del producto para la cámara de secado

Parámetro	Valor
Masa inicial	2 [kg]
Porcentaje de humedad inicial en los granos de cacao	60%
Porcentaje de humedad final en los granos de cacao	7%
Temperatura inicial del cacao	25 [°C]
Temperatura final del cacao	50 [°C]
Temperatura inicial del aire caliente	60 [°C]

Se realizó un análisis al flujo de entrada y salida de los granos de cacao de acuerdo con los parámetros de diseño establecidos, las ecuaciones usadas a continuación se han considerado de la tesis “Diseño de un secador rotatorio para granos de cacao con capacidad de 3 toneladas diarias para la producción nacional” del autor Mora Caranqui (2015).

La tasa de cacao húmedo que ingresó a la cámara de secado:

$$\dot{m}_{o,cacao} = \frac{\text{masa inicial de cacao [kg]}}{\text{tiempo de secado [h]}} \quad (2.1)$$

Si el porcentaje de humedad inicial en los granos de cacao es del 60%, entonces el porcentaje de sólido seco es de 40%. El flujo másico inicial de agua se lo determinó a través de la ecuación 2.2.

$$\dot{m}_{o,agua} = X_o \dot{m}_{o,cacao} \quad (2.2)$$

Mientras que, el flujo másico del sólido seco se lo obtuvo con la ecuación 2.3.

$$\dot{m}_{o,sólido} = (1 - X_o) * \dot{m}_{o,cacao} \quad (2.3)$$

El flujo másico del sólido del grano de cacao no se alteró en el proceso, por lo que es el mismo en la entrada y salida de la cámara de secado:

$$\dot{m}_{o,sólido} = \dot{m}_{f,sólido} \quad (2.4)$$

El flujo que cambia a la salida del proceso es el flujo másico de agua debido a la reducción de la humedad del producto, se lo calculó con la ecuación 2.5.

$$\dot{m}_{f,agua} = \frac{X_f * \dot{m}_{f,sólido}}{1 - X_f} \quad (2.5)$$

Finalmente, el flujo másico de cacao a la salida de la cámara de secado se lo obtuvo con la ecuación 2.6.

$$\dot{m}_{f,cacao} = \dot{m}_{f,sólido} + \dot{m}_{f,agua} \quad (2.6)$$

2.7.1 Energía requerida para calentar aire

Como fuente de energía para calentar el aire se usó la resistencia eléctrica y se realizó un balance de energía para obtener el calor que se necesita para secar los granos de cacao.

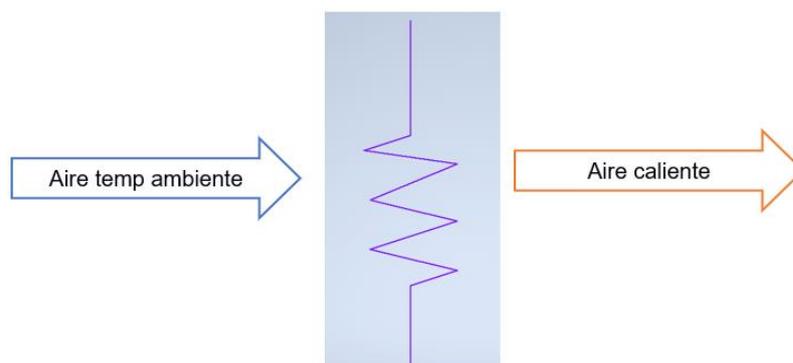


Figura 2.3 Entrada y salida de aire en la resistencia eléctrica

El calor añadido por la resistencia eléctrica se calculó con la ecuación 2.7.

$$\dot{Q}_{aire} = \dot{m}_{aire}(h_2 - h_1) \quad (2.7)$$

Donde:

\dot{Q}_{aire} : Calor necesario para calentar aire $\left[\frac{kJ}{s}\right]$

h_1 : Entalpía del aire al ingreso de la resistencia $\left[\frac{kJ}{kg}\right]$

h_2 : Entalpía del aire al ingreso de la cámara de secado $\left[\frac{kJ}{kg}\right]$

La entalpía representa la energía microscópica de un fluido en movimiento y considerando que es la suma de la entalpía del vapor de agua más el aire seco, se la obtuvo con las ecuaciones 2.8 y 2.9.

$$h_1 = Cp_1T_1 + w_1h_{g1@T1} \quad (2.8)$$

Cp_1 : Calor específico del aire a temperatura T_1 $\left[\frac{kJ}{kg*K}\right]$

T_1 : Temperatura inicial del aire $[K]$

w_1 : Humedad absoluta, kg de agua por cada kg de aire seco $\left[\frac{kg_{agua}}{kg_{aire\ seco}}\right]$

$h_{g1@T1}$: Entalpía vapor saturado a T_1 $\left[\frac{kJ}{kg}\right]$

$$h_2 = Cp_2T_2 + w_2h_{g2@T2} \quad (2.9)$$

Donde:

Cp_2 : Calor específico del aire a temperatura T_2 $\left[\frac{kJ}{kg*K}\right]$

T_2 : Temperatura inicial del aire $[K]$

w_2 : Humedad absoluta, kg de agua por cada kg de aire seco $\left[\frac{kg_{agua}}{kg_{aire\ seco}}\right]$

$h_{g2@T2}$: Entalpía vapor saturado a T_2 $\left[\frac{kJ}{kg}\right]$

La humedad absoluta w_1 se determinó con la ecuación 2.10.

$$w_1 = \frac{0,622 * P_{vap1}}{P - P_{vap1}} \left[\frac{kg_{agua}}{kg_{aire\ seco}} \right] \quad (2.10)$$

P_{vap1} : Presión de vapor a T_1 $[kPa]$

P : Presión total sobre nivel el nivel del mar $[kPa]$

Para encontrar la presión de vapor se usó la ecuación 2.11.

$$P_{vap1} = HR * P_{s@T_1} \quad (2.11)$$

Donde:

$P_{s@T_1}$: Presión de saturación a T_1 $[kPa]$

HR : Humedad relativa [%]

No fue necesario calcular w_2 porque en el proceso de calentamiento la humedad absoluta no se altera debido a que es adiabático, entonces:

$$w_1 = w_2 \quad (2.12)$$

2.7.2 Energía retenida del cacao

La base para obtener el calor necesario para el proceso de secado es la tasa de vaporización de agua donde interviene el flujo másico de agua inicial y final, debido a la pérdida de humedad del producto durante el proceso y se lo calculó con la ecuación 2.13.

$$\Delta \dot{m}_{agua} = \dot{m}_{o,agua} - \dot{m}_{f,agua} \quad (2.13)$$

El calor de evaporación contenida en el cacao se relacionó con el: flujo másico de agua ($\Delta\dot{m}_{agua}$), calor latente de vaporización del agua ($h_{f,g}$), flujo másico inicial de evaporación de cacao ($\dot{m}_{o,cacao}$) y del calor específico del producto (Cp_{cacao}).

$$\dot{Q}_{cacao+evaporación} = \Delta\dot{m}_{agua} * h_{f,g} + \dot{m}_{o,cacao} * Cp_{cacao}(T_f - T_o) \quad (2.14)$$

2.7.3 Flujo de aire requerido

Para el análisis se contempló la siguiente condición:

$$\dot{Q}_{aire} = \dot{Q}_{cacao+evaporación} \quad (2.15)$$

$$\dot{m}_{aire} = \frac{\Delta\dot{m}_{agua} * h_{f,g} + \dot{m}_{o,cacao} * Cp_{cacao}(T_f - T_o)}{h_2 - h_1} \quad (2.16)$$

Donde:

\dot{m}_{aire} : flujo de aire $\left[\frac{kg}{s}\right]$

2.7.4 Caudal de aire

Con el flujo de aire, se obtuvo el flujo volumétrico con la ecuación 2.17.

$$\dot{V}_{aire} = \dot{m}_{aire} * \dot{v}_{aire} \quad (2.17)$$

\dot{v}_{aire} : Volumen específico del aire $\left[\frac{m^3}{kg}\right]$

Se usó la ecuación de gas ideal para calcular el volumen específico del aire.

$$\dot{v}_{aire} = \frac{R_a * T_o}{P_a} \quad (2.18)$$

R_a : constante universal de los gases ideales

2.7.5 Dimensionamiento del cilindro

El volumen del cacao ocupado se lo encontró con el flujo y densidad del producto usando la ecuación 2.19.

$$V_{cacao} = \frac{\dot{m}_{cacao}}{\rho_{cacao}} [m^3] \quad (2.19)$$

ρ_{cacao} : Densidad del cacao $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$

A partir de la bibliografía, es recomendable que el volumen del cacao cumpla con el 8% del volumen del cilindro (Mora Caranqui, 2015, pág. 18), se lo relacionó con la ecuación 2.20.

$$0,08V_{secador} = V_{cacao} \quad (2.20)$$

Modelando la cámara de secado como un cilindro con la ecuación 2.21.

$$V_{secador} = \frac{\pi}{4} D^2 L [m^3] \quad (2.21)$$

Donde:

D : Diámetro del secador [m]

L : Longitud del secador [m]

2.7.6 Energía perdida por conducción, convección y radiación

Se representó en la figura 2.5 a través de resistencias térmicas el calor perdido dentro del cilindro a través de las paredes de este.

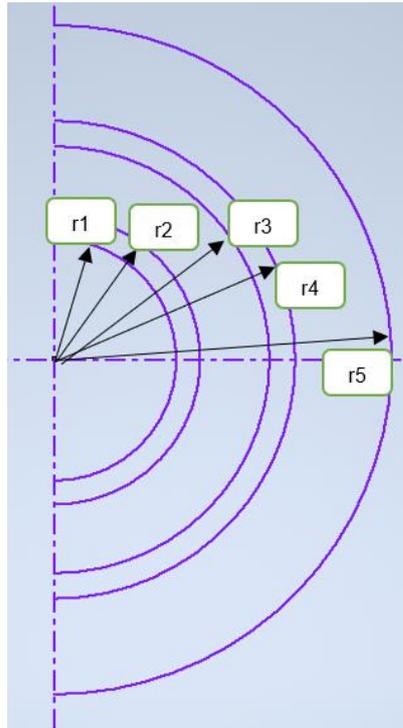


Figura 2.4 Esquema de espesores del cilindro

r_1 : Radio interior del cilindro [m]

r_2 : Radio exterior del cilindro o r_1 más espesor de la plancha de acero [m]

r_3 : Radio del cilindro más espesor del espacio entre cilindros [m]

r_4 : Radio exterior del cilindro cobertor o r_3 más espesor de la plancha de acero [m]

r_5 : Radio 4 más espesor del aislante térmico [m]



Figura 2.5 Esquema de resistencias eléctricas

Se planteó las ecuaciones 2.22, 2.23, 2.24, 2.25, 2.26 y 2.27 que representan la resistencia perdida por conducción y convección:

$$R_1 = \frac{1}{h_{in} 2\pi r_1 L} \quad (2.22)$$

$$R_2 = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi k_a L} \quad (2.23)$$

$$R_3 = \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{2\pi k_{air} L} \quad (2.24)$$

$$R_4 = \frac{1}{h_{ext} 2\pi r_3 L} \quad (2.25)$$

$$R_5 = \frac{\ln\left(\frac{r_5}{r_4}\right)}{2\pi k_L L} \quad (2.26)$$

$$R_6 = \frac{1}{h_{ext} 2\pi r_5 L} \quad (2.27)$$

R_1 : Resistencia de pérdida por convección interna

R_2 : Resistencia de pérdida por conducción del acero

R_3 : Resistencia de pérdida por conducción aire

R_4 : Resistencia de pérdida por conducción del acero

R_5 : Resistencia de pérdida por conducción del aislante

R_6 : Resistencia de pérdida por convección externa

h_{in} : Coeficiente de transferencia interno del cilindro

h_{ext} : coeficiente de transferencia externo del cilindro

L : Longitud del secador

k_a : Conductividad térmica del acero

k_L : Conductividad térmica del aislante

k_{air} : Conductividad térmica del aire

Luego de obtener las resistencias, se calculó el flujo de calor perdido con la ecuación 2.28.

$$Q_{perdido} = \frac{T_{promedio\ en\ el\ secado} - T_{amb}}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6} [kW] \quad (2.28)$$

La energía perdida por radiación está determinada por la ley de Stefan Boltzmann, ecuación 2.29.

$$Q_{radiación} = e\sigma A_t (T_{sp}^4 - T_{amb}^4) [kW] \quad (2.29)$$

e : Emisividad térmica

σ : Constante de Stefan Boltzmann $\left[\frac{kW}{m^2 K^4} \right]$

A : Área pared del cilindro $[m^2]$

Las consideraciones que se tomaron en cuenta en el cálculo del calor perdido por conducción y convección es que la temperatura promedio en el secado ($T_{promedio\ en\ el\ secado}$) es el promedio de la temperatura del aire a la entrada y salida, mientras que, la temperatura ambiente (T_{amb}) es de 25 °C. Para el calor perdido por radiación la temperatura de la superficie del exterior se asume de 40 °C que es considerada segura para quienes operen la máquina.

- **Coeficiente convección de transferencia de calor interno y externo**

A través del número de Reynolds, ecuación 2.30, se estableció el número de Nusselt, ecuación 2.31, debido a que el coeficiente de convección está en función de estos parámetros.

$$Re = \frac{V * D}{\nu} \quad (2.30)$$

Donde:

V : Velocidad del aire fuera del secador o en la superficie

ν : Viscosidad cinemática del aire

$$NU = CRe^m Pr^n \quad (2.31)$$

C y m : Constantes que dependen de Reynolds

Pr : Numero de Prandlt

n : Depende de Pr

Una vez obtenido el número de Nusselt, se calculó el coeficiente de convección externo con la ecuación 2.32.

$$h_{ext} = NU \frac{k}{D} \left[\frac{W}{m^2K} \right] \quad (2.32)$$

Donde:

k : Conductividad térmica

D : Diámetro del cilindro

Para calcular el coeficiente de convección en el interior del cilindro se realizó un balance de energía, en la que se despejó el coeficiente y se obtuvo la ecuación 2.33.

$$h_{in} = \frac{\dot{m}_{aire} Cp_{aire}(T_3 - T_2)}{A_{pared} \Delta T_m} \left[\frac{W}{m^2K} \right] \quad (2.33)$$

Donde:

Cp_{aire} : Calor específico del aire

A_{pared} : Área del cilindro

ΔT_m : Temperatura media logarítmica

La temperatura media logarítmica se la obtiene con la ecuación 2.34.

$$\Delta T_m = \frac{(T_3 - T_{sp}) - (T_2 - T_{sp})}{\ln\left(\frac{T_3 - T_{sp}}{T_2 - T_{sp}}\right)} [K] \quad (2.34)$$

T_{sp} : Temperatura superficial del cilindro

Y considerando el área de la pared del cilindro con la ecuación 2.35.

$$A_{pared} = \pi L(R_{mayor} + R_{menor}) [m^2] \quad (2.35)$$

2.7.7 Energía total Requerida

Es la suma de todas las energías obtenidas, se podría definir como el calor consumido para evaporización del agua y las pérdidas por convección, conducción y radiación. Con la energía calculada se obtuvo el valor de la resistencia para producir el calor en el secador con la ecuación 2.36.

$$Q_{total/resistencia} = Q_{cacao+evaporización} + Q_{perdido} + Q_{radiación} \quad (2.36)$$

2.8 Análisis mecánico

2.8.1 Potencia del motor

El motor tiene como función proporcionar movimiento al cilindro por medio del eje, para la selección de este equipo fue necesario conocer la inercia total a vencer que está formada por:

- Inercia del cono truncado
- Inercia de las placas metálicas
- Inercia del eje
- Inercia de la polea
- Inercia de granos de cacao

Además, fue necesario conocer la masa y radio de giro de estos elementos.

- **Inercia del cono truncado**

Para la inercia del cono truncado I_1 se consideró la tapa de salida y en la figura 2.6 se muestran los radios considerados para el cálculo.

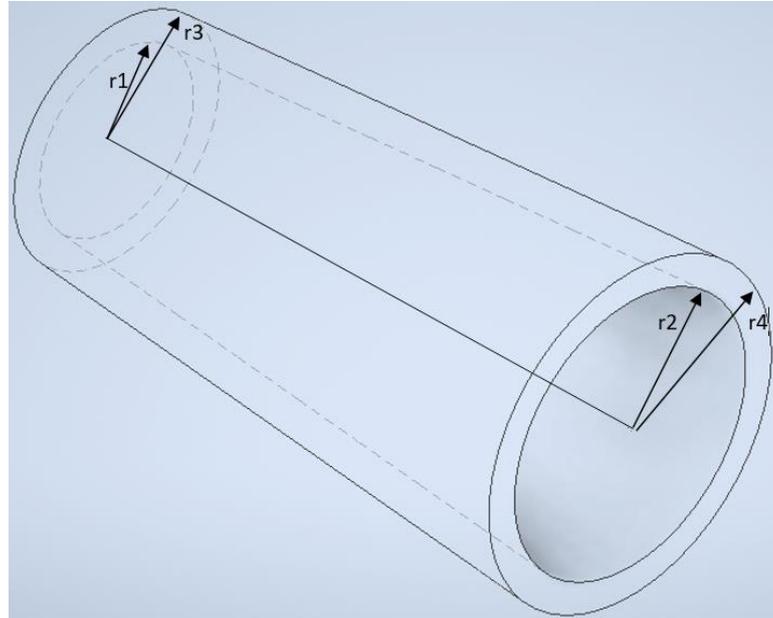


Figura 2.6 Radios considerados para la inercia del cono truncado

$$I_1 = \frac{3}{10} m_{coraza} \left(\frac{r_2^5 - r_1^5}{r_2^3 - r_1^3} + \frac{r_4^5 - r_3^5}{r_4^3 - r_3^3} \right) + \frac{1}{2} m_{tapa} r_{tapa}^2 \quad (2.37)$$

Donde:

m_{coraza} : Masa de la coraza considerada como cilindro [kg]

m_{tapa} : Masa de la tapa del cilindro [kg]

L : Longitud del cilindro [m]

El cilindro se consideró de planchas de acero.

$$m_{coraza} = \rho_{acero} V_{cil} \quad (2.38)$$

$$m_{tapa} = \rho_{acero} (\pi r_{tapa}^2) L \quad (2.39)$$

- **Inercia de las placas**

Las placas están dentro del cono truncado para conseguir que el sólido se distribuya uniformemente. Se consideraron 4 placas elevadoras y 8 placas que unen el eje con el cilindro. Se asemeja el cálculo de esta inercia I_2 con el de una placa rectangular por lo que se aplicó el teorema de Steiner.

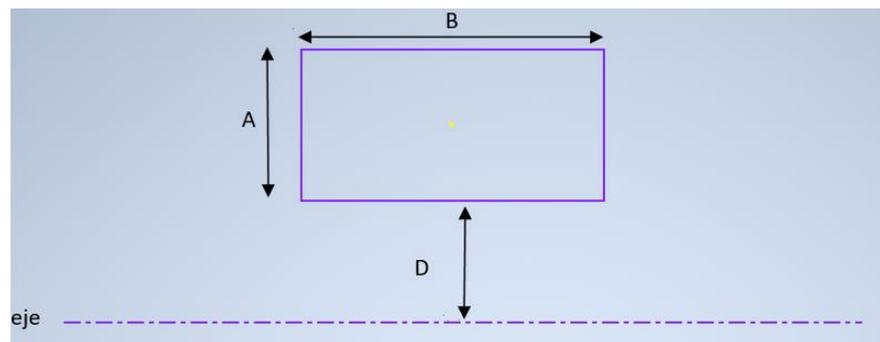


Figura 2.7 Placa rectangular considerada para la inercia

Placa unida al eje:

$$I_{2.1} = \frac{m_{placa,eje}}{12} (A_e^2 + B_e^2) + m \left(\frac{A_e}{2} + D_e \right)^2 \quad (2.40)$$

Placa unida al cilindro:

$$I_{2.2} = \frac{m_{placa,cilindro}}{12} (A_c^2 + B_c^2) + m \left(\frac{A_c}{2} + D_c \right)^2 \quad (2.41)$$

Donde:

m_{placa} : Masa de la placa [kg]

A : Ancho de la placa [m]

B : Largo de la placa [m]

D : Distancia del eje de la placa al eje del cono [m]

$$m_{placa,eje} = \rho_{acero} A_e B_e t \quad (2.42)$$

$$m_{placa,cilindro} = \rho_{acero} A_c B_c t \quad (2.43)$$

- **Inercia del eje**

El eje se lo consideró como un cilindro sólido de acero, la inercia se calculó con la ecuación 2.44.



Figura 2.8 Eje sólido

$$I_3 = \frac{1}{2} m_{eje} r_{eje}^2 \quad (2.44)$$

La masa del eje se calculó con la ecuación 2.45.

$$m_{eje} = \rho_{acero} \pi r_{eje}^2 L \quad (2.45)$$

- **Inercia de la polea**

$$I_4 = \frac{1}{2} m_{polea} r_{polea}^2 \quad (2.46)$$

m_{polea} : Masa de la polea [kg]

$$m_{polea} = \rho_{acero} \pi r_{polea}^2 L \quad (2.47)$$

- **Inercia de los granos de cacao**

Los granos de cacao se encuentran dentro del cono truncado por lo que se asumió que están formando un cilindro hueco. La inercia se calculó con la ecuación 2.48.

$$I_5 = \frac{1}{2} m_{cacao} (r_1^2 + r_{cacao}^2) \quad (2.48)$$

Finalmente, la inercia total es la suma de todas las inercias.

$$I_t = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_5 \quad (2.49)$$

Luego de obtener la inercia total, se calculó la aceleración angular, sabiendo las revoluciones por minuto se convirtió a rad/s, esa será la velocidad angular final; la velocidad angular inicial es cero porque se inicia desde el reposo.

$$w_f = n * \frac{2\pi}{60} \quad (2.50)$$

A partir de la velocidad angular se tomó la referencia en esa posición de radianes que gira en 1 segundo para obtener la aceleración angular.

$$\alpha = \frac{w_f}{t} \quad (2.51)$$

Se calculó el torque con la ecuación 2.52.

$$T = I_t \alpha \quad (2.52)$$

Y la potencia es el torque por la velocidad angular.

$$P = T w_f \quad (2.53)$$

2.8.2 Dimensionamiento del sistema de transmisión de potencia

Debido a que el diseño está basado principalmente en bajo costo la forma óptima de transmisión de potencia en este proyecto fue por un sistema de poleas y bandas por las ventajas que presenta su uso.

Tabla 2.4 Ventajas y desventajas del uso de bandas

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Absorben fuerzas o cargas de impacto.	Desgaste
Amortiguan vibraciones	Pérdida potencia por disminución de elasticidad
No produce ruido	Menor capacidad de carga

Otro aspecto importante para considerar en el diseño es el uso de materiales disponibles en la FIMCP, por lo que no se realizó los cálculos de las dimensiones del eje ya que este se encuentra disponible para su uso en la futura construcción del secador rotatorio.

En la figura 2.9 se presenta los tipos de banda más comunes y sus características.

Tipo de banda	Figura	Unión	Intervalo de tamaños	Distancia entre centros
Plana		Sí	$t = \begin{cases} 0.03 \text{ a } 0.20 \text{ pulg} \\ 0.75 \text{ a } 5 \text{ mm} \end{cases}$	No hay límite superior
Redonda		Sí	$d = \frac{1}{8} \text{ a } \frac{3}{4} \text{ pulg}$	No hay límite superior
Tipo V		Ninguna	$b = \begin{cases} 0.31 \text{ a } 0.91 \text{ pulg} \\ 8 \text{ a } 19 \text{ mm} \end{cases}$	Limitada
De sincronización		Ninguna	$p = 2 \text{ mm y mayor}$	Limitada

Figura 2.9 Tipos de bandas y sus características

[Budynas & Nisbett, 2008, pág. 860]

El tipo de banda que se usó es en “V” debido a su menor costo en el mercado nacional y porque presenta una eficiencia del 70 a 96%. (Budynas & Nisbett, 2008, pág. 863)

La transmisión se dará verticalmente a una altura establecida, por lo que se planteó las ecuaciones 2.54 y 2.55 para conocer los ángulos de contacto.

$$\theta_d = \pi - 2\text{sen}^{-1}\left(\frac{D_p - d}{2c}\right) \quad (2.54)$$

$$\theta_D = \pi + 2\text{sen}^{-1}\left(\frac{D_p - d}{2c}\right) \quad (2.55)$$

Donde:

D_p : Diámetro de polea mayor [in]

d : Diámetro polea menor [in]

C : Distancia entre poleas [in]

θ : Ángulo de contacto [rad]

Para analizar las fuerzas flexionante en el eje, se consideró las fuerzas de tensión de la polea.

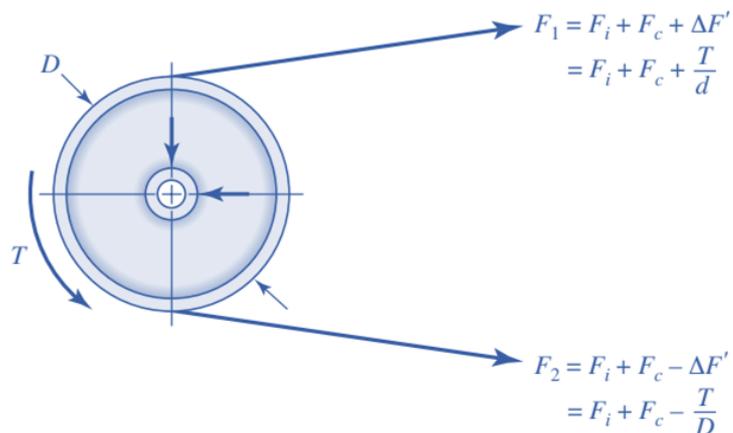


Figura 2.10 Fuerzas y pares de torsión en la polea
[Budynas & Nisbett, 2008]

Donde:

F_i : Fuerza de tensión inicial [lbf]

F_c : Fuerza de tensión centrífuga [lbf]

$\Delta F'$: Fuerza par de torsión [lbf]

D : Diámetro de la polea [in]

Se seleccionó un tipo de sección de banda en V para realizar el cálculo de fuerzas, en la figura 2.11 se muestran las secciones disponibles.

Sección de la banda	Ancho a , pulg	Espesor b , pulg	Diámetro mínimo de polea, pulg	Intervalo de potencias (hp), una o más bandas
A	$\frac{1}{2}$	$\frac{11}{32}$	3.0	$\frac{1}{4}$ -10
B	$\frac{21}{32}$	$\frac{7}{16}$	5.4	1-25
C	$\frac{7}{8}$	$\frac{17}{32}$	9.0	15-100
D	$1\frac{1}{4}$	$\frac{3}{4}$	13.0	50-250
E	$1\frac{1}{2}$	1	21.6	100 y mayores

Figura 2.11 Secciones de bandas en V estándar
[Budynas & Nisbett, 2008, pág. 879]

Para este proyecto se seleccionó banda en V tipo A ya que el diámetro de la polea es pequeño al ser un diseño de baja capacidad.

Se requirió conocer las circunferencias interiores de bandas en V y la cantidad a sumar a la circunferencia interior para obtener la longitud de paso. Ver figuras 2.12 y 2.13 respectivamente.

Sección	Circunferencia, pulg
A	26, 31, 33, 35, 38, 42, 46, 48, 51, 53, 55, 57, 60, 62, 64, 66, 68, 71, 75, 78, 80, 85, 90, 96, 105, 112, 120, 128
B	35, 38, 42, 46, 48, 51, 53, 55, 57, 60, 62, 64, 65, 66, 68, 71, 75, 78, 79, 81, 83, 85, 90, 93, 97, 100, 103, 105, 112, 120, 128, 131, 136, 144, 158, 173, 180, 195, 210, 240, 270, 300
C	51, 60, 68, 75, 81, 85, 90, 96, 105, 112, 120, 128, 136, 144, 158, 162, 173, 180, 195, 210, 240, 270, 300, 330, 360, 390, 420
D	120, 128, 144, 158, 162, 173, 180, 195, 210, 240, 270, 300, 330, 360, 390, 420, 480, 540, 600, 660
E	180, 195, 210, 240, 270, 300, 330, 360, 390, 420, 480, 540, 600, 660

Figura 2.12 Circunferencias interiores de bandas en V estándar
[Budynas & Nisbett, 2008, pág. 879]

Dimensiones de conversión de longitud. (Sume la cantidad que se muestra a la circunferencia interior para obtener la longitud de paso en pulgadas)

Sección de la banda	A	B	C	D	E
Cantidad a sumar	1.3	1.8	2.9	3.3	4.5

Figura 2.13 Dimensiones de conversión de longitud
[Budynas & Nisbett, 2008, pág. 879]

La distancia entre centros debe ser menor a 3 veces la suma de los diámetros de poleas para disminuir daños por vibraciones.

$$C = 2.5(D_p + d) \quad (2.56)$$

La longitud de paso se calculó con la ecuación 2.56.

$$L_p = 2C + \frac{\pi(D_p + d)}{2} + \frac{(D_p - d)^2}{4C} \quad (2.57)$$

La velocidad periférica ejercida por p Polea impulsora se obtuvo con la ecuación 2.58.

$$V = \frac{\pi d n}{12} \left[\frac{ft}{min} \right] \quad (2.58)$$

Donde:

n : RPM del motor

Según Budynas & Nisbett (2008) “en una banda en V, el coeficiente de fricción efectivo f' está dado por $f/\text{sen}(\phi/2)$, lo que corresponde a un factor de aumento de aproximadamente 3, debido a las ranuras. La Gates Rubber

Company declara que su coeficiente de fricción efectivo es de 0.5123 para ranuras” (pág. 880).

$$\frac{F_1 - F_c}{F_2 - F_c} = e^{(0.5123\theta_d)} \quad (2.59)$$

En este tipo de bandas la tensión inducida por la flexión de la banda sobre las poleas es evidente, por lo tanto, la tensión centrífuga se calcula con la ecuación 2.59.

$$F_c = K_c \left(\frac{V}{1000} \right)^2 \quad (2.60)$$

K_c : factor dado por Gates Rubber

La potencia transmitida por la banda está basada en un diferencial de la fuerza, se calculó con la ecuación 2.61.

$$\Delta F = \frac{\frac{63025H_d}{N_b}}{n\left(\frac{d}{2}\right)} \quad (2.61)$$

H_d : Potencia de diseño [HP]

N_b : Número de bandas

La potencia de diseño se la puede calcular con la ecuación 2.62.

$$H_d = H_n K_s n_d \quad (2.62)$$

H_n : Potencia nominal [HP]

K_s : Factor de servicio

n_d : Factor de diseñador

La tensión mayor y tensión menor se las obtuvo con las ecuaciones 2.63 y 2.64 respectivamente.

$$F_1 = F_c + \frac{\Delta F e^{f\theta_d}}{e^{f\theta_d} - 1} \quad (2.63)$$

$$F_2 = F_1 - \Delta F \quad (2.64)$$

De las fuerzas de tensión en la polea se obtuvo F_i con la ecuación 2.65.

$$F_i = \frac{F_1 + F_2}{2} - F_c \quad (2.65)$$

El factor de seguridad para el fallo en la banda fue calculado con la siguiente ecuación.

$$n_{fs} = \frac{H_a N_b}{H_n K_s} \quad (2.66)$$

Donde:

H_a : Potencia permitida [HP]

Se obtiene por medio de la ecuación 2.67.

$$H_a = K_1 K_2 H_{tab} \quad (2.67)$$

Para obtener H_{tab} se debe comparó con la velocidad y tipo de banda.

Las fuerzas principales se deben sumar una carga de flexión de banda, las tensiones finales se calcularon con las ecuaciones 2.68 y 2.69:

$$T_1 = F_1 + \frac{K_b}{d} \quad (2.68)$$

$$T_2 = F_1 + \frac{K_b}{D_p} \quad (2.69)$$

La vida en horas se obtiene con la ecuación 2.70:

$$t = \frac{N_p L_p}{720V} \quad (2.70)$$

El número de pasadas considera la regla de Miner donde se suma el daño producido por los picos de tensión y se calculó con la ecuación 2.71:

$$N_p = \left[\left(\frac{K}{T_1} \right)^{-b} + \left(\frac{K}{T_2} \right)^{-b} \right]^{-1} \quad (2.71)$$

2.8.3 Análisis de falla en el eje

Para la construcción del cilindro fue necesario seleccionar un material apto para estar en contacto con los alimentos. La Unión Europea mediante el Reglamento 21935/2004/CE indica que el acero inoxidable es adecuado ya que garantiza el cumplimiento de las normas de seguridad alimentaria. Se eligió trabajar con acero AISI 304 debido a su alta resistencia a la corrosión.

Una vez halladas las tensiones de poleas se puede asegurar el diseño del sistema realizando análisis de fallos.

Se necesita conocer el peso del cilindro, se lo obtuvo con la ecuación 2.72.

$$W_{cil} = V_{cil} \rho_{acero} \quad (2.72)$$

Donde:

V_{cil} : Volumen del cilindro [m]

ρ_{acero} : Densidad del acero $\left[\frac{kg}{m^3} \right]$

$$V_{cil} = \frac{1}{3}\pi(r_4^2 + r_4r_3 + r_3^2 - r_2^2 - r_2r_1 - r_1^2)L \quad (2.73)$$

Donde:

L : Longitud del cilindro [m]

R : Radio mayor [m]

r : Radio menor [m]

Luego de obtener el peso del cilindro, se adiciona la masa de las placas para obtener el peso total y se realizó el diagrama de cuerpo libre del eje.

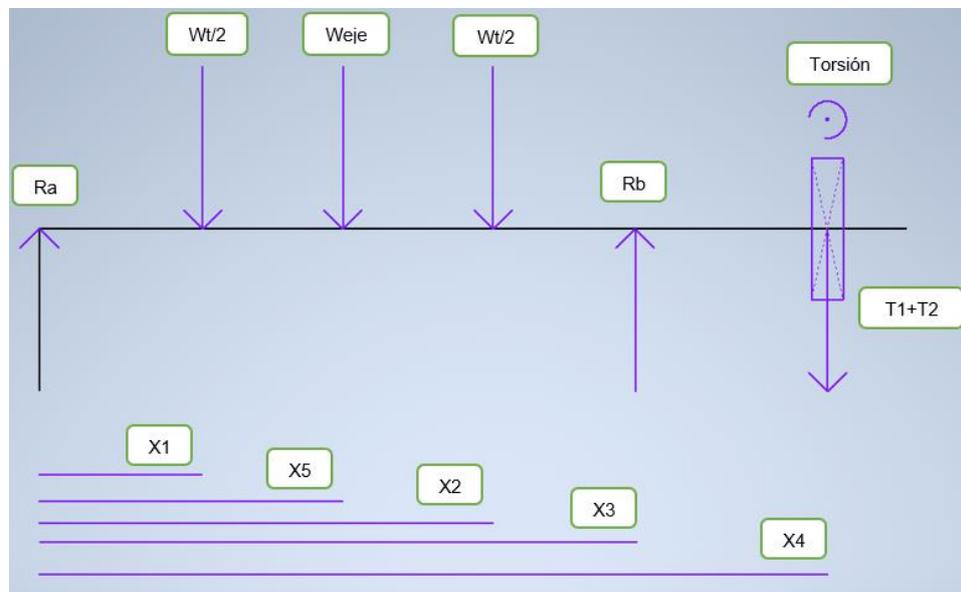


Figura 2.14 Diagrama de cuerpo libre del sistema (eje)

Se realizó la sumatoria de momentos en el punto a y la sumatoria de fuerzas en el eje y con las ecuaciones 2.74 y 2.75 respectivamente para despejar R_a y R_b y consecuentemente hallar la fuerza que soportan las mismas.

$$\Sigma M_a = 0 = -\frac{W_t}{2}x_1 - w_{eje}x_5 - \frac{W_t}{2}x_2 + R_b x_3 - (T_1 + T_2)x_4 \quad (2.74)$$

$$\Sigma F_y = 0 = R_a - w_t - w_{eje} + R_b - (T_1 + T_2) \quad (2.75)$$

La torsión en la polea se obtuvo con la ecuación 2.76.

$$T_{polea} = (T_1 - T_2)R_{eje} \quad (2.76)$$

Los esfuerzos principales a los que está sometido el eje se calcularon con las ecuaciones 2.77 y 2.78.

$$\sigma_x = \frac{32M_{max}}{\pi d_{eje}^3} \quad (2.77)$$

Donde el momento máximo flector se debe seleccionar del diagrama del momento flector analizando el equilibrio de fuerzas, así mismo, el esfuerzo cortante es causado por la torsión generada por la tensión en la polea.

$$\tau_{xy} = \frac{16T_{polea}}{\pi d_{eje}^3} \quad (2.78)$$

El esfuerzo cortante máximo se lo obtiene con la ecuación 2.79.

$$\tau_{max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \quad (2.79)$$

El esfuerzo de Von mises es proporcional a la energía de distorsión, se lo calculó con la ecuación 2.80.

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_x^2 + 3\tau_{xy}^2} \quad (2.80)$$

El factor de seguridad se lo obtuvo aplicando la teoría del esfuerzo cortante máximo y debe ser mayor a uno.

$$n = \frac{S_y}{2\tau_{max}} \quad (2.81)$$

S_y : Esfuerzo de flexión del acero

Por la teoría de la energía de distorsión el factor de seguridad es:

$$n = \frac{S_y}{\sigma'} \quad (2.82)$$

Según la norma ISO 281 para la vida nominal de rodamientos, se calculó la vida en millones de revoluciones con la ecuación 2.83.

$$L_{10} = \frac{60nL_{10h}}{10^6} \quad (2.83)$$

L_{10h} : Vida estimada en horas

n : Revoluciones por minuto

Para conocer la capacidad de carga dinámica básica se usó la ecuación 2.84.

$$C = P(L_{10})^{\frac{1}{3}} \quad (2.84)$$

P : Fuerza que soporta el rodamiento

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En esta sección se presentan los resultados y constantes consideradas para el diseño que se describen en el capítulo 2, además, la selección de equipos a través de la disponibilidad en el mercado nacional, y un análisis de costos para considerar la factibilidad de construcción del sistema.

3.1 Análisis termodinámico

Se presenta los resultados iniciales del diseño a partir de las condiciones de las curvas de velocidad de secado referenciales a partir de las bibliografías revisadas.

En la tabla 3.1 se mostraron los parámetros iniciales de trabajo propuestos por el cliente.

Tabla 3.1 Parámetros iniciales de operación

Parámetro	Valor
Masa por secar (kg)	2
Tiempo de secado (h)	5
Temperatura máxima de trabajo ($^{\circ}C$)	60

En la tabla 3.2 se presentaron las temperaturas de operación antes, durante y después del proceso de secado.

Tabla 3.2 Temperaturas de operación en el proceso de secado

Parámetro	Valor [$^{\circ}C$]
Temperatura de aire al ambiente (T_{amb})	25
Temperatura de aire calentado (T_2)	60
Temperatura de salida del sistema (T_3)	50

Temperatura superficial del cilindro interior (T_{sp})	40
Temperatura inicial de cacao (T_o)	25
Temperatura final de cacao (T_f)	50
Temperatura media logarítmica (ΔT_m)	15

En la tabla 3.3 se detallaron las constantes usadas para encontrar las transferencias de energía en el análisis termodinámico, algunas fueron obtenidas en el contenido de tablas del libro de Cengel & Boles.

Tabla 3.3 Constantes usadas durante el análisis termodinámico

DATOS	VALOR	UNIDAD
Presión de saturación del agua a la temperatura 1 ($P_{s@T_1}$)	3.1698	<i>kPa</i>
Humedad relativa en la ciudad de Guayaquil (<i>HR</i>)	74	<i>N/A</i>
Humedad inicial del producto (X_o)	60	<i>N/A</i>
Humedad final del producto (X_f)	7	<i>N/A</i>
Presión de vapor a la temperatura 1 (P_{vap1})	2.346	<i>kPa</i>
Presión total sobre nivel el nivel del mar (P)	101.33	<i>kPa</i>
Calor específico del aire a la temperatura 1 (Cp_1)	1.005	$\frac{kJ}{kg * K}$
Calor específico del aire a la temperatura 2 (Cp_2)	1.007	$\frac{kJ}{kg * K}$
Entalpía vapor saturado a la temperatura 1 ($h_{g1@T1}$)	2546.5	$\frac{kJ}{kg}$
Entalpía vapor saturado a la temperatura 2 ($h_{g2@T2}$)	2608.8	$\frac{kJ}{kg}$
Calor latente de vaporización ($h_{f,g}$)	2257	$\frac{KJ}{Kg}$
Constante universal de los gases (R_a)	0.287	$\frac{KPa m^3}{Kg K}$
Conductividad térmica del acero seleccionado (K_a)	15.1	$\frac{W}{m K}$
Conductividad térmica de del aire a temperatura ambiente (K)	0.02551	$\frac{W}{m K}$

Conductividad térmica del aire dentro del cilindro (K_{air})	0.02735	$\frac{W}{m K}$
Conductividad térmica del aislante (K_L)	0.07	$\frac{W}{m K}$
Viscosidad cinemática del aire (ν)	1.562E-5	$\frac{m^2}{s}$
Número de Prandtl (Pr)	0.7296	$\frac{m^3}{kg}$
Emisividad térmica (e)	1	$\frac{m^3}{s}$
Constante de Stefan-Boltzmann (σ)	5.6704E-8	$\frac{W}{m K^4}$

A partir del uso de las ecuaciones de la sección 2, se presentaron los resultados termodinámicos y de transferencia de calor de la cámara de secado.

Tabla 3.4 Resultados del análisis térmico de la cámara de secado

VARIABLE	VALOR	UNIDAD
Humedad absoluta del aire (e)	0.0147	$\frac{Kg_{agua}}{Kg_{aire\ seco}}$
Flujo inicial del producto ($\dot{m}_{o,cacao}$)	0.4	$\frac{Kg}{h}$
Flujo inicial de agua ($\dot{m}_{o,agua}$)	0.24	$\frac{Kg}{h}$
Flujo inicial de sólido ($\dot{m}_{o,sólido}$)	0.16	$\frac{Kg}{h}$
Flujo final de producto ($\dot{m}_{f,cacao}$)	0.172	$\frac{Kg}{h}$
Flujo final de sólido ($\dot{m}_{f,sólido}$)	0.16	$\frac{Kg}{h}$
Flujo final de agua ($\dot{m}_{f,agua}$)	0.012	$\frac{Kg}{h}$
Entalpía de ingreso a la resistencia eléctrica (h_1)	62.660	$\frac{KJ}{Kg}$
Entalpía de ingreso a cámara de secado (h_2)	98.873	$\frac{KJ}{Kg}$
Tasa de evaporización de agua ($\Delta\dot{m}_{agua}$)	0.228	$\frac{Kg}{h}$

Flujo de aire caliente (\dot{m}_{aire})	14.877	$\frac{Kg}{h}$
Volumen específico del aire (\dot{v}_{aire})	0.864	$\frac{m^3}{Kg}$
Caudal de aire (\dot{V}_{aire})	12.854	$\frac{m^3}{h}$
Velocidad mínima de aire caliente (v_{min})	0.051	$\frac{m}{s}$
Número de Reynolds (Re)	62074.264	N/A
Número de Nusselt (NU)	173.805	N/A
Coefficiente de convección externo (h_{ext})	9.146	$\frac{W}{m^2K}$
Coefficiente de convección interno (h_{in})	2.360	$\frac{W}{m^2K}$

La velocidad de aire caliente necesaria para el proceso es menor a la velocidad promedio del aire en el exterior que se encuentra alrededor de 2 m/s, por lo que se operó con velocidad de aire con un rango entre 0.25 a 2.5 m/s que es la velocidad recomendable en los secadores rotatorios. (Dr.C. Morejón Mesa, Ing. Silva Junco , & Ing. Reyes Suárez, 2020)

Se obtuvo un flujo de aire de $242 \frac{m^3}{h}$, lo que equivale a 142 CFM, por lo que se seleccionó el ventilador FC-310A de 30x30cm de 390 CFM por el rango de velocidad de entrada de aire.

En la tabla 3.5 se mostraron los datos del producto a secar, tomando como referencia el cacao, siendo la densidad de este de $550 \frac{Kg}{m^3}$. (Ortiz Rubira, 1987)

Tabla 3.5 Parámetros del cacao

DATOS	VALOR	UNIDAD
Calor específico (Cp_{cacao})	2.4231	$\frac{KJ}{Kg \text{ } ^\circ C}$
Densidad (ρ_{cacao})	550	$\frac{Kg}{m^3}$
Volumen (V_{cacao})	3636.364	cm^3

Los resultados del dimensionamiento de la cámara de secado se muestran en la tabla 3.6 donde se consideró que el volumen que ocupa el cacao debe ser el 8% del volumen del secador. Se escogió la geometría de un cono truncado como coraza debido a que uno de los principios de funcionamiento de un secador rotatorio es que el producto seco llegue al final del cilindro para su salida, entonces, la geometría seleccionada permite que el producto por efecto de la gravedad alcance el tope con un ángulo de 5 grados de inclinación para ser conservador.

Tabla 3.6 Dimensionamiento de la cámara de secado

VARIABLE	VALOR
Diámetro menor cilindro interior (R_{menor})	0.3 (m)
Diámetro mayor cilindro interior (R_{mayor})	0.475 (m)
Diámetro cilindro exterior	0.483 (m)
Espesor de cilindro interior	1.4E-3 (m)
Espesor del cilindro exterior	1E-3 (m)
Longitud (L)	1 (m)
Área transversal cilindro interior (A_t)	0.071 (m^2)
Área pared cilindro interior (A_{pared})	1.222 (m^2)

El cilindro exterior tiene múltiples ventajas, sirvió como cobertor, aislante y ayudó a la eficiencia del secado debido a que fluye aire caliente por el espacio entre ambos cilindros.

En la tabla 3.7 se detallaron los datos y resultados de las resistencias de pérdida por convección y conducción en el cilindro. Se escogió el diámetro primitivo, es decir, la información de sección intermedia del secador.

Se observó que la mayor pérdida de energía se dará por convección del aire entre la coraza y el cobertor mientras que, como se esperaba, el acero no influyó tanto en las pérdidas debido a su coeficiente térmico.

**Tabla 3.7 Resultados de las resistencias térmicas
para el secador rotatorio**

VARIABLE	VALOR	UNIDAD
Radio interior del cilindro (r_1)	0.194	m
Radio exterior del cilindro o r_1 más espesor de la plancha de acero (r_2)	0.1954	m
Radio del cilindro más espesor del aislante térmico (r_3)	0.2414	m
Radio exterior del cilindro cobertor o r_3 más espesor de la plancha de acero (r_4)	0.2424	m
Radio 4 más espesor del aislante térmico (r_5)	0.2551	m
Resistencia de pérdida por convección interna (R_1)	0.347	$\frac{W}{K}$
Resistencia de pérdida por conducción del acero (R_2)	7.58E-5	$\frac{W}{K}$
Resistencia de pérdida por conducción aislante aire (R_3)	1.2302	$\frac{W}{K}$
Resistencia de pérdida por conducción del acero (R_4)	4.36E-5	$\frac{W}{K}$
Resistencia de pérdida por conducción del aislante (R_5)	0.116	$\frac{W}{K}$
Resistencia convección externa (R_6)	0.068	$\frac{W}{K}$

En la siguiente tabla se presentó la energía mínima que necesita la resistencia eléctrica encargada de calentar el aire para secar el cacao.

**Tabla 3.8 Resultados de las pérdidas de calor durante el
proceso de secado**

PÉRDIDAS DE CALOR	VALOR [W]
Calor requerido por cacao y evaporización ($Q_{cacao+evaporización}$)	149.65
Calor perdido por conducción y convección ($Q_{perdido}$)	17.03
Calor perdido por radiación ($Q_{radiación}$)	118.613

Vatios mínimos requeridos por resistencia eléctrica $(Q_{total} / resistencia)$	285.29
---	---------------

A partir del análisis se ha seleccionado una resistencia de 500 Watts, por motivo que contará con un sistema de control para controlar la temperatura propuesta por el cliente.

3.2 Análisis mecánico

El material con el que se trabajó es el acero inoxidable AISI 304 que cuenta con propiedades anticorrosivas necesarias para un proceso alimenticio. En la tabla 3.9 se detalló la masa de los elementos involucrado del diseño. Las poleas son de aluminio y se seleccionó de las más comerciales y debido a la velocidad de rotación. En la tabla 3.10 se encuentran las inercias respecto al eje para encontrar la potencia necesaria para que el sistema rote.

En estos diseños, el cilindro gira a bajas revoluciones por minuto, entre 5 y 10 rpm (Dr.C. Morejón Mesa, Ing. Silva Junco , & Ing. Reyes Suárez, 2020), por lo que se eligió trabajar con una velocidad angular de 8 rpm.

Tabla 3.9 Masas de los componentes principales del secador

Masas	Valor [kg]
Coraza considerada como cilindro (m_{coraza})	14.06
Tapa del cilindro (m_{tapa})	1.14E-6
Placa unida al eje $(m_{placa,eje})$	0.065
Placa unida al cilindro $(m_{placa,cilindro})$	0.284
Eje (m_{eje})	4.86
Polea (m_{polea})	0.5
Granos de cacao (m_{cacao})	2

Tabla 3.10 Inercias de los componentes principales del secador

Inercia	Valor [$kg * m^2$]	Unidades presentes
Cono truncado (I_1)	0.576	1
Placa unida al eje ($I_{2,1}$)	1.199E-3	8
Placa unida al cilindro ($I_{2,2}$)	19.147E-3	4
Eje (I_3)	3.922E-4	1
Polea (I_4)	2.592E-3	1
Granos de cacao (I_5)	0.0325	1
Inercia total (I_t)	0.698	

Tabla 3.11 Potencia del motor

VARIABLE	VALOR	UNIDAD
Revoluciones por minuto (n)	8	rpm
Tiempo de arranque (t)	1	s
Aceleración angular (α)	0.84	rad/s^2
Torque (T)	0.58	Nm
Potencia por inercia calculada ($P; H_n$)	0.48	W

La potencia obtenida es un valor pequeño y no existen en el mercado motores de esta capacidad, por lo que se seleccionó un motorreductor de capacidad de $\frac{1}{2}$ HP.

Dado el tamaño de las poleas y revisando las bandas más comerciales en la ciudad de Guayaquil, se seleccionó una banda en V tipo A, en la cual se muestran en la tabla 3.12 las constantes y factores necesarios mostrados en el libro de Shigley.

Tabla 3.12 Datos de factores de diseño para dimensionamiento de la banda

FACTORES DE DISEÑO	VALOR
Coefficiente de fricción (f)	0.5123
Factor de Gates Rubber (K_c)	0.561
Factor de servicio (K_s)	1.2
Factor de diseñador (n_d)	1.5
Factor 1 (K_1)	0.75
Factor 2 (K_2)	0.95
Factor b (k_b)	220
Constante k (k)	674
Constante b (b)	11.09

El equipo se diseñó para que sólo rote el cono truncado, el cilindro cobertor quedará fijo, la FIMCP proporcionó un eje de diámetro de 1 pulgada de acero inoxidable, el eje soportará el peso de la coraza y cacao en dos puntos críticos (figura 3.1), esta unión se abarcó por medio de placas de 2 mm de espesor y se soldará con electrodos 308L que son para aceros inoxidables lo que los hace compatibles con el AISI 304, además, al tener bajo contenido de carbono ofrece protección contra la corrosión intergranular.

Tabla 3.13 Resultados de distancia de fuerzas en el eje

DATOS	VALOR	UNIDAD
Volumen del cilindro (V_{cil})	1.78E-3	m^3
Diámetro polea mayor (D_p)	0.102	m
Diámetro polea menor (d)	0.076	m
Densidad de acero 304 (ρ_{acero})	7900	$\frac{kg}{m^3}$
Distancia 1 (x_1)	0.085	m
Distancia 2 (x_2)	0.995	m
Distancia 3 (x_3)	1.08	m

Distancia 4 (x_4)	1.225	m
Distancia 5 (x_5)	0.6075	m
Radio del eje (r_{eje})	0.0127	m
Potencia tabulada (H_{tab})	0.47	HP
Esfuerzo de fluencia acero 304 (S_y)	262	MPa

En la tabla 3.14 se presentó la información de la interacción entre la poleas, banda y eje, que es por donde se transmitirá la potencia.

Tabla 3.14 Resultados de fuerzas en la banda

VARIABLE	VALOR	UNIDAD
Ángulo de contacto polea mayor (θ_D)	3.1987	rad
Ángulo de contacto polea menor (θ_d)	3.08	rad
Longitud de paso (L_p)	1.17	m
Distancia entre centros (C)	0.44	m
Velocidad periférica (V)	0.0319	$\frac{m}{s}$
Fuerza tensión centrífuga (F_c)	9.85E-5	N
Fuerza par de torsión ($\Delta F'$)	27.58	N
Fuerza principal (F_1)	34.7	N
Fuerza secundaria (F_2)	7.15	N
Tensión inicial (F_i)	20.93	N
Tensión principal (T_1)	360.91	N
Tensión secundaria (T_2)	279.38	N
Torsión ejercida por correa (T_{polea})	1.04	Nm
Potencia de diseño (H_d)	0.75	W
Potencia permitida (H_a)	246.08	W
Factor de seguridad al fallo (n_{fs})	3	N/A

Una vez obtenidas las fuerzas involucradas se realizó un análisis estático para comprobar que no falle el eje.

Tabla 3.15 Fuerzas aplicadas en el eje.

FUERZA	VALOR [N]
Peso de cilindro más placas y cacao (W_{total})	173.84
Peso del eje (W_{eje})	47.71
Tensión principal (T_1)	360.91
Tensión secundaria (T_2)	279.38
Soporte A (R_a)	49.06
Soporte B (R_b)	813.19

Las reacciones son donde se ubicarán los rodamientos y sufrirá más daño el soporte B, con esta carga radial se puede seleccionar el rodamiento necesario. Para seguir verificando el fallo se encontró el momento máximo de flexión por medio del diagrama momento flector.

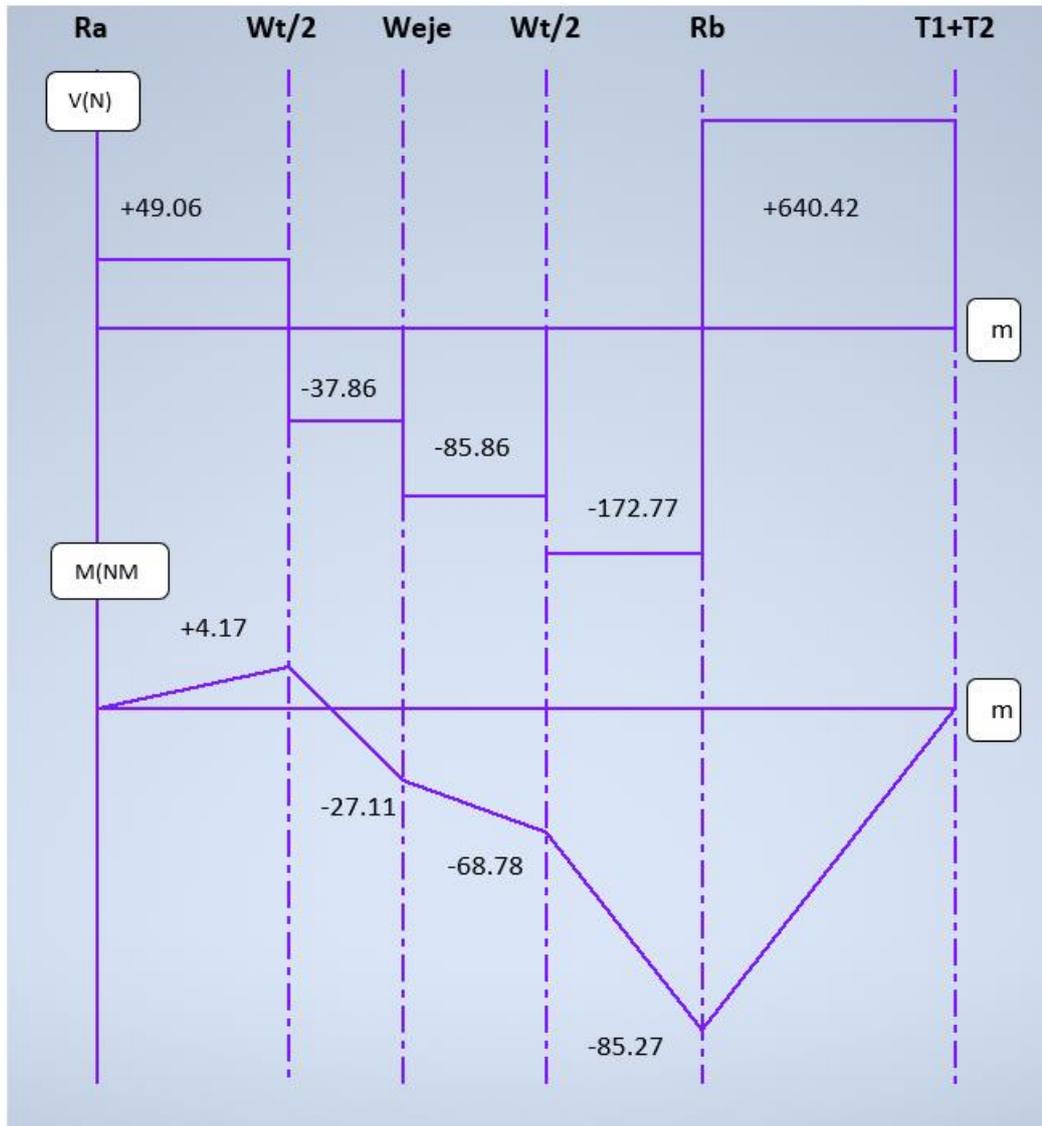


Figura 3.1 Diagrama de fuerza cortante y momento flector en el eje

Tabla 3.16 Resultado de esfuerzos en el eje

ESFUERZO	VALOR	UNIDAD
Esfuerzo principal (σ_x)	53	MPa
Esfuerzo cortante (τ_{xy})	321.89	KPa
Esfuerzo Von Mises (σ')	53	MPa
Esfuerzo cortante máximo (τ_{max})	26.5	MPa

Con un factor de seguridad mayor a 1 se verificó que el diseño estático no fallará, y en la tabla 3.14 se indicó que supera este valor.

Tabla 3.17 Resultados del factor de seguridad en el eje

FACTOR DE SEGURIDAD (n)	VALOR
Por EMC	4.94
Por energía de distorsión	4.94

Gracias a las dimensiones del eje se puede mecanizar el diámetro en los extremos para que calcen los rodamientos y no se deslicen, por lo que se estableció un diámetro de 20 milímetros. El diámetro se seleccionó considerando la reacción que soporte la mayor fuerza, en este caso el punto b; donde propusimos que tenga una vida útil de 30000 horas. Una vez hallada la carga dinámica y conociendo el diámetro del eje se escogió el rodamiento 61804-2RS1 del catálogo SKF.

Tabla 3.18 Parámetros para selección de rodamientos

PARÁMETROS	VALOR	UNIDAD
Vida en horas (L_{10h})	30000	h
Vida en millones de revoluciones (L_{10})	12.6	Mil rev
Fuerza soportada ($P; R_b$)	813.19	N
Carga dinámica básica (C)	1978.39	N

Se realizó una simulación en ANSYS Workbench del análisis estático del eje para validar que el sistema no fallará y comparar con los resultados obtenidos.

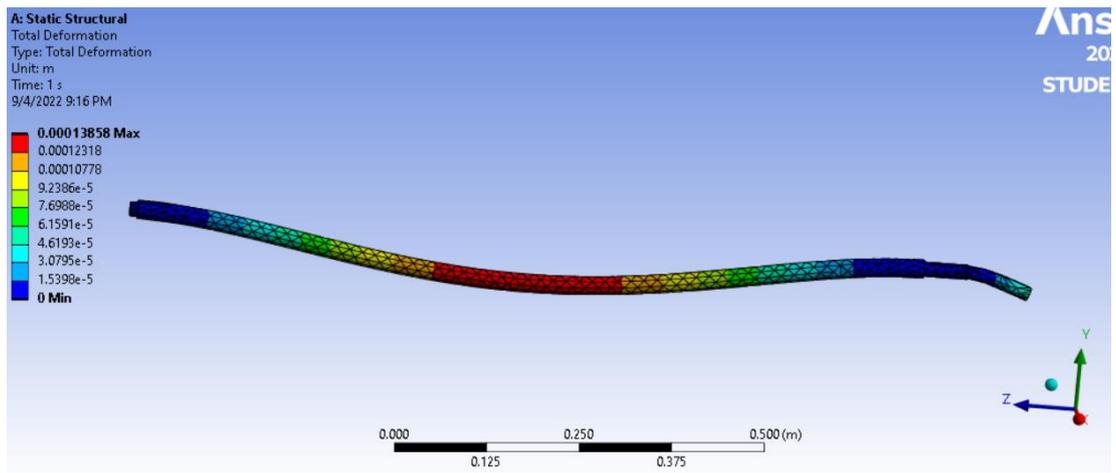


Figura 3.2 Gráfica de deformación total en el eje

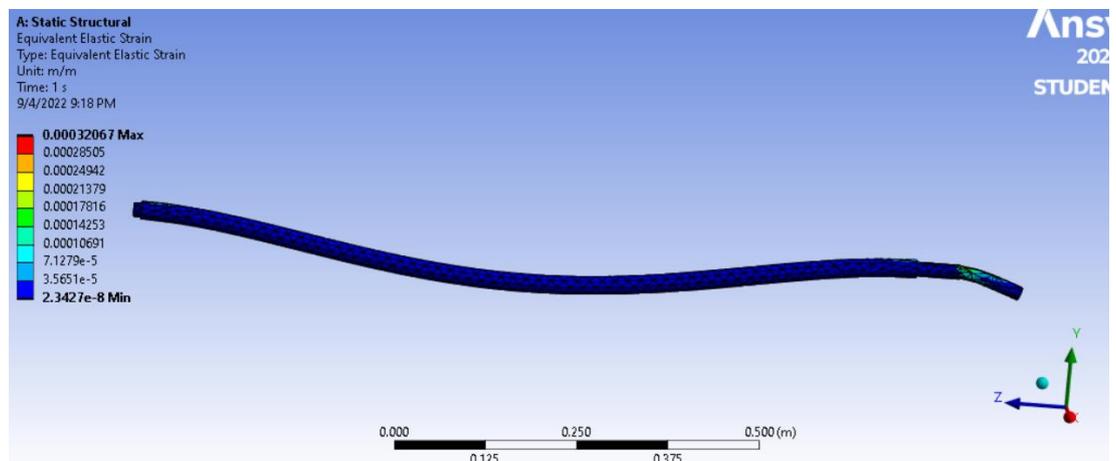


Figura 3.3 Gráfica de esfuerzo Von Mises en el eje

En la figura 3.2 se obtuvo que el punto donde sufrirá más el eje es en la mitad, experimentando una deformación máxima de 0.14mm sin embargo, y un esfuerzo de Von Mises de 0.32Mpa donde la figura 3.3 mostró que puede soportar más carga, debido a que el color azul demuestra que su deformación es mínima.

3.3 Costos

En la tabla 3.19 se consideraron los materiales y equipos nuevos para la construcción del secador rotatorio y soporte, en la tabla 3.20 los costos de componentes electrónicos para el tablero de control del sistema, y finalmente en la tabla 3.21 los costos de mano de obra.

Tabla 3.19 Costo total de materiales/equipos para construcción del secador rotatorio y soporte

MATERIALES/ EQUIPOS	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Plancha de acero inox. 304 para coraza, 1.22x2.44m, e=1mm	1	\$105.85	\$105.85
Malla de acero AISI 304 para cono, e=1.5mm, perf 3mm de 1.22x2.44m	1	\$418.35	\$418.35
Rolado malla de acero	1	\$20	\$20
Plancha de acero AISI 304 para placas, e= 2 mm	1	\$195	\$195
Rollo lana de vidrio 18m ² , e=1/2"	1	\$53	\$53
Mecanizado del eje de 1in	1	\$15	\$15
Chumacera de piso 1"	2	\$5	\$10
Motorreductor eléctrico 1/2 HP	1	\$1,906.12	\$1,096.12
Poleas	2	\$15	\$30
Chaveta	2	\$5	\$10
Rodamiento 61804-2RS1	2	\$14.81	\$29.62
Electrodos de soldadura 308L	1 lb	\$6	\$6
Banda o correa A tipo V	1	\$12	\$12
Plancha de acero galvanizado e=1.2mm	1	\$95	\$95
Ventilador 30x30cm 390CFM	1	\$105.29	\$105.29
Resistencia tubular 500W, Ø30cm	1	\$80	\$80
Tubo rectangulares acero A36 para soporte	5m	\$3	\$15
Garrucha rueda giratoria 75mm	4	\$2.30	\$9.20
Termostato	1	\$80	\$80
Termopar	1	\$15	\$15
Varios (Pintura para soporte, diluyente, pernos, lija, etc)	1	\$100	\$100
TOTAL			\$2,494.43

No se consideró en la tabla 3.19 el costo de un eje nuevo ya que este se encuentra disponible en ESPOL, sólo se consideró el mecanizado de este.

Tabla 3.20 Costo de componentes electrónicos

MATERIALES/ EQUIPOS	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Gabinete doble fondo 30x30cm	1	\$40	\$40
Contactor 220V	1	\$15	\$15
Breaker 2 polos	1	\$14	\$14
Luz piloto led	2	\$5	\$5
Botón de emergencia tipo hongo	1	\$3	\$3
Selector 2 posiciones	1	\$3.50	\$3.50
Cable de asbesto #14	2m	\$2.50	\$5
Cable #14	4m	\$0.40	\$1.60
TOTAL			\$87

Tabla 3.21 Costos de mano de obra

DESCRIPCIÓN MANO DE OBRA	VALOR
Mano de obra	\$100
Soldador	\$150
TOTAL	\$250

La construcción del sistema del secador rotatorio considerando equipos, materiales y mano de obra tendría un costo total de \$2,832.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

Se aplicaron y analizaron conceptos fundamentales de transferencia de calor y masa, obteniendo que, la mayor pérdida de energía del sistema se da por radiación. Adicionalmente, con los principios de diseño mecánico se desarrolló el dimensionamiento y funcionamiento correcto del sistema bajo los parámetros establecidos y con factores de seguridad que proporcionen confiabilidad. Se diseñó el secador rotatorio para tratamiento de granos teniendo en cuenta no alterar las propiedades organolépticas del producto y procesando 2kg de sólido en un período de 5 horas de acuerdo con los requerimientos propuestos por el cliente.

- La fuente de calor para abastecer el sistema será una resistencia eléctrica, por facilidad de mantenimiento, además, presenta ventajas frente a otras alternativas referente a seguridad, logística y costo.
- La transferencia de calor se maximizó debido al espacio entre el cilindro cobertor y la coraza por el cual fluye el aire caliente.
- El sistema tiene un factor de seguridad de 4, lo que significa que puede soportar 4 veces más de la carga proyectada. Sin embargo, no se debe llegar a este límite por cuestiones de seguridad.
- La potencia necesaria para hacer girar el secador es mínima debido a las revoluciones por minuto a las cuales trabaja este tipo de secadores, si se aumenta la masa de cacao no afectará mucho en la potencia ya que se consideró un motor de mayor potencia que la requerida.

- La aplicación del cilindro cónico como coraza interior permite respetar el concepto de un secador rotativo, donde el producto viaja hasta el final del cilindro y no permite al operador ingresar sus manos.
- El aislante de lana de fibra de vidrio es aplicado en la capa exterior del cilindro para que pueda estar a menos de 40 grados Celsius, de esta manera es seguro para los estudiantes que operen el equipo.
- El flujo necesario de aire caliente es menor a 1 m³/s por lo que se usará rangos de velocidad del aire exterior, con lo que disminuirá el tiempo de secado o se podría añadir más producto a secar.

4.2 Recomendaciones

- Se recomienda desarrollar la simulación dinámica del sistema para estudiar todo su comportamiento.
- Se recomienda que la construcción del secador rotatorio sea con materiales y equipos reutilizables disponibles en ESPOL para disminuir costos totales.
- Se recomienda el uso de una capa de galvanizado para cubrir la aislante de lana de vidrio.
- Para la construcción de la cámara de secado, se recomienda usar acero inoxidable ya que se manipula productos alimenticios para consumo humano, así como la lubricación de los rodamientos debe ser de grado alimenticio.
- Se recomienda la construcción de una tolva para el ingreso del producto a la cámara de secado.

- Se recomienda esperar un tiempo aproximado de 15 minutos después del encendido del sistema para que el equipo logre alcanzar la temperatura inicial propuesta en el proyecto.
- Se recomienda limpiar el secador al finalizar el secado de granos para retirar los residuos que pueda afectar al ventilador o a otros componentes.
- Se recomienda realizar el diseño de la transmisión de potencia considerando una reducción mediante bandas y poleas para tener en cuenta otro motorreductor de menor costo, o la selección de un servomotor.
- Se recomienda el uso de equipos de protección personal mientras se realice pruebas con el secador rotatorio, e incluir un sistema de enfriamiento para que la temperatura de salida del grano no afecte a algún operario.

BIBLIOGRAFÍA

- Amorin, R., Broni-Bediako, E., Worlanyo, D., & Konadu, S. A. (2018). The Use of Liquefied Petroleum Gas (LPG) as a Fuel for Commercial Vehicles in Ghana: A Case Study at Tema Community 1. *Current Journal of Applied Science and Technology*, 2.
- Berk, Z. (2009). *FOOD PROCESS ENGINEERING AND TECHNOLOGY*. Israel: ELSEVIER.
- Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley* (Octava ed.). México: McGraw-Hill.
- Castaño, F., Rubio, F. R., & Ortega, M. G. (2009). Modelado de Secaderos Rotatorios en Isocorriente. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, 6(4), 32-43.
- Castellanos, J. M., Quintero, C. S., & Carreno, R. (2018). Changes on chemical composition of cocoa beans due to combined convection and infrared radiation on a rotary dryer. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*.
- Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2011). *Termodinámica* (Séptima ed.). México: McGraw-Hill.
- De la Cruz Medina, J., Vargas Ortiz, M., & Del Angel Coronel, O. (2012). *CACAO: Operaciones poscosecha*.
- Dr. Rodiles López, J. O., & Dr. Zamora Vega, R. (2020). Secado en la industria de alimentos. *TecnoAgro*, 143. Obtenido de <https://tecnoagro.com.mx/no-143/secado-en-la-industria-de-alimentos>
- Dr.C. Morejón Mesa, Y., Ing. Silva Junco, D., & Ing. Reyes Suárez, Y. (2020). Design of an Industrial Rotary Cylinder Grain Dryer. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 29(3), 62-74.
- ESPOL-FIMCP. (s.f.). *Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción*. Obtenido de <http://www.fimcp.espol.edu.ec/es/Pregrado/Ingenieria-Alimentos/Historia-Carrera>
- Grupo SKF. (2019). *skf*. Obtenido de https://www.skf.com/binaries/pub201/Images/0901d19680416953-Rolling-bearings---17000_1-ES_tcm_201-121486.pdf

- Incropera, F. P., & DeWitt, D. P. (1999). *Fundamentos de Transferencia de Calor* (Cuarta ed.). México: PEARSON Educación.
- INDURA. (2022). *INDURA, ELECTRODO 308L*. Obtenido de http://www.indura.com.ar/content/storage/ar/producto/ID4365_file_1127_308l.pdf
- Jayas, D. S. (2016). *Food Dehydration*. ELSEVIER.
- Martines L., E., & Lira C., L. (2010). *Análisis y aplicación de las expresiones del contenido de humedad en sólidos - Centro Nacional de Metrología*. Querétaro. Obtenido de <https://www.cenam.mx/sm2010/info/pviernes/sm2010-vp01b.pdf>
- Mora Caranqui, A. J. (2015). *Diseño de un secador rotatorio para granos de cacao con capacidad de 3 toneladas diarias para la producción nacional. Tesis de Ingeniería Mecánica*. Guayaquil, Ecuador. Obtenido de <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/35067/D-CD88182.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>
- NASA. (2020). *Datos meteorológicos Guayaquil-Ecuador*.
- ONU. (2015). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Obtenido de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/economic-growth/>
- Organización de las Naciones Unidas. (2015). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Obtenido de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>
- Ortiz Rubira, F. (1987). *Cálculo, diseño y construcción de un modelo secador de cacao con aire calentado por energía solar. Trabajo final para la obtención del título: Ing. Mecánico. Espol.fimcp*. Guayaquil.
- Parra, P., Saavedra, R., & Ipanaqué, W. (2012). *Modelación y Simulación en ambiente Ecosimpro de una Cámara de Secado para Cacao*. *INGENIUS*(8), 54-60.
- Rohan, T. (1964). *Beneficio del cacao bruto destinado al mercado. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación*, 223.
- THE LINCOLN ELECTRIC COMPANY. (s.f.). *LINCOLN ELECTRIC*. Obtenido de https://www.lincolnelectric.com/assets/global/Products/Consumable_StickElectrodes-MildandLowAlloySteels-Lincoln-Lincoln6011AS/Lincoln6011_AS_ES-MX.pdf

APÉNDICES

APÉNDICE A

Temperatura y humedad relativa promedios en Guayaquil (NASA, 2020)

Mes	Temperatura del aire	Humedad relativa	Precipitación	Radiación solar diaria - horizontal	Presión atmosférica	Velocidad del Viento	Temperatura del suelo	Grados-días de calefacción 18 °C	Grados-días de refrigeración 10 °C
	°C	%	mm	kWh/m ² /d	kPa	m/s	°C	°C-d	°C-d
Enero	26.7	73.8%	132.37	3.42	101.5	2.3	26.1	0	518
Febrero	26.7	79.5%	219.24	4.42	101.5	2.1	25.2	0	468
Marzo	27.1	76.7%	213.90	3.39	101.4	2.2	25.0	0	530
Abril	27.1	76.3%	141.90	4.36	101.4	2.2	25.2	0	513
Mayo	26.4	74.1%	52.70	4.33	101.5	2.5	25.6	0	508
Junio	25.2	74.6%	21.00	3.58	101.6	3.2	25.8	0	456
Julio	24.4	74.8%	14.57	4.36	101.6	3.4	26.1	0	446
Agosto	24.3	73.6%	10.23	3.64	101.6	3.6	26.6	0	443
Setiembre	24.8	71.7%	13.80	5.69	101.6	3.6	26.9	0	444
Octubre	24.9	71.8%	17.98	4.17	101.6	3.6	26.8	0	462
Noviembre	25.4	70.7%	29.70	3.72	101.5	3.4	26.7	0	462
Diciembre	26.4	69.0%	50.22	4.61	101.5	3.0	26.8	0	508
Anual	25.8	73.8%	917.61	4.14	101.5	2.9	26.1	0	5,759
Fuente	Suelo	Suelo	NASA	Suelo	Suelo	Suelo	NASA	Suelo	Suelo
Medido a					m	10	0		

Accelar Wir
Ve a Configura

APÉNDICE B

Calores específicos del aire (Cengel & Boles, 2011, pág. 910)

Calores específicos de gas ideal de varios gases comunes (*continuación*)

b) A diversas temperaturas

Temperatura, K	c_p	c_v	k	c_p	c_v	k	c_p	c_v	k
	$\text{kJ/kg} \cdot \text{K}$	$\text{kJ/kg} \cdot \text{K}$		$\text{kJ/kg} \cdot \text{K}$	$\text{kJ/kg} \cdot \text{K}$		$\text{kJ/kg} \cdot \text{K}$		
	<i>Aire</i>			<i>Dióxido de carbono, CO₂</i>			<i>Monóxido de carbono, CO</i>		
250	1.003	0.716	1.401	0.791	0.602	1.314	1.039	0.743	1.400
300	1.005	0.718	1.400	0.846	0.657	1.288	1.040	0.744	1.399
350	1.008	0.721	1.398	0.895	0.706	1.268	1.043	0.746	1.398
400	1.013	0.726	1.395	0.939	0.750	1.252	1.047	0.751	1.395
450	1.020	0.733	1.391	0.978	0.790	1.239	1.054	0.757	1.392
500	1.029	0.742	1.387	1.014	0.825	1.229	1.063	0.767	1.387
550	1.040	0.753	1.381	1.046	0.857	1.220	1.075	0.778	1.382
600	1.051	0.764	1.376	1.075	0.886	1.213	1.087	0.790	1.376
650	1.063	0.776	1.370	1.102	0.913	1.207	1.100	0.803	1.370
700	1.075	0.788	1.364	1.126	0.937	1.202	1.113	0.816	1.364
750	1.087	0.800	1.359	1.148	0.959	1.197	1.126	0.829	1.358
800	1.099	0.812	1.354	1.169	0.980	1.193	1.139	0.842	1.353
900	1.121	0.834	1.344	1.204	1.015	1.186	1.163	0.866	1.343
1000	1.142	0.855	1.336	1.234	1.045	1.181	1.185	0.888	1.335

APÉNDICE C

Temperaturas: agua saturada (Cengel & Boles, 2011, pág. 914)

Agua saturada. Tabla de temperaturas

Temp., T °C	Pres. sat., P_{sat} kPa	Volumen específico, m^3/kg		Energía interna, kJ/kg			Entalpía, kJ/kg			Entropía, $kJ/kg \cdot K$		
		Líqu. sat., v_f	Vapor sat., v_g	Líqu. sat., u_f	Evap., u_{fg}	Vapor sat., u_g	Líqu. sat., h_f	Evap., h_{fg}	Vapor sat., h_g	Líqu. sat., s_f	Evap., s_{fg}	Vapor sat., s_g
0.01	0.6117	0.001000	206.00	0.000	2374.9	2374.9	0.001	2500.9	2500.9	0.0000	9.1556	9.1556
5	0.8725	0.001000	147.03	21.019	2360.8	2381.8	21.020	2489.1	2510.1	0.0763	8.9487	9.0249
10	1.2281	0.001000	106.32	42.020	2346.6	2388.7	42.022	2477.2	2519.2	0.1511	8.7488	8.8999
15	1.7057	0.001001	77.885	62.980	2332.5	2395.5	62.982	2465.4	2528.3	0.2245	8.5559	8.7803
20	2.3392	0.001002	57.762	83.913	2318.4	2402.3	83.915	2453.5	2537.4	0.2965	8.3696	8.6661
25	3.1698	0.001003	43.340	104.83	2304.3	2409.1	104.83	2441.7	2546.5	0.3672	8.1895	8.5567
30	4.2469	0.001004	32.879	125.73	2290.2	2415.9	125.74	2429.8	2555.6	0.4368	8.0152	8.4520
35	5.6291	0.001006	25.205	146.63	2276.0	2422.7	146.64	2417.9	2564.6	0.5051	7.8466	8.3517
40	7.3851	0.001008	19.515	167.53	2261.9	2429.4	167.53	2406.0	2573.5	0.5724	7.6832	8.2556
45	9.5953	0.001010	15.251	188.43	2247.7	2436.1	188.44	2394.0	2582.4	0.6386	7.5247	8.1633
50	12.352	0.001012	12.026	209.33	2233.4	2442.7	209.34	2382.0	2591.3	0.7038	7.3710	8.0748
55	15.763	0.001015	9.5639	230.24	2219.1	2449.3	230.26	2369.8	2600.1	0.7680	7.2218	7.9898
60	19.947	0.001017	7.6670	251.16	2204.7	2455.9	251.18	2357.7	2608.8	0.8313	7.0769	7.9082
65	25.043	0.001020	6.1935	272.09	2190.3	2462.4	272.12	2345.4	2617.5	0.8937	6.9360	7.8296
70	31.202	0.001023	5.0396	293.04	2175.8	2468.9	293.07	2333.0	2626.1	0.9551	6.7989	7.7540
75	38.597	0.001026	4.1291	313.99	2161.3	2475.3	314.03	2320.6	2634.6	1.0158	6.6655	7.6812
80	47.416	0.001029	3.4053	334.97	2146.6	2481.6	335.02	2308.0	2643.0	1.0756	6.5355	7.6111
85	57.868	0.001032	2.8261	355.96	2131.9	2487.8	356.02	2295.3	2651.4	1.1346	6.4089	7.5435
90	70.183	0.001036	2.3593	376.97	2117.0	2494.0	377.04	2282.5	2659.6	1.1929	6.2853	7.4782
95	84.609	0.001040	1.9808	398.00	2102.0	2500.1	398.09	2269.6	2667.6	1.2504	6.1647	7.4151
100	101.42	0.001043	1.6720	419.06	2087.0	2506.0	419.17	2256.4	2675.6	1.3072	6.0470	7.3542
105	120.90	0.001047	1.4186	440.15	2071.8	2511.9	440.28	2243.1	2683.4	1.3634	5.9319	7.2952
110	143.38	0.001052	1.2094	461.27	2056.4	2517.7	461.42	2229.7	2691.1	1.4188	5.8193	7.2382
115	169.18	0.001056	1.0360	482.42	2040.9	2523.3	482.59	2216.0	2698.6	1.4737	5.7092	7.1829
120	198.67	0.001060	0.89133	503.60	2025.3	2528.9	503.81	2202.1	2706.0	1.5279	5.6013	7.1292
125	232.23	0.001065	0.77012	524.83	2009.5	2534.3	525.07	2188.1	2713.1	1.5816	5.4956	7.0771
130	270.28	0.001070	0.66808	546.10	1993.4	2539.5	546.38	2173.7	2720.1	1.6346	5.3919	7.0265
135	313.22	0.001075	0.58179	567.41	1977.3	2544.7	567.75	2159.1	2726.9	1.6872	5.2901	6.9773
140	361.53	0.001080	0.50850	588.77	1960.9	2549.6	589.16	2144.3	2733.5	1.7392	5.1901	6.9294
145	415.68	0.001085	0.44600	610.19	1944.2	2554.4	610.64	2129.2	2739.8	1.7908	5.0919	6.8827
150	476.16	0.001091	0.39248	631.66	1927.4	2559.1	632.18	2113.8	2745.9	1.8418	4.9953	6.8371
155	543.49	0.001096	0.34648	653.19	1910.3	2563.5	653.79	2098.0	2751.8	1.8924	4.9002	6.7927
160	618.23	0.001102	0.30680	674.79	1893.0	2567.8	675.47	2082.0	2757.5	1.9426	4.8066	6.7492
165	700.93	0.001108	0.27244	696.46	1875.4	2571.9	697.24	2065.6	2762.8	1.9923	4.7143	6.7067
170	792.18	0.001114	0.24260	718.20	1857.5	2575.7	719.08	2048.8	2767.9	2.0417	4.6233	6.6650
175	892.60	0.001121	0.21659	740.02	1839.4	2579.4	741.02	2031.7	2772.7	2.0906	4.5335	6.6242
180	1002.8	0.001127	0.19384	761.92	1820.9	2582.8	763.05	2014.2	2777.2	2.1392	4.4448	6.5841
185	1123.5	0.001134	0.17390	783.91	1802.1	2586.0	785.19	1996.2	2781.4	2.1875	4.3572	6.5447
190	1255.2	0.001141	0.15636	806.00	1783.0	2589.0	807.43	1977.9	2785.3	2.2355	4.2705	6.5059
195	1398.8	0.001149	0.14089	828.18	1763.6	2591.7	829.78	1959.0	2788.8	2.2831	4.1847	6.4678
200	1554.9	0.001157	0.12721	850.46	1743.7	2594.2	852.26	1939.8	2792.0	2.3305	4.0997	6.4302

APÉNDICE E

Propiedades termofísicas de gases a presión atmosférica (Incropera & DeWitt, 1999, pág. 839)

TABLA A.4 Propiedades termofísicas de gases a presión atmosférica^a

T (K)	ρ (kg/m ³)	c_p (kJ/kg · K)	$\mu \cdot 10^7$ (N · s/m ²)	$\nu \cdot 10^6$ (m ² /s)	$k \cdot 10^3$ (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	Pr
Aire							
100	3.5562	1.032	71.1	2.00	9.34	2.54	0.786
150	2.3364	1.012	103.4	4.426	13.8	5.84	0.758
200	1.7458	1.007	132.5	7.590	18.1	10.3	0.737
250	1.3947	1.006	159.6	11.44	22.3	15.9	0.720
300	1.1614	1.007	184.6	15.89	26.3	22.5	0.707
350	0.9950	1.009	208.2	20.92	30.0	29.9	0.700
400	0.8711	1.014	230.1	26.41	33.8	38.3	0.690
450	0.7740	1.021	250.7	32.39	37.3	47.2	0.686
500	0.6964	1.030	270.1	38.79	40.7	56.7	0.684
550	0.6329	1.040	288.4	45.57	43.9	66.7	0.683
600	0.5804	1.051	305.8	52.69	46.9	76.9	0.685
650	0.5356	1.063	322.5	60.21	49.7	87.3	0.690
700	0.4975	1.075	338.8	68.10	52.4	98.0	0.695
750	0.4643	1.087	354.6	76.37	54.9	109	0.702
800	0.4354	1.099	369.8	84.93	57.3	120	0.709
850	0.4097	1.110	384.3	93.80	59.6	131	0.716
900	0.3868	1.121	398.1	102.9	62.0	143	0.720
950	0.3666	1.131	411.3	112.2	64.3	155	0.723
1000	0.3482	1.141	424.4	121.9	66.7	168	0.726
1100	0.3166	1.159	449.0	141.8	71.5	195	0.728
1200	0.2902	1.175	473.0	162.9	76.3	224	0.728
1300	0.2679	1.189	496.0	185.1	82	238	0.719
1400	0.2488	1.207	530	213	91	303	0.703
1500	0.2322	1.230	557	240	100	350	0.685
1600	0.2177	1.248	584	268	106	390	0.688
1700	0.2049	1.267	611	298	113	435	0.685
1800	0.1935	1.286	637	329	120	482	0.683
1900	0.1833	1.307	663	362	128	534	0.677
2000	0.1741	1.337	689	396	137	589	0.672
2100	0.1658	1.372	715	431	147	646	0.667
2200	0.1582	1.417	740	468	160	714	0.655
2300	0.1513	1.478	766	506	175	783	0.647
2400	0.1448	1.558	792	547	196	869	0.630
2500	0.1389	1.665	818	589	222	960	0.613
3000	0.1135	2.726	955	841	486	1570	0.536

APÉNDICE F

Propiedades termofísicas del acero (Incropera & DeWitt, 1999, pág. 827)

Tabla A.1 Propiedades termofísicas de sólidos metálicos seleccionados^a

Composición	Punto de fusión (K)	Propiedades a 300 K				Propiedades a varias temperaturas (K)									
		ρ (kg/m ³)	c_p (J/kg · K)	k (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	k (W/m · K)/ c_p (J/kg · K)									
						100	200	400	600	800	1000	1200	1500	2000	2500
Acero puro	1810	7870	447	80.2	23.1	134 216	94.0 384	69.5 490	54.7 574	43.3 680	32.8 975	28.3 609	32.1 654		
Aceros al carbón															
Carbón ordinario (Mn ≤ 1%, Si ≤ 0.1%)		7854	434	60.5	17.7			56.7 487	48.0 559	39.2 685	30.0 1169				
AISI 1010		7832	434	63.9	18.8			58.7 487	48.8 559	39.2 685	31.3 1168				
Carbón-silicio (Mn ≤ 1%, 0.1% < Si ≤ 0.6%)		7817	446	51.9	14.9			49.8 501	44.0 582	37.4 699	29.3 971				
Carbón-manganeso-silicio (1% < Mn ≤ 1.65%, 0.1% < Si ≤ 0.6%)		8131	434	41.0	11.6			42.2 487	39.7 559	35.0 685	27.6 1090				
Aceros con cromo (bajo)															
1Cr-1Mo-Si (0.18% C, 0.65% Cr, 0.23% Mo, 0.6% Si)		7822	444	37.7	10.9			38.2 492	36.7 575	33.3 688	26.9 969				
1Cr-1Mo (0.16% C, 1% Cr, 0.54% Mo, 0.39% Si)		7858	442	42.3	12.2			42.0 492	39.1 575	34.5 688	27.4 969				
1Cr-V (0.2% C, 1.02% Cr, 0.15% V)		7836	443	48.9	14.1			46.8 492	42.1 575	36.3 688	28.2 969				
Aceros inoxidables															
AISI 302		8055	480	15.1	3.91			17.3 512	20.0 559	22.8 585	25.4 606				
AISI 304	1670	7900	477	14.9	3.95	9.2 272	12.6 402	16.6 515	19.8 557	22.6 582	25.4 611	28.0 640	31.7 682		
AISI 316		8238	468	13.4	3.48			15.2 504	18.3 550	21.3 576	24.2 602				
AISI 347		7978	480	14.2	3.71			15.8 513	18.9 559	21.9 585	24.7 606				

DEPARTAMENTO DE
 Universidad Simón Bolívar

APÉNDICE G

Potencias nominales de bandas en V estándar (Budynas & Nisbett, 2008, pág. 881)

Sección de la banda	Diámetro de paso de la polea, pulg	Velocidad de la banda, pie/min				
		1 000	2 000	3 000	4 000	5 000
A	2.6	0.47	0.62	0.53	0.15	
	3.0	0.66	1.01	1.12	0.93	0.38
	3.4	0.81	1.31	1.57	1.53	1.12
	3.8	0.93	1.55	1.92	2.00	1.71
	4.2	1.03	1.74	2.20	2.38	2.19
	4.6	1.11	1.89	2.44	2.69	2.58
	5.0 y mayor	1.17	2.03	2.64	2.96	2.89
B	4.2	1.07	1.58	1.68	1.26	0.22
	4.6	1.27	1.99	2.29	2.08	1.24
	5.0	1.44	2.33	2.80	2.76	2.10
	5.4	1.59	2.62	3.24	3.34	2.82
	5.8	1.72	2.87	3.61	3.85	3.45
	6.2	1.82	3.09	3.94	4.28	4.00
	6.6	1.92	3.29	4.23	4.67	4.48
7.0 y mayor	2.01	3.46	4.49	5.01	4.90	
C	6.0	1.84	2.66	2.72	1.87	
	7.0	2.48	3.94	4.64	4.44	3.12
	8.0	2.96	4.90	6.09	6.36	5.52
	9.0	3.34	5.65	7.21	7.86	7.39
	10.0	3.64	6.25	8.11	9.06	8.89
	11.0	3.88	6.74	8.84	10.0	10.1
	12.0 y mayor	4.09	7.15	9.46	10.9	11.1
D	10.0	4.14	6.13	6.55	5.09	1.35
	11.0	5.00	7.83	9.11	8.50	5.62
	12.0	5.71	9.26	11.2	11.4	9.18
	13.0	6.31	10.5	13.0	13.8	12.2
	14.0	6.82	11.5	14.6	15.8	14.8
	15.0	7.27	12.4	15.9	17.6	17.0
	16.0	7.66	13.2	17.1	19.2	19.0
	17.0 y mayor	8.01	13.9	18.1	20.6	20.7
E	16.0	8.68	14.0	17.5	18.1	15.3
	18.0	9.92	16.7	21.2	23.0	21.5
	20.0	10.9	18.7	24.2	26.9	26.4
	22.0	11.7	20.3	26.6	30.2	30.5
	24.0	12.4	21.6	28.6	32.9	33.8
	26.0	13.0	22.8	30.3	35.1	36.7
	28.0 y mayor	13.4	23.7	31.8	37.1	39.1

APÉNDICE H

Factor de corrección del ángulo de contacto K_1 para transmisiones de banda plana en V (Budynas & Nisbett, 2008, pág. 882)

$\frac{D-d}{c}$	θ , grados	VV	K_1 Plana en V
0.00	180	1.00	0.75
0.10	174.3	0.99	0.76
0.20	166.5	0.97	0.78
0.30	162.7	0.96	0.79
0.40	156.9	0.94	0.80
0.50	151.0	0.93	0.81
0.60	145.1	0.91	0.83
0.70	139.0	0.89	0.84
0.80	132.8	0.87	0.85
0.90	126.5	0.85	0.85
1.00	120.0	0.82	0.82
1.10	113.3	0.80	0.80
1.20	106.3	0.77	0.77
1.30	98.9	0.73	0.73
1.40	91.1	0.70	0.70
1.50	82.8	0.65	0.65

APÉNDICE I

Factor de corrección de longitud de banda K2 (Budynas & Nisbett, 2008, pág. 882)

Factor de longitud	Longitud nominal de la banda, pulg				
	Bandas A	Bandas B	Bandas C	Bandas D	Bandas E
0.85	Hasta 35	Hasta 46	Hasta 75	Hasta 128	
0.90	38-46	48-60	81-96	144-162	Hasta 195
0.95	48-55	62-75	105-120	173-210	210-240
1.00	60-75	78-97	128-158	240	270-300
1.05	78-90	105-120	162-195	270-330	330-390
1.10	96-112	128-144	210-240	360-420	420-480
1.15	120 y mayor	158-180	270-300	480	540-600
1.20		195 y mayor	330 y mayor	540 y mayor	660

APÉNDICE J

Tabla para seleccionar rodamiento (Grupo SKF, 2019)

Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga	Velocidades nominales		Masa	Designaciones	
d	D	B	dinámica C	estática C ₀	P _u	Velocidad de referencia	Velocidad límite ¹⁾		Rodamiento abierto o tapado en ambos lados	tapado en un lado ¹⁾
mm			kN		kN	r. p. m.		kg	-	
17 cont.	47	14	14,3	6,55	0,275	34 000	22 000	0,11	▶ 6303	-
	47	14	14,3	6,55	0,275	-	11 000	0,12	▶ 6303-2RSH	6303-RSH
	47	14	14,3	6,55	0,275	34 000	17 000	0,12	▶ 6303-2RSL	6303-RSL
	47	14	14,3	6,55	0,275	34 000	17 000	0,12	▶ 6303-2Z	6303-Z
	47	19	13,5	6,55	0,275	-	11 000	0,16	▶ 62303-2RS1	-
	62	17	22,9	10,8	0,455	28 000	18 000	0,27	▶ 6403	-
20	32	7	4,03	2,32	0,104	-	13 000	0,018	▶ 61804-2RS1	-
	32	7	4,03	2,32	0,104	45 000	22 000	0,018	▶ 61804-2RZ	-
	32	7	4,03	2,32	0,104	45 000	28 000	0,018	▶ 61804	-
	37	9	6,37	3,65	0,156	-	12 000	0,038	▶ 61904-2RS1	-
	37	9	6,37	3,65	0,156	43 000	20 000	0,038	▶ 61904-2RZ	-
	37	9	6,37	3,65	0,156	43 000	26 000	0,037	▶ 61904	-
	42	8	7,28	4,05	0,173	38 000	24 000	0,051	▶ 16004	-
	42	12	9,95	5	0,212	38 000	24 000	0,067	▶ 6004	-
	42	12	9,95	5	0,212	-	11 000	0,067	▶ 6004-2RSH	6004-RSH
	42	12	9,95	5	0,212	38 000	19 000	0,069	▶ 6004-2RSL	6004-RSL
	42	12	9,95	5	0,212	38 000	19 000	0,071	▶ 6004-2Z	6004-Z
	42	16	9,36	5	0,212	-	11 000	0,086	▶ 63004-2RS1	-
	47	14	13,5	6,55	0,28	32 000	20 000	0,11	▶ 6204	-
	47	14	13,5	6,55	0,28	-	10 000	0,11	▶ 6204-2RSH	6204-RSH
	47	14	13,5	6,55	0,28	32 000	17 000	0,11	▶ 6204-2RSL	6204-RSL
	47	14	13,5	6,55	0,28	32 000	17 000	0,11	▶ 6204-2Z	6204-Z
	47	14	15,6	7,65	0,325	32 000	20 000	0,098	▶ 6204 ETN9	-
	47	18	12,7	6,55	0,28	-	10 000	0,13	▶ 62204-2RS1	-
	52	15	15,9	7,8	0,335	30 000	15 000	0,15	▶ 6304-2RSL	6304-RSL
	52	15	16,8	7,8	0,335	30 000	19 000	0,14	▶ 6304	-

APÉNDICE K - CÁLCULOS

Flujos de entrada y salida de los granos de cacao

Flujo másico de agua a la entrada:

$$\text{Siendo } \dot{m}_{o,cacao} = 0.4 \frac{kg}{h}$$

$$\dot{m}_{o,agua} = 0.60 * 0.4 = 0.24 \frac{kg}{h}$$

Flujo másico del sólido seco a la entrada:

$$\dot{m}_{o,sólido} = (1 - 0.60) * 0.4 = 0.16 \frac{kg}{h}$$

Flujo másico de agua a la salida:

$$\dot{m}_{f,agua} = \frac{0.07 * 0.16}{1 - 0.07} = 0.012 \frac{kg}{h}$$

Flujo másico del sólido seco a la salida:

$$\dot{m}_{o,sólido} = \dot{m}_{f,sólido} = 0.16 \frac{kg}{h}$$

Flujo másico de cacao a la salida:

$$\dot{m}_{f,cacao} = 0.16 + 0.012 = 0.17 \frac{kg}{h}$$

Flujo de calor

Presión de vapor:

$$\text{Siendo } T_1 = 25^\circ\text{C} \text{ y } P_{s@T_1} = 3.169 \text{ kPa}$$

$$P_{vap1} = 0.74 * 3.169 = 2.37 \text{ kPa}$$

Humedad absoluta antes de entrar en contacto con la resistencia eléctrica:

$$w_1 = \frac{0.622 * 2.346}{101.33 - 2.346} = 0.015 \frac{kg_{agua}}{kg_{aire seco}}$$

Entalpía del aire a la entrada:

$$h_1 = 1.005 * 25 + 0.015 * 2546.5 = 62.66 \frac{kJ}{kg_{aire seco}}$$

Entalpía del aire a la salida:

$$h_2 = 1.007 * 60 + 0.015 * 2608.8 = 98.87 \frac{kJ}{kg_{aire seco}}$$

Tasa de evaporización:

$$\Delta \dot{m}_{agua} = 0.24 - 0.012 = 0.23 \frac{kg}{h}$$

Flujo másico de aire:

$$\dot{m}_{aire} = \frac{0.228 * 2257 + 0.4 * 2.423(50 - 25)}{98.87 - 62.66} = 14.87 \frac{kg}{h}$$

Flujo de calor necesario para calentar el aire:

$$\dot{Q}_{cacao+evaporación} = \frac{0.23}{3600} * 2257 + \frac{0.4}{3600} * 2.4231(50 - 25) = 149.65 W$$

Caudal de aire

Volumen específico del aire:

$$v_{aire} = \frac{0.287 * (25 + 273)}{101.33 - 2.345} = 0.86 \frac{m^3}{kg}$$

Flujo volumétrico:

$$\dot{V}_{aire} = 14.87 * 0.86 = 12.85 \frac{m^3}{h}$$

Dimensionamiento del cilindro

$$V_{cacao} = \frac{2 kg}{550 \frac{kg}{m^3}} = 0,00363 m^3$$

$$0,08V_{secador} = V_{cacao}$$

$$V_{secador} = 0,0454m^3$$

$$V_{secador} = \frac{\pi}{4} D^2 L$$

$$D^2 L = 0,0578$$

$$D = 0,25m$$

$$L = \frac{0,0578}{D^2}$$

$$L = 0,93 m$$

Energía perdida por conducción, convección y radiación

Número de Reynolds:

$$Re_D = \frac{2 * 2 * 0.24}{0.00001562} = 62074.26 \text{ (flujo turbulento)}$$

Número de Nusselt:

$$NU = 0.26 * 62074.26^{0.6} * 0.7296^{0.37} = 173.80$$

Temperatura promedio:

$$T_{\text{promedio en el secado}} = \frac{60 + 50}{2} = 55^\circ\text{C}$$

Coefficiente de convección externo:

$$h_{\text{ext}} = 173.80 * \frac{0.02551}{2 * 0.24} = 9.15 \frac{W}{m^2K}$$

Diferencia de temperatura media logarítmica:

$$\Delta T_m = \frac{(50 - 40) - (60 - 40)}{\ln\left(\frac{50 - 40}{60 - 40}\right)} = 14.43^\circ\text{C}$$

Área de la pared del cilindro:

$$A_{\text{pared}} = \pi * 1(0.475 + 0.30) = 1.22 \text{ m}^2$$

Coefficiente de convección interno:

$$h_{\text{in}} = \frac{\frac{14.87}{3600} * 1.007 * 1000(60 - 50)}{1.22 * 14.43} = 2.36 \frac{W}{m^2K}$$

Resistencias térmicas:

$$R_1 = \frac{1}{2.36 * 2\pi * 0.194 * 1} = 0.35 \frac{W}{K}$$

$$R_2 = \frac{\ln\left(\frac{0.1954}{0.194}\right)}{2\pi * 15.1 * 1} = 7.58 \times 10^{-5} \frac{W}{K}$$

$$R_3 = \frac{\ln\left(\frac{0.2414}{0.1954}\right)}{2\pi * 0.02735 * 1} = 1.23 \frac{W}{K}$$

$$R_4 = \frac{1}{9.15 * 2\pi * 0.2414 * 1} = 4.36x10^{-5} \frac{W}{K}$$

$$R_5 = \frac{\ln\left(\frac{0.2551}{0.2424}\right)}{2\pi * 0.07 * 1} = 0.12 \frac{W}{K}$$

$$R_6 = \frac{1}{9.15 * 2\pi * 0.2551 * 1} = 0.068 \frac{W}{K}$$

Calor perdido por conducción y convección:

$$Q_{perdido} = \frac{55 - 25}{0.35 + 7.58x10^{-5} + 1.23 + 4.36x10^{-5} + 0.12 + 0.068} = 17.03 W$$

Calor perdido por radiación:

$$Q_{radiación} = 0.000000056704 * 1 * 0.071 (40^4 - 25^4) = 118.61 W$$

Calor total:

$$Q_{total/resistencia} = 149.65 + 17.03 + 118.61 = 285.29 W$$

Sistema mecánico

Masas de los componentes principales del secador:

$$m_{coraza} = 7900 * 1.778x10^{-3} = 14.06 kg$$

$$m_{tapa} = 7900(\pi * 0,0001514^2) * 0.002 = 1.137x10^{-6} kg$$

$$m_{placa,eje} = 7900 * 0.019 * 0.216 * 0.002 = 0.065 kg$$

$$m_{placa,cilindro} = 7900 * 0.03 * 0.6 * 0.002 = 0.284 kg$$

$$m_{eje} = 7900 * \pi * 0.0127^2 * 1.215 = 4.863 kg$$

Inercias de los componentes principales del secador:

$$I_1 = \frac{3}{10} * 14.06 (0,136) + \frac{1}{2} * 1.14x10^{-6} * 0.1514^2 = 0.576 \text{ kg} * \text{m}^2$$

$$I_{2.1} = \frac{0.065}{12} (0.216^2 + 0.019^2) + 0.0648 * (0.108 + 0.0127)^2 = 1.199 x10^{-3} \text{ kg} * \text{m}^2$$

$$I_{2.2} = \frac{0.284}{12} (0.03^2 + 0.06^2) + 0.284 * (0.015 + 0.178)^2 = 19.147x10^{-3} \text{ kg} * \text{m}^2$$

$$I_3 = \frac{1}{2} * 4.863 * 0.0127^2 = 3.92x10^{-4} \text{ kg} * \text{m}^2$$

$$I_4 = \frac{1}{2} * 1 * 0.072^2 = 2.592 x10^{-3} \text{ kg} * \text{m}^2$$

$$I_5 = \frac{1}{2} * 2 * (0.15^2 + 0.042^2) = 0.0325 \text{ kg} * \text{m}^2$$

Inercia total:

$$I_t = 0.576 + 8 * 1.199 x10^{-3} + 4 * 19.147x10^{-3} + 3.92x10^{-4} + 2.592 x10^{-3} + 0.0325 \\ = 0.698 \text{ kg} * \text{m}^2$$

Aceleración angular:

$$\alpha = \frac{0.837}{1} = 0.84 \text{ rad/s}^2$$

Torque:

$$T = 0.698 * 0.84 = 0.58 \text{ Nm}$$

Potencia del motor:

$$P = 0.58 * 8 * 2 \frac{\pi}{60} = 0.48 \text{ W}$$

Ángulos de contacto:

$$\theta_d = \pi - 2\text{sen}^{-1} \left(\frac{0.102 - 0.0762}{2 * 0.44} \right) = 3.08 \text{ rad}$$

$$\theta_D = \pi + 2\text{sen}^{-1} \left(\frac{0.102 - 0.0762}{2 * 0.44} \right) = 3.1987 \text{ rad}$$

Distancia entre centros:

$$C = 2.5(0.102 + 0.0762) = 0.44 \text{ m}$$

Longitud de paso:

$$L_p = 2 * 0.44 + \frac{\pi(0.102 + 0.0762)}{2} + \frac{(0.102 - 0.0762)^2}{4 * 0.44} = 1.17 \text{ m}$$

Velocidad periférica:

$$V = \frac{\pi * 0.0762 * 8}{12} = 0.0319 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Tensión centrífuga:

$$F_c = 0.561 \left(\frac{0.0319}{1000} \right)^2 = 9.85 \times 10^{-5} \text{ N}$$

Potencia de diseño:

$$H_d = 0.48 * 1.2 * 1.5 = 0.87 \text{ W}$$

Fuerza par de torsión:

$$\Delta F = \frac{\frac{63025 * 0.001168}{1}}{8 \left(\frac{0.0762}{2} \right)} = 27.58 \text{ N}$$

Fuerza principal:

$$F_1 = 9.85 \times 10^{-5} + \frac{27.58 * e^{0.5123 * 3.08}}{e^{0.5123 * 3.08} - 1} = 34.7 \text{ N}$$

Fuerza secundaria:

$$F_2 = 34.7 - 27.58 = 7.15 \text{ N}$$

Fuerzas de tensión inicial en la polea:

$$F_i = \frac{34.7 + 7.15}{2} - 9.85 \times 10^{-5} = 20.93 \text{ N}$$

Potencia permitida:

$$H_a = 0.75 * 0.95 * 0.47 = 246.08 \text{ W}$$

Factor de seguridad para fallo en la banda:

$$n_{fs} = \frac{246.08 * 1}{0.48 * 1.2} = 3$$

Tensiones finales:

$$T_1 = 34.7 + \frac{220}{0.0762} = 360.91N$$

$$T_2 = 34.7 + \frac{220}{0.102} = 279.38 N$$

Número de pasadas:

$$N_p = \left[\left(\frac{674}{360.91N} \right)^{-11.09} + \left(\frac{674}{297.38} \right)^{-11.09} \right]^{-1} = 912.06$$

Vida en horas:

$$t = \frac{912.06 * 1.17}{720 * 0.0319} = 33393.80 s$$

Volumen del cilindro:

$$V_{cil} = \frac{1}{3} \pi (0.2424^2 + 0.2424 * 0.2414 + 0.2414^2 - 0.1954^2 - 0.1954 * 0.194 - 0.194^2) * 1$$
$$= 1.78 \times 10^{-3} m^3$$

Peso del cilindro:

$$W_{cil} = 1.78 \times 10^{-3} * 7900 = 14.06 kg$$

Torsión en la polea:

$$T_{polea} = (360.91 - 279.38) * 0.0127 = 1.04 N.m$$

Esfuerzo principal:

$$\sigma_x = \frac{32 * 86.589}{\pi * 0.0127^3} = 53.82 MPa$$

Esfuerzo cortante:

$$\tau_{xy} = \frac{16 * 1.04}{\pi * 0.0127^3} = 321.89 kPa$$

Esfuerzo cortante máximo:

$$\tau_{max} = \sqrt{\left(\frac{53.82}{2}\right)^2 + 321.89^2} = 26.51 \text{ MPa}$$

Esfuerzo de Von Mises:

$$\sigma' = \sqrt{53.82^2 + 3 * 321.89^2} = 53.82 \text{ MPa}$$

Factor de seguridad por EMC:

$$n = \frac{262}{2 * 26.51} = 4.94$$

Vida nominal de rodamientos:

$$L_{10} = \frac{60 * 4.89 * 30000}{10^6} = 12.6 \text{ mil rev}$$

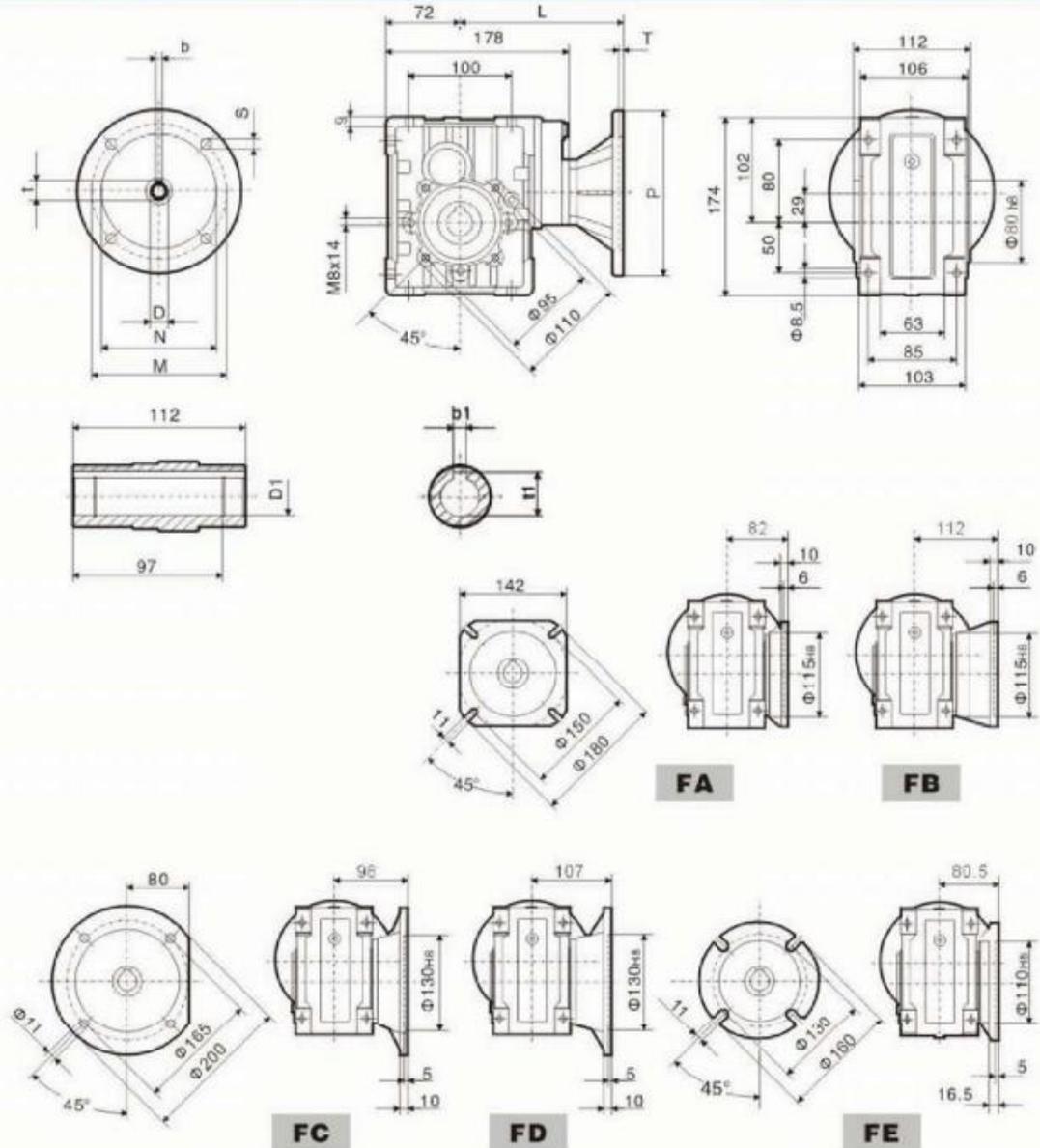
Capacidad de carga dinámica básica:

$$C = 813.19 * (12.6)^{\frac{1}{3}} = 1978.39 \text{ N}$$

APÉNDICE L – DIMENSIONES MOTOR SELECCIONADO

GEARBOX OUTSIDE DIMENSION

KPM63C..



Weight without motor
~ 6.8kg

IEC	DE8	b	t	P	M	N	S	T	L	D1H8	b1	t1
63B5	11	4	12.8	140	115	95	9	4	151	25	8	26.3
71B5	14	5	16.3	160	130	110	9	4	158	28*	8	31.3
71B14	14	5	16.3	105	85	70	7	4	158	30*	8	33.3
80B5	19	6	21.8	200	165	130	11	4	178	*Specia request		
80B14	19	6	21.8	120	100	80	7	4	178			
90B5	24	8	27.3	200	165	130	11	4	178			
90B14	24	8	27.3	140	115	95	9	4	178			

APÉNDICE M – DATASHEET ELECTRODO 308L (INDURA, 2022)

- *Electrodo manual para aceros inoxidables austeníticos*
- *Revestimiento rutilico*
- *Toda posición*
- *Corriente continua-electrodo positivo o corriente alterna*
- *Resistente a la corrosión intergranular*

Clasificaciones:

DIN 8556	ISO 3581	ASME IIC SFA 5.4/AWS A5.4
E 19 9L R26	E 19.9L R 26	E 308L-16

Características y Campos de usos:

- Para soldadura de aceros inoxidables que contienen 16-21% Cr, 8-13% Ni, aceros estabilizados y no estabilizados (302, 304, 304L, 304LN, 308, 321, 347)
- Su bajo contenido de carbono previene la precipitación de carburos de cromo, generando una excelente protección contra la corrosión intergranular
- Fácil remoción de escoria

Análisis Típico del metal depositado (% en peso)

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo
0.02	0.63	0.76	0.025	0.008	18.7	10.0	0.18

Propiedades Mecánicas Típicas del Metal Depositado

Esf. Fluencia en 0.2%, MPa	Esf. Máx. de Tracción, MPa	Elongación (L=4d), %	E. Absorbida Ch-v
No requerido	560	41	No requerido

Parámetros de Soldadura y Datos

Diámetro, mm (plg)	2.4	3.2	4.0	4.8
Longitud, mm (plg)	300	350	350	350
Int. de Corr., A	60 - 90	90 - 120	120 - 150	150 - 190
Nº elect/Kg	59	31	21	10

Secado

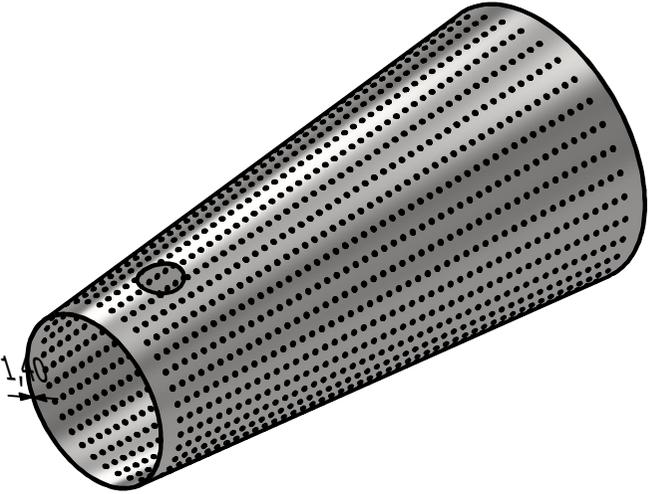
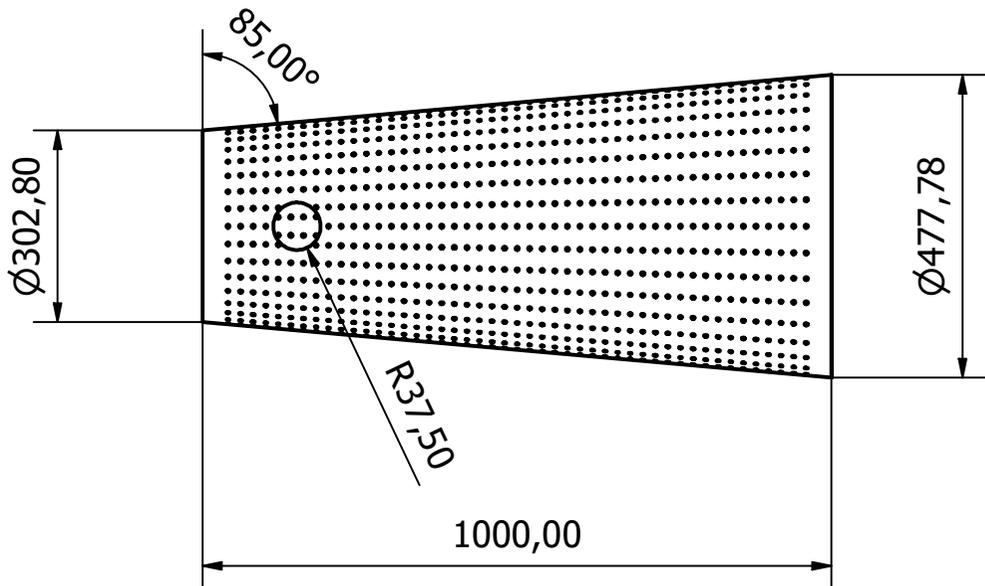
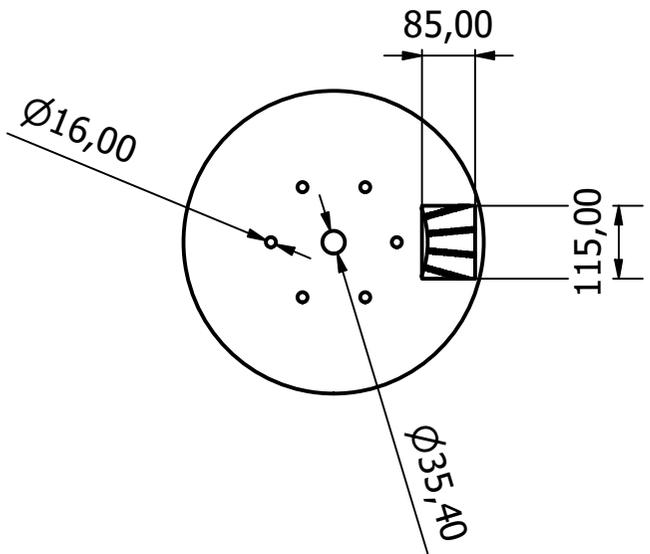
Mínimo 1 hora a 300 °C

Posición de Soldadura

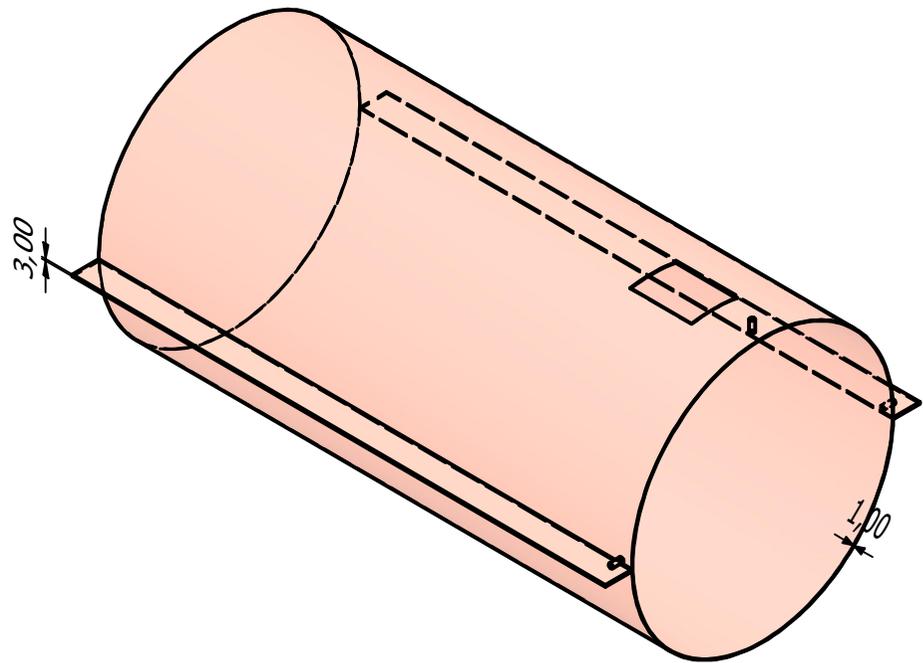
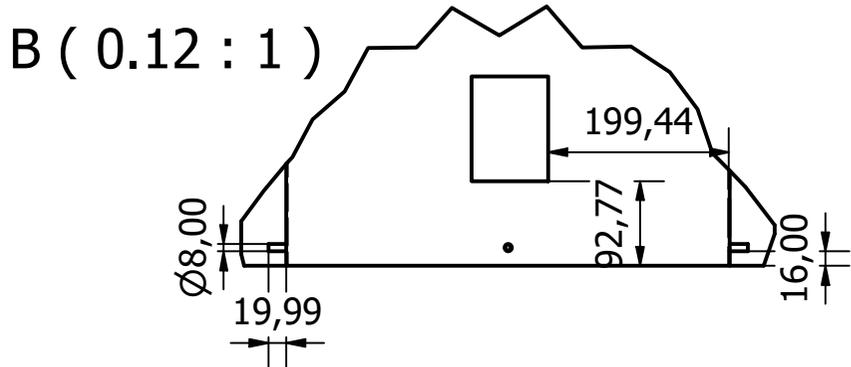
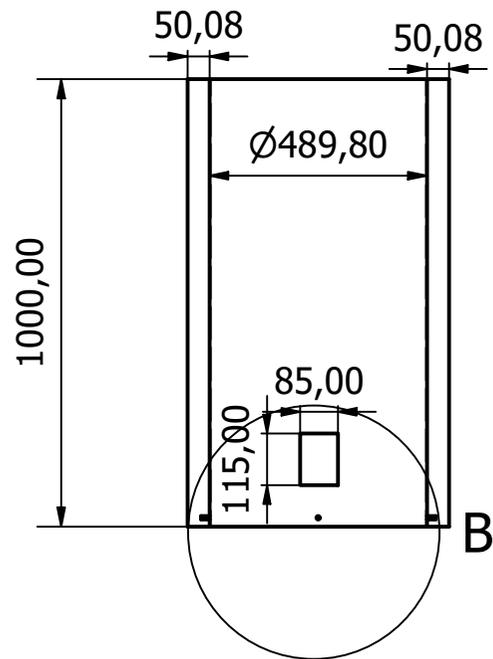


CCEP - CA

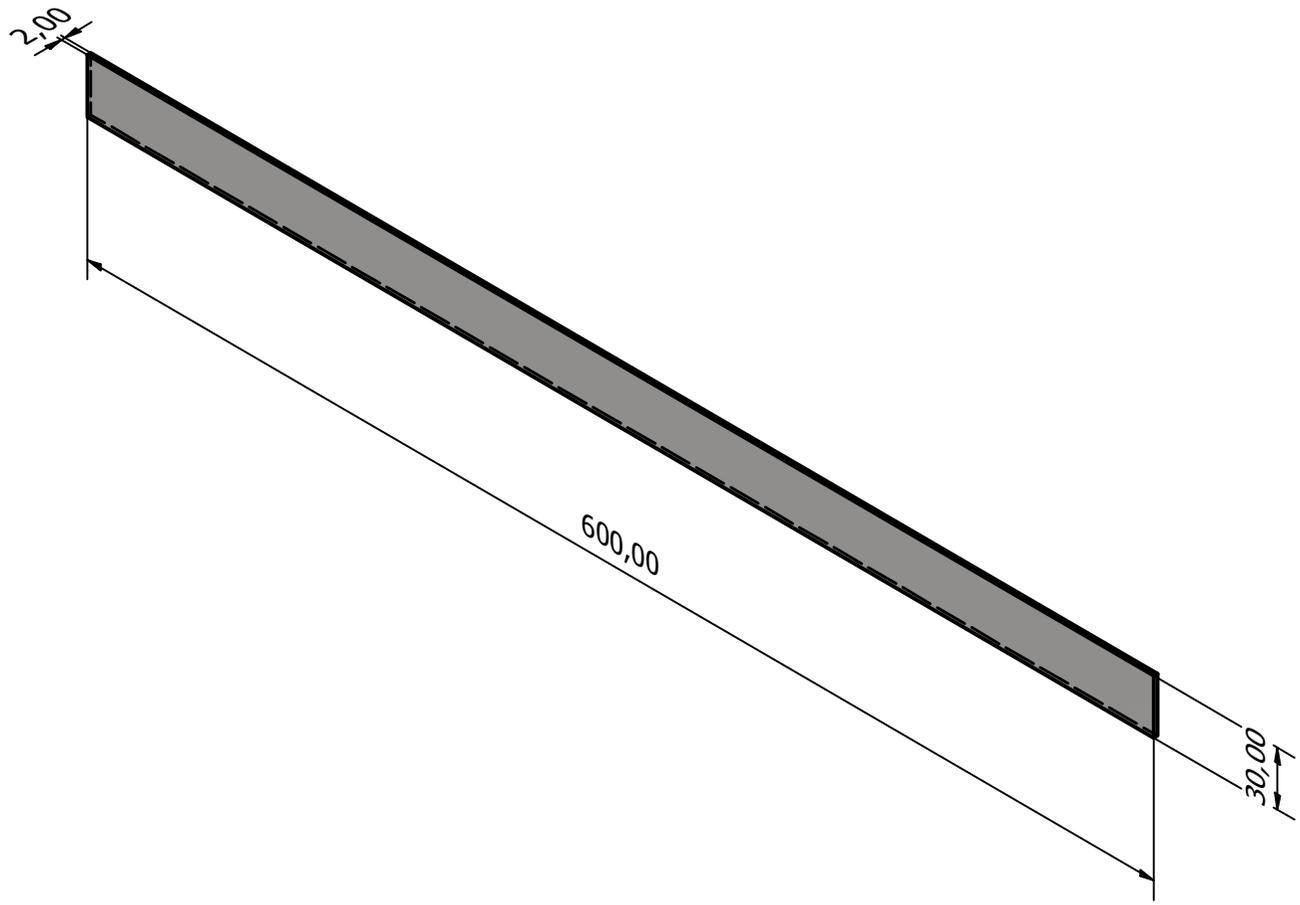
PLANOS



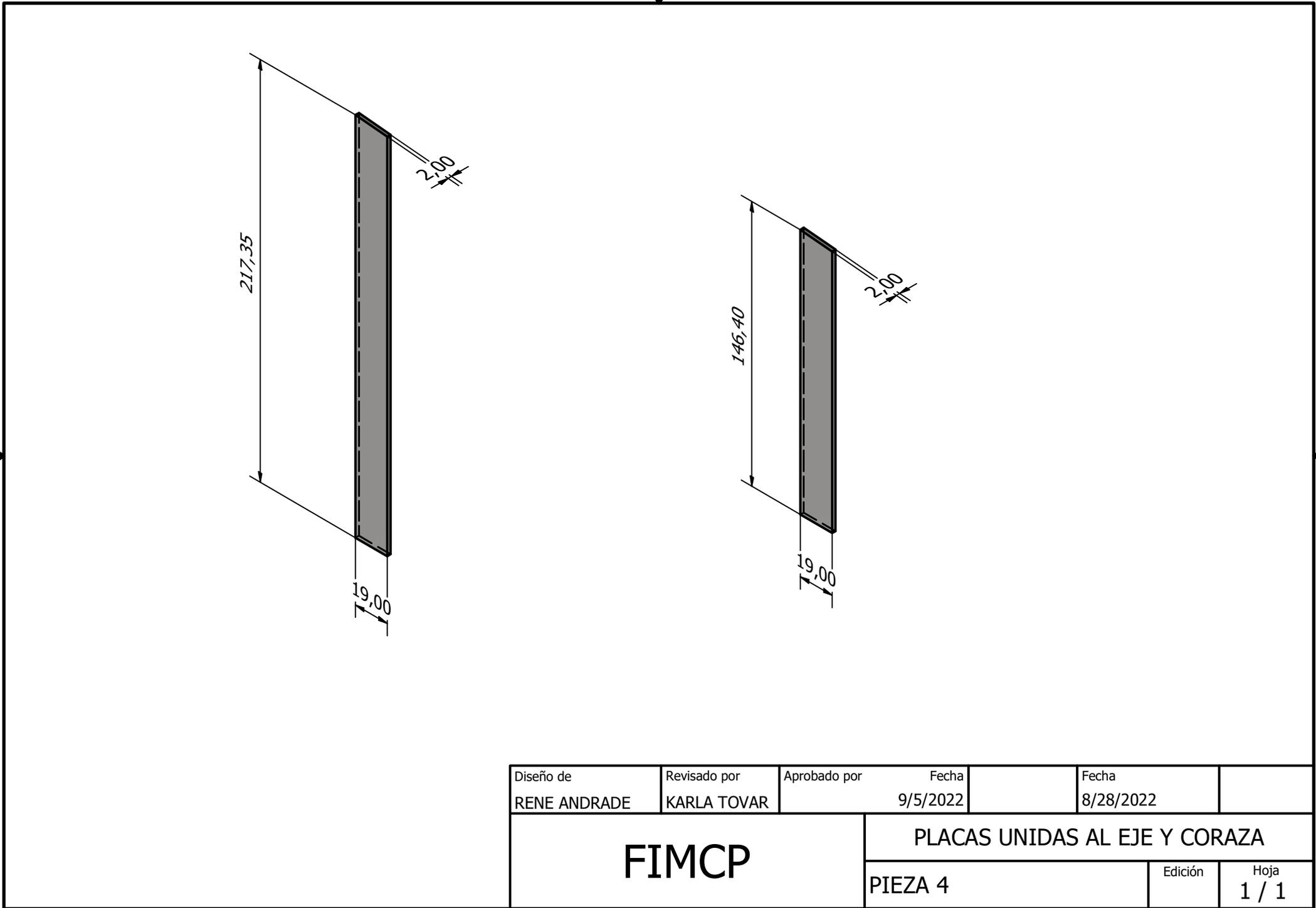
Diseño de RENE ANDRADE	Revisado por KARLA TOVAR	Aprobado por	Fecha 9/5/2022	Fecha 8/28/2022	
FIMCP			CORAZA		
			PIEZA 1	Edición	Hoja 1 / 1



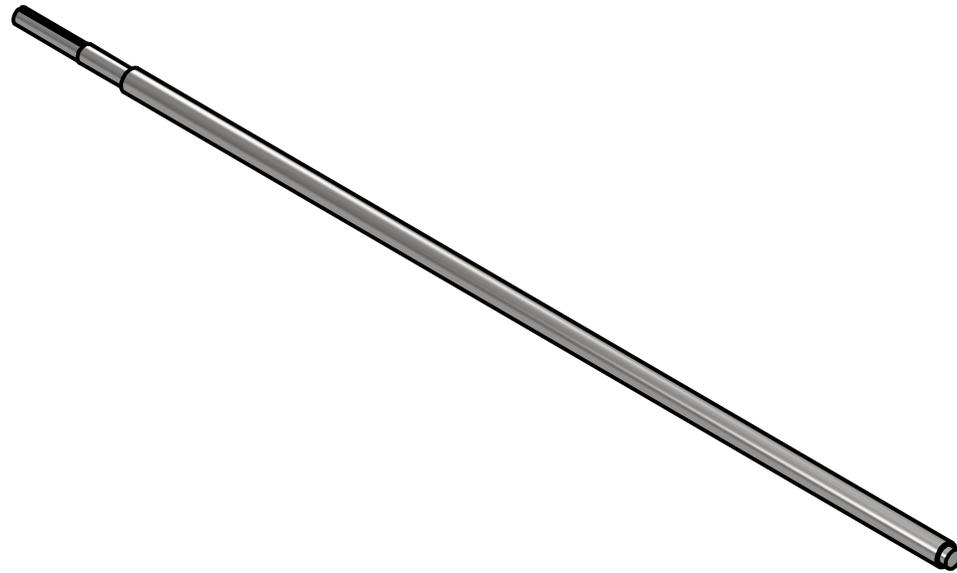
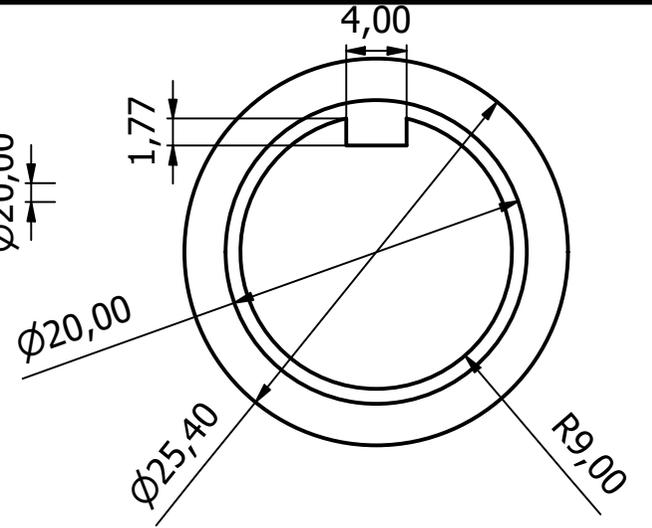
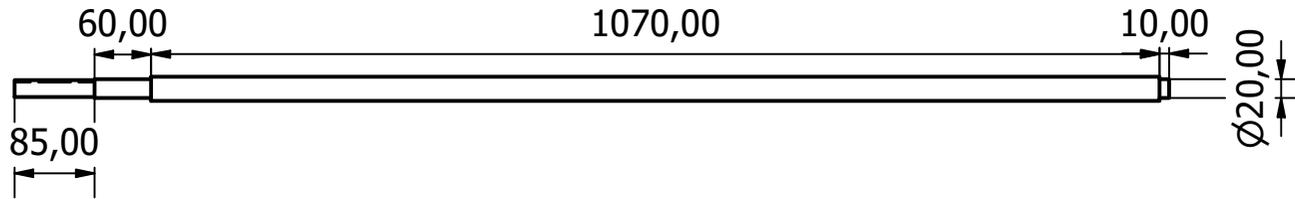
Diseño de RENE ANDRADE	Revisado por KARLA TOVAR	Aprobado por	Fecha 9/5/2022	Fecha 8/28/2022	
FIMCP			COBERTOR		
			PIEZA 2	Edición	Hoja 1 / 1



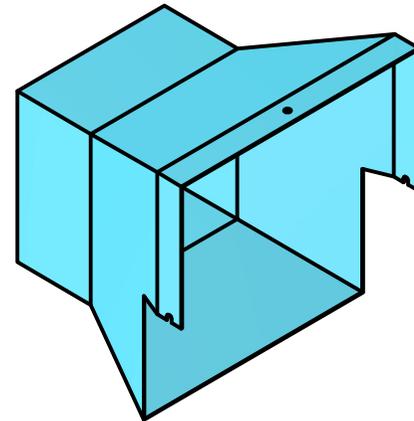
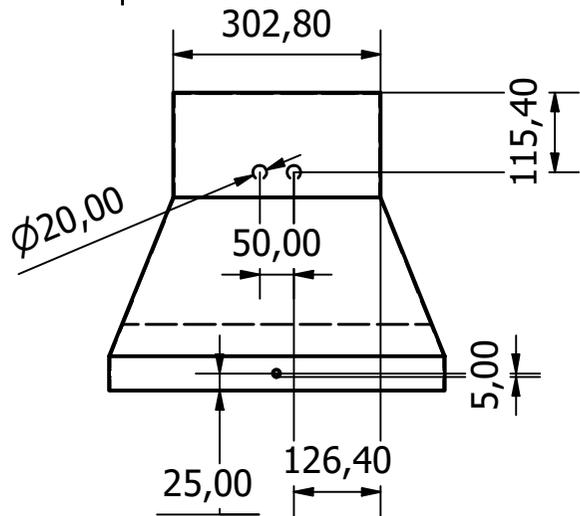
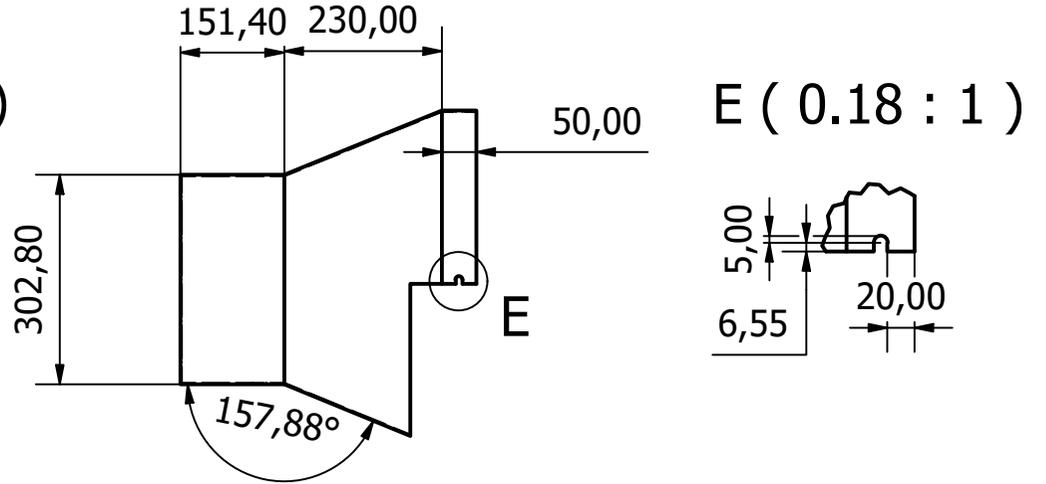
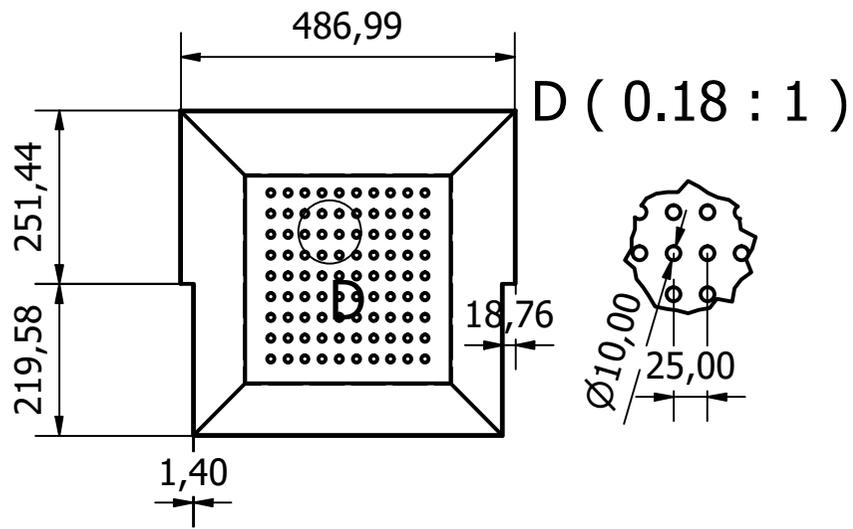
Diseño de RENE ANDRADE	Revisado por KARLA TOVAR	Aprobado por	Fecha 9/5/2022	Fecha 8/28/2022	
FIMCP			PLATINAS ELEVADORAS(4)		
			PIEZA 3		Edición



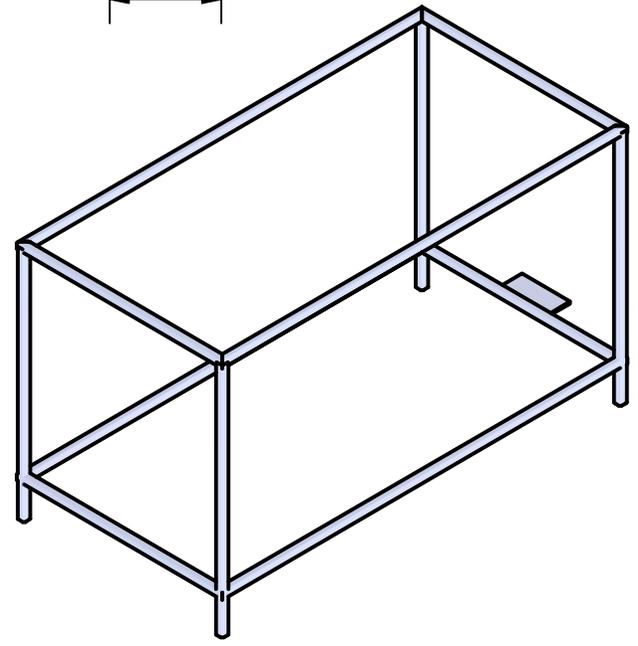
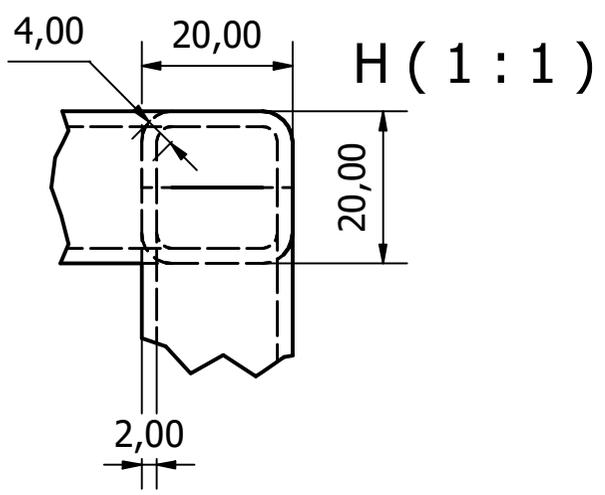
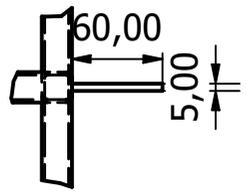
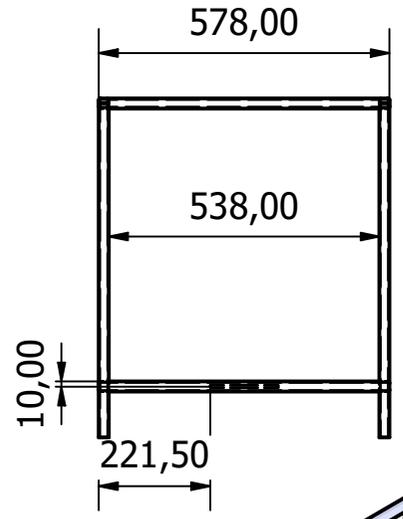
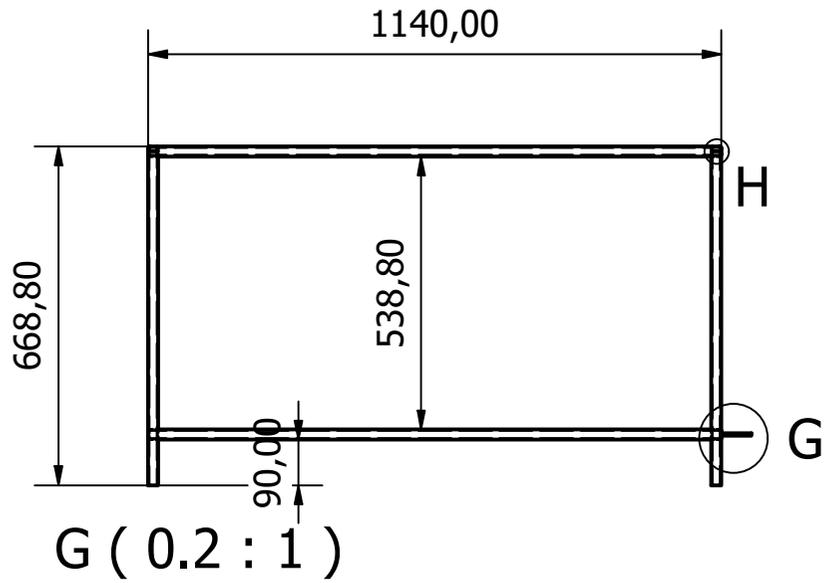
Diseño de RENE ANDRADE	Revisado por KARLA TOVAR	Aprobado por	Fecha 9/5/2022	Fecha 8/28/2022	
FIMCP			PLACAS UNIDAS AL EJE Y CORAZA		
			PIEZA 4		Edición



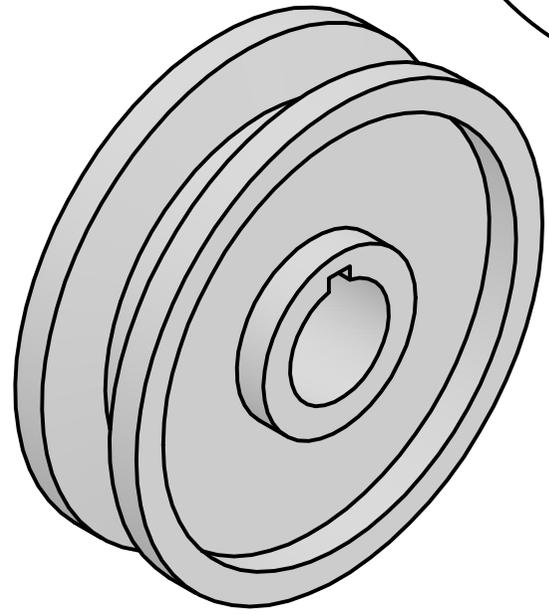
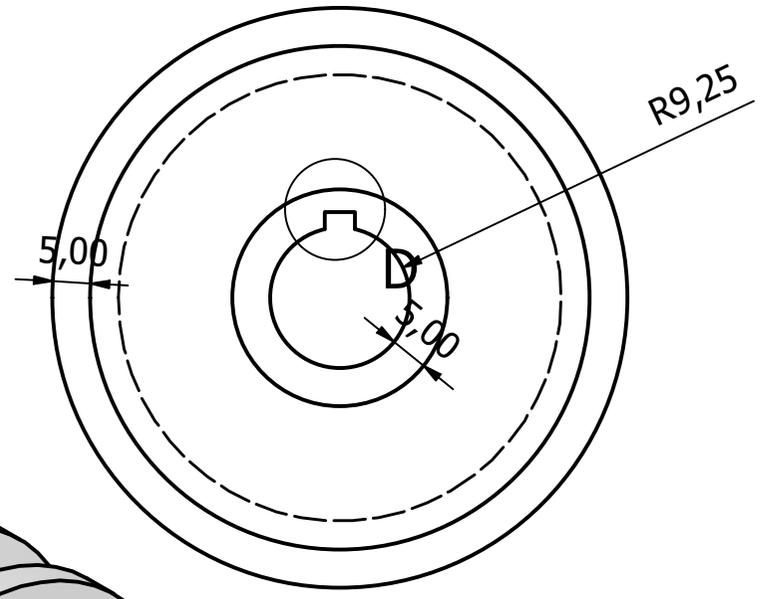
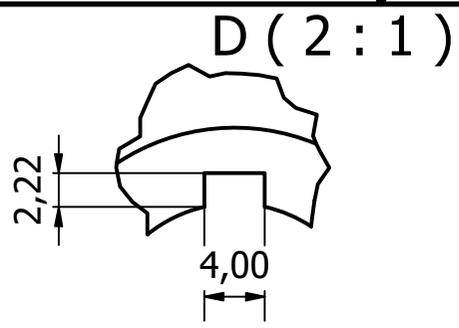
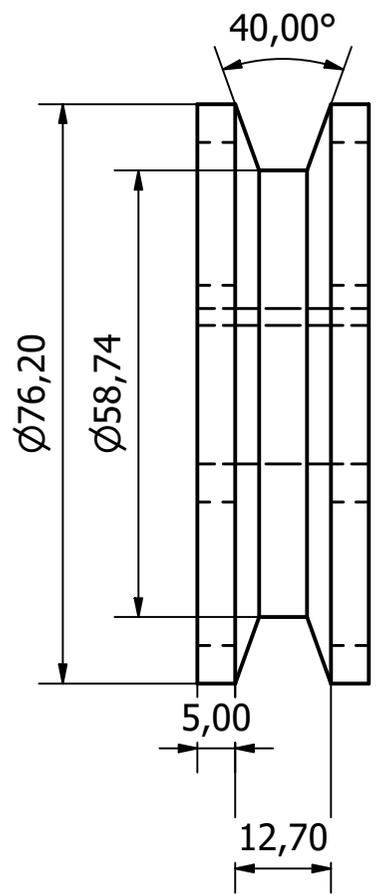
Diseño de RENE ANDRADE	Revisado por KARLA TOVAR	Aprobado por	Fecha 9/5/2022	Fecha 8/28/2022	
FIMCP			EJE		
			PIEZA 5		Edición



Diseño de RENE ANDRADE	Revisado por KARLA TOVAR	Aprobado por	Fecha 9/5/2022	Fecha 8/28/2022	
FIMCP			PROTECTOR		
			PIEZA 6	Edición	Hoja 1 / 1



Diseño de RENE ANDRADE	Revisado por KARLA TOVAR	Aprobado por	Fecha 9/5/2022	Fecha 8/28/2022	
FIMCP			ESTRUCTURA		
			PIEZA 7		Edición



Diseño de RENE ANDRADE	Revisado por KARLA TOVAR	Aprobado por	Fecha 9/5/2022	Fecha 8/28/2022	
FIMCP			POLEA		
			PIEZA 8		Edición