



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**  
**CARRERA INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA**  
**PROPUESTA TECNOLÓGICA**

**IMPLEMENTACIÓN EXPERIMENTAL DE UN SECADOR HÍBRIDO PARA  
REDUCCIÓN DEL TIEMPO EN EL SECADO DE CACAO MEJORADO.**

Proyecto de Titulación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniero  
Electromecánico

**Autores:**

Gavilema Orozco Jhonny Washington  
Rosillo Tutiven Cristian Paul

**Tutor:**

PhD. Ing. Torres Tamayo Enrique

Latacunga- Ecuador

2021

## 1. INFORMACIÓN GENERAL

**Título:** Implementación experimental de un secador híbrido para reducción del tiempo en el secado de cacao mejorado.

**Fecha de inicio:** Abril 2021

**Fecha de finalización:** Agosto 2021

**Lugar de ejecución:** Universidad Técnica de Cotopaxi, Provincia de Cotopaxi, Cantón Latacunga.

**Facultad que auspicia:** Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas.

**Carrera que auspicia:** Ingeniería en Electromecánica.

**Equipo de Trabajo:** Gavilema Orozco Jhonny Washington

Rosillo Tutiven Cristian Paul

PhD. Ing. Enrique Torres Tamayo

**Área de Conocimiento:**

07 Ingeniería, Industria y Construcción/ 071 Ingeniería y Profesiones Afines/ 0713 Electricidad y Energía.

**Línea de investigación:**

Energías alternativas y renovables, eficiencia energética y protección ambiental.

**Sublíneas de investigación de la Carrera:**

Eficiencia energética en sistemas electromecánicos y uso de fuentes renovables de energía.

## 2. INTRODUCCIÓN

### 2.1 EL PROBLEMA

La finalidad de la presente propuesta tecnología es realizar comparativas netamente experimentales e identificar las diferentes causas que generan problemas energéticos dentro de máquinas secadoras de granos en este caso de cacao ya que siendo este un producto referente de nuestro país se debe dar un avistamiento a pequeños problemas en el proceso de secado de cacao.

Tomando como ejemplo, los pequeños productores buscan soluciones con la implementación de secadores artesanales y así subsanar los problemas que mantienen en el mercado

cacaotero, pero de alguna manera son costosos además de peligrosos porque no están diseñados y peor aún elaborados con los factores técnicos adecuados.

Por esta razón realizar una comparativa en base a la eficiencia energética y la utilización de energías limpias como lo es la energía solar una intención viable desde la perspectiva experimental, con esto se busca mejorar el sistema para reducir el uso de energías derivadas del petróleo tales como el diésel o GLP, con este aporte se estima realizar una reducción de tiempo de secado y seguir manteniendo una condición optima del proceso de secado en función a la calidad requerida.

### **2.1.1 Situación Problémica**

El secado convencional de cacao no es la mejor opción porque uno de los problemas que se palpa en sectores cacaoteros es el clima acompañado de una alta humedad, también se presentan épocas del año donde los índices de radiación no son las mejores, es necesario mencionar que las técnicas de secado tampoco son las eficientes para tener resultados positivos ya que al secarlo en tendales el tiempo y el clima son factores en contra para tener un resultado óptimo de secado y pasar al otro nivel que sería la comercialización con estos dos factores los costos del cacao se vería reducidos afectando económicamente al pequeño productor.

Por otro lado se debe tomar en cuenta el consumo energético tanto en combustibles derivados de petróleo y energías limpias como lo es la energía solar, para poder tener ideas del costo y además como evitar la contaminación, para esto será prudente realizar un estimado del consumo de combustible y tener en claro el consumo energético proyectando los problemas que este traerá y así dejar de priorizar a los secadores artesanales ya que estos no tienen la talla técnica necesaria y acarrear muchos problemas entre ellos que pueden quemar o realizar un secado heterogéneo donde no ayudará y más bien generara problemas y molestias con el tema de comercialización.

### 2.1.2 Matriz de identificación del problema

El diagrama causa efecto permitirá determinar soluciones en base al problema encontrado en la lista de causas establecidas y su respectivo efecto, posteriormente se podrá identificar soluciones y así tener una idea concisa para llevar a cabo la presente propuesta tecnológica.



Figura 2.1 Diagrama Ishikawa

### 2.1.3 Formulación del problema

La necesidad de reducir el tiempo y consumos energéticos en el proceso de secado de cacao mejorado y así ayudar a controlar los efectos dentro de la calidad de los granos de cacao.

## 2.2 OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN

### 2.2.1 Objeto de estudio

Implementación de una máquina experimental híbrida secadora de cacao

### 2.2.2 Campo de acción

Estudio del proceso de secado de cacao el cual se enfocará en el análisis de eficiencia térmica con el uso de la energía solar como fuente principal y acompañada por una fuente de energía alternativa la cual será el gas licuado de petróleo (GLP) con esto se estima poder controlar diferentes variables que ayudaran al estudio planteado.

330000 Ciencias Tecnológicas

3328 Procesos Tecnológicos

3328.16 Transferencia de Calor (Ver 3313.10)

### **2.3 BENEFICIARIOS**

Se estima que muchas personas dedicadas al cultivo de cacao mejorado sean beneficiarios de la ayuda que proporcionara el secador experimental para cacao mejorado, en muchos lugares se desconoce de la importancia que tiene el producto en este caso el cacao seco ya que en el mercado se obtiene un valor adicional tanto para transportar como para pasar al proceso de refinamiento de esta manera los pequeños productores podrán ver la importancia y valor económico que se generara con el secado del producto.

### **2.4 JUSTIFICACIÓN**

Se plantea la propuesta tecnológica de construir un secador experimental para cacao mejorado con el incentivo de ayudar en la reducción del tiempo de secado en función del consumo de energía térmica, teniendo en cuenta que la propuesta está constituida en solucionar un problema técnico y económico, apegándose al plan “toda una vida” en la misión de menos pobreza más desarrollo, menciona que el ciudadano ecuatoriano merece mejorar su situación socioeconómica por ende se estima ejecutar desde perspectiva ingeniosa en base a conocimientos electromecánicos [1].

Teniendo en cuenta puntos claves en el secado del cacao mejorado como también las ventajas y desventajas del secado natural y artificial.

Se tiene planeado estudiar el secado de manera artificial conjunto con una temática híbrida en lo que es consumo de energías, se sabe que el secado artificial consume combustibles derivados del petróleo y para ser amigables con el medio ambiente se optara por añadir una segunda energía, pero está más limpia como es la radiación solar, con esta la ayuda del consumo de combustible disminuirá un cierto porcentaje siendo este apto para el medio ambiente. Con el secador experimental híbrido de cacao mejorado se estima la optimización del tiempo de secado y la calidad, destacando la velocidad de secado y calidad del cacao para que el producto tenga acogida en la etapa de comercialización.

## **2.5 HIPÓTESIS**

El diseño experimental de un secador híbrido de cacao permitirá la reducción del tiempo de secado y consumos energéticos en función del contenido de humedad.

## **2.6 OBJETIVOS**

### **2.6.1 General:**

Implementar un secador híbrido experimental para cacao mejorado usando energía renovable con el fin de reducir el tiempo y consumos energéticos en el proceso de secado del cacao en zonas cacaoteras.

### **2.6.2 Específicos:**

- Indagar criterios y requerimientos técnicos de los diferentes procesos para el secado de cacao.
- Establecer el diseño experimental del secador para cacao CCN51 con ayuda de datos obtenidos y procedimientos planteados que ayudarán a determinar la optimización del proceso.
- Evaluar desde el punto de vista térmico el proceso de secado mediante la realización de análisis y pruebas experimentales.

## 2.7 SISTEMA DE TAREAS

Tabla 2.1 Tareas a cumplir

Objetivos específicos	Actividades (tareas)	Resultados esperados	Técnicas, Medios e Instrumentos
Indagar criterios y requerimientos técnicos de los diferentes procesos para el secado de cacao.	Validación de información con bases explícitas y concretas que ayuden con el planteamiento de la propuesta tecnológica planteada.	Identificación de los diferentes tipos de secado y sus cualidades de calidad así mismo diferentes características y técnicas en el secado artificial.	Partiendo de una modalidad documental con la utilización de artículos científicos, libros y tesis relacionadas al tema.
Establecer el diseño experimental del secador para cacao CCN51 con ayuda de datos obtenidos y procedimientos planteados que ayudarán a determinar el tipo de secador.	Aplicación de métodos habiendo revisado y elegido el modelo idóneo para el proceso de secado prosiguiendo de un análisis cuantitativo y cualitativo.	Detalles de los datos obtenidos congruentes con el secador en función del análisis térmico y como este influye en el tiempo de secado.	Catálogos detallados de empresas especializados en el campo técnico industrial.
Evaluar desde el punto de vista térmico el proceso de secado mediante pruebas experimentales.	Observación del proceso con enfoque directo al análisis de calidad del cacao obtenido al punto de secado deseado.	Validación del modelo en base a características de secado con análisis imperativo de variantes en el proceso de secado planteado.	Instrumentos de medida y sensores que ayudaran a identificar variantes en el proceso de secado.

### 3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

#### 3.1 ANTECEDENTES

En el presente capítulo se pretende dar a conocer las variantes de secado, en este caso el secado natural y secado artificial, para esto se debe tener en cuenta datos importantes que servirán de ayuda para fraguar un criterio del porque se tiene que dar énfasis a las pérdidas de energía y reducción de tiempo.

El autor, Ndukwu Macmanus Chinenye [2] menciona que, para obtener los factores de evaluación utilizados para la investigación, medición del aire de secado, temperatura, temperatura ambiente, humedad, velocidad del aire y contenido de humedad, fueron hechos: La temperatura del cacao seco y húmedo, se midió con un termopar tipo T con un error máximo de 0.5 °C. Para medir la temperatura del cacao húmedo, la unión del termopar fue cubierto con una mecha húmeda, que sobresale de una botella llena de agua, el tiempo de secado se determinó con un cronómetro.

- Para obtener el contenido de humedad deseado, las muestras se acondicionaron sumergiéndolas en una cantidad calculada de agua y mezcla a fondo. Las muestras mixtas (1.378 kg cada una) fueron selladas en bolsas de polietileno a 5 °C, en un refrigerador por 15 días para permitir que la humedad se distribuya uniformemente en toda la. La cantidad de 1.387 kg es la masa del grano que puede formar completamente tres capas de grano en el recipiente del secador. Un medidor de humedad que fue calibrado previamente con un método de horno, determino el contenido de humedad en base seca.

**Tabla 3.1** Parámetros de secado [2].

Nº	CRÍTERIO	VALOR
1	Temperatura de secado	55,70 y 81 °C
2	Velocidad de aire de secado	1.3,2.51 y 3.37 m/s
3	Humedad inicial	79.6%
4	Humedad relativa	80%
5	Masa de cada muestra	1.378kg

Harold Eduardo Castillo y Cristian Camilo Aristizabal, afirman que el prototipo está diseñado para secar una masa de 30 kg de cacao con una humedad inicial del 40%, que es el promedio de humedad con la que el grano sale de la etapa de fermentado. La temperatura que se debe manejar dentro de la cámara de secado es de 60°C, esto debido a que el grano de cacao en el

proceso de secado no soporta una temperatura mayor, ya que, si se excede esta temperatura, la superficie del cacao se empezaría a quemar, cambiando las propiedades del grano de manera precipitada.

- Para darle una solución al problema de la quema del grano en el proceso de cacao, se implementó un eje rotativo, con el fin de que el grano absorba el calor de una manera homogénea, Mirando el consumo energético del ciclo de secado del grano de cacao, se puede observar que es muy rentable, ya que el costo de operación es muy bajo con respecto al valor del producto en el mercado) y tarda tan solo 6 horas en secar 30 kg de grano, mientras que haciéndolo de manera artesanal, tarda alrededor de 4 a 8 días, la metodología utilizada es Científico- experimental, determinando en primera instancia las propiedades del material a utilizar y características de las semillas de cacao, para luego proceder con la experimentación en base a la implementación de la máquina.
- En la actualidad el secado de productos por vacío, es un proceso poco utilizado en granos, en esta investigación se apunta a secar por vacío grano de cacao, acelerando así la extracción de humedad dentro de este, sin afectar su calidad y aroma característico de un buen cacao seco.
- En el prototipo de máquina secadora de cacao, existen variables como la temperatura, la cual será censada constantemente, ya que ésta se debe mantener en el intervalo de 50-60 grados Celsius, para evitar que el grano se cocine por la humedad contenida en su interior y para que el secado sea más rápido. El grano de mayor calidad tiene entre el 7 y 10% de humedad [3].

José Arturo Caballero Cava manifiesta que, para lograr un secado uniforme, el secador contará con un sistema de uniformizado el cual consta de un eje, acoplado a un moto-reductor, con extensiones radiales, las cuales agitaran el producto logrando un secado igual en toda la carga. Así mismo, este sistema ayudará a descarga del producto. El eje estará montado en un puente, montado diametralmente en la parte superior del equipo, el cual sostendrá también el motor-reductor. Contará también con resistencias eléctricas, seleccionadas en el capítulo anterior, montadas en las paredes del cilindro para el calentamiento del aire, y con un ventilador centrifugo, el cual impulsará el aire con una entrada tangencial al bastidor. Finalmente, el producto reposará sobre una plancha perforada, por la cual atravesará el aire

caliente, secando el producto con un flujo perpendicular al producto, la metodología utilizada es científico-experimental determinando características y cálculos previos para determinar elementos importantes en el diseño para luego por medio de simuladores llegar al tema practico y tener ideas claras.

- El concepto de solución fue determinado combinando sistemas existentes de secado de grano estático y dinámico, mostrados en el estado del arte. De esta manera se logra ahorrar tiempo al operario al quitar la necesidad de agitar manualmente el producto cada 30 – 60 minutos, logrando cumplir con la sencillez en el uso de la máquina.
- Si bien se podría disminuir el tiempo de secado trabajando a temperaturas más altas dentro de lo recomendado por los estudios referenciados en este documento (81°C), se optó por una temperatura de 65°C para evitar quemar el cacao. Por otro lado, se trabajó con una velocidad de aire de 3 m/s, siendo lo máximo recomendado en los estudios mencionados de 3,7 m/s [4].

**Ubicación:** El proyecto tendrá como lugar de ejecución, la Universidad Técnica de Cotopaxi ubicada en el barrio Ejido parroquia Eloy Alfaro en el cantón Latacunga Provincia de Cotopaxi.



Figura 3.1 Ubicación del proyecto

**Historia:** La cultura del cacao en Ecuador es antigua, se sabe que, a la llegada de los españoles en la costa del Pacífico, ya se observaban grandes árboles de cacao que demostraban el conocimiento y la utilización de esta especie en la región costera, antes de la llegada de los europeos.

En el Ecuador actual se cultivan algunos tipos de cacao, pero la variedad conocida como NACIONAL es la más buscada entre los fabricantes de chocolate, por la calidad de sus granos y la finura de su aroma.

Sin embargo, la llegada de enfermedades severas como la monoliosis (monilla) o la escoba de bruja, hace unos 100 años, engendró la introducción masiva de cacao extranjero, proveniente particularmente de Venezuela.

Estos cacaos se cruzaban con la variedad local, dando híbridos vigorosos y productivos, pero cuyos frutos tenían una calidad aromática menor que la original. Se pensó entonces que se debería poder encontrar los representantes de esta variedad ancestral, que se estaba paulatinamente perdiendo en el proceso de hibridación y poder así volver a recrear las variedades productivas con un gusto equivalente a la variedad nativa Nacional [5].

Ecuador es el 4to productor de cacao a nivel mundial con un crecimiento del 110% durante los últimos 10 años y con una cadena de valor beneficia a más de 600,000 familias. El 65% de producción de cacao fino de aroma proviene de Ecuador, chocolates de origen y totalmente trazables, perfiles de sabores únicos en el mundo, diferenciados por cada región productora del país [6].

Un total de 233 muestras de cacao, provenientes de 55 diferentes países productores de cacao, se seleccionó a las mejores 50, estando Ecuador dentro del grupo seleccionado en tres ocasiones. Las muestras ecuatorianas provenientes de Esmeraldas, Los Ríos y Manabí se ubicaron en los puestos 14, 15 y 16 respectivamente. Así el cacao ecuatoriano alcanza nuevamente un nivel de reconocimiento por sus cualidades organolépticas únicas y sabores diferenciados, que hacen de este fruto ecuatoriano uno de los más apetecidos por los maestros chocolateros del mundo [7].

Cámara marítima del Ecuador CAMAE menciona que, solo el 1% de la producción de grano de cacao se transforma en chocolate y cerca de 3 % o 4 % se vende como semielaborado, aunque señaló que los volúmenes han crecido significativamente y cada vez más empresas tienen éxito en la producción y exportación de chocolates. En el 2018 la producción alcanzó las 315.000 toneladas métricas y se exportaron \$ 680 millones, para este año se prevé llegar a 330.000 toneladas métricas [8].

## **3.2 TIPOS DE CACAO**

### **3.2.1 Cacao Nacional**

Esta es la variedad más común, pero también la más robusta y la que da más cantidad de frutos. Produce el grano menos aromático. Es un árbol que introdujeron los europeos en los territorios colonizados cuando la demanda de chocolate aumentó considerablemente a principios del siglo XX. Es cultivado principalmente en: Perú, Ecuador, Colombia, Brasil Guayanas e incluso Venezuela. Igualmente, en Costa de Marfil, Ghana, Camerún y Santo Tomé. También hay plantaciones en el sudeste asiático.

Este cacao tiene un sabor fuerte y amargo, ligeramente ácido. Con mucho tanino y astringencia Tienen una gran potencia aromática, pero sin finura ni diversidad de sabores. Su producción alcanza el 70% del total mundial.

### **3.2.2 Cacao criollo**

Se obtiene el cacao de mayor calidad, pero su producción representa menos de un 10% del total mundial. Es cultivado principalmente en México, Guatemala y Nicaragua en pequeñas cantidades. Venezuela, Colombia, islas del Caribe, Trinidad, Jamaica e isla de Granada. En Madagascar, Java e islas Comores.

Es un cacao de aromas afrutados, de intensidades medias, con notas de frutos secos y ligeramente amargo, pero refinado. Es muy apreciado para los chocolates de mayor calidad. Con esta variedad, se elaboran refinados bombones y piezas de artesanía repostería y chocolates varietales para su degustación y cata.

### 3.2.3 Cacao mejorado

Es un híbrido de las plantas de criollo y forastero, combinando las características gustativas y olfativas de ambos. Este contiene un amplio rango de sabores, aromáticos y persistentes en el paladar. Pueden apreciarse sabores a heno, roble miel, manzana y melón. Actualmente representan el 20% de la producción mundial [9].

## 3.3 PROCESOS DEL CACAO

### 3.3.1 Cosecha

Al momento de cosechar los frutos se ha de tener cuidado de no dañar los cojines florales, ya que esto comprometería la producción de nuevos frutos.

La cosecha puede realizarse con tijeras de podar, desinfectadas y bien afiladas, haciendo el corte en el pedúnculo hacia la parte más cercana posible del fruto. Si los frutos se encuentran en lo alto se puede usar una horquilla o desjarretadera, teniendo siempre cuidados con el cojín floral. Las mazorcas se van trasladando entre el lote de cosecha en sacos o canastos hasta el punto seleccionado para el quiebre y desgrane de las mismas [10].



**Figura 3.2** Cosecha [10].

### 3.3.2 El desgrane (Desmagallar)

Consiste en partir las mazorcas, lo que por regla general se hace a mano, extrayendo los granos separándolos de la placenta para llevarlos luego a fermentar. La importancia de separar la placenta de los granos se debe a que ella tiene efectos adversos durante el secado, da lugar a granos aglomerados (múltiples) que dificultan el secado, además, se pierde tiempo para la separación de éstos granos y origina una pérdida de calor en la masa en fermentación. En

plantaciones pequeñas se recomienda amontonar mazorcas por 3 a 4 días, así se obtiene una cantidad adecuada para realizar la fermentación. Además, es importante que el tiempo entre el desgrane y la fermentación no supere las 24 horas, por ello la apertura de las mazorcas se deberá realizar solamente hasta que se tenga la cantidad suficiente [11].



**Figura 3.3** El desgrane [11].

### 3.3.3 Proceso de fermentación

El cacao luego de su cosecha, elimina el mucílago (pulpa) de la semilla, produce la muerte del embrión, mejora la apariencia del grano de cacao e induce los cambios que luego producirán el sabor y aroma del chocolate. Entre los métodos de beneficio para el cacao se destaca el fermentar en cajas de madera.

El fermentador trinitario es un diseño bien conocido de varias cajas dispuestas en batería, con cierto grado de inclinación o acopladas en escalera con tabiques separables, facilitando el volteo de la masa de cacao de un cajón a otro. Las cajas deben estar protegidas contra la intemperie y en especial del viento [12].

**Tabla 3.2** Tiempo de fermentación de cacao [12].

<b>Tiempo de fermentación en función al tipo de cacao</b>	
Cacao criollo	1 a 5 días
Cacao mejorado	4 a 6 días
Cacao nacional	5 a 8 días



**Figura 3.4** Proceso de fermentación [12].

### 3.3.4 Secado

Es indispensable para facilitar el transporte, manejo, almacenamiento y comercialización del grano de cacao. Después de fermentado el cacao queda con más o menos 55% de humedad, pero ésta se debe reducir a un margen entre 6.5 a 7.5% como garantía para que se pueda vender o almacenar por algún tiempo.

El secado natural se basa en el aprovechamiento de la radiación solar que suministra una temperatura satisfactoria para la continuación de algunos cambios que no han terminado en las almendras durante la fermentación. El secado solar se demora entre cuatro y seis días sobre pisos de madera o esteras de bambú rajado.

el secado artificial que se han ideado en el mundo se usa una corriente de aire caliente que se aplica con el cuidado de no producir contaminaciones, sobre todo de humo. Como fuente de calor se puede usar leña, carbón mineral, diésel, gas natural o electricidad. Con este método, la duración del secado puede variar entre 20 a 60 °C [13].



**Figura 3.5** Secado [13].

### **3.4 TIPOS DE SECADO DE CACAO**

#### **3.4.1. Secado del cacao mejorado**

El secado de cacao radica en manipular la humedad por medio del sol a lo cual se le denomina secado natural pero también se suele optar diversas maneras como la utilización de máquinas las cuales estas adecuadas para la transformación de energía en calorífica para cumplir con la actividad del secado a lo cual se le llama secado artificial. Los niveles de humedad óptimos o permitidos para un buen secado es de 7% si la humedad es más baja los grano o almendras tienden a quebrarse fácilmente y si la humedad es elevada es propenso a ser atado por moho mermando la calidad del cacao [14].

#### **3.4.2 Secado natural del cacao mejorado**

Este tipo de secado se lo realiza mediante el aprovechamiento de la energía solar, su forma de realizar es colocando los granos de cacao en tendeles los cuales son ubicados en patios, carreteras o en otra parte como terrenos a lo cual el productor debe estar en constante cuidado, el proceso de secado puede durar entre un mínimo de 3 a 12 días de acorde a los días de sol, los beneficios es el aprovechamiento de a la energía del sol se utiliza energía natural lo cual se puede ahorrar dinero, la de ventaja o desventajas se da cuando el agricultor o productor de cacao debe estar en constante cuidado ya que al estar tendido en el piso pueden llegar insectos u otro tipos de contaminantes los cuales podría ocasionar un ciertas adulteraciones en el cacao o su pérdida irreversible otra de las destajas es la removida el cacao donde se realiza con la ayuda de personas, así como también lo sería el clima inestable ya que no siempre va hacer días de sol. En Fig1 podemos observar el procedimiento del secado del cacao de manera natural en donde se realiza en tendales a la luz del sol ( radiación solar ) y con la ayuda de mano de obra [15].

#### **3.4.3 Secado natural en tendales**

El secado natural sobre tendales se da cuando colocan el producto sobre un piso ya sea este de concreto o prefabricado de albañilería inclinados a cierto ángulo para que pueda circular tranquilamente el líquido producto de la deshidratación del cacao, el intercambio de energía entre la humedad y el aire el producto queda limitado a lo cual es necesario revolver el producto cada cierto periodo de tiempo. En esto el aire cumple una función primordial ya que lleva la humedad que pierde el grano al tendal que está ubicada sobre el mismo en este proceso la temperatura, así como el aire son los componentes fundamentales. En nuestro país

el uso de tendales para el secado de cacao se puede encontrar en diferentes lugares ya que por ser una un método que natural y de fácil obtención y su utilización.

El secado natural en tendales al ser un proceso natural presenta ciertos benéficos, así como inconvenientes uno de los benéficos es el ahorro de presupuesto ya que aprovecha la luz solar y el aire como sus principales fuentes se secado, la desventaja que presenta es la utilización de mano de obra ya que cada cierto tiempo se debe estar revolviendo para tener un secado optimo donde el grano no pierda sus propiedades y su calidad [16].



**Figura 3.6** Secado natural en tendales [16].

#### **3.4.4 Secado a la sombra**

Es un método más complejo de los habituales, aunque sus métodos de fermentación son simples, estos procesos se realizan en cajas echas de madera y de recubiertas con hojas de plátanos se realiza este método en cantidades grandes de cacao, en pequeñas cantidades no se puede realizar o es más difícil debido al a que no pueden retener el calor generado. El proceso puede tardar de 5 a 7 días para llegar a completar el secado esto varía dependiendo de cacao se remueve o se agita para la aireación.

Tienen el mismo principio de secado en comparación al método de tendales donde utilizan la radiación solar (rayos UV) los cuales impactan directamente hacia los granos de cacao [17].



**Figura 3.7** Secado a la sombra [17].

### 3.4.5 Secador rotatorio

El método del secado rotatorio constituye una de los métodos más utilizados en diferentes campos en los alimentos, productos químicos productos alimenticios a nivel de industria su forma rápida y con bajo costo cuando se cantidad se trata.

El secador rotativo funciona mediante una corriente de aire caliente que se introduce a contracorriente la eficiencia del secador dependerá principalmente del diferencial entre las temperaturas del aire de entrada y de salida el tiempo de secado dependerá de la velocidad de difusión del agua desde el centro hasta la superficie del material [18].



**Figura 3.8** Secador rotatorio [18].

### 3.4.6 Secadores intermitentes

Los secadores intermitentes es un proceso que no retira la humedad deseada del producto en una sola pasada esto exige a realizar diferentes pasadas por el secador con el fin de lograr la reducción de humedad. Es imponente conocer que existe casos donde la capacidad del secador disminuye significativamente con el número de pasadas del producto

Existen ciertos productos agrícolas que no soportan el secado continuo hasta alcanzar el contenido de humedad final que se busca, sin sufrir considerables daños físicos y la pérdida de sus propiedades. Es el caso de las semillas como el cacao y otros tipos de productos que se cosechan con humedad muy elevada. Estos productos se deben secar de manera intermitente. Los granos son colocados sobre una sección rectangular que está localizada en la cámara del secador el principal compenetre es el aire saturado que es transportado medite un ventilador el calentamiento el aire puede ser hecho por desperdicios naturales o por la utilización de gas licuado de petróleo (GLP) [19].



**Figura 3.9** Secadores intermitentes [19].

### **3.4.7 Secadoras de cascada**

Este proceso se secado compuesta por persianas por donde el grano va descendiendo en forma de cascada y su recubierta es de paredes agujeradas la cuales ayudan a no taparse su procedimiento basa el aprovechamiento de aire, mediante la persiana se reduce el aire. Este modelo de secadora el tiempo que demora en secar será relativo con respecto al tiempo que debe pasar el grano por la torre, mediante unas canaletas entra el aire que se utilizara en el proceso de secado una vez que el grano llega al sistema de descarga la humedad del producto viene hacer uniforme debido a la mezcla eficiente en el proceso

La facilidad de obtener un producto o un secado uniforme dependerá si el grano tiene impurezas es recomendable e indispensable limpiar los granos antes de someter al proceso de secado [20].



**Figura 3.10** Secadoras de cascada [20].

### **3.4.8 Secado artificial Gas Licuado de Petróleo (GLP)**

Los secadores artificiales son aquellos que utilizan combustible derivados del petróleo (GLP) la idea de crear los secadores nace de la necesidad de poder reducir los grandes espacios que ocupa lo secadores naturales, con la implantación de secadores artificiales se busca acelerar

los procesos de secado o a su vez en los lugares donde hay poca presencia de radiación solar por dar solución y a su vez poder ayudar a secar los productos, hay que tener en cuenta que al momento que utilizamos este método si las temperaturas son elevadas el producto corre el peligro de perder sus propiedades lo cual disminuiría la calidad del producto.

Este proceso se da principalmente por la transferencia de temperatura a convección la cual es forzada ya que está constituida por un ventilador el cual impulsa un aire que pasa a través de un calentador donde aumenta la temperatura, mediante una sección de transición el aire es guiado a la cámara de secado, el cacao se prevé colocar en las partes superiores de la cámara de secado sobre una bandeja perforados por donde circulara el aire caliente el cual se encargara de realizar la función del secado.

El tiempo promedio que tarde en secar el producto es de 4 horas, esto reducirá de manera significativa el tiempo en comparación con el secado tradicional también reduciría el área que ocupa los tendales, como a su vez la mano obra la cual podría destinar a otro procedimiento como la cosecha [21].



**Figura 3.11** Secado artificial Gas Licuado de Petróleo (GLP) [21].

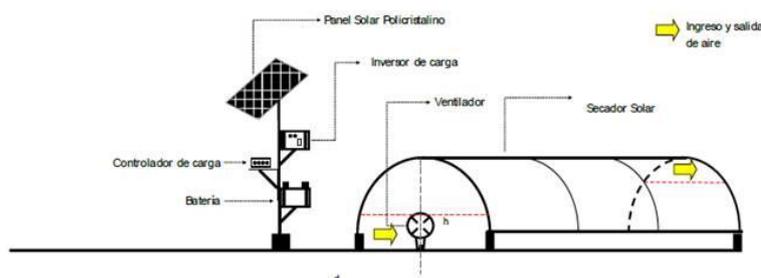
### 3.4.9 Secado de con ayuda de energía solar

el uso del secador solar se reduce hasta en 40- 60% el tiempo de secado respecto al secado tradicional. Estos resultados son acordes a los reportados por Henry *et al.* (2013), quienes contabilizaron 11 horas de radiación solar diarias y un tiempo entre 5 a 7 días. Al comparar las condiciones de temperatura existentes al interior del secador y medio ambiente, siempre son mayores los valores de temperatura al interior del secador por el efecto invernadero, siendo de 20 °C la mayor diferencia y se presenta aproximadamente a las 16 h, esto permitió

un secado más acelerado respecto al medio ambiente. La diferencia entre la temperatura interna y del medio ambiente es mayor a la diferencia de 13.6 °C.

Sin embargo, el perfil de temperatura no es constante durante las horas de un mismo día, y tampoco durante los días que dura el proceso de secado. Esto se debe a que la temperatura del secador depende de la radiación solar, que no es constante. También la humedad relativa del aire de secado es un factor crítico para controlar la velocidad de secado del producto. Cuanto menor sea la humedad relativa, mayor es la capacidad de absorción de aire de secado.[22]

A diferencia del secado natural el secado artificial lo único que busca es brindar ayuda para obtener una mejor calidad de secado y mermar las diferentes desventajas, por eso con la ayuda de radiación solar y colectores que se utiliza normalmente para el calentamiento del aire antes del ingreso a la cámara de secado, dando por hecho que el aire ingresado será de mucha ayuda para el proceso porque conduce mayor humedad de aire a la salida de una máquina secadora y con esto Juan M. Teixeira-Da Silva y Freddy A. Malpica P, afirman que la utilización de colectores son de gran ayuda para el proceso de secado de cacao [23].



**Figura 3.12** Secado de con ayuda de energía solar [23].

### 3.4.10 Secado Híbrido (GLP y Energía solar)

La eficiencia de secado en operación “híbrido” en el primer día se muestra en forma ascendente, esto se debe a hay un periodo de atemperado en el cual el alimento se adapta a las condiciones de temperatura por lo que al inicio pierde poca humedad y se refleja en menor eficiencia. La máxima eficiencia registrada fue de 71% y después disminuye gradualmente en el segundo día hasta 13% debido a que, en el segundo día, el contenido de humedad restante en el alimento es agua ligada, requiriendo más energía y tiempo para evaporar agua.

Con respecto a la eficiencia en operación “solar indirecto” se observa que la remoción de humedad se lleva a cabo en forma lenta con un tiempo de 27 horas, lo que equivale a 3.4 días solares; este tiempo se debe a que la temperatura estuvo en un rango de 35-44°C. Una baja velocidad en la pérdida de humedad con respecto al tiempo ocasiona que la eficiencia de

secado se posiciona en un rango promedio del 20%, esto resulta en la baja calidad del producto asociado al crecimiento microbiano y tiempos largos de secado.

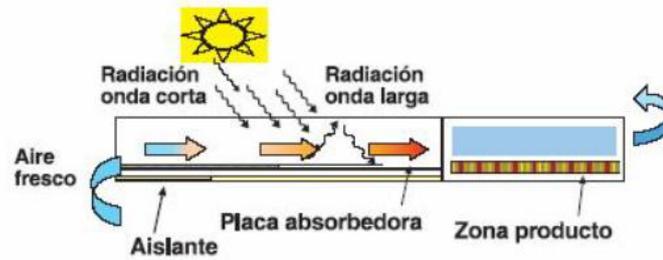
En el secado con gas-LP la eficiencia de secado es mayor que en los dos casos anteriores pues la energía proveniente de la combustión de gas LP proporciona energía suficiente y continua para mantener la cámara de secado en un promedio de 55°C lo cual es conveniente para incrementar la velocidad de secado respecto a los modos de operación híbrido y solar. Se observa que en secado con gas-LP como en el híbrido muestran un comportamiento similar con respecto a la velocidad de secado teniendo periodos de velocidad de secado constante con valores de 0.031 y 0.030 (kg agua/ kg min) respectivamente en un rango de humedad del 94 al 44% [24].



**Figura 3.13** Secado Híbrido (GLP y Energía solar) [24].

#### **3.4.11 Secado por Colección Solar**

Para cualquiera de las aplicaciones de la energía solar la parte principal del sistema es el COLECTOR - el artefacto que capta energía solar y convierte en energía útil- sea en forma calórica o eléctrica. Para la conversión de energía solar en energía eléctrica se utilizan las CELDAS SOLARES proveniente de los materiales semiconductores -tipo silicio principalmente. Se usan en relojes, calculadoras y hasta en naves espaciales etc. Debido al requerimiento de inversión inicial y complejidad de fabricación, muy pocos países del mundo están fabricando las celdas solares. Por otro lado, la energía solar puede ser transferida en calor empleando captadores sencillos, los cuales pueden fabricarse fácilmente y con los materiales disponibles en el mercado local [25].

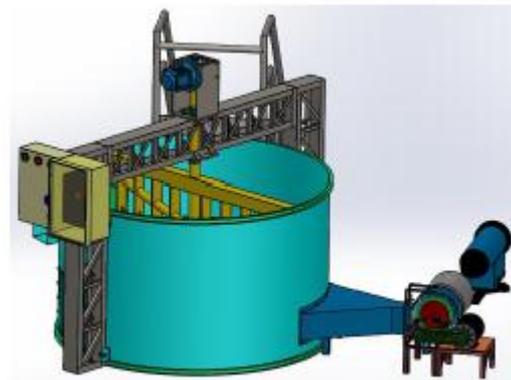


**Figura 3.14** Secado por colección solar [25].

### 3.4.12 Secado de Cacao Cilíndrico Vertical.

Este tipo de máquina permite obtener el secado de cacao en el menor tiempo posible y se diferencia de las rectangulares en la manipulación del grano con la utilización de elementos y mecanismos en una forma mecánica. Su diseño para el proceso de secado da como resultado un equipo de elevada productividad sin variar su calidad. La secadora cuenta con: plataforma propia para aprovechamiento del calor, diseño ensamblado con materiales de acero inoxidable alimenticio o galvanizado, puede ser opcional; su temperatura se regula electrónicamente, consta también con puertas de descarga para el vaciado del producto.

Sistemas para el secado de cacao. Los sistemas que se van a considerar para realizar el proceso están basados en el calentamiento y ventilación [26].



**Figura 3.15** Secadora de Cacao cilíndrica Vertical [26].

## 3.5. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS SECADORES PARA EL CACAO

Después de haber revisado literatura donde se conocen los diferentes métodos de secado y se debe tomar en cuenta ventajas y desventajas para poder seleccionar el modelo apropiado donde el proceso no tenga inconvenientes con el secado homogéneo que se necesita y brinde resultados exitosos para la propuesta planteada.

**Tabla 3.3** Secado natural

<b>Secado natural</b>	
<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Uniformidad del secado	Necesita una estricta etapa de fermentación
Clasificación inmediata de las semillas de cacao	Riesgo de exposición a contaminantes ambientales
No requiere de fuentes de energía	Mayor tiempo de secado
Mejor control de calidad	Depende del estado meteorológico para realizar el secado
	Se expone a hongos al no cumplir con el porcentaje de humedad requerida

**Tabla 3.4** Secado artificial

<b>Secado artificial</b>	
<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Tiempo de secado mínimo	Utiliza combustibles fósiles
Calidad mejorada en porcentaje de semillas secadas	Costo elevado en su implementación
No depende del estado meteorológico	Levemente contaminante
Etapa de fermentación moderada	No tiene un control netamente acertado de factores químicos y físicos de las semillas de cacao para que estas tengan una mejor calidad
Opciones en tipos de secadores	

**Tabla 3.5** Tipos de secadores de cacao [27].

<b>N°</b>	<b>Tipos de secadores de cacao</b>	<b>Características</b>
1	Secador Solar	Proceso técnicamente sencillo
		Muy bajo coste de implementación y mantenimiento
		No Requiere mano de obra especializada
		No hace uso de combustible
2	Secador Rotatorio	Exceso de combustible GLP (gas licuado de petróleo)
		Alto rendimiento de temperatura excesiva.
		Es una máquina de gran dimensión de forma giratoria para el secado.
		Alto costo de implementación
3	Secador de Bandejas	Temperaturas elevadas
		El flujo del aire interno con temperaturas graduales.
		Utilizan bandejas perforadas para el secado.
		Medio grado de automatización para el control del aire que circula en el interior.
4	Secador con Removedor	Aumento de producción del producto.
		Circulación de aire forzado
		Control de temperaturas entre 50 a 60 °C
		Elevado grado de automatización para girar el producto.
5	Secador Híbrido	Máquina eficiente para el secado.
		Alto costo de implementación.
		Paletas de remoción.
		Máquina extremadamente costosa.
		Alta eficiencia en el producto de cacao.
		Genera energía por radiación solar para el secado de cacao.
Lleva implementado un colector solar de fuente primaria.		
Mejor Garantía electrónica para el secado de manera rápida.		
Elevado grado de automatización.		
Circulación de aire forzada.		

**Tabla 3.6** Tipos de secadores de cacao.

		<b>Tipos de secador</b>					
		Secado por energía solar	Secador rotativo	Secador de cascada	Secador intermitente	Secador híbrido	secador cilíndrico vertical
<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>Uso de energía</b>	2	3	1	3	3	3
	<b>Costo de fabricación</b>	2	2	3	1	1	1
	<b>Costo de operación</b>	1	1	1	1	2	2
	<b>Tiempo de secado</b>	1	2	1	2	3	2
	<b>Mantenimiento</b>	2	1	1	2	2	2
	<b>Total</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>7</b>	<b>9</b>	<b>11</b>	<b>10</b>

Ponderación: (1) Malo, (2) Regular, (3) bueno

### 3.5.1 Análisis Comparativo de Energía

Para el sistema de secado híbrido es necesario realizar la selección de energía que va a realizar la dinámica necesaria en el proceso y para esto se debe considerar ventajas y desventajas de los métodos de energía que sobresalgan y tenga un bajo impacto para el medio ambiente en conjunto de beneficiar de la mejor manera al proceso de secado en el caso actual.

**Tabla 3.7** Características de Métodos de Generación de Calor [27].

<b>Método de Energía</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<b>Energía Eléctrica</b>	Energía segura	Alto costo de implementación
	Vida útil prolongada	Consumo elevado de energía
<b>GLP</b>	Alto Poder Calorífico	Requiere mantenimiento constante
	Bajo costo	Tendencia de baja disponibilidad
	Costo de implementación moderado	Requiere conocimiento Técnico para combustión óptima
<b>Energía solar obtenida por un colector solar plano</b>	Su instalación es sencilla y rápida	Elementos sensibles
	Amigable con el medio ambiente	Exposición directa a cambios climáticos
	Ahorro de energía en base a derivados de petróleo	

Al tener claro las variedades del secado de cacao y dando un realce a las ventajas y desventajas de los tipos de secado como el secado natural y el secador artificial, se llega a la conclusión de optar por un diseño donde se pueda aplicar una técnica más acertada y tomando en cuenta el nivel en el que se pueda controlar distintas variables, las semillas deben tener un nivel homogéneo de secado. El secado artificial es una excelente opción tomando un contexto híbrido y cilíndrico vertical al tener una fuente de energía térmica con la ayuda del colector solar ya que es energía mayormente limpia también añadiremos como energía compensatoria el GLP y esta última pueda brindar un apoyo y complementar la cantidad de energía necesaria para que el sistema tenga un funcionamiento estable. Dando una característica de efectividad al secado que ayudara con el manejo de variables establecida en la propuesta planteada.

## 4. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1 MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

#### 4.1.1 Variable dependiente

VARIABLES REPRESENTANTES DEL PROPÓSITO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA.

**Tabla 4.1** Variables dependientes.

Variable	Descripción	Unidad de medida	Técnica	Instrumento
Tiempo de secado	Tiempo dedicada al proceso de secado	s	Medición	Cronometro
Consumo de energía térmica	Energía utilizada para el proceso de secado de cacao	kW	Medición	piranómetro

#### 4.1.2 Variable independiente

VARIABLES INFLUYENTES DE MANERA DIRECTA EN EL PROGRESO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA.

**Tabla 4.2** Variables independientes.

Variable	Descripción	Unidad de medida	Técnica	Instrumento
Masa a secar	Cantidad de cacao al 60% de humedad	kg	Medición	Balanza
Temperatura de secado	Brindar una temperatura constante al proceso para no afectar las propiedades del grano de cacao	Grados Celsius °C	Medición	Termopar tipo “K”
Humedad	Porcentaje de agua a retirar del grano de cacao durante el proceso de secado	Porcentaje %	Medición	Higrómetro
Radiación solar incidente	Energía captada para realizar el proceso	W/m <sup>2</sup>	Medición	piranómetro

## 4.2 METODOLOGÍA DE LA MEMORIA DE CÁLCULO

### 4.2.1 Características técnicas de secado

Con el conocimiento planteado previamente y habiendo revisado diferentes documentos relacionados con el secado de cacao y sus características técnicas que se debe considerar para la implementación del prototipo experimental de secado de cacao, dando énfasis a las variables planteadas con antelación para brindar las soluciones pertinentes. Los diferentes

datos recomendados para el proceso de secado de cacao son en base a experimentos indagados.

- Temperatura del aire en base al secado, su temperatura teniendo en cuenta sus cualidades optimas del cacao es de máximo 60 °C.
- La humedad final del cacao seco estará en un porcentaje de secado del 7% con  $\pm 2\%$  de tolerancia al finalizar el proceso de secado.
- La humedad relativa del aire según con las condiciones ambientales donde se pretende tomar medidas del secador es la ciudad de Latacunga y su nivel es del 82%
- Para la estructura, el dimensionamiento debe ser tomado desde el punto de capacidad del producto húmedo que ingresara al proceso de secado que es de 23kg.
- Para el diseño también es importante tener en cuenta la velocidad del aire que generara el ventilador para que el proceso de secado sea homogéneo tiene que ser del 1.5m/s.

**Tabla 4.3** Condiciones técnicas para el funcionamiento de la máquina [28].

Nº	CRÍTERIO	VALOR
1	Temperatura de aire de secado	Max 60-70 °C
2	Humedad inicial del producto	Aprox. 60-70%
3	Humedad final del producto	7-10% con $\pm 2\%$
4	Velocidad del aire	0.3 a 3m/s
5	Material anticorrosivo	Mayor a 70%

#### 4.2.2 Propiedades del grano de cacao

En los cálculos de balance térmico y pérdidas de calor del secado de cacao es necesario diferentes propiedades físicas y térmicas de las semillas de cacao CCN51.

**Tabla 4.4** Condiciones técnicas para el funcionamiento de la máquina [27].

Descripción	Porosidad	Densidad aparente [kg/m <sup>3</sup> ]	Calor específico [J/kg. K]	Conductividad térmica [W/m. K]	Difusividad térmica [m <sup>2</sup> /h]
Cacao	0,56	775	1728	0,18	0,000721

#### 4.3 CÁLCULOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA CÁMARA DE SECADO

En esta sección se pretende dar a conocer los diferentes cálculos a utilizar en el diseño de la cámara de secado para esto se debió revisar bibliografía y documentos referente a las condiciones técnicas del cacao y los factores a favor y en contra.

### 4.3.1 Cálculo del Volumen de cacao por cada lote

Para el diseño se establece la cantidad de 23 kg de cacao húmedo para el proceso de secado, se estima el volumen total a secar del contener o tolva mediante la densidad del grano de cacao seco [29].

$$V_c = \frac{m_c}{\rho_{cacao}} \quad (4.1)$$

Donde:

$m_c$ =masa total de cacao, [kg]

$V_c$ =Volumen de cacao que ocupa en el contenedor, [m<sup>3</sup>]

$\rho_{cacao}$ = densidad del caco, [kg/m<sup>3</sup>]

### 4.3.2 Cálculo de la Masa seca de cacao

$$m_s = m_c (1 - \%_{humi}) \quad (4.2)$$

Donde:

$m_c$ = Masa total de cacao en el contenedor, [kg]

$\%_{humi}$  =porcentaje de humedad inicial, [%]

### 4.3.3 Cálculo de la Masa con la humedad deseada (7%)

Para el análisis de la humedad final del cacao se menciona que no debe estar totalmente seca por motivos de calidad, por lo tanto, la humedad requerida es de 7%.

$$m_{7\%} = \left( \frac{m_s}{1-0.07} \right) \quad (4.3)$$

El  $m_{7\%}$ , es la masa total de cacao resultante con la humedad especificada al 7%.

El proceso de secado se desarrolla mediante aire caliente, por lo cual se debe determinar el sitio donde se va a implementar la máquina debido a que las condiciones climáticas afectaran de cierta manera el secado de las semillas de cacao para ello se establece lo siguiente:

#### 4.3.4 Psicometría de Latacunga

**Ubicación:** Latacunga

**Temperatura ambiente:** 20 °C

**Altitud:** 2750

**Humedad relativa:** 82°

Mediante los siguientes parámetros generales se establece la carta psicométrica de Latacunga, permitiendo indicar ciertas características y/o propiedades del aire, tales como temperatura, hr, volumen, presión, etc. Las cartas psicométricas se utilizan para determinar, cómo varían estas propiedades al cambiar la humedad en el aire. Para la determinación de los datos se realiza por medio de un software en línea CartaPsy [30].

Psicometría		
<b>Datos</b>		
Unidades:	<input checked="" type="radio"/> SI	<input type="radio"/> Ing.
Parámetros	Valor	Unidad
Temperatura:	20	C
Temp. b. húmedo:	17.66981876131	C
Humedad relativa:	82	%
Punto de rocío	16.86232262876	C
Altitud SNM	2750	m
<input type="button" value="Calcular"/>		
<b>Resultados</b>		
Presión Atmosférica	0.717302389430	bar
Pv sat	23.38797752964	mbar
Pv	19.17814157431	mbar
Humedad absoluta	0.017086935593	kg/kg
Entalpia	63.46044218410	kJ/kg
Volumen específico	1.204059438869	m <sup>3</sup> /kg

**Figura 4.1** Software CartaPsy parámetros del aire [30]

**Tabla 4.5** Propiedades Psicométricos del aire en Latacunga [30]

Detalle	Valor	Unidad
Presión atmosférica	71.73	kPa
Humedad relativa (HR)	82	%
Presión del vapor de saturación (Pv sat.)	2.338	kPa
Presión de vapor de agua (Pv)	1.917 (19.17mbar)	kPa
Humedad absoluta (HA)	0.017	Kg/kg
Entalpía (h)	63.46	kJ/kg
Volumen específico (Vesp)	1.20	m <sup>3</sup> /Kg

#### 4.3.5 Cálculo de la Densidad del aire seco en el sitio de estudio

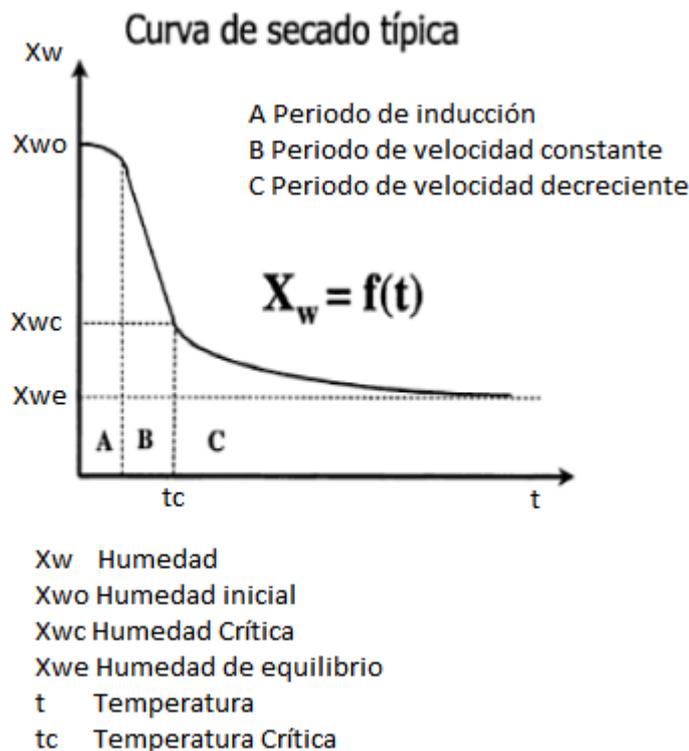
$$\rho_{\text{sec}} = \frac{1}{v_{\text{esp}}} \quad (4.4)$$

Donde:

$v_{\text{esp}}$  = Volumen específico del aire en el sitio de estudio, [ $\text{m}^3$ ]

$\rho_{\text{sec}}$  = Densidad del aire de secado, [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

Existe ciertas curvas características sobre el proceso de secado donde se expresa la relación entre el contenido de humedad y el tiempo de secado.



**Figura 4.2** Curvas de secado típica [15].

Según, Pablo Parra Rosero [15], se conoce como humedad crítica de un sólido al punto en el que la velocidad de secado deja de ser constante y empieza a ser decreciente, a estos períodos de secado se los llama antecrítico y postcrítico. La humedad de equilibrio se refiere al valor de humedad que se alcanza cuando un sólido húmedo se pone en contacto con aire a ciertos valores temperatura y humedad constantes. Cuando la presión parcial del agua en el sólido húmedo es igual a la presión de vapor del agua contenida en el aire se alcanzan las condiciones de equilibrio.

#### 4.3.6 Cálculo de la velocidad másica del aire de secado

El tiempo de secado es un parámetro importante para definir la eficiencia de la máquina secadora debido a que se puede manifestar un promedio del tiempo para obtener el secado del cacao a la humedad adecuada [29].

Consideración:

Velocidades del aire: Debe estar en un rango de 0.3 – 3 m/s

Por lo expuesto se establece el aire para el ingreso en el contenedor será de:  $V_s=1.5$  m/s

Mediante los datos de la velocidad y la densidad del aire de secado se obtiene:

$$V_{\text{másica}} = 3600 \text{ s} * V_s * \rho_{\text{sec}} \quad (4.5)$$

Donde:

$V_{\text{másica}}$  = Velocidad másica del aire de secado,  $[\text{kg}/\text{m}^2]$

3600s= Variable del tiempo, [s]

$V^s$ = Velocidad de secado, [m/s]

$\rho_{\text{sec}}$ = Densidad del aire de secado,  $[\text{kg}/\text{m}^3]$

#### 4.3.7 Cálculo del Número de Reynolds

Las propiedades del aire se buscan en la tabla A-15 del “libro transferencia de calor y masa” a temperatura de 60°C [31]

$$R_e = \frac{\rho * D * v}{\mu} \quad (4.6)$$

Donde:

$R_e$ = Reynolds, [Adimensional]

$\rho$ = Densidad de flujo,  $[\text{kg}/\text{m}^3]$

$D$ = Diámetro interior, [m]

$v$ = Velocidad del fluido,  $[\text{m}^3/\text{s}]$

$\mu$ = Viscosidad dinámica del fluido,  $[\text{kg}/\text{m} * \text{s}]$

#### 4.3.8 Cálculo del Número de Nusselt

$$Nu_{cil} = 0.023 * Re^{0.8} Pr^{\frac{1}{3}} \quad (4.7)$$

Donde:

$Nu_{cil}$ = Nusselt de un cilindro, [Adimensional]

$Re$ = Número de Reynolds, [Adimensional]

$Pr$ = Número de Prandtl, [Adimensional]

#### 4.3.9 Cálculo del Coeficiente de convección para un flujo de aire perpendicular a la superficie de contacto con el cacao

$$h_{conv} = \frac{Nu * k}{D} \quad (4.8)$$

$h_{conv}$ = Coeficiente de convección para flujo de aire de secado perpendicular, [kJ/kg]

$Nu$ = Número de nusselt, [Adimensional]

$k$ = Conductividad térmica del material, [W/(m\*K)]

$D$ = Diámetro interior, [m]

#### 4.3.10 Cálculo de la Velocidad de secado por unidad de tiempo de manera constante $R_c$

$$R_c = h_{cov} * \frac{T_{sec} - T_g}{H_{fg}} \quad (4.9)$$

Donde:

$R_c$ : Velocidad de secado por unidad de tiempo de manera constante, [kg/m<sup>2</sup>\*s]

$T_{sec}$ = temperatura de secado, [K]

$T_g$ = Temperatura de los granos de cacao en el bulbo húmedo, [K]

$H_{fg}$ = Calor latente de evaporación a temperatura de bulbo húmedo, [kcal/kg]

La temperatura de bulbo húmedo es un tipo de medición de temperatura que refleja las propiedades físicas de un sistema que consiste en la evaporación del agua en el aire. La evaporación consume calor para suceder, provocando enfriamiento, a medida que las

moléculas de mayor energía escapan (evaporan) y las que quedan tienen menor energía cinética promedio, la temperatura del líquido disminuye [29].

Los valores de transformación de unidades son la siguientes:

$$1 \text{ kcal/kg} = 4184 \text{ J/kg}$$

$$1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$$

#### 4.3.12 Cálculo del Área de secado

$$A_s = 2\pi * r * h \quad (4.10)$$

Donde:

$A_s$  = Área de secado, [m<sup>2</sup>]

$r$  = Radio cámara de secado, [m]

$h$  = Altura cámara de secado, [m]

#### 4.3.13 Cálculo del Tiempo de secado a velocidad constante

$$t_c = \frac{m_s * (X_i - X_c)}{A_s * R_c} \quad (4.11)$$

Donde:

$t_c$  = Tiempo de secado a velocidad constante, [s]

$m_s$  = Masa seca de cacao, [kg]

$X_c$  = Humedad crítica del material en base seca, [%]

$X_i$  = Humedad inicial del cacao, [%]

$A_s$  = Área de secado, [m<sup>2</sup>]

$R_c$  = Velocidad de secado por unidad de tiempo de manera constante, [kg/m<sup>2</sup>\*s]

#### 4.3.14 Cálculo del Balance de energía calorífica

Este análisis energético sirve para tener un estimado de la cantidad de calor necesario para el proceso de secado del cacao a la cantidad de estudio, para ello es necesario realizar el cálculo del: calor sensible del cacao, calor sensible del agua, calor latente del agua, calor sensible del contenedor.

- **Cálculo del Calor sensible del cacao**

Se refiere al calor que recibe los granos de cacao para la variación de temperatura hasta alcanzar sus parámetros de humedad y temperatura deseados.

$$Q_c = m_s * cp_c * \Delta T_c \quad (4.12)$$

Donde:

$Q_c$ = Calor sensible del cacao, [kJ]

$m_s$ = Masa seca de cacao, [kg]

$cp_c$ = Calor específico del cacao, [J/ (kg K)]

$\Delta T_c$ = Diferencia de entre la temperatura inicial del cacao y la de secado, [s]

- **Cálculo del Calor sensible del agua**

El calor específico cambia según varía la temperatura por lo tanto se debe tener en cuenta para el calor sensible del agua. Por lo mencionado se determina la temperatura promedio que alcanza el proceso[29].

$$Q_{H_2O} = m_{H_2O} * cp_{H_2O} * \Delta T \quad (4.13)$$

Donde:

$Q_{H_2O}$ = Calor sensible del agua, [kJ]

$m_{H_2O}$ = Masa de agua a evaporarse, [kg]

$cp_{H_2O}$ = Calor específico del cacao, [kJ/ (kg\*K)]

$\Delta T$ = Diferencia de entre la temperatura inicial del cacao y la de secado, [K]

- **Cálculo del Calor latente**

Calor necesario para que el agua cambie de fase (líquido a vapor), durante el proceso, para ello se toma en cuenta la cantidad de agua que se vaporiza[31].

$$Q_L = m_{vapor} * H_L \quad (4.14)$$

Donde:

$Q_L$ = Calor latente del agua, [kJ]

$m_{vapor}$ = Masa de agua transformada en vapor, [kg]

$H_L$ = Calor latente de vaporización de agua, [kJ/kg]

- **Cálculo del Calor sensible en la base de la cámara**

El calor sensible que se genera en base de la cámara del acero inoxidable perforado al estar en contacto con los granos de cacao también sufre un cambio de temperatura. Por lo tanto, se tiene[29].

$$m_{base\ cam} = \frac{\pi}{4} * D^2 * \rho_{inox} * e_p \quad (4.15)$$

$m_{base\ cam}$ = Masa del plato perforado de acero inoxidable 304, [kg]

$D$ = Diámetro del plato, [m]

$\rho_{inox}$ = Densidad del acero inoxidable, [kg/m<sup>3</sup>]

$e_p$ = Espesor de la base de la cámara, [m]

- **Se procede al cálculo del calor sensible de la cámara**

$$Q_{plato} = m_{base\ cam} * c_{p_{inox}} * \Delta T \quad (4.16)$$

Donde:

$Q_{plato}$ = Calor sensible en el plato base de acero inoxidable, [kJ]

$m_{base\ cam}$ = Masa del plato perforado de acero inoxidable 304, [kg]

$c_{p_{inox}}$ = Calor específico del acero inoxidable, [J/(kg\*K)]

$\Delta T$ = variación de temperatura, [K]

- **Cálculo del Calor total**

$$Q_{\acute{u}til} = Q_{plato} + Q_L + Q_{H2O} + Q_C \quad (4.17)$$

$Q_{\acute{u}til}$ = calor útil en el proceso de secado, [kJ]

$Q_{plato}$ = Calor sensible en el plato base de acero inoxidable, [kJ]

$Q_L$ = Calor latente del agua, [kJ]

$Q_{H2O}$ = Calor sensible del agua, [kJ]

$Q_C$ = Calor sensible del cacao, [kJ]

#### 4.3.15 Cálculo de la Potencia por calor útil en el proceso de secado

Para obtener la potencia por calor útil se relaciona el calor útil y el tiempo de secado.

$$\dot{Q}_{util} = \frac{Q_{util}}{t_c} \quad (4.18)$$

Donde:

$\dot{Q}_{util}$  = Potencia necesaria para generar calor, [kW]

$Q_{util}$  = Calor útil en el proceso de secado, [kJ]

$t_c$  = Tiempo de secado a velocidad constante, [s]

#### 4.3.15 Cálculo de la Pérdida de calor por convección en el exterior

El flujo de aire se traslada de manera paralela a la superficie de la pared cilíndrica, esto al ingreso del flujo de aire caliente mediante la base perforada de acero inoxidable. Por lo tanto, el coeficiente de convección para este caso es:

Los valores para este caso se obtienen de la tabla A-15 del libro [31]. los valores con los cuales se trabaja son a una temperatura ambiente (20°C)

- **Cálculo del Número de Reynolds**

$$Re = \frac{\rho * D * v}{\mu} \quad (4.19)$$

Donde:

Pr = Número de Prandtl, [Adimensional]

$\mu$  = Viscosidad dinámica, [kg/m\*s]

k = Conductividad térmica, [W/m\*K]

$\rho$  = Densidad del aire, [kg/m<sup>3</sup>]

- **Cálculo del número de Nusselt**

$$Nu_{cil} = \frac{hD}{k} = 0.3 + \frac{0.62Re^{1/2}Pr^{1/3}}{[1 + (\frac{0.4}{Pr})^{1/4}]^{1/4}} [1 + (\frac{Re}{282000})^{5/8}]^{4/5} \quad (4.20)$$

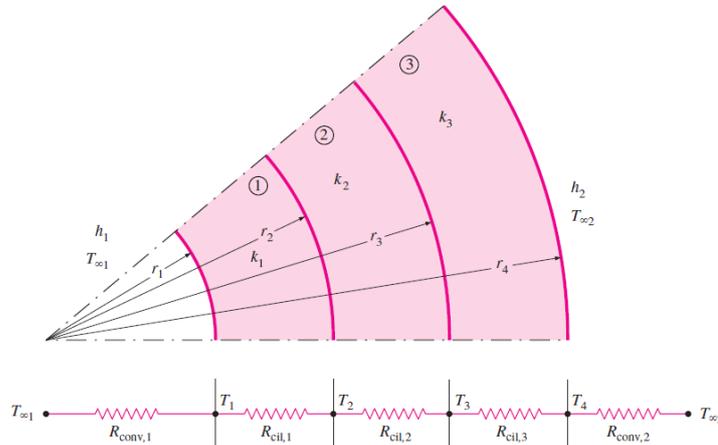
- **Cálculo del Coeficiente de convección en el exterior**

$$h_{cove} = \frac{k}{D} * Nu_{cil} \quad (4.21)$$

$$Q = hA(T_{s\ prome} - T_{\infty}) \quad (4.22)$$

#### 4.3.16 Cálculo del Circuito de resistencias térmicas

Se realiza un diagrama de resistencias térmicas de la máquina desde el interior o exterior conociendo las propiedades térmicas de los materiales que constituyen la máquina, esto se realizó para evitar pérdidas de calor y garantizar un óptimo rendimiento [31].



**Figura 4.3** Circuito de resistencias térmicas [31]

Donde:

$T_{\infty 1}$ = Temperatura en el interior [°C]

$T_{\infty 2}$ = Temperatura en el exterior [°C]

$h_1$ = Coeficiente de transferencia de calor por convección en el interior [W/(m<sup>2</sup>\*k)]

$h_2$ = Coeficiente de transferencia de calor por convección en el exterior [W/(m<sup>2</sup>\*k)]

$k_1$ = Conductividad térmica del acero galvanizado [W/m\*k]

$k_2$ = Conductividad térmica del material aislante (Fibra de vidrio) [W/m\*k]

$k_3$ = Conductividad térmica del recubrimiento (Lamina de tol) [W/m\*k]

#### 4.3.17 Cálculo de la resistencia total

$$R_T = (R_{cov1} + R_{cil1} + R_{cil2} + R_{cil3} + R_{cov2}) \quad (4.23)$$

$$R_T = \left( \frac{1}{h_1 * A_1} + \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi * L * k_1} + \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{2\pi * L * k_2} + \frac{\ln\left(\frac{r_4}{r_3}\right)}{2\pi * L * k_3} + \frac{1}{h_2 * A_4} \right)$$

$R_T$ = Resistencia total de las paredes del secador, [W/m<sup>2</sup>\*K]

$h_1$ = Coeficiente de convección en el interior, [W/m<sup>2</sup>\*K]

$h_2$ = Coeficiente de convección en el exterior, [W/m<sup>2</sup>\*K]

A= Área de la pared, [m]

$k_1$ = Conductividad térmica (acero inoxidable 304), [W/m\*K]

$k_2$ = Conductividad térmica (fibra de vidrio), [W/m\*K]

$k_3$ = Conductividad térmica, (acero galvanizado), [W/(m\*K)]

#### 4.3.18 Razón de la transferencia de calor

$$Q = \frac{(T_{\infty 1} - T_{\infty 2})}{RT} \quad 4.24$$

Q= Razón de la transferencia de calor, [W]

$T_{\infty 1}$ = Temperatura interior, [°C]

$T_{\infty 2}$ = Temperatura exterior, [°C]

RT= Resistencia térmica total, [°C/W]

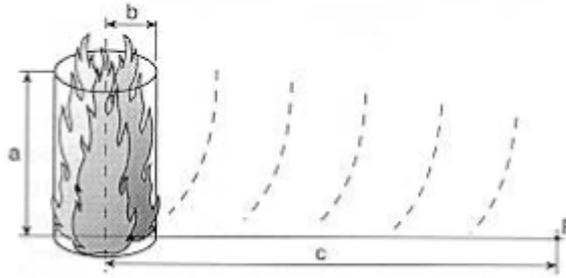
#### 4.4 DISEÑO DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR

El diseño del intercambiador de calor el cual suministrará la energía requerida para proporcionar un secado adecuado en la cámara de secado, para su selección se realizó el método de la diferencia de temperatura media logarítmica, posteriormente se iniciará con la selección del quemador y se culminará con la determinación del flujo volumétrico para seleccionar el ventilador.

##### 4.4.1 Quemador

La intensidad de la radiación térmica recibida depende de las condiciones atmosféricas (humedad ambiente), de la geometría de la llama (diámetro de la base de la llama, altura de la llama y distancia al punto irradiado) y de las características fisicoquímicas del producto en combustión [32].

La determinación de la intensidad de irradiación por unidad de superficie que se recibe en un punto (P), situado a una distancia (c) de la llama, como se puede ver en la (figura 20) de igual manera se estimará mediante la ecuación (4.24).



**Figura 4.4** Características de la radiación de la llama [32].

#### 4.4.1.1 Intensidad de irradiación a una determinada distancia

$$q = d * F * E \quad (4.25)$$

Donde:

q= Intensidad de irradiación a una determinada distancia [W/m<sup>2</sup>]

d= Coeficiente de transmisión atmosférico [m]

F= Factor geométrico de visión o de forma, Anexos

E= Intensidad media de radiación de la llama, Anexos

#### 4.4.1.2 Coeficiente de transmisión atmosférico

$$d = 2.02(Pv * X)^{-0.09} \quad (4.26)$$

Donde:

Pv= Presión del vapor de agua a temperatura determinada [Pa]

X= Longitud de recorrido de la radiación [m]

#### 4.4.1.3 Temperatura superficial

$$T_s = \sqrt[4]{\frac{q}{\epsilon * \sigma} + T_{amb}^4} \quad (4.27)$$

Donde:

T<sub>s</sub>=temperatura superficial, [K]

ε= Emisividad en esta ecuación es de 0.8 lo que significa que el 80% del calor aprovechado

σ= Constante de Stefan-Boltzman

T<sub>amb</sub>= Temperatura Ambiente, [K]

q= Intensidad de irradiación a una determinada distancia [W/m<sup>2</sup>]

#### 4.4.2 Cantidad necesaria de tubos para el intercambiador

Se pretende encontrar la cantidad de tubos necesarios para obtener 60°C o más a la salida del intercambiador en cual está diseñado para 14.04 kJ/s.

##### 4.4.2.1 Cálculo del calor generado por el quemador

Para realizar los cálculos se utiliza la siguiente ecuación en base al calor producido por el quemador.

$$Q_{quemador} = h * A_s * \Delta T m l \quad (4.28)$$

De donde

$h$ = coeficiente de transferencia de calor, [W/m<sup>2</sup>\*K]

$A_s$ = Área superficial de transferencia de calor, [m<sup>2</sup>]

$\Delta T$ = Diferencia de temperatura, [K]

##### 4.4.2.1 Cálculo del coeficiente de convección para un flujo de aire perpendicular a la superficie en contacto

$$h_{conv} = \frac{Nu * k}{D} \quad (4.29)$$

$h_{conv}$ = Coeficiente de convección para flujo de aire de secado perpendicular, [kJ/kg]

$Nu$ = Número de nusselt, [Adimensional]

$k$ = Conductividad térmica del material, [W/(m\*K)]

$D$ = Diámetro interior, [m]

##### 4.4.2.2 Temperatura pelicular

Para obtener las propiedades del aire se realiza el cálculo de la temperatura pelicular, Propiedades del Aire a (40°C) Tabla A-15 [31].

$$T_f = \frac{T_{ini} + T_{fin}}{2} \quad (4.30)$$

De donde:

$T_f$ =Temperatura pelicular, [°C]

$T_{ini}$ =Temperatura inicial, [°C]

$T_{fin}$ =Temperatura final, [°C]

#### 4.4.2.3 Cálculo del número de Reynolds

Mediante la siguiente ecuación se obtiene los valores del número de Reynolds

$$\text{Re} = \frac{\rho * V_{\text{max}} * D}{\mu} \quad (4.31)$$

Donde:

$\text{Re}_c$ = Reynolds, [Adimensional]

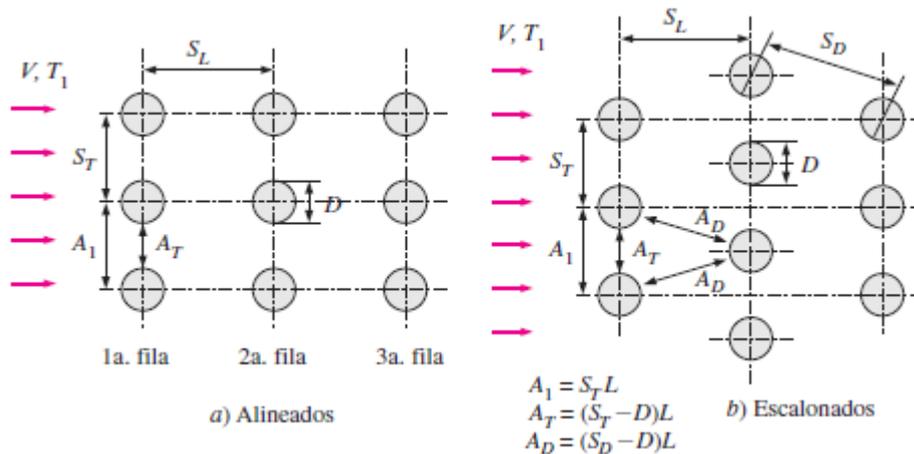
$\rho$ = Densidad de flujo, [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

$D$ = Diámetro interior, [m]

$V_{\text{max}}$ = Velocidad del fluido, [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

$\mu$ = Viscosidad dinámica del fluido, [ $\text{kg}/\text{m}^*\text{s}$ ]

#### 4.4.2.4 La distancia entre los tubos depende del diseño y espacio requerido.



**Figura 4.5** Distribución geométrica de los tubos en el intercambiador [31].

La distribución que se pretende utilizar es la escalonada; esto se debe a que el coeficiente de convección de cada línea se incrementa desde la primera línea hasta aproximadamente la última línea, después de la cual hay un cambio mínimo en base a la turbulencia, por tanto en el coeficiente de convección [31].

$$V_{\text{max}} = \frac{s_T}{s_T - D} * v \quad (4.32)$$

Donde:

$s_T$ = Distancia entre tubos

D= Diámetro entre tubos

v= Velocidad inicial con la que entra el aire

#### 4.4.2.5 Cálculo del número de nusselt

$$Nu_{cil} = 0.023 * Re^{0.8} Pr^{\frac{1}{3}} \quad (4.33)$$

Donde:

$Nu_{cil}$ = Nusselt de un cilindro, [Adimensional]

Re= Número de Reynolds, [Adimensional]

Pr= Número de Prandtl, [Adimensional]

#### 4.4.2.6 Cálculo de la temperatura media logarítmica conociendo el valor de la temperatura superficial

$$\Delta T_{ml} = \frac{(T_s - T_{Sali}) - (T_s - T_{Ini})}{\ln \frac{(T_s - T_{Sali})}{(T_s - T_{Ini})}} \quad (4.34)$$

De donde:

$T_s$ = Temperatura superficial

$T_{Sali}$ = Temperatura de salida del quemador

$T_{Ini}$ = Temperatura inicial

#### 4.4.2.7 Cálculo del área superficial

$$Q = h * A_s * \Delta T_{ml} \quad (4.35)$$

Donde

$\Delta T_{ml}$ = Diferencia de temperatura,

h= Coeficiente de convección,

$A_s$ = Área superficial,

$$A_s = \frac{Q}{h * \Delta T_{ml}}$$

#### 4.4.2.8 Cálculo del número de tubos para el área superficial.

$$N = \frac{A_s}{\pi * D * L} \quad (4.36)$$

Donde:

$A_s$ = Área superficial

$N$ = Número de tubos

$D$ = Diámetro de los tubos

$L$ = Longitud de los tubos

#### 4.4.3 Selección del ventilador

Se determinará el flujo volumétrico conociendo el flujo másico que se debe entregar al a la cámara de secado para proceder a la selección del ventilador.

##### 4.4.3.1 Flujo volumétrico

$$\dot{V} = \dot{m}_a * v_1 \quad (4.37)$$

De donde:

$\dot{V}$ = Flujo volumétrico

$\dot{m}_a$ = Flujo másico

$v_1$ =Volumen específico

##### 4.4.3.1 Volumen específico

$$v_1 = \frac{Ra * T1}{Pa} \quad (4.38)$$

Donde:

$Ra$ = Constante del Gas 0.287 [kJ/(kg\*K)]

$T1$ = Temperatura ambiente [K]

##### 4.4.3.2 Flujo másico de entrada del cacao húmedo

$$\dot{m}_{\text{cacao-húmedo}} = \frac{\text{masa de cacao}}{\text{tiempo}} \quad (4.39)$$

$m_{\text{cacao-húmedo}}$ = Flujo de cacao que ingresa a la cámara, [kg/s]

masa de cacao= Masa de cacao a secar, [kg]

Tiempo= Tiempo estimado, [s]

#### 4.4.3.3 Flujo sólido

$$\dot{m}_{sin} = (1 - X_{in}) * \dot{m}_{cacao-humedo} \quad (4.40)$$

$m_{sin}$ = Flujo sólido, [kg/s]

$m_{cacao-humedo}$ = Flujo de cacao que ingresa a la cámara, [kg/s]

$X_{in}$ =Porcentaje de humedad con la que el cacao entra a la cámara, [%]

#### 4.4.3.4 Porcentaje de agua a desprender

$$\dot{m}_g = \dot{m}_{cacao-humedo} - \dot{m}_{sin} \quad (4.41)$$

$m_g$ = Flujo de vapor, [kg/s]

$m_{cacao-humedo}$ = Flujo de cacao que ingresa a la cámara, [kg/s]

$m_{sin}$ = Flujo sólido, [kg/s]

#### 4.4.3.4 Flujo másico a la entrada de humedad

$$\dot{m}_{cin} = X_{in} * \dot{m}_{cacao-humedo} \quad (4.42)$$

$m_{cin}$ = Flujo de entrada de cacao húmedo, [kg/s]

$X_{in}$ = Humedad inicial presente en el cacao, [%]

$m_{cacao-humedo}$ = Flujo de cacao que ingresa a la cámara, [kg/s]

#### 4.4.3.4 Flujo másico de agua a la salida del secador

$$\dot{m}_{win} = \frac{\dot{m}_{sin} * X_{out}}{1 - X_{out}} \quad (4.43)$$

$m_{win}$ = Flujo másico de agua a la salida del secador, [kg/s]

$X_{out}$ = Humedad inicial presente en el cacao, [%]

$m_{sin}$ = Flujo sólido, [kg/s]

#### 4.4.3.4 Tasa de evaporación de agua

$$\Delta \dot{m}_{in} = \dot{m}_{cin} - \dot{m}_{win} = \frac{\dot{m}_{sin} * X_{out}}{1 - X_{out}} \quad (4.44)$$

$\Delta m_{in}$ = Tasa de evaporación de agua, [kg/s]

$m_{win}$ = Flujo másico de agua a la salida del secador, [kg/s]

$X_{out}$ = Humedad inicial presente en el cacao, [%]

$m_{cin}$ = Flujo de entrada de cacao húmedo, [kg/s]

$m_{sin}$ = Flujo sólido, [kg/s]

#### 4.4.3.4 Flujo másico del cacao

$$\dot{m}_a = \frac{\Delta \dot{m}_{in} * h_{fg} * \dot{m}_{cacao-humedo} * C_p cacao * (T_{out} - T_{in})}{h_2 - h_1} \quad (4.45)$$

$\Delta \dot{m}_{in}$  = Tasa de evaporación de agua, [kg/s]

$\dot{m}_{cacao-humedo}$  = Flujo de cacao que ingresa a la cámara, [kg/s]

$h_{fg}$  = Entalpia, [kJ/kg]

$T_{out}$  = Temperatura salida, [K]

$T_{in}$  = Temperatura entrada, [K]

## 4.5 DISEÑO DE PARTES MECÁNICAS

### 4.5.1 Diseño del Removedor

El removedor de paletas da un movimiento suave al cacao. Para ello se tiene un diámetro de 395mm y una altura de 500 mm, para ello se establece 1 paleta a cada lado con una distancia de 40 mm y el ancho de cada paleta de 20 mm, cabe recalcar que las fórmulas se apoyó bajo la literatura de [29].

- Cálculo del torque que ejerce las paletas
- Para el torque aproximado se establece el área de contacto sobre el cacao:

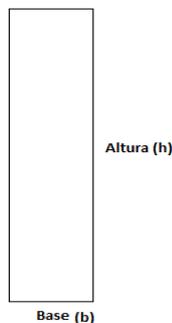


Figura 4.6 paletas

$$A_p = b * h \quad (4.46)$$

Donde:

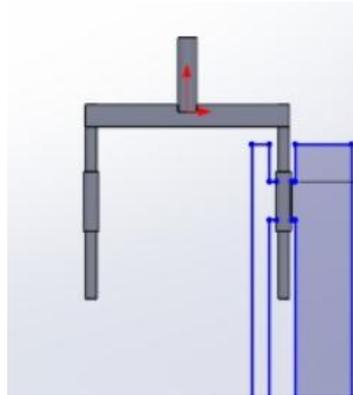
$A_p$ : Área de la sección transversal de la paleta, [m<sup>2</sup>]

b: base, [m]

h: altura, [m]

#### 4.5.2 Diseño de las Paletas

Cada paleta debe mover cierta cantidad de cacao según la trayectoria que se realice por medio de la trayectoria circular del removedor, la misma se compone de 2 paletas a cada lado divididas de manera simétrica al eje de rotación.



**Figura 4.6** removedor

EL volumen aproximadamente que remueve cada paleta se toma en cuenta el perímetro de la circunferencia a la que rota multiplicado por la sección transversal.

- Perímetro de la circunferencia.

$$P = \pi * d \quad (4.47)$$

Donde:

P= Perímetro de la circunferencia, [m]

d= Diámetro, [m]

- Volumen remoción

$$V = A_p x P \quad (4.48)$$

Donde:

V= Volumen de remoción, [m<sup>3</sup>]

A<sub>p</sub>: Área de la sección transversal de la paleta, [m<sup>2</sup>]

P= Perímetro de la circunferencia, [m]

#### 4.5.3 Cálculo de la Masa de cacao a remover

Para determinar la masa aproximada de cacao a remover por las paletas se ha considerado la densidad del grano de cacao húmedo:

$$m = \rho_{cacao} * V \quad (4.49)$$

Se obtiene

$m$ = Masa de cacao a remover, [kg]

$\rho_{cacao}$ = Densidad del grano de cacao húmedo, [kg/m<sup>3</sup>]

$V$ = Volumen de remoción, [m<sup>3</sup>]

#### 4.5.4 Cálculo de la Fuerza de remoción

Se considera la aceleración la gravedad de 9.81 m/s<sup>2</sup> a la que está expuesto los graos de cacao, es decir la fuerza de remoción seria la siguiente:

$$F = m * g \quad (4.50)$$

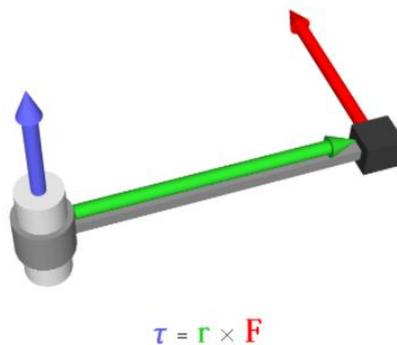
$F$ = Fuerza de remoción, [N]

$m$ = Masa de cacao a remover, [kg]

$g$ = Gravedad, [m/s<sup>2</sup>]

#### 4.5.5 Cálculo del Torque necesario para la remoción

Cálculo del torque o momento necesario para la remoción del cacao



**Figura 4.7** Diagrama de torque

Torque de remoción necesario para cada paleta

$$T = F \times r \quad (4.51)$$

T= Torque de remoción, [N\*m]

F= Fuerza de remoción, [N]

r= radio, [m]

Por lo tanto, el torque total de remoción es:

$$T_{total} = T_{1-1} + T_{2-2} + T_{3-3} \quad (4.52)$$

#### 4.5.6 Cálculo de la potencia del motor

Para el dimensionamiento del motor se define mediante la potencia y la velocidad del motor

$$P = \frac{T_{total} \times n_{rpm}}{716.2} \quad (4.53)$$

Donde:

P: Potencia total para el sistema de remoción (HP)

T<sub>total</sub>=Ttorque total de remoción, [N\*m]

n<sub>rpm</sub>= Velocidad angular de remoción considerada, [rpm]

#### 4.5.7 Cálculo del eje removedor

Se identifica que el eje para el removedor está sometido a una torsión, por lo tanto, el esfuerzo cortante por torsión es uniforme[35].

Se utiliza la siguiente ecuación para el diseño del eje[33].

$$De = \left( \frac{32n}{\pi} \sqrt{\left(\frac{K \cdot M}{S \cdot n}\right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{T}{Sy}\right)^2} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Donde:

De: Diámetro del eje, [m]

N= factor de seguridad, [Adimensional]

K=Factor de concentrador de esfuerzos

Sy: Límite de fluencia, [MPa]

T: Torsión máxima, [N\*m]

Para el dimensionamiento del eje no existe fuerzas transversales que causen flexión. En este diseño no se requiere el factor de concentración de esfuerzos en el término del esfuerzo cortante torsión, debido a que no genera efecto en el potencial de falla.

$$De = \left( \frac{32n}{\pi} \sqrt{\frac{3}{4} \left( \frac{T}{Sy} \right)^2} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (4.54)$$

Donde:

N: factor de seguridad es igual a 5 debido a que este valor mantiene confianza a las cargas y resistencia de los materiales.

Sy: Limite de fluencia del acero inoxidable

T: torsión a la que está expuesta el eje

- El diámetro mínimo para el eje es de 12 mm y para mantener un factor de seguridad de manera comercia se puede escoger de 16 o 22 mm acero inoxidable AISI 304

#### 4.5.8 Cálculo para el dimensionamiento de poleas

Se desea tener una velocidad baja para lo cual se tiene que realizar el dimensionamiento de poleas las cuales nos ayudaran con la disminución de la velocidad final del motor en conjunto con la caja reductora.

$$n_1 * D_1 = n_2 * D_2 \quad (4.55)$$

**Donde:**

$n_1$ = número de revoluciones del motor, [rpm]

$n_2$ = número de revoluciones a la entrada de la caja reductora, [rpm]

$D_1, D_2$ = Diámetro de poleas, [m]

## 4.6 CÁLCULO PARA EL DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA ELÉCTRICO

### 4.6.1 Cálculo para el dimensionamiento de protecciones eléctricas

Tiene como finalidad proteger a la máquina de cortocircuitos o sobretensiones y también a sus operarios al mismo tiempo

$$P = \sqrt{3} * V * I * \cos \theta$$

**Donde:**

P= Potencia del motor, [W]

V= Voltaje de la línea, [V]

I= Intensidad de la Línea, [A]

cosθ= Factor de potencia

Despejando la fórmula de la potencia se obtiene la intensidad nominal

$$I_n = \frac{P}{V * \sqrt{3} * \cos \theta} \quad (4.56)$$

**Donde:**

In=Intensidad de la Línea, [A]

P=Potencia del motor, [W]

V=Voltaje de la línea, [V]

cosθ= Factor de potencia

### 4.6.2 Cálculo para obtener la corriente de sobre carga

Se conoce como un exceso de consumo eléctrico donde la intensidad eléctrica que circula por un conductor sea mayor a la intensidad de corriente que soporta un conductor.

$$I_{sobre\ carga} = I_N * 1.1 \quad (4.57)$$

**Donde:**

I<sub>sobre carga</sub>= Intensidad de sobre carga, [A]

In=Intensidad de la Línea, [A]

#### 4.6.3 Cálculo para el dimensionamiento termo magnético

Para el cálculo de los térmicos se debe calcular la corriente de protección y se elige el térmico más cercano a los estándares comerciales. La fórmula para calcular la corriente de protección se tiene

$$I_p = 1.25 * I_{nominal} \quad (4.58)$$

**Donde:**

$I_p$ =Corriente de protección, [A]

$I_{nominal}$  =Corriente nominal, [A]

Nota: La capacidad de corriente del térmico debe ser inferior a la capacidad de corriente del conductor

## 5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

El prototipo experimental secador de cacao al tener un controlador de temperatura que permitirá un correcto proceso de secado durante un tiempo determinado, para las pruebas experimentales se lo realizo con una masa de cacao húmedo de una manera homogénea durante el intervalo de tiempo estimado. Se debe tener en cuenta los parámetros de funcionamiento a cumplir del prototipo experimental secador, en referencia a la norma INEN NTE 176 [28], para contemplar los parámetros necesarios se añadirá a continuación la siguiente tabla.

**Tabla 5.1** Parámetros de funcionamiento de la máquina

Parámetros	Cantidad	Norma
Masa a secar	23 kg	Cantidad mínima requerida
Humedad inicial del cacao	60%	Según la norma técnicas INEN- NTE 176
Humedad final del cacao	7% $\pm$ 2	Según la norma técnicas INEN- NTE 176
Temperatura de secado	60 °C	Según la norma técnicas INEN- NTE 176
Tiempo de secado	1.5 h	Acorde a la cantidad de materia prima

### 5.1 SELECCIÓN DE MATERIALES

En la selección de materiales ideales para la materialización del prototipo, se tuvo que tomar en cuenta factores que puedan respaldar el diseño del secador experimental de cacao para los cuales destacan, el contacto directo con la materia prima, el clima y el entorno de instalación.

#### 5.1.1 Cámara de secado

Por las razones mencionada en la cámara de secado se opta por seleccionar una plancha de acero inoxidable AISI 304 dado el manejo de alimentos y la cautela que se debe de tener con los mismos, también se optó por una capa de fibra de vidrio con un espesor de 3cm para evitar pérdidas mayores de temperatura y por último se contará con una plancha de acero dulce para la parte exterior de la cámara de secado, ver Anexo C e I.

#### 5.1.2 Eje y Paletas de remoción

En la remoción de cacao se utilizará un eje y paletas que ayudarán para que el cacao tenga un secado homogéneo, para lo cual se seleccionará un eje de acero inoxidable AISI 304 de 1 pulgada dadas las circunstancias que tendrán contacto directo con la materia prima, Ver Anexo J.

### 5.1.3 Intercambiador de calor

Se tiene también un intercambiador de calor en el cual se utilizará planchas de acero dulce y tubos de 3/4" de acero dulce, también contará con un recubrimiento de fibra de vidrio de 3cm con el cual se preservará el calor generado para provecharlo al máximo, Ver Anexo M y N.

### 5.1.4 Controlador de temperatura

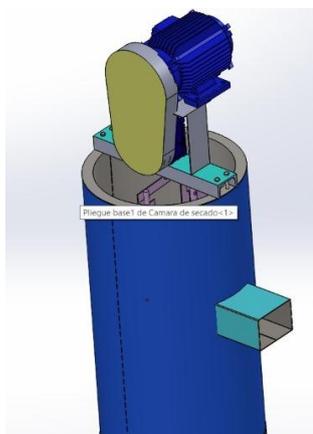
Para el controlador de temperatura se optó por seleccionar directamente de las múltiples variantes que se encuentra en el mercado eléctrico el cual se seleccionó un control de PID con ajuste manual o automático, para esto se tuvo en cuenta la parte económica y funcionabilidad que este nos proporcionaría en base a realizar un control PID desde cero, Ver Anexo H.

### 5.1.5 Blower Eléctrico

La selección del blower eléctrico está basado en el cálculo de flujo volumétrico y sus resultados en este caso por ser un flujo volumétrico bajo se procedió a seleccionar directamente el elemento de menores características ya que de igual manera rendirá sin ningún inconveniente en base a lo propuesto, ver Anexo L.

## 5.2 DISEÑO DEL PROTOTIPO

Partiendo de un boceto preliminar como referencia se inició con dar forma a la construcción del prototipo experimental de la máquina secadora de cacao para lo cual en base al diseño y análisis realizado se puede dar por hecho que cumplirá con los parámetros establecidos dentro de lo revisado con antelación



**Figura 5.1** Boceto preliminar

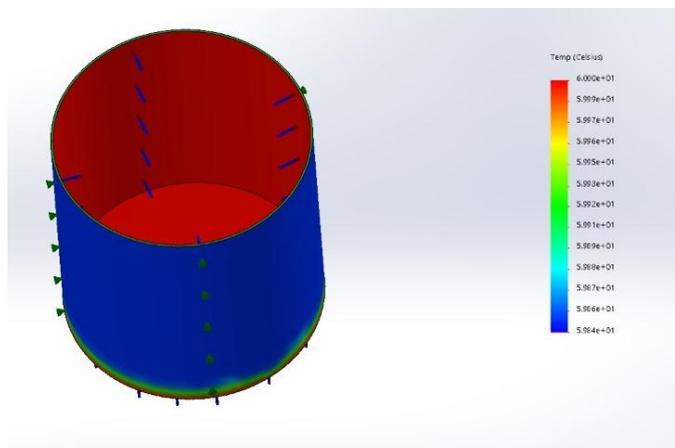
### 5.2.1 Resultados del diseño de la cámara de secado

Teniendo como referencia el volumen de cacao establecido por los autores se dio paso al dimensionamiento de la cámara de secado, la cual tendrá tres capas, cada una con un material diferente ya que el propósito es hermetizar la mayor cantidad de calor en la cámara para dar homogeneidad al secado y así tener una disminución considerable de tiempo.

**Tabla 5.2** Resultado del dimensionamiento térmico

Nº Ecu.	Parámetro a calcular	Ecuación	Resultado
4.1	Volumen de cacao por cada lote	$V_c = \frac{m_c}{\rho_{cacao}}$	$V_c = 0.0296 \text{ m}^3$
4.2	Masa seca de cacao	$m_s = m_c (1 - \%_{humid})$	$m_s = 9.2 \text{ kg}$
4.3	Masa con la humedad deseada (7%)	$m_{7\%} = \left( \frac{m_s}{1 - 0.07} \right)$	$m_{7\%} = 9.8 \text{ Kg}$
4.4	Densidad del aire seco en el sitio de estudio	$\rho_{sec} = \frac{1}{v_{esp}}$	$\rho_{sec} = 0.83 \text{ Kg/m}^3$
4.5	Velocidad másica del aire de secado	$V_{masica} = 3600 \text{ s} * V_s * \rho_{sec}$	$V_{masica} = 4482 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}$
4.6	Número de Reynolds	$Re = \frac{\rho * D * v}{\mu}$	$Re = 31643.426$
4.7	Número de Nusselt	$Nu_{cil} = 0.023 * Re^{0.8} Pr^{\frac{1}{3}}$	$Nu_{cil} = 82.118$
4.8	Coefficiente de convección para un flujo de aire perpendicular a la superficie de contacto con el cacao	$h_{conv} = \frac{Nu * k}{D}$	$h_{conv} = 5.764 \text{ W/m}^2 * ^\circ\text{C}$

Se procedió a realizar el análisis térmico de la cámara de secado con el fin de conocer el comportamiento térmico y los resultados son favorecedores ya que la parte interna tendrá el grado calorífico aceptable y a su vez se tendrá una temperatura ambiente en el exterior de la cámara.



**Figura 5.2** Análisis térmico de la cámara de secado

**Tabla 5.3** Resultado de pérdidas de calor

N° Ecu.	Parámetro a calcular	Ecuación	Resultado
4.9	Velocidad de secado por unidad de tiempo de manera constante Rc	$Rc = h_{cov} * \frac{T_{sec} - T_g}{H_{fg}}$	$Rc = 0.00108 \frac{kg}{m^2 * s}$
4.10	Área de secado	$As = 2\pi * r * h$	$As = 0.62 m^2$
4.11	Tiempo de secado	$tc = \frac{m_s * (X_i - X_c)}{A_s * R_c}$	$tc = 1.5h$
4.12	Calor sensible del cacao	$Qc = m_s * cp_c * \Delta T_c$	$Qc = 678.759 KJ$
4.13	Calor sensible del agua	$Q_{H2O} = m_{H2O} * cp_{H2O} * \Delta T$	$Q_{H2O} = 17239 kJ$
4.14	Calor latente	$Q_L = m_{vapor} * H_L$	$Q_L = 22193 kJ$
4.15	Masa del plato perforado de acero inoxidable	$m_{base cam} = \frac{\pi}{4} * D^2 * \rho_{inox} * e_p$	$m_{base cam} = 2.0106 kg$
4.16	Calor sensible en la base de la cámara	$Q_{base cámara} = m_{base cam} * cp_{inox} * \Delta T$	$Q_{base cámara} = 314.661 kJ$
4.17	Calor Total	$Q_{util} = Q_{base cámara} + Q_L + Q_{H2O} + Q_c$	$Q_{util} = 40425.619 kJ$
4.18	Potencia por calor útil en el proceso de secado	$\dot{Q}_{util} = \frac{Q_{util}}{tc}$	$\dot{Q}_{util} = 14.04 kW$

**Tabla 5.4** Resultado de Perdida de calor por convección en el exterior

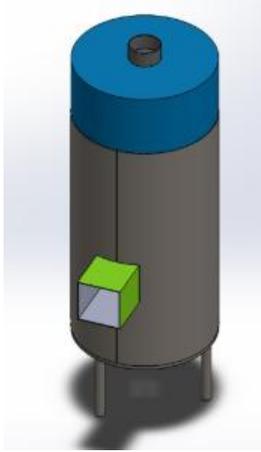
N° Ecu.	Parámetro a calcular	Ecuación	Resultado
4.19	Número de Reynolds	$Re = \frac{\rho * D * v}{\mu}$	$Re = 166241.45$
4.20	Cálculo del número de Nusselt	$Nu_{cil} = \frac{hD}{k} = 0.3 + \frac{0.62Re^{1/2}Pr^{1/3}}{[1 + (\frac{0.4}{Pr})^{1/4}]^{1/4}} [1 + (\frac{Re}{282000})^{5/8}]^{4/5}$	$Nu_{cil} = 309.31$
4.21	Coefficiente de convección en el exterior	$h_{cove} = \frac{k}{D} * Nu_{cil}$	$h_{cove} = 18.00 W/m^2 * K$
4.22	Calor sensible	$Q = hA(T_{s prome} - T_{\infty})$	$Q = 223.2 W$
4.23	Cálculo de la resistencia total	$R_T = (\frac{1}{h_1 * A_1} + \frac{\ln(\frac{r_2}{r_1})}{2\pi * L * k_1} + \frac{\ln(\frac{r_3}{r_2})}{2\pi * L * k_2} + \frac{\ln(\frac{r_4}{r_3})}{2\pi * L * k_3} + \frac{1}{h_2 * A_4})$	$RT = 1.069 K/W$
4.24	Razón de la transferencia de calor	$Q = \frac{(T_{\infty 1} - T_{\infty 2})}{RT}$	$Q = 37.41 W$

### 5.2.2 Resultados del dimensionamiento del intercambiador de calor

El diseño del intercambiador de calor es el que se encargara de entregar la energía adecuada para el secado en la cámara de secado, iniciando por un quemador, el intercambiador de tubos y así determinar el flujo volumétrico para la selección del ventilador.

**Tabla 5.5** Resultado para el diseño del intercambiador de calor

N° Ecuación	Parámetro a calcular	Ecuación	Resultado
4.25	Irradiación	$q = d * F * E$	$q = 1.885 \left[ \frac{kW}{m^2} \right]$
4.26	Coefficiente de transmisión atmosférica	$d = 2.02(P_v * X)^{-0.09}$	$d = 1.067 \text{ m}$
4.27	Temperatura superficial	$T_s = \sqrt[4]{\frac{q}{\epsilon * \sigma} + T_{amb}^4}$	$T_s = 197.31 \text{ }^\circ\text{C}$
4.28	Calor generado por el quemador	$Q_{quemador} = h * A_s * \Delta T_{ml}$	$Q_{quemador} = 14 \text{ kW}$
4.29	Coefficiente de convección	$h_{conv} = \frac{Nu * k}{D}$	$h_{conv} = 127.74 \frac{W}{m^2 * K}$
4.30	Temperatura pelicular	$T_f = \frac{T_{ini} + T_{fin}}{2}$	$T_f = 40 \text{ }^\circ\text{C}$
4.31	Número de Reynolds	$Re = \frac{\rho * V_{max} * D}{\mu}$	$Re = 51684.64 \text{ [adimensional]}$
4.32	Distancia entre tubos	$V_{max} = \frac{s_T}{s_T - D} * v$	$V_{max} = 34.630 \frac{m}{s}$
4.33	Número de Nusselt	$Nu_{cil} = 0.023 * Re^{0.8} Pr^{\frac{1}{3}}$	$Nu_{cil} = 121.887 \text{ [adimensional]}$
4.34	Temperatura media logarítmica	$\Delta T_{ml} = \frac{(T_s - T_{Sali}) - (T_s - T_{Ini})}{\ln \frac{(T_s - T_{Sali})}{(T_s - T_{Ini})}}$	$\Delta T_{ml} = 165.458^\circ\text{C}$
4.35	Cálculo del área superficial	$Q = h * A_s * \Delta T_{ml}$	$A_s = 0.25 \text{ m}^2$
4.36	Número de tubos para el área superficial	$N = \frac{A_s}{\pi * D * L}$	$N = 24$


**Figura 5.3** intercambiador de calor

**Tabla 5.6** Resultado para la elección del ventilador

N° Ecuación	Parámetro a calcular	Ecuación	Resultado
4.37	Flujo volumétrico	$\dot{V} = \dot{m}_a \cdot v_1$	$\dot{V} = 0.013 \text{ m}^3/\text{s}$
4.38	Volumen específico	$v_1 = \frac{Ra \cdot T1}{Pa}$	$v_1 = 1.16 \text{ m}^3/\text{Kg}$
4.39	Flujo másico de entrada del cacao húmedo	$\dot{m}_{\text{cacao-humedo}} = \frac{\text{masa de cacao}}{\text{tiempo}}$	$\dot{m}_{\text{cacao-humedo}} = 28.75 \text{ kg/h}$ $\dot{m}_{\text{cacao-humedo}} = 0.007986 \text{ kg/s}$
4.40	Flujo sólido	$\dot{m}_{\text{sin}} = (1 - X_{\text{in}}) \cdot \dot{m}_{\text{cacao-humedo}}$	$\dot{m}_{\text{sin}} = 11.5 \text{ kg/h}$
4.41	Porcentaje de agua a desprender	$\dot{m}_{\theta} = \dot{m}_{\text{cacao-humedo}} - \dot{m}_{\text{sin}}$	$\dot{m}_{\theta} = 0.0004 \text{ kg/s}$
4.42	Flujo másico a la entrada de humedad	$\dot{m}_{\text{c in}} = X_{\text{in}} \cdot \dot{m}_{\text{cacao-humedo}}$	$\dot{m}_{\text{c in}} = 17.25 \text{ kg/h}$
4.43	Flujo másico de agua a la salida del secador	$\dot{m}_{\text{w in}} = \frac{\dot{m}_{\text{sin}} \cdot X_{\text{out}}}{1 - X_{\text{out}}}$	$\dot{m}_{\text{w in}} = 0.735 \text{ kg/h}$
4.44	Tasa de evaporación de agua	$\Delta \dot{m}_{\text{in}} = \dot{m}_{\text{c in}} - \dot{m}_{\text{w in}} = \frac{\dot{m}_{\text{sin}} \cdot X_{\text{out}}}{1 - X_{\text{out}}}$	$\Delta \dot{m}_{\text{in}} = 0.00045 \text{ kg/s}$
4.45	Flujo másico del cacao	$\dot{m}_a = \frac{\Delta \dot{m}_{\text{in}} \cdot h_{\text{fg}} \cdot \dot{m}_{\text{cacao-humedo}} \cdot C_p \text{ cacao} \cdot (T_{\text{out}} - T_{\text{in}})}{h_2 - h_1}$	$\dot{m}_a = 0.011 \text{ Kg/s}$

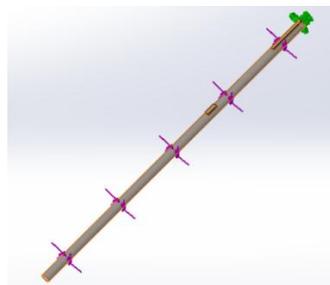
### 5.2.3 Resultados del dimensionamiento de partes mecánicas

Las partes mecánicas vendrían siendo el conjunto de removedores acompañados de su eje y selección del motor para la cual nos permitirá realizar el removido adecuado, para esto se tiene que tener presente que al trabajar a bajas rpm se dará un efecto homogéneo y las semillas de cacao logren el secado adecuado.

**Tabla 5.7** Resultado del diseño de partes mecánicas

Nº Ecu.	Parámetro a calcular	Ecuación	Resultado
4.46	Área de la sección transversal de la paleta	$A_p = b \times h$	$A_p = 0.001 \text{ m}^2$
4.47	Perímetro de la circunferencia	$P = \pi * d$	$P_{1-1} = 0.62 \text{ m}$
4.48	Volumen de remoción	$V = A_p \times P$	$V_{1-1} = 0.00062 \text{ m}^3$
4.49	Masa de cacao a remover	$m = \rho \text{ cacao} * V$	$m_{1-1} = 0.298 \text{ Kg}$
4.50	Fuerza de remoción	$F = m \times g$	$F_{1-1} = 2.92 \text{ N}$
4.51	Torque de remoción	$T = F \times r$	$T_{1-1} = 0.286 \text{ Nm}$
4.52	Torque total de remoción	$T_{\text{total}} = T_{1-1} + T_{2-2} + T_{3-3}$	$T_{\text{total}} = 0.57 \text{ Nm}$
4.53	Potencia total para el sistema de	$P = \frac{T_{\text{total}} * n_{\text{rpm}}}{716.2}$	$P = 372.85 \text{ W (0.5 HP)}$
4.54	Diámetro del eje	$D_e = \left( \frac{32n}{\pi} \sqrt{\frac{3}{4} \left( \frac{T}{S_y} \right)^2} \right)^{\frac{1}{3}}$	$D_e = 22 \text{ mm}$
4.55	Cálculo para el dimensionamiento de poleas	$n_1 * D_1 = n_2 * D_2$	$D_1 = 50.8 \text{ mm}$ $D_2 = 228.6 \text{ mm}$

Se desarrollará la simulación de análisis de torsión que se produce en el eje, para ello se coloca la torsión en el eje (flechas de color lila) y la parte que se acopla al motor para el giro del removedor.



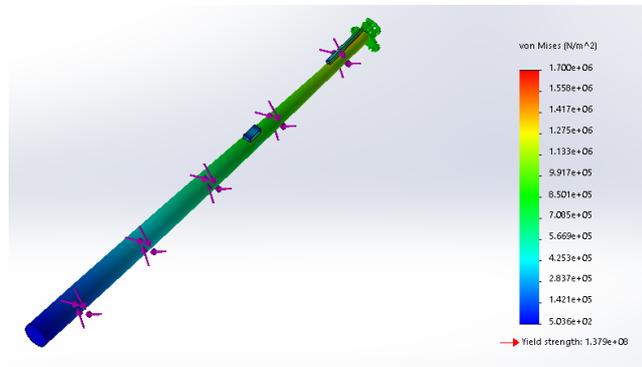
**Figura 5.4** Determinación de las fuerzas en el eje

Se establece una torsión de 0.57 Nm que es lo que se calculó en el apartado de diseño del eje, en el siguiente paso se crea un mallado promedio para proceder con la simulación.

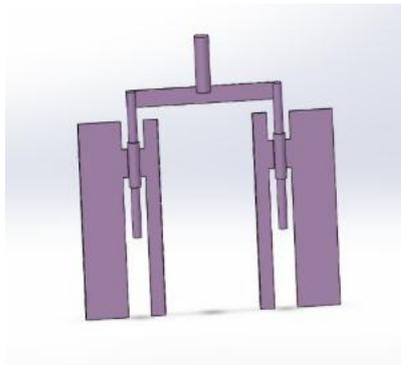


**Figura 5.5** Creación del mallado en el eje

Se presenta el análisis de torsión que va a sufrir el eje durante el giro del removedor con una torsión mínima en el lado inferior del eje, mientras que la parte superior del eje posee una torsión mayor pero que está adecuado para soportar la carga (granos de cacao) a remover.



**Figura 5.6** Análisis de torsión del eje



**Figura 5.7** paletas

## 5.2.4 Resultados del dimensionamiento de elementos eléctricos

**Tabla 5.8** Resultado del dimensionamiento del sistema eléctrico

N° Ecu.	Parámetro a calcular	Ecuación	Resultado
4.56	Intensidad de la Línea	$I_n = \frac{P}{V * \sqrt{3} * \cos \theta}$	2.17 A
4.57	Intensidad de sobre carga	$I_{\text{sobre carga}} = I_N * 1.1$	2.39 A
4.58	Corriente de protección	$I_p = 1.25 * I_{\text{nominal}}$	2.71A

### 5.3 PRUEBAS EXPERIMENTALES DEL SECADO DE CACAO

#### 5.3.1 Pruebas en secado natural

Con el propósito de obtener datos comparativos del secado natural de cacao y el secado que brindará el prototipo experimental, se procedió a realizar el secado natural o en tendal una misma cantidad de cacao en este caso 11.3kg de cacao con una humedad de 60%.



**Figura 5.8** Prueba de secado natural

Habiendo realizado la prueba con el secado natural se obtiene como resultado que, la cantidad de 11.3kg tiende a secarse en 2 días teniendo en cuenta las horas de sol optimas en efecto esto se reduce a 6 horas netas de sol por día.

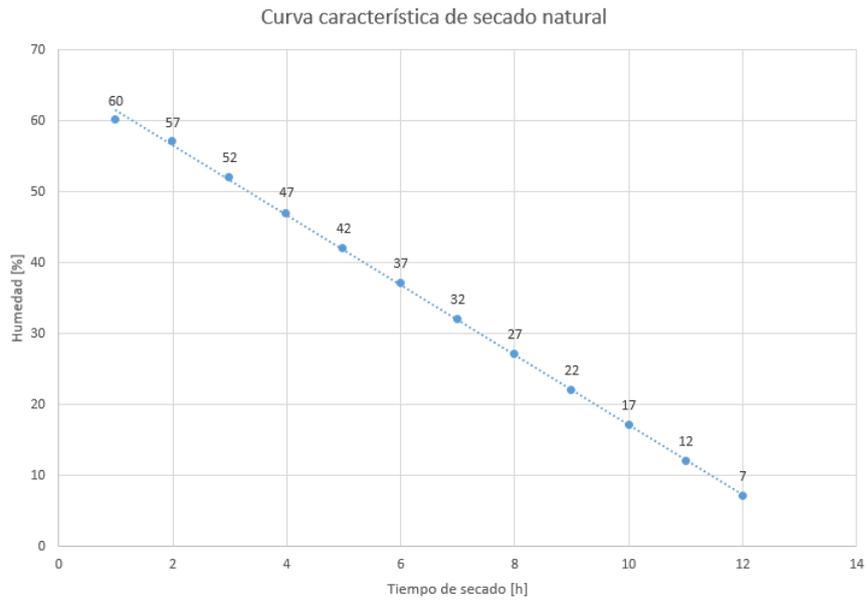
Se puede observar a continuación el pronóstico del tiempo en el cantón Puerto Quito que fue en donde se realizó las pruebas de este tipo de secado y también se podrá visualizar la curva de secado.

#### EL CLIMA PARA PUERTO QUITO EN JULIO EN DETALLE

beta

	Temperatura (°C)	Temperatura max (°C)	Temperatura min (°C)	Precipitación (mm)	Horas de sol (horas)
19. Julio	23 °C	27 °C	21 °C	2.5 mm	2.4
20. Julio	23 °C	27 °C	21 °C	2.4 mm	2.6
21. Julio	23 °C	26 °C	21 °C	2.6 mm	2.2
22. Julio	23 °C	27 °C	21 °C	1.5 mm	2.6
23. Julio	23 °C	26 °C	21 °C	2.0 mm	2.0

**Figura 5.9** Pronostico climático en el cantón Puerto Quito [34]



**Figura 5.10** Curva característica del secado natural



**Figura 5.11** Secado natural con 7% de humedad

### 5.3.2 Pruebas en secado con el prototipo experimental

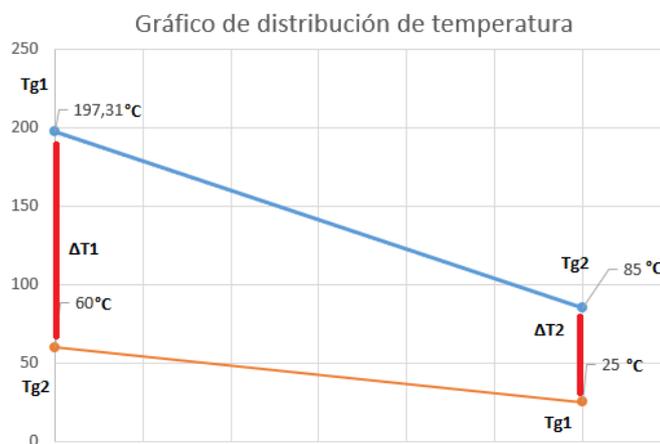
En las pruebas realizadas con el prototipo experimental se estima tener datos favorables a la hipótesis planteada y a las variables presentadas con antelación, cabe recalcar que el presente trabajo se realizó bajo una estricta supervisión para tener resultados favorables.

Teniendo una masa humedad de cacao igual a 60%, se procedió a dar inicio a la práctica para esto se debe tomar en cuenta también la temperatura de secado que es igual a 60°C.

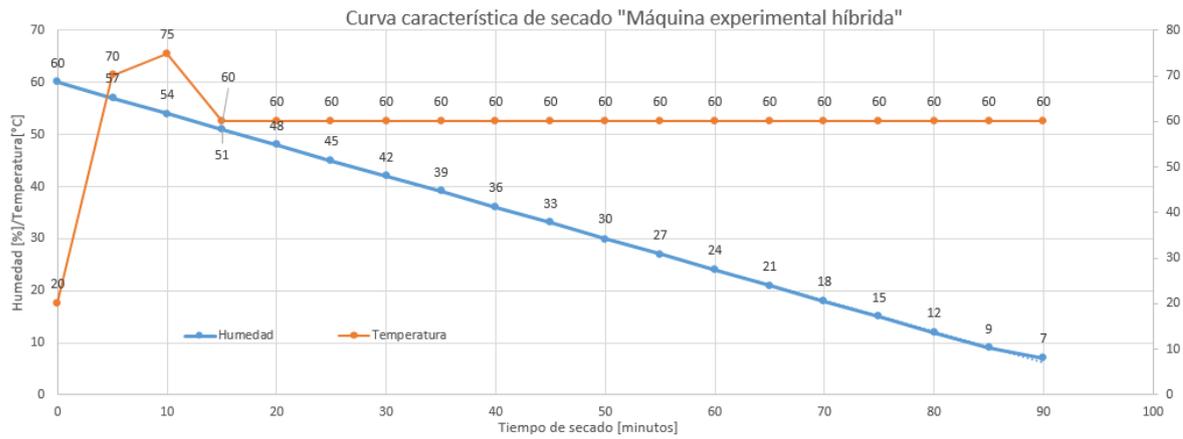
Como resultado en las muestras tomadas se constató que le proceso de secado en máquina es muy favorable en comparación con las tradicionales, se logró la reducción del tiempo de secado y un contenido de humedad adecuado y acorde a la literatura.



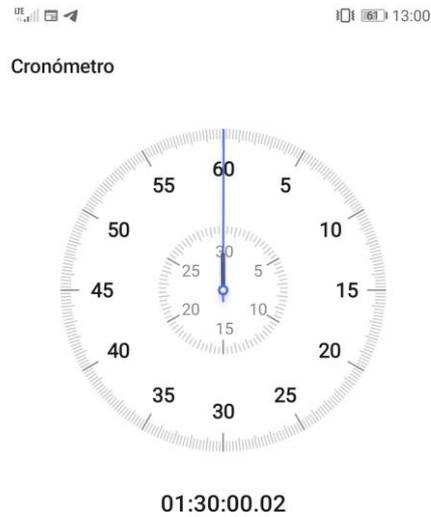
**Figura 5.12** Cacao con un 60% de humedad



**Figura 5.13** Grafico de distribución de temperaturas



**Figura 5.14** Curva de Temperatura y Humedad



**Figura 5.15** Tiempo de secado cronometrado



**Figura 5.16** Cacao seco con 7% de humedad

**Tabla 5.9** Resultados experimentales en función de variables

<b>Variables Independiente</b>			<b>Variables Dependientes</b>			
Masa de cacao [kg]	Contenido de humedad [%]	Temperatura de secado [°C]	Tiempo de secado [h]	Consumo energético con energía renovable [kW]	Consumo energético Sin energía renovable [kW]	Consumo de energía del removedor [kW]
11.3	60	60	1.5	38.87	40	0.56

En definitiva, con la práctica realizada con la máquina experimental y con las mediciones y cálculos empleados, tenemos los resultados finales los cuales dejan buenas expectativas en la finalización del proyecto ya que nuestras variables fueron las idóneas para tener resultados acertados dentro de la implementación de la máquina experimental y dando solución a nuestra hipótesis, por ende se puede afirmar que la máquina experimental secadora de cacao cumple a cabalidad con lo propuesto dentro de este trabajo.

## 6. COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN

### 6.1 Presupuesto

A continuación, se detallará brevemente el aspecto financiero donde se fijará el costo de los diferentes materiales y equipos a utilizar en la propuesta tecnológica para la materialización del prototipo experimental.

#### 6.1.1 Costos directos

Gastos con relación directa a materiales esenciales para la construcción del prototipo.

**Tabla 6.1** Rubros para la construcción de la cámara de secado e intercambiador de calor

<b>Materiales</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Cotos total</b>
Plancha de acero negro 2mm	2u	\$75	\$150
Tubos celulados ¾	4u	\$50	\$200
Plancha de acero al calor 3mm	1	\$50	\$50
Fibra de vidrio 3cm	4m	\$10	\$40
Plancha de acero brillante	1u	\$50	\$55
Plancha de acero inoxidable AISI 304	1u	\$180	\$180
Electrodos 60/11	100u	\$0.28	\$28
Electrodos 60/13	100u	\$0.38	\$38
Electrodos inoxidable	10	\$1	\$10
Suelda tic	5m	\$10	\$50
Caja de remaches 3/16"	50u	\$0.8	\$4
Discos de corte	2u	\$3.5	\$7
Piedra para desbaste	1u	\$5	\$5
Discos de lija N° 60	2u	\$3	\$6
Ejes	3u	\$25	\$75
Servicios varios (torno, electricidad)	-	\$50	\$50
Mano de obra	-	\$300	\$300
<b>Costo Total</b>			<b>\$1.248</b>

**Tabla 6.2** Rubros para la construcción del sistema de encendido y eléctrico

<b>Materiales</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Cotos Total</b>
Caja para conexiones	1u	\$30	\$30
Luces piloso	2u	\$2.5	\$5
Selector de 2 posiciones	2u	\$4	\$8
Pirómetro	1u	\$60	\$60
Sensor temperatura	1u	\$15	\$15
Relé de 8 puntos y base	1u	\$18	\$18
Quemador	1u	\$30	\$30
Modulo controlador PID	1	\$50	\$50
Solenoides	1	\$45	\$45
Juego de bujías, sensor piloto	1	\$50	\$50
Varios(cable, terminales, riel, canaleta)	1u	\$30	\$30
Mano de obra	-	\$50	\$50
<b>Costo Total</b>			<b>\$391</b>

### 6.1.2 Costos indirectos

Costos indirectos que influenciaron en la construcción del prototipo.

**Tabla 6.3** Rubros de transporte y varios

Insumo	Detalle	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Transporte	Santo domingo-Ambato	8 días	\$6	\$48
Transporte	Ambato-Huambaló	20 días	\$2	\$40
Varios	Cacao, combustible, peajes e imprevistos	-	\$100	\$100
<b>Costo Total</b>				<b>\$188</b>

### 6.1.3 Costo total de implementación

El costo total de la implementación será la suma de los diferentes costos planteados con antelación a detalle.

**Tabla 6.4** Costo total de implementación

Detalle	Costos
Costo de materiales para la construcción de cámara de secado e intercambiador de calor	\$1.248
Costo de materiales para la construcción del sistema de encendido y eléctrico	\$391
Rubros de transporte y varios	\$188
<b>Costo Total</b>	<b>\$1827</b>

## **7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **7.1 Conclusiones**

- La máquina experimental para el secado de cacao, se diseñó con las siguientes características: volumen máximo de 23kg, temperatura de secado 60°C, flujo de GLP 3kg/h, flujo volumétrico de aire 192m<sup>3</sup>/h.
- El consumo de energía térmica para el secado de cacao sin el uso de energía solar es de 40kW y con el uso de energía solar se reduce a 38.87kW.
- El tiempo de secado con el uso de la máquina experimental es de 1.5 horas comparado con el secado en tendales que es de 6 horas, como consecuencia tenemos una reducción del 75% en referencia al secado en tendales.
- El costo total de la máquina se obtuvo teniendo en cuenta el gasto de materiales, mano de obra y gastos adicionales, el valor total es de \$1827.

### **.2 Recomendaciones**

- Proceder al secado de cacao en un grado ideal de humedad, ya que al utilizar cacao con un grado mayor de humedad se tiende a tener un tiempo de secado fuera de lo normal y a su vez la utilización de energía se incrementará y no es favorable ya que el fin es economizar recursos y tener mejores resultados.
- No exceder el límite de temperatura establecida ya que al hacerlo el cacao podrá entrar en una fase de cocción o a su vez podría quemarse.
- El uso de aceros inoxidable es importante para el secado de cacao ya que es directamente campo alimenticio y al no utilizar este tipo de acero puede causar complicaciones de salud en procesos posteriores.

## 7. BIBLIOGRAFIA

- [1] Senplades, “Plan Nacional de Desarrollo 2017 – 2021 Toda una Vida,” pp. 1–148, [Online]. Available: [https://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/10/PNBV-26-OCT-FINAL\\_0K.compressed1.pdf](https://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/10/PNBV-26-OCT-FINAL_0K.compressed1.pdf).
- [2] N. M. Chinenye, “Effect of Drying Temperature and Drying Air Velocity on the Drying Rate and Drying Constant of Cocoa Bean,” *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, vol. 0, no. 0, 2009.
- [3] H. Eduardocastillo and C. C. Aristizabal, “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN GRANO DE CACAO,” [Online]. Available: <http://repositorio.aunar.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/20.500.12276/39/Art.IM.103A.pdf?sequence=4&isAllowed=y>.
- [4] J. A. Caballero Cava, “Diseño De Una Secadora De Cacao Para Almacenaje Con Capacidad De 2 T/Dia,” p. 114, 2015, [Online]. Available: <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/6199>.
- [5] Anecacao Ecuador, “Historia del Cacao .” <http://www.anecacao.com/es/quienes-somos/historia-del-cacao.html> (accessed Apr. 21, 2021).
- [6] PRO ECUADOR, “Cacao café y elaborados.” <https://www.proecuador.gob.ec/agroindustria-y-frutas-2-2/> (accessed Apr. 21, 2021).
- [7] Ministerio de Agricultura y Ganadería, “Cacao ecuatoriano es reconocido en los ‘Premios Internacionales del Cacao 2019.’” <https://www.agricultura.gob.ec/cacao-ecuatoriano-es-reconocido-en-los-premios-internacionales-del-cacao-2019/> (accessed Apr. 21, 2021).
- [8] CAMAE, “En el 2019 se prevé exportar 330.000 toneladas métricas de cacao - Camae.” <http://www.camae.org/economia-del-ecuador/en-el-2019-se-preve-exportar-330-000-toneladas-metricas-de-cacao/> (accessed Apr. 21, 2021).
- [9] Genesis Vera, “Tipos de cacao: forastero, criollo y trinitario .” <https://www.cocinayvino.com/mundo-gourmet/tipos-cacao-forastero-criollo-trinitario/> (accessed Apr. 21, 2021).
- [10] Poscosecha Cacao, “APLICACIÓN DE BUENAS PRÁCTICAS EN LA COSECHA DE CACAO.” <https://poscosechacacao.blogspot.com/2020/04/buenas-practicas-para-la-cosecha-de.html> (accessed Apr. 21, 2021).
- [11] Poscosecha Cacao, “POSCOSECHA CACAO .” <https://poscosechacacao.blogspot.com/2020/12/poscosecha-cacao.html> (accessed Apr. 21, 2021).
- [12] Poscosecha Cacao, “LA FERMENTACIÓN DEL CACAO.” <https://poscosechacacao.blogspot.com/2017/08/fermentacion.html> (accessed Apr. 21, 2021).
- [13] Poscosecha Cacao, “MÉTODOS DE SECADO DE CACAO .” <https://poscosechacacao.blogspot.com/2017/08/metodos-de-secado-de-cacao.html> (accessed Apr. 21, 2021).
- [14] B. H. Pourhamid, “PROPUESTA PARA EL USO DE TIPOS DE SECADO DE CACAO CON SU INSIDENCIA EN LA CALIDAD DEL GRANO,” p. 122, 2013.
- [15] P. P. Rosero, “Secado artificial de cacao . Estado del arte,” *Prim. Congr. Sales. Ciencia, Tecnol. e Innovación para la Soc.*, 2013.
- [16] P. Fito Maupoey, A. M. Andrés Grau, A. M. Albors Sorolla, and J. M. Barat Baviera, “Introducción Al Secado De Alimentos Por Aire Caliente,” *Introd. Al Secado Aliment. Por Aire Caliente*, p. 211, 2001.

- [17] M. Esther and R. López, “Diseño E Implementación De Un Sistema Rotatorio De Flujo Constante Para Secado De Cacao Utilizando Transferencia De Calor Por Convección Y Control Predictivo Basado En Modelo. Autores:,” p. 198, 2012, [Online]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/3633/1/UPS-GT000348.pdf>.
- [18] A. Abarca and M. Aldaz, “Diseño y Construcción de un secador rotatorio para la obtención de escamas PET,” p. 134, 2014, [Online]. Available: <http://dspace.espace.edu.ec/handle/123456789/3408>.
- [19] G. I. Dryers, “MODEL Secadoras de Granos Dryers Secadora Continua de Granos Secadora continua de columnas Continuos flow columns grain dryer,” pp. 4–5.
- [20] Z. Aguirre, “Diseño y Construcción de un Secador de Granos con Gas Licuado de Petróleo (GLP) para la asociación de cafeteros del cantón Yanzatza pertenecientes a APEOSAE; de un quintal de capacidad,” *Univ. Nac. Loja*, p. 62, 2014, [Online]. Available: [http://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/17025/1/TESIS\\_WILSON\\_FERNANDO.pdf](http://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/17025/1/TESIS_WILSON_FERNANDO.pdf).
- [21] Jorge Marcelo Siguencia Ávila, “EVALUACION DE UN SECADOR SOLAR INCLINADO CON ABSORBEDOR DE ZEOLITA PARA GRANOS DE CACAO CCN51 TESIS,” 2013.
- [22] J. Quintanar and R. Roa, “Evaluación térmica y financiera del proceso de secado de grano de café en un secador solar activo tipo invernadero \* Thermal and financial evaluation of the drying process of coffee bean in a active solar dryer type greenhouse Resumen Introducción,” vol. 8, pp. 321–331, 2017.
- [23] J. Teixeira Da Silva and F. Malpica Pérez, “Desarrollo de un modelo matemático para dimensionar un deshidratador solar directo de cacao,” *Ing. Mecánica*, vol. 19, no. 1, pp. 30–39, 2016.
- [24] M. E. N. Ciencias, “Caracterización y evaluación de la eficiencia térmica y de secado en un deshidratador híbrido (solar - gas),” 2011.
- [25] Grammer Solar; Universidad Técnica Federico Santa María; Instituto de Medio Ambiente; Universidad Adventista de Chile, “Sistemas solares de aire caliente para el secado de productos agrícolas en Chile,” *Coop. Alem. Dtsch. Zusammenarbeit*, pp. 1–81, [Online]. Available: [https://www.grammer-solar.com/images/Chile/develoPPP\\_SecadoSolarChile2018.pdf](https://www.grammer-solar.com/images/Chile/develoPPP_SecadoSolarChile2018.pdf).
- [26] C. M. O. V. S. C. L. GERMÁN, “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA SECADORA AUTOMÁTICA PARA CACAO A BASE DE AIRE CALIENTE TIPO ROTATORIO PARA UNA CAPACIDAD DE 500 KG,” 2017.
- [27] Guamushig Piray Patricio Hernán Guanotasig Tamayo Luis Enrique, ““Diseño e implementación de un secador híbrido de cacao fino de aroma para la finca ‘Santa María’ ubicada en la provincia de Esmeraldas cantón Quinindé en la parroquia La unión,” *Univ. Técnica Cotopaxi*, vol. 1, p. 101, 2020, [Online]. Available: <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/4501/1/PI-000727.pdf>.
- [28] Servicio Ecuatoriano de Normalización, “NTE INEN 176 GRANOS DE CACAO. ,” Quito, 2018. Accessed: May 18, 2021. [Online]. Available: [https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte\\_inen\\_176-5.pdf](https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_176-5.pdf).
- [29] A. F. F. CASTRILLÓN CUEVA, *Diseño Y Construcción De Un Prototipo De Máquina Secadora De Cacao Para La Empresa Cacao 3H Ubicada En El Cantón Cumandá. SANGOLQUÍ*, 2016.
- [30] José A. Millán, “Psicrometría.” <http://www.sc.ehu.es/nmwmgaj/CartaPsy.htm> (accessed Jun. 09, 2021).
- [31] A. j. G. Yunus A. Cengel, “Transferencia de calor y masa Fundamentos y Aplicaciones,” vol. 4.

- [32] E. INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO, “NTP 326: Radiación térmica en incendios de líquidos y gases.” Accessed: Jul. 02, 2021. [Online]. Available: [https://www.cso.go.cr/legislacion/notas\\_tecnicas\\_preventivas\\_insht/NTP\\_326 - Radiacion termica en incendios de liquidos y gases.pdf](https://www.cso.go.cr/legislacion/notas_tecnicas_preventivas_insht/NTP_326_-_Radiacion_termica_en_incendios_de_liquidos_y_gases.pdf).
- [33] J. K. N. Richard G. Budynas, “Shigley’s Mechanical Engineering Design,” vol. 9, 2008.
- [34] “El tiempo en Puerto Quito en Julio de 2021: tabla de temperaturas y clima - Climate-Data.org.” <https://es.climate-data.org/america-del-sur/ecuador/provincia-de-pichincha/puerto-quito-25466/t/julio-7/> (accessed Jul. 24, 2021).
- [35] M. De Lucia y D. Assennato, “La ingeniería en el desarrollo - Manejo y tratamiento de granos poscosecha.” <http://www.fao.org/3/x5041s/x5041S09.htm> (accessed Jul. 11, 2021).
- [36] “Propiedades materiales aislantes, tipos y cuándo usarlos rehabilitación.” <https://ovacen.com/materiales-aislantes/> (accessed Jul. 11, 2021).

## 8. ANEXOS

**Anexo A:** Densidad de varios productos agrícolas [35]

<b>DENSIDAD APARENTE</b>	
<b>PRODUCTOS AGRICOLAS SOLIDOS</b>	<b>DENSIDAD (kg/m3)</b>
Alfalfa, granos	750 - 800
Algodón, granos con su fibra	420
Algodón, granos no apretados	100 - 120
Arroz cáscara	500 - 630
Arroz, gavillas	80- 120
Arroz blanqueado	800 - 850
Arroz de embarque (descascarado)	700 - 750
Avena	500 - 540
Cacahuete con cáscara para aceite	370 - 400
Cacahuete sin cáscara	600 - 620
Cacahuete con cáscara para consumo directo	270 - 300
Cacao (granos frescos)	900
<b>Cacao (granos fermentados)</b>	<b>775</b>
Cacao (granos secos)	635
Café (granos frescos)	620
Café comercial	715
Café (granos secos)	450
Cebada	550 - 690
Frijoles o habichuelas, granos	750 - 850
Guisantes	800- 880
Lino	600- 680
Maíz, granos	700- 820
Maíz, mazorcas peladas	450
Malta	530- 600
Mijo	700
Soja, granos	720 - 800
Sorgo, granos	670 - 760
Trigo	750 - 840
Harina	500 - 800

## Anexo B: Conductividad térmica de los materiales [31]

**TABLA A-4**

Propiedades de no metales sólidos

Composición	Punto de fusión, K	Propiedades a 300 K				Propiedades a varias temperaturas (K), k(W/m · K)/c <sub>p</sub> (J/kg · K)					
		ρ kg/m <sup>3</sup>	c <sub>p</sub> J/kg · K	k W/m · K	α × 10 <sup>6</sup> m <sup>2</sup> /s	100	200	400	600	800	1 000
Aluminio, óxido de, zafiro	2 323	3 970	765	46	15.1	450	82	32.4	18.9	13.0	10.5
Aluminio, óxido de, policristalino	2 323	3 970	765	36.0	11.9	133	55	26.4	15.8	10.4	7.85
Berilio, óxido de	2 725	3 000	1 030	272	88.0	—	—	940	1 110	1 180	1 225
Boro	2 573	2 500	1 105	27.6	9.99	190	52.5	18.7	11.3	8.1	6.3
Boro, fibra epóxica al compuesto (30% en volumen)	590	2 080	—	—	—	—	—	1 490	1 880	2 135	2 350
k,    a las fibras	—	—	—	2.29	—	2.10	2.23	2.28	—	—	—
k, ⊥ a las fibras	—	—	—	0.59	—	0.37	0.49	0.60	—	—	—
c <sub>p</sub>	—	—	1 122	—	—	364	757	1 431	—	—	—
Carbono	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Amorfo	1 500	1 950	—	1.60	—	0.67	1.18	1.89	21.9	2.37	2.53
Diamante, tipo IIa aislador	—	3 500	509	2 300	—	10 000	4 000	1 540	—	—	—
Grafito, pirolítico	2 273	2 210	—	—	—	21	194	853	—	—	—
k,    a las capas	—	—	—	1 950	—	4 970	3 230	1 390	892	667	534
k, ⊥ a las capas	—	—	—	5.70	—	16.8	9.23	4.09	2.68	2.01	1.60
c <sub>p</sub>	—	—	709	—	—	136	411	992	1 406	1 650	1 793
Grafito, fibra de compuesto epóxico (25% en vol.)	450	1 400	—	—	—	—	—	—	—	—	—
k, flujo de calor    a las fibras	—	—	—	11.1	—	5.7	8.7	13.0	—	—	—
k, flujo de calor ⊥ a las fibras	—	—	—	0.87	—	0.46	0.68	1.1	—	—	—
c <sub>p</sub>	—	—	935	—	—	337	642	1 216	—	—	—
Pirocerámico, Corning 9606	1 623	2 600	808	3.98	1.89	5.25	4.78	3.64	3.28	3.08	2.96
Silicio, carburo de	3 100	3 160	675	490	230	—	—	908	1 038	1 122	1 197
Silicio, bióxido de, cristalino (cuarzo)	1 883	2 650	—	—	—	—	—	880	1 050	1 135	1 195
k,    al eje c	—	—	—	10.4	—	39	16.4	7.6	5.0	4.2	—
k, ⊥ al eje c	—	—	—	6.21	—	20.8	9.5	4.70	3.4	3.1	—
c <sub>p</sub>	—	—	745	—	—	—	—	885	1 075	1 250	—
Silicio, bióxido de, policristalino (vidrio de sílice)	1 883	2 220	745	1.38	0.834	0.69	1.14	1.51	1.75	2.17	2.87
Silicio, nitruro de	2 173	2 400	691	16.0	9.65	—	—	905	1 040	1 105	1 155
Azufre	392	2 070	708	0.206	0.141	—	—	778	937	1 063	1 155
	—	—	—	—	—	403	606	—	—	—	—

Anexo C: Propiedades de los materiales aislantes [36]

	Denominación	Origen	Conductividad (λ) W/(m.K)	Factor de resistencia a la difusión del vapor de agua (μ)	Inflamable <sup>1</sup>	Precio aproximado €/m <sup>2</sup>	Formato	Medidas de protección en su instalación	Coste energético de producción MJ/kg <sup>2</sup>	Contenido de producto reciclado (0-3) <sup>3</sup>	Biodegradable <sup>4</sup>
	Lanas minerales (MW) Lana de roca (SW)	Mineral	0,03 - 0,05	1	NO	<5	Panel, rollo y a granel	Ojos, sistema respiratorio y piel	15 - 25	1	No
	Lanas minerales (MW) Lana de vidrio (GW)	Mineral	0,03 - 0,05	1 - 1,3	NO	<5	Panel, rollo y a granel	Ojos, sistema respiratorio y piel	15 - 50	2	No
	Poliestireno expandido (EPS)	Sintético	0,029 - 0,053	20 - 40	SI	<5	Panel y a granel	No	75 - 125	1	No
	Poliestireno extruido (XPS)	Sintético	0,025 - 0,04	100 - 220	SI	<15	Panel	Guantes	75 - 125	1	No
	Poliuretano o Polisocianurato (PUR)	Sintético	0,019 - 0,040	60 - 150	SI	<10	Panel y espuma	Ojos, sistema respiratorio y piel	70 - 125	1	No

## Anexo D: Calores específicos de ciertas sustancias [31]

**TABLA A-1**

Masa molar, constante de gas y calores específicos de ciertas sustancias

Sustancia	Masa molar $M$ , kg/kmol	Constante de gas $R$ , kJ/kg · K*	Calores específicos a 25°C		
			$c_p$ , kJ/kg · K	$c_v$ , kJ/kg · K	$k = c_p/c_v$
Aire	28.97	0.2870	1.005	0.7180	1.400
Amoniaco, NH <sub>3</sub>	17.03	0.4882	2.093	1.605	1.304
Argón, Ar	39.95	0.2081	0.5203	0.3122	1.667
Bromo, Br <sub>2</sub>	159.81	0.05202	0.2253	0.1732	1.300
Isobutano, C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	58.12	0.1430	1.663	1.520	1.094
<i>n</i> -Butano, C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	58.12	0.1430	1.694	1.551	1.092
Carbono, bióxido de, CO <sub>2</sub>	44.01	0.1889	0.8439	0.6550	1.288
Carbono, monóxido de, CO	28.01	0.2968	1.039	0.7417	1.400
Cloro, Cl <sub>2</sub>	70.905	0.1173	0.4781	0.3608	1.325
Clorodifluorometano (R-22), CHClF <sub>2</sub>	86.47	0.09615	0.6496	0.5535	1.174
Etano, C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	30.070	0.2765	1.744	1.468	1.188
Etileno, C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	28.054	0.2964	1.527	1.231	1.241
Fluoruro, F <sub>2</sub>	38.00	0.2187	0.8237	0.6050	1.362
Helio, He	4.003	2.077	5.193	3.116	1.667
<i>n</i> -Heptano, C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	100.20	0.08297	1.649	1.566	1.053
<i>n</i> -Hexano, C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	86.18	0.09647	1.654	1.558	1.062
Hidrógeno, H <sub>2</sub>	2.016	4.124	14.30	10.18	1.405
Kriptón, Kr	83.80	0.09921	0.2480	0.1488	1.667
Metano, CH <sub>4</sub>	16.04	0.5182	2.226	1.708	1.303
Neón, Ne	20.183	0.4119	1.030	0.6180	1.667
Nitrógeno, N <sub>2</sub>	28.01	0.2968	1.040	0.7429	1.400
Óxido nítrico, NO	30.006	0.2771	0.9992	0.7221	1.384
Nitrógeno, bióxido de, NO <sub>2</sub>	46.006	0.1889	0.8060	0.6171	1.306
Oxígeno, O <sub>2</sub>	32.00	0.2598	0.9180	0.6582	1.395
<i>n</i> -Pentano, C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	72.15	0.1152	1.664	1.549	1.074
Propano, C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	44.097	0.1885	1.669	1.480	1.127
Propileno, C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	42.08	0.1976	1.531	1.333	1.148
Agua, H <sub>2</sub> O	18.015	0.4615	1.865	1.403	1.329
Sulfuro, bióxido de, SO <sub>2</sub>	64.06	0.1298	0.6228	0.4930	1.263
Tetraclorometano, CCl <sub>4</sub>	153.82	0.05405	0.5415	0.4875	1.111
Tetrafluorometano (R-134a), C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> F <sub>4</sub>	102.03	0.08149	0.8334	0.7519	1.108
Trifluorometano (R-143a), C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> F <sub>3</sub>	84.04	0.09893	0.9291	0.8302	1.119
Xenón, Xe	131.30	0.06332	0.1583	0.09499	1.667

## Anexo E: Presión de vapor saturado en función de la temperatura [32]

Temperatura °C	Presión de vapor (Pa)	Temperatura °C	Presión de vapor (Pa)
0	600	19	2170
2	700	20	2310
4	800	21	2450
6	920	22	2610
8	1060	23	2770
10	1210	24	2940
11	1300	25	3130
12	1380	26	3320
14	1580	27	3520
15	1680	28	3730
16	1790	29	3950
17	1920	30	4190
18	2040		

**Anexo F:** Factor de visión geométrico para incendio [32]

Factor de visión horizontal, $F_h$										
a/b c/b	0.1	0.2	0.5	1.0	2.0	3.0	5.0	6.0	10.0	20.0
1.10	0.132	0.242	0.332	0.354	0.360	0.362	0.362	0.362	0.363	0.363
1.20	0.044	0.120	0.243	0.291	0.307	0.310	0.312	0.312	0.313	0.313
1.30	0.020	0.065	0.178	0.242	0.268	0.274	0.277	0.270	0.278	0.279
1.40	0.011	0.038	0.130	0.203	0.238	0.246	0.250	0.251	0.252	0.253
1.50	0.005	0.024	0.097	0.170	0.212	0.222	0.228	0.229	0.231	0.232
2.00	0.001	0.005	0.027	0.073	0.126	0.145	0.158	0.160	0.164	0.166
3.00	0.000	0.000	0.005	0.019	0.050	0.071	0.091	0.095	0.103	0.106
4.00	0.000	0.000	0.001	0.007	0.022	0.038	0.057	0.062	0.073	0.078
5.00	0.000	0.000	0.000	0.003	0.011	0.021	0.037	0.043	0.054	0.061
10.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.003	0.007	0.009	0.017	0.026
20.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.003	0.003
50.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

**Anexo F:** Intensidad media de radiación de la superficie de la llama (kW/m<sup>2</sup>) [32]

LÍQUIDOS CON $T_E < T_A$ (CHARCOS HIRVIENTES)	
Acetaldehido .....	32
Amoníaco .....	13
Butadieno .....	86
Butano .....	94
Bromuro de metilo .....	8
Butileno .....	93
Cloruro de etilo .....	14
Cloruro de metilo .....	14
Cloruro de vinilo .....	26
Dimetilamina .....	61
Etano .....	89
Etileno .....	89
Metano .....	95
Oxido de etileno .....	35
Monóxido de carbono .....	14
Propano .....	92
Propileno .....	93
Sulfuro de hidrógeno .....	20

## Anexo G: Higrómetro



### Higrómetro Termómetro Digital Con Sonda De 1.5m

---

Rango de temperatura: -50 ° c ~ 70 ° c  
Rango de humedad de medición: 10% RH ~ 99% RH  
Precisión de humedad: 5%  
Resolución de la pantalla de humedad: 1% de HR  
Exactitud de la temperatura: 1 ° C  
Voltaje de funcionamiento: 1.5V o baterías LR44 (no incluidas)  
Período de muestreo: 10S  
Dimensión: aprox. 48 x 28.5 x 15.2 mm  
Dimensión LCD: aprox. 40 x 22.5 mm  
Dimensiones de instalación: aprox. 46 x 27 x 13.5 mm

---

## Anexo H: Controlador de temperatura



- Entrada para Pt100 y termocoplas J / K / T, sin ningún cambio de hardware o recalibración
- Auto-sintonía de los parámetros PID
- Salidas: 2 relés SPST 1,5 A, 1 relé SPDT 3 A y pulso lógico 5 Vcc (ideal para accionar relés de estado sólido)
- Las salidas poseen 2 funciones programables: control o alarma
- Funciones de alarma: mínimo, máximo, diferencial, diferencial mínimo, diferencial máximo, sensor abierto
- Dos funciones de alarma dirigidas a una misma salida
- Fuente de alimentación conmutada 100 ~ 240 VCA, opcionalmente 24 Vcc
- Función de salida segura que permite al usuario establecer la condición de la salida de control en caso de fallo en el sensor
- Función LBD (Loop Break Detection). Se percibe fallas en la malla de control
- Entrada digital
- Menú de programación simplificado. Fácil operación por el operador
- Número de serie electrónico indeleble con 8 dígitos, accesible por el display
- Cuenta creciente y decreciente
- Intervalo de tiempo ajustable entre 00:00 a 99:59 (hh:mm ou mm:ss)
- Disparo del temporizador por entrada digital, SP, teclado o al habilitar el control de temperatura
- La salida vinculada al temporizador puede encenderse o apagarse al final del intervalo de tiempo
- Teclas de silicona
- Panel frontal: IP65
- Certificación UL y CE

## Anexo I: Plancha de acero inoxidable AISI 304

### Norma: AISI 304

#### Especificaciones Generales:

<b>ESPEORES</b>	desde 0,40-15mm	
<b>DIMENSIONES</b>	1220 x 2440mm (estándar)	
	1220 x otros largos (especial)	
<b>DESCRIPCIÓN DE ACUERDO A NORMA</b>	<b>JIS</b>	SUS 304
	<b>ASTM</b>	304
	<b>DIN</b>	4301



Descripción: Acero inoxidable aleado al cromo y níquel, muy resistente a la corrosión intergranular y a los ataques químicos del medio ambiente. Posee una buena resistencia a la corrosión del agua, ácidos y soluciones alcalinas si se emplea con superficie pulida a espejo. Se la puede encontrar con acabado ASTM 2B y 1.

COMPOSICIÓN QUÍMICA (%)								
C Max	Si Max	Mn	P Max	S Max	Ni	Cr	Mo	Otros
0,08	1	2	0,04	0,03	8 - 10,5	18 - 20	XX	XX

PROPIEDADES MECÁNICAS						
RESISTENCIA MECÁNICA		PUNTO DE FLUENCIA		Elongación % Min.	PRUEBAS DE DUREZA (MAX)	
Kg/mm <sup>2</sup>	Psi	Kg/mm <sup>2</sup>	Psi		ROCKWELL B	VICKERS
49	69500	18	25500	40	81,7	160

## Anexo J: Eje de acero inoxidable AISI 304

### Especificaciones Generales:

- Norma: AISI 304
- Descripción: Acero Inoxidable austenítico al cromo-níquel con bajo contenido de carbono. Resiste a la corrosión intercrystalina hasta 300 C. Resiste al efecto corrosivo del medio ambiente, vapor, agua y ácidos, así como de soluciones alcalinas, si se emplea con la superficie pulida espejo.
- Aplicaciones: Industrias alimenticias, cervecera, azucarera, utensillos domésticos, industria del cuero, farmacéutica, dental, etc...
- Largo: 6 mts



### COMPOSICIÓN QUÍMICA

%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Ni	%Cr
0 - 0,08	0 - 1	0 - 2	0 - 0,045	0 - 0,03	8 - 10,5	18 - 20

### PROPIEDADES MECÁNICAS

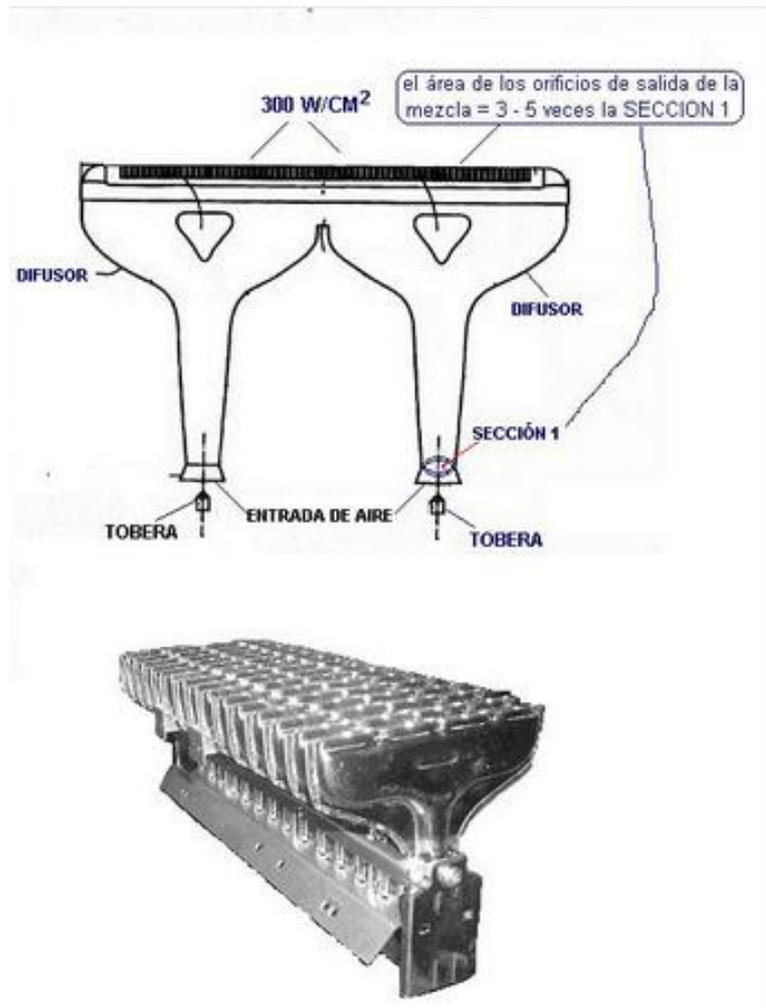
RESISTENCIA MECÁNICA (N/mm <sup>2</sup> )	PUNTO DE FLUENCIA (N/mm <sup>2</sup> )	Elongación % Min.	DUREZA ROCKWELL B
520	220	20	249 - 278

### DIMENSIONES

#### DIÁMETRO

3/16"
1/4"
5/16"
3/8"
1/2"
5/8"
3/4"
1"
1-1/4"
1-1/2"
2"
2-1/2"
3"
3-1/2"

Anexo K: Quemador tipo "a" con encendido automático



## Anexo L: Blower Eléctrico

Main Parameters						
Size	Rated Voltage(V)	Frequency(Hz)	Power(W)	Amp(A)	R.P.M	Flow Rate (M3/h)
2"	220/110	50/60	150	1.0	3000/3600	192
2-1/2"	220/110	50/60	280	1.6	3000/3600	390
3"	220/110	50/60	370	2.0	3000/3600	510
4"	220/110	50/60	550	3.0	3000/3600	2150



## Anexo M: Tubo mecánico Redondo

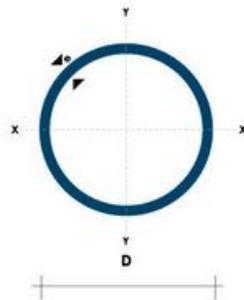
### Tubo mecánico redondo

Tubo de acero mecánico con forma redonda, norma de fabricación NTE INEN 2415; Calidad JIS 3141 SPCC SD; disponible en presentación de acero negro o acero galvanizado, lo puedes encontrar en espesores desde 0,8 a 1,5mm y se despacha en largos estándar de 6 metros, se puede trabajar otras longitudes bajo pedido. Usos en maquinaria pesada, carrocerías de automóviles, ensamble mecánico, etc. Solicita tu cotización para tubo redondo mecánico u otros tubos mecánicos de acero ahora.

#### Especificaciones Generales:

- **Norma:** NTE INEN 2415
- **Calidad:** JIS 3141 SPCC SD
- **Acabado:** Acero negro y galvanizado
- **Largo Normal:** 6.00m y medidas especiales
- **Dimensiones:** Desde 1/2" a 2 1/2"
- **Espesor:** Desde 0.80mm a 1.50mm

NOMENCLATURA	
Area	Área de la selección transversal del tubo, cm <sup>2</sup>
I	Momento de Inercia de la sección, cm <sup>4</sup>
W	Módulo resistente de la sección, cm <sup>3</sup>
r	Radio de giro de la sección cm



Diámetro Exterior (D)		Espesor		Peso		Propiedades	
		e	P	A	I	W	I
Pulg	mm	mm	Kg/6m	cm	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm
1/2	12.70	0.95	1.86	0.35	0.06	0.09	0.41
		1.10	2.10	0.40	0.07	0.11	0.41
		1.50	2.82	0.53	0.08	0.13	0.39
5/8	15.88	0.95	2.28	0.44	0.12	0.15	0.51
		1.10	2.64	0.51	0.14	0.18	0.52
		1.50	3.54	0.68	0.18	0.22	0.51
3/4	19.05	0.95	2.70	0.54	0.22	0.23	0.64
		1.10	3.18	0.62	0.25	0.26	0.63
		1.50	4.20	0.83	0.32	0.34	0.62
7/8	22.22	0.95	3.18	0.63	0.36	0.32	0.75
		1.10	3.66	0.73	0.41	0.37	0.75
		1.50	4.92	0.98	0.53	0.47	0.74
1	25.40	0.95	3.60	0.73	0.55	0.43	0.87
		1.10	4.20	0.84	0.62	0.49	0.86
		1.50	5.64	1.13	0.81	0.64	0.85
1 1/4	31.75	0.95	4.50	0.92	1.09	0.69	1.18
		1.10	5.22	1.06	1.24	0.78	1.08
		1.50	7.08	1.43	1.63	1.03	1.07
1 1/2	38.10	0.95	5.40	1.11	1.91	1.00	1.31
		1.10	6.24	1.28	2.19	1.15	1.31
		1.50	8.46	1.72	2.89	1.52	1.30
1 3/4	44.45	0.95	6.24	1.30	3.07	1.38	1.54
		1.10	7.26	1.50	3.52	0.16	1.53
		1.50	9.84	2.02	4.67	2.10	1.52
1 7/8	47.63	0.95	6.78	1.40	3.80	1.60	1.65
		1.10	7.80	1.61	4.35	1.83	1.64
		1.50	10.26	2.17	5.79	2.43	1.63
2	50.80	0.95	7.20	1.49	4.62	1.82	1.76
		1.10	8.34	1.72	5.30	2.09	1.76
		1.50	10.80	2.32	7.06	2.78	1.74

## Anexo N: Plancha laminada en caliente

### Plancha laminada en caliente

Planchas de acero negro laminadas en caliente, norma de fabricación NTE INEN 115; Calidad ASTM A 36 - SAE J 403 1008; disponible en presentación de Acero Negro, lo puede encontrar en espesor de 2mm hasta 12mm y se despacha en dimensión estándar de 4 x 8 pies y 6 metros o medidas especiales bajo pedido. Cotiza planchas laminadas en caliente u otras planchas de acero ahora.

#### Especificaciones Generales:

<b>Norma:</b>	NTE INEN 115
<b>Espesores:</b>	ASTM A36 - SAE J 403 1008
<b>Espesores:</b>	2mm a 12mm
<b>Rollos:</b>	Ancho 1000, 1220, 1500mm
<b>Planchas:</b>	4 x 8 pies y medidas especiales
<b>Acabado:</b>	Acero Negro

#### Calidad Comercial

Calidad	Composición Química							Propiedades Mecánicas			Norma Equivalente
	% C	%MN	%P	%S	%SI	%AL	%CU	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Alargamiento %	Doblado 180°	
JIS G3131 SPHC	0,08 0,13	0,3 0,6	0,02 max	0,025 max	0,05 max	0,02 0,08	0,2 max	270 min	29 min	0= Oe	SAE 1010 ASTM A-569
SAE 1008	0,03 0,1	0,25 0,5	0,02 max	0,025 max	0,04 max	0,02 0,08	0,2 max				
SAE 1012	0,1 0,15	0,3 0,6	0,02 max	0,025 max	0,03 max	0,02 0,08	0,2 max				

**MANUAL DE FUNCIONALIDAD Y MANTENIMIENTO**  
**IMPLEMENTACIÓN EXPERIMENTAL DE UN SECADOR HÍBRIDO PARA**  
**REDUCCIÓN DEL TIEMPO EN EL SECADO DE CACAO MEJORADO**

**MANUAL DE USO Y MANTENIMIENTO**

La máquina experimental híbrida secadora de cacao ha sido fabricada para tener un rendimiento y calidad en su correcto uso.

**IMPORTANTE**

Antes de conectar y poner en funcionamiento esta máquina se debe leer claramente este manual de uso y mantenimiento, una mala operación o un mal uso podría ocasionar riesgos o daños a la salud del usuario y fallas en la misma.

**RESUMEN**

En esta sección del proyecto se tratará sobre un manual de uso y mantenimiento adecuado del secador de cacao, donde el operario conocerá de primera mano lo que debe hacer o no debe hacer al momento de poner en marcha la máquina, este manual va dirigido para salvaguardar la seguridad y la salud del operario.

**1. INTRODUCCIÓN**

El plan de mantenimiento y uso del secador híbrido de secado de cacao mejorado, el cual es planteado como un método estratégico, lo que permite optimizar el uso de la máquina y su mantenimiento.

**1.1 Planteamiento del problema**

El área del mantenimiento industrial es fundamental en la ingeniería electromecánica, en razón a que después, de haber construido y puesto a punto un equipo o máquina, explotado de tal manera que se asegure la vida útil necesaria, que permita recupera.

La importancia de una buena gestión de la función empresarial del mantenimiento se debe a que es una manera segura de garantizar la disponibilidad del activo y el control de costos de este durante la vida útil o el periodo de uso.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo general**

Elaborar un plan de mantenimiento preventivo de un secador híbrido de secado de cacao mejorado, para mejorar su desempeño operacional, sin descuidar la seguridad y procurando minimizar el impacto ambiental.

### **2.2 Objetivos específicos**

Caracterizar la gestión actual del mantenimiento para identificar fortalezas y debilidades respecto a la máquina.

Establecer el sistema de información, incluyendo los indicadores de gestión necesarios, para asegurar la efectividad y el control del plan propuesto.

## **3. INFORMACIÓN DE SEGURIDAD**

Este manual contiene información general acerca del uso y mantenimiento de la máquina, lo cual ayudara al usuario a prevenir posibles anomalías o percances.

### **3.1. Descripción de la máquina**

El secador híbrido de cacao es un cilindro recubierto de fibra de vidrio y láminas de acero inoxidable en el cual se produce el secado de los granos de cacao o grano de almendras, en el interior de la cámara produce una temperatura que va desde 50°C en aumento hasta los 60°C, la temperatura del interior del secador se controla de manera automática mediante un pirómetro esto evitara el cambio brusco de temperatura, este proceso se realiza a través de un colector solar y de un intercambiador de calor que trabaja a energía fósil (GLP), los cuales se encargaran de generar suficiente flujo de energía calorífica, este último es de manera auxiliar se le utiliza cuando el flujo calorífico generado por el colector sea de una valor por debajo de 60°C, el grado de humedad del cacao debe oscilar en un rango de 7%,  $\pm 2$  para lograr obtener un producto de calidad.

El cacao siempre está en movimiento debido al sistema de remoción con el que cuenta el secador, que es una pieza fundamental ya que sin ello el cacao podría entrar en una etapa de cocción y así dañar su calidad, el sistema de remoción ayuda a que lo granos de cacao sequen de manera uniforme y homogéneo, una vez que el cacao llega a su punto óptimo de secado se procede a abrir la puerta de vaciado del cilindro y su posterior almacenamiento, todo este proceso puede tardar alrededor de 90 o 120 minutos dependiendo de las condiciones de los días o de la cantidad de cacao.

### 3.2. Funcionamiento de la máquina

La máquina cuenta con un tablero de control donde se controla de manera automática todo el proceso de secado, se debe verificar al momento de encender la máquina primero encender el intercambiador de calor luego el blower y el motor eléctrico para su correcto funcionamiento, la máquina a su vez cuenta con un sistema de luz piloto en donde se observa si la máquina y el motor están en funcionamiento.

En caso de suceder algún accidente la máquina cuenta con sistema de paro de emergencia donde se puede parar la operacionalidad del motor o del intercambiador de calor.

### 3.3 Modo de operar la máquina

#### 3.3.1 Encendido de la máquina, del pirómetro y el sistema automático del quemador

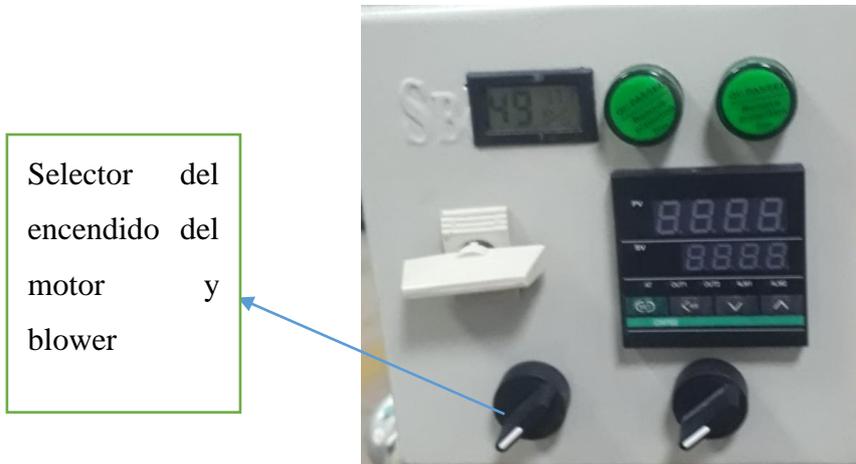


Selector de encendido del sistema automático del quemador y

*Fig1. Selector encendido de la máquina, del pirómetro y el sistema automático del quemador.*

El encendido de la maquina se realiza girando el primer selector en dirección horaria, eso hará que se encienda el pirómetro y el sistema automático del quemador.

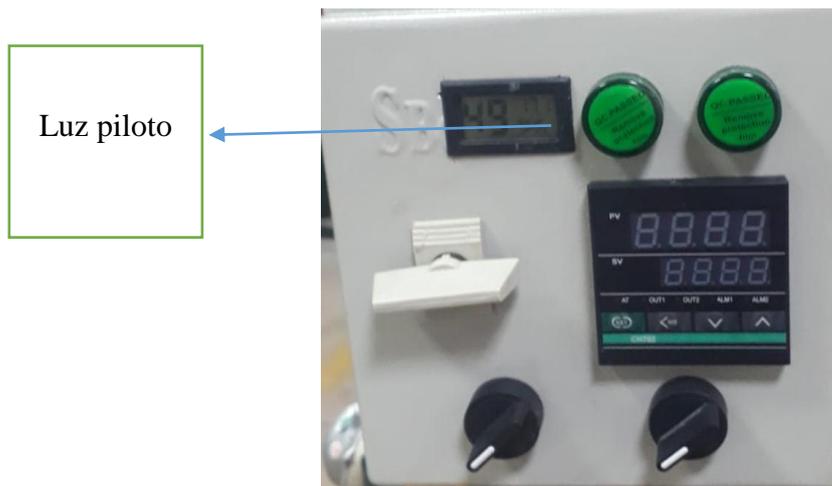
### 3.3.2 Encendido del motor y blower



*Fig2. Selector encendido del motor y blower.*

El encendido del motor y del blower, se realiza girando el selector en sentido horario.

### 3.3.3 Luces piloto



*Fig3. Luces piloto.*

Una vez encendido la máquina, se encenderá las luces piloto como muestra que está en operación la máquina.

### 3.3.4 Configuración del pirómetro para la temperatura

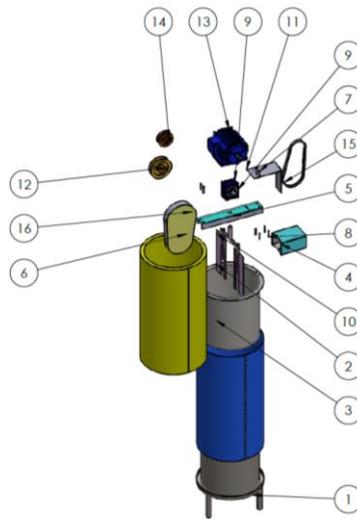


**Fig4. Configuración del pirómetro para la temperatura.**

- 1-  Reseteamos el pirómetro para poder elegir la temperatura deseada.
- 2-  Seleccionamos la manera en la cual se desea ajustar la temperatura.
- 3-  Ajuste de la temperatura de 10 grados en 10 grados.
- 4-  Ajuste de la temperatura de forma continua de unidad en unidad.
- 5-  Temperatura programada o deseada.
- 6-  Temperatura oscilante.

### 3.4 Descripción general de los componentes de la máquina

A continuación, se presenta la justificación para la elaboración del plan de mantenimiento preventivo por medio del diagnóstico de la maquinaria y el costo de operación.



*Fig5 Máquina híbrida secadora de cacao.*

Nº ELEMENTO	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Base de le secadora	Lámina de 2 mm	1
2	Cámara de secado	Lámina de 2 mm	1
3	Recubrimiento del secador	Lámina de 2 mm	1
4	Puerta de salida		1
5	Soporte de caja reductora		1
6	Fibra de vidrio		1
7	B18.2.3.2M - Formed hex screw, M8 x 1.25 x 50 --22WN		4
8	B18.2.3.2M - Formed hex screw, M6 x 1.0 x 50 --18WN		4
9	Caja reductora de rpm		1
10	Eje de la caja reductora		1
11	Base del motor		1
12	Polea grande		1
13	Motor eléctrico 1HP		1
14	Polea pequeña		1
15	Correa 2		1
16	Cubre poleas		1

#### 4. MANTENIMIENTO PREVENTIVO DEL SECADOR

TEM	DESCRIPCIÓN	ACTIVIDAD 1
1	Limpieza de la cámara de secado	Siempre al terminar su operabilidad
2	Calibrar el quemador	Siempre que el flujo sea inapropiado
3	Calibración del Pirómetro	Cuando emita falsas señales de temperatura
4	Revisión del motor	De 6 a 7 mese
5	Revisión del sistema eléctrico	Cada 12 meses
6	Revisión de la caja reductora	Cada 12 meses

#### 4.1. FALLAS AL MOMENTO DEL SECADO DEL CACAO Y SU SOLUCIÓN

ITEM	DESCRIPCIÓN	Causa	Solución
1	No enciendo el quemador	No este cargado el GLP	Llenar el GLP
2	No arranca el motor	Malas conexiones	Revisar la fuente de energía
3	Poco flujo de energía calorífica	Falla en la llama del quemador	Regular de acorde a la temperatura que se necesite
4	Remordimientos del sistema de remoción	Mucha cantidad de material	Pesar la cantidad necesaria de materia

#### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

##### 5.1 Conclusiones

La máquina híbrida de secadora de cacao está diseñada para secar una cantidad total de 23 kg de cacao, la máquina puede tardar un tiempo de 90 a 120 minutos todo esto depende del lugar en el cual se realiza el proceso.

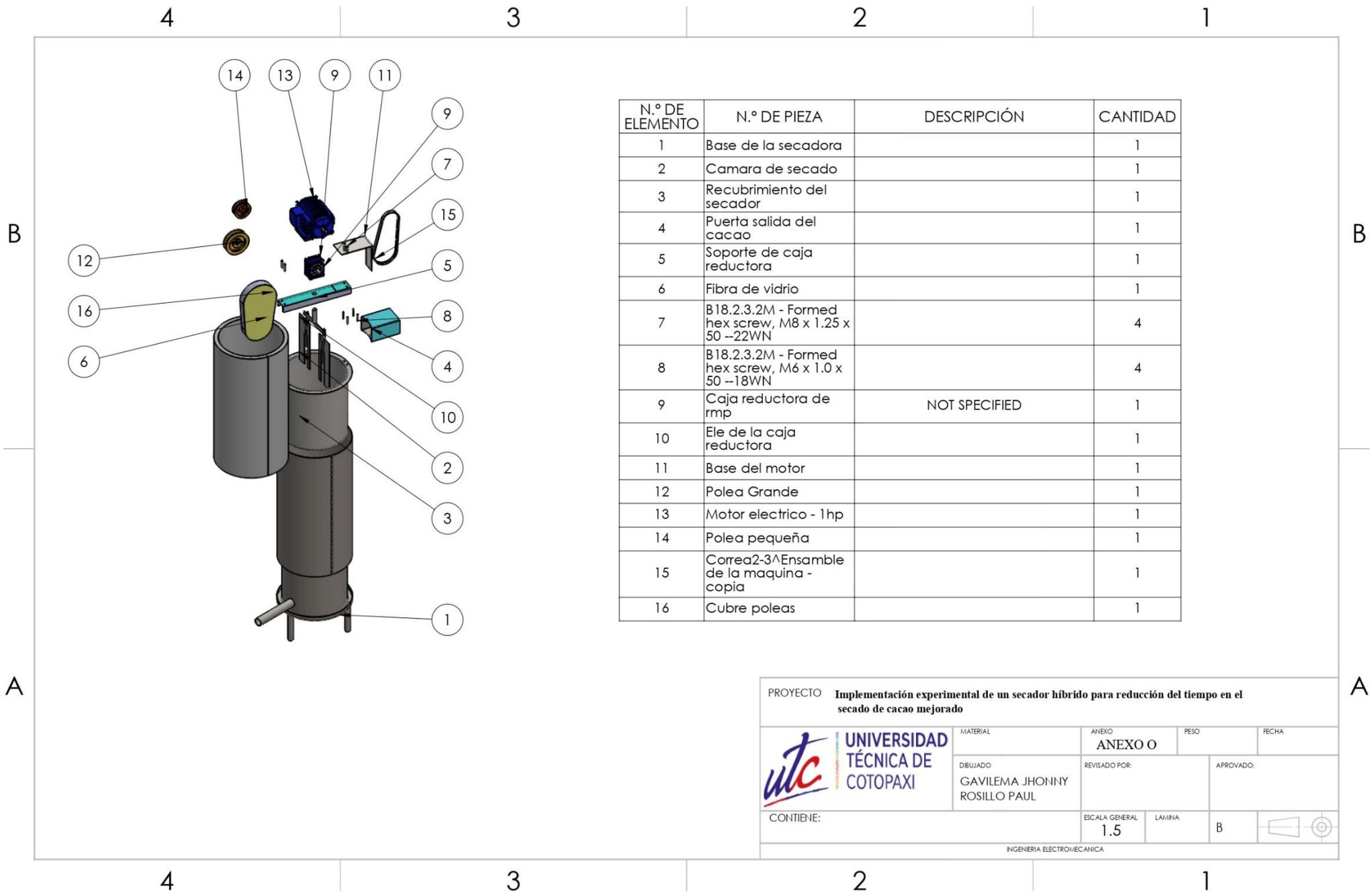
Con la ayuda de la máquina se pudo reducir el tiempo de secado del cacao de manera considerable y sin dañar el producto final.

##### 5.2 Recomendaciones

Se recomienda no exceder el límite al cual está diseñado la máquina, ya que si se excede podría causar fallos en el sistema de remoción.

El uso del equipo se protección adecuado.

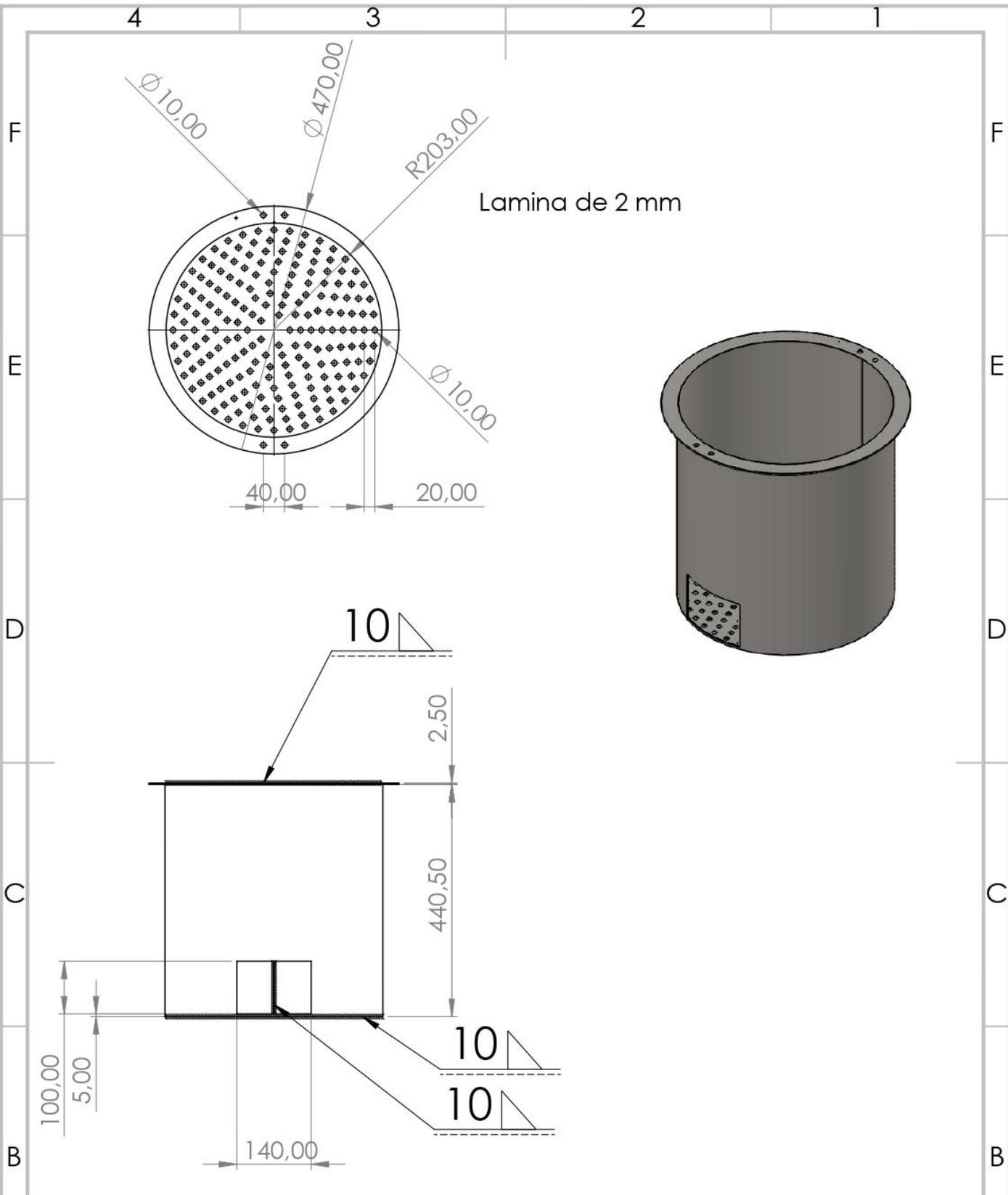
Estar pendiente en el tiempo que tarda todo el proceso.



PROYECTO **Implementación experimental de un secador híbrido para reducción del tiempo en el secado de cacao mejorado**

	MATERIAL	ANEXO	PESO	FECHA
	<b>ANEXO O</b>			
DIBUJADO GAVILEMA JHONNY ROSILLO PAUL	REVISADO POR:	APROVADO:		
CONTIENE:	ESCALA GENERAL 1.5	LAMINA	B	

INGENIERIA ELECTROMECANICA



Lamina de 2 mm

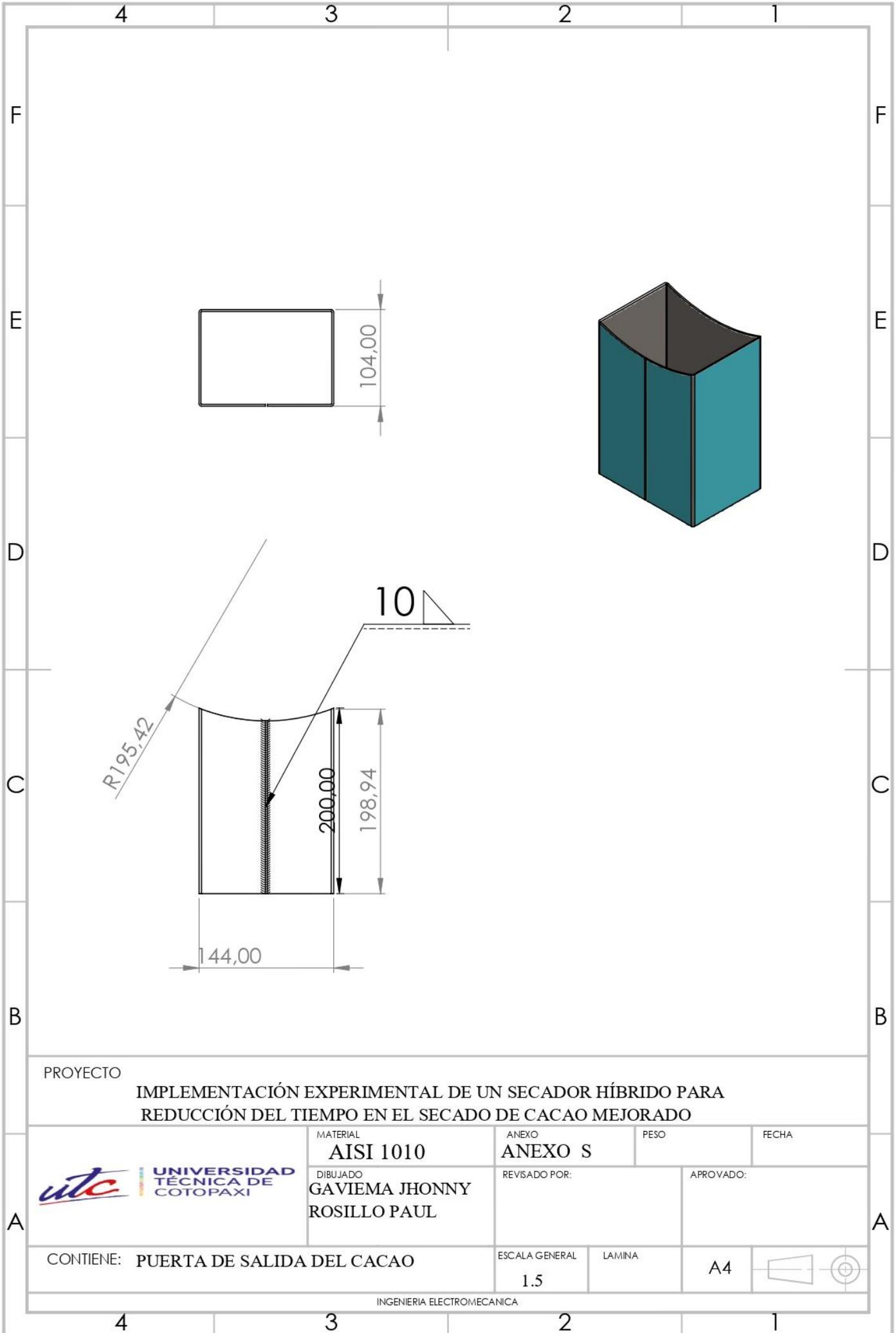
PROYECTO IMPLEMENTACIÓN EXPERIMENTAL DE UN SECADOR HÍBRIDO PARA REDUCCIÓN DEL TIEMPO EN EL SECADO DE CACAO MEJORADO

	MATERIAL AISI 304	ANEXO ANEXO R	PESO	FECHA
	DIBUJADO GAVILEMA JHONNY ROSILLO PAUL	REVISADO POR:	APROVADO:	

CONTIENE: CAMARA DE SECADO

ESCALA GENERAL 1.1

LAMINA A4



PROYECTO

**IMPLEMENTACIÓN EXPERIMENTAL DE UN SECADOR HÍBRIDO PARA REDUCCIÓN DEL TIEMPO EN EL SECADO DE CACAO MEJORADO**



MATERIAL  
**AISI 1010**  
DIBUJADO  
**GAVIEMA JHONNY**  
**ROSILLO PAUL**

ANEXO  
**ANEXO S**

PESO  
FECHA

REVISADO POR:

APROVADO:

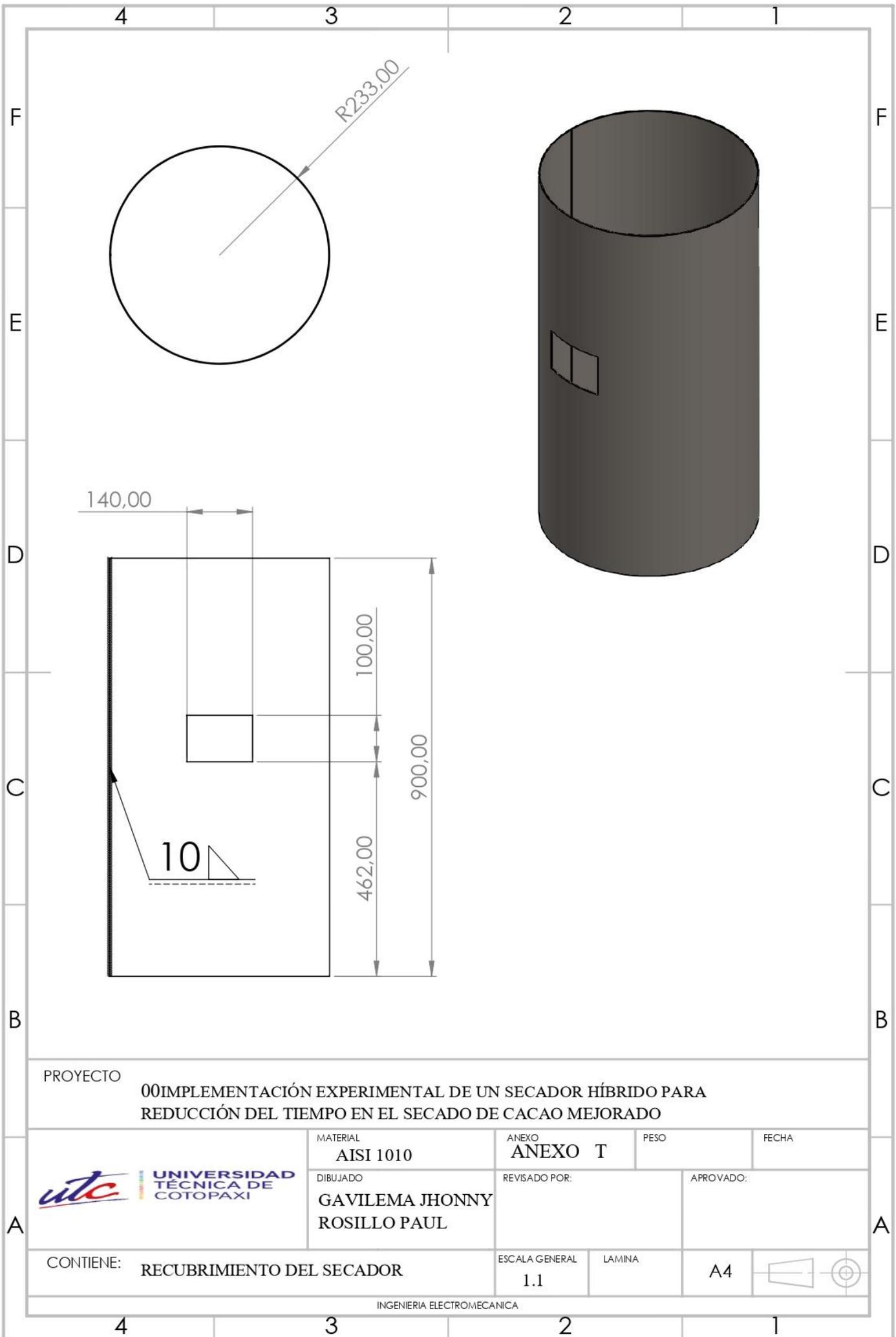
CONTIENE: **PUERTA DE SALIDA DEL CACAO**

ESCALA GENERAL  
**1.5**

LAMINA

**A4**





PROYECTO 00IMPLEMENTACIÓN EXPERIMENTAL DE UN SECADOR HÍBRIDO PARA REDUCCIÓN DEL TIEMPO EN EL SECADO DE CACAO MEJORADO



MATERIAL  
AISI 1010

ANEXO  
ANEXO T

PESO

FECHA

DIBUJADO  
GAVILEMA JHONNY  
ROSILLO PAUL

REVISADO POR:

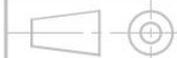
APROVADO:

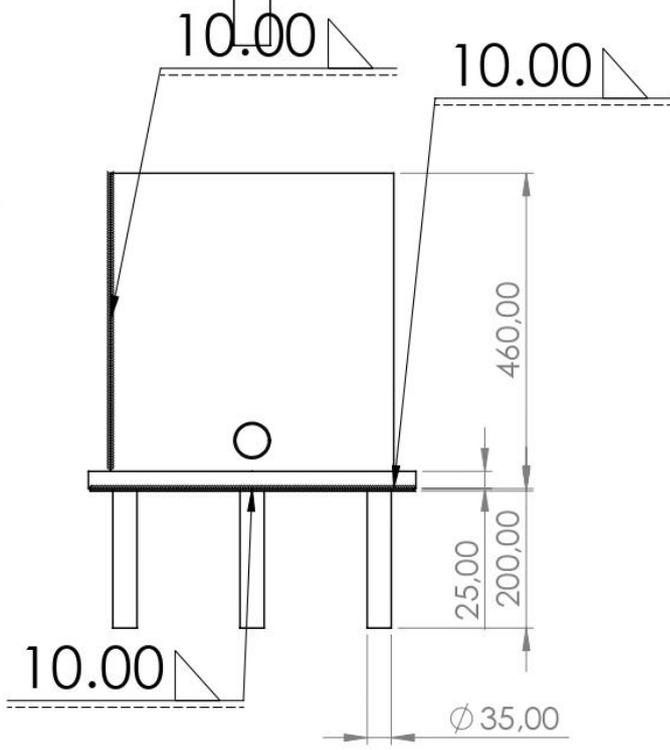
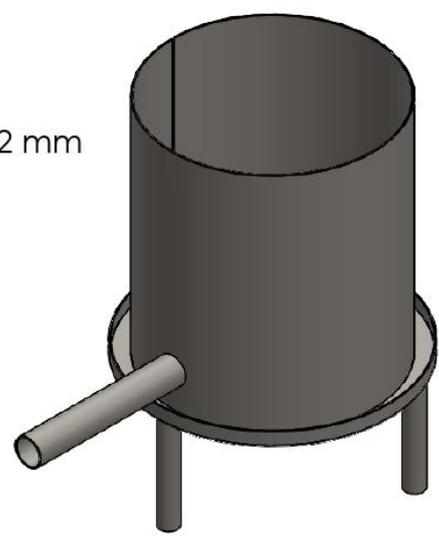
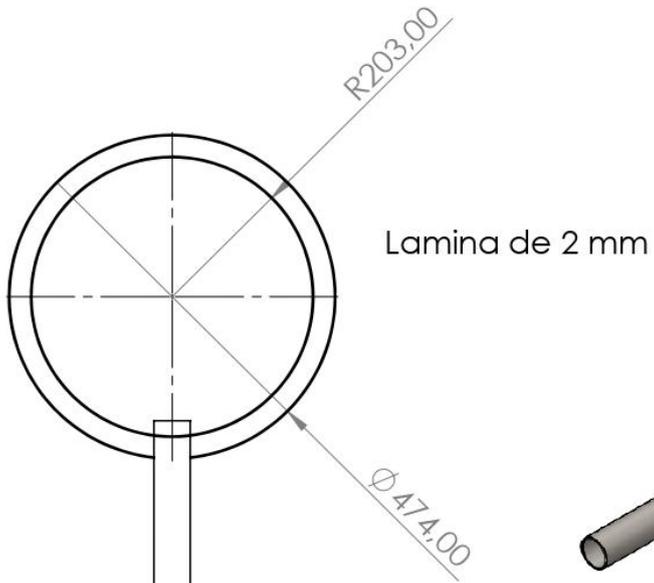
CONTIENE: RECUBRIMIENTO DEL SECADOR

ESCALA GENERAL  
1.1

LAMINA

A4





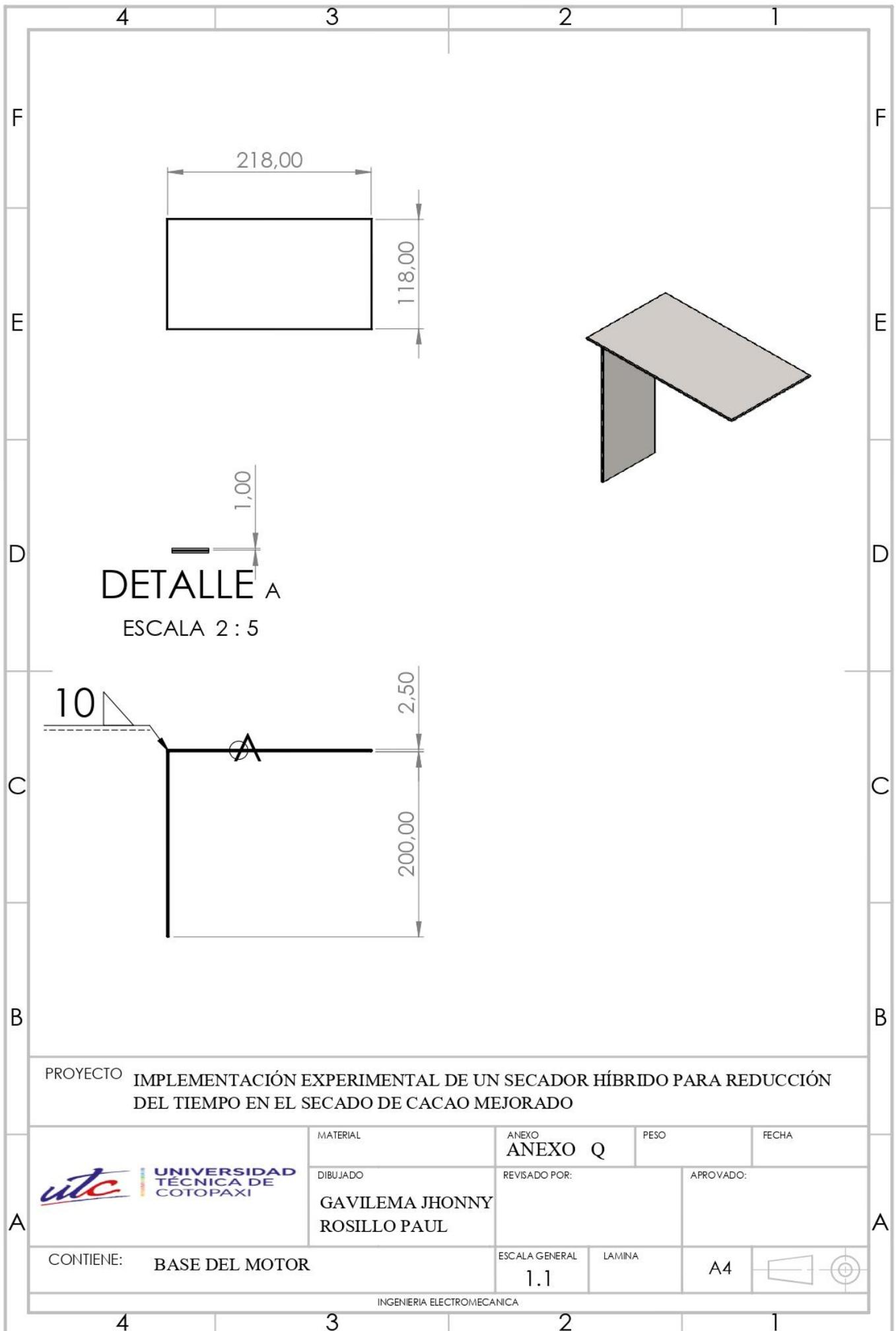
PROYECTO **IMPLEMENTACIÓN EXPERIMENTAL DE UN SECADOR HÍBRIDO PARA REDUCCIÓN DEL TIEMPO EN EL SECADO DE CACAO MEJORADO**



MATERIAL <b>AISI 1010</b>	ANEXO <b>ANEXO P</b>	PESO	FECHA
DIBUJADO <b>GAVILEMA JHONNY ROSILLO PAUL</b>	REVISADO POR:	APROVADO:	

CONTIENE: **BASE DE LA SECADORA**

ESCALA GENERAL <b>1.1</b>	LAMINA	<b>A4</b>	
------------------------------	--------	-----------	--

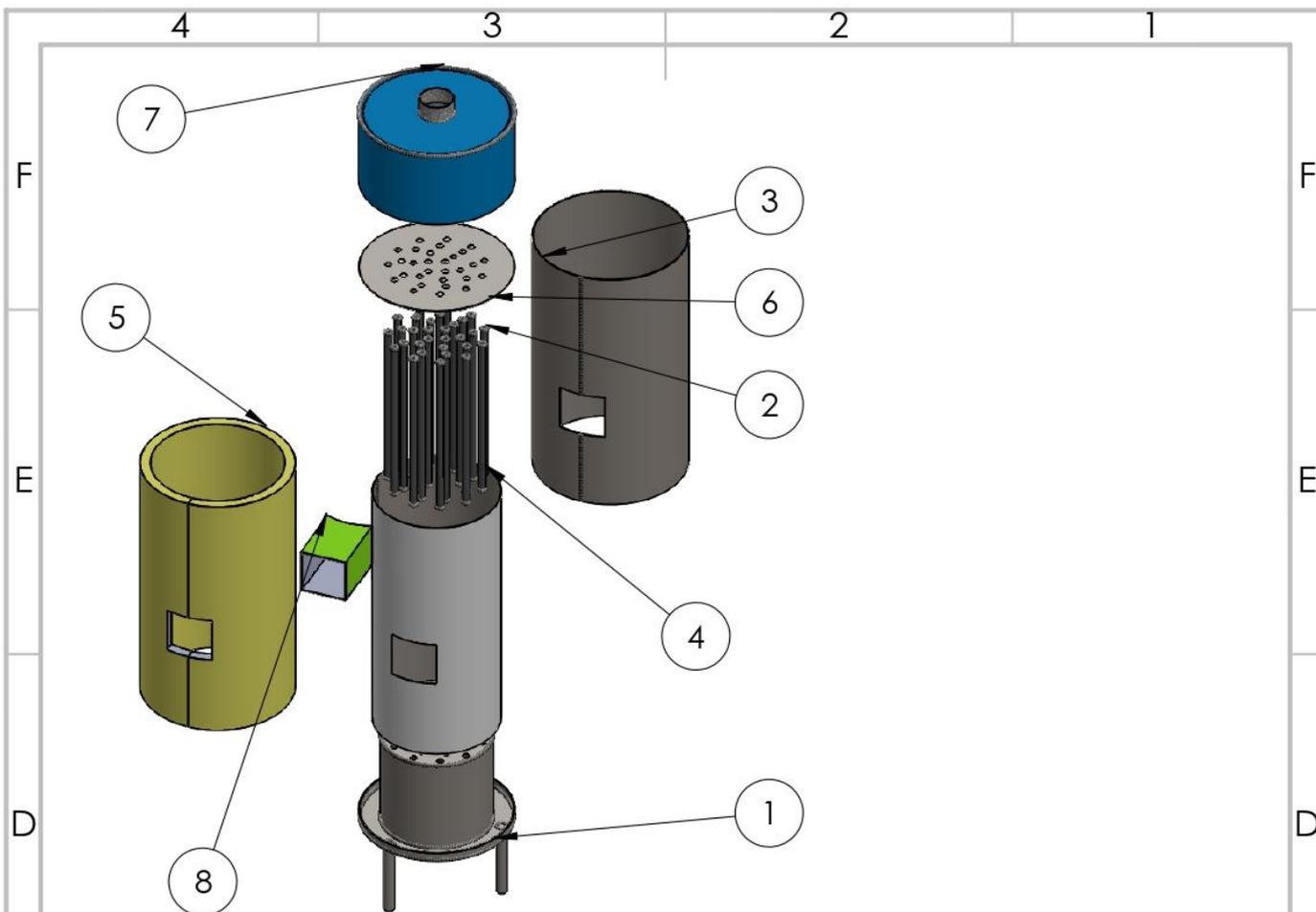


PROYECTO IMPLEMENTACIÓN EXPERIMENTAL DE UN SECADOR HÍBRIDO PARA REDUCCIÓN DEL TIEMPO EN EL SECADO DE CACAO MEJORADO



MATERIAL	ANEXO ANEXO Q	PESO	FECHA
DIBUJADO GAVILEMA JHONNY ROSILLO PAUL	REVISADO POR:	APROVADO:	

CONTIENE: BASE DEL MOTOR	ESCALA GENERAL 1.1	LAMINA	A4	
--------------------------	-----------------------	--------	----	--



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Base del calentador		1
2	Tubo de tres cuartos	520 mm espesor acero al carbón	30
3	Recubrimiento del intercambiador	2.5 mm espesor acero caliente	1
4	Lamina de acero del intercambiador	2.5 mm espesor acero caliente	1
5	Fibra de vidrio	30 mm espesor	1
6	Tapa junta de tubos		1
7	Chimenea		1
8	Extractor		1

PROYECTO

**IMPLEMENTACIÓN EXPERIMENTAL DE UN SECADOR HÍBRIDO PARA REDUCCIÓN DEL TIEMPO EN EL SECADO DE CACAO MEJORADO**



MATERIAL

ANEXO  
**ANEXO U**

PESO

FECHA

DIBUJADO

**GAVILEMA JHONNY  
ROSILLO PAUL**

REVISADO POR:

APROVADO:

CONTIENE:

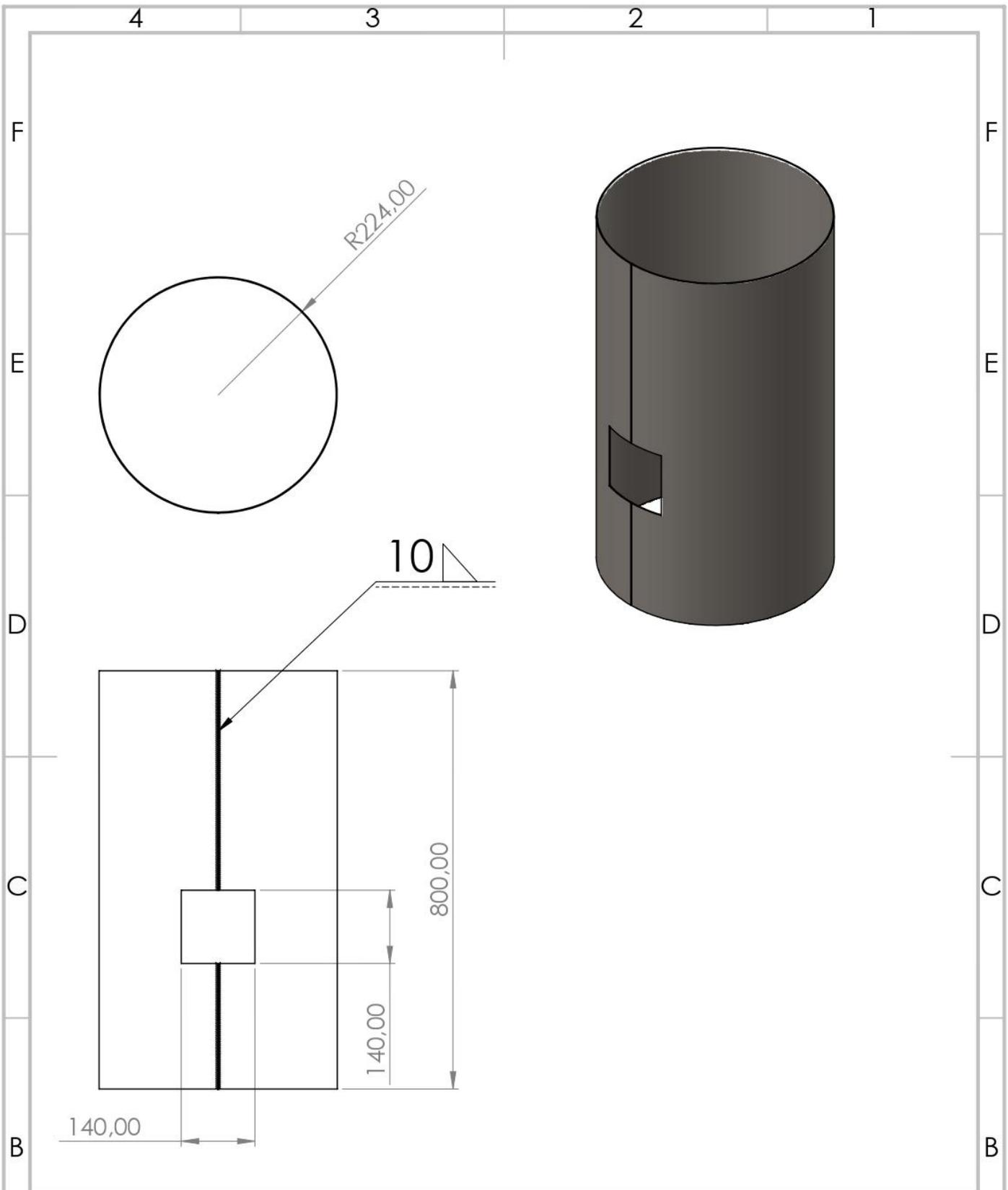
**INTERCAMBIADOR DE CALOR**

ESCALA GENERAL  
**1.20**

LAMINA

**A4**





PROYECTO **IMPLEMENTACIÓN EXPERIMENTAL DE UN SECADOR HÍBRIDO PARA REDUCCIÓN DEL TIEMPO EN EL SECADO DE CACAO MEJORADO**



MATERIAL  
**AISI 1010**

ANEXO  
**ANEXO Z**

PESO

FECHA

DIBUJADO  
**GAVILEMA JHONNY  
ROSILLO PAUL**

REVISADO POR:

APROVADO:

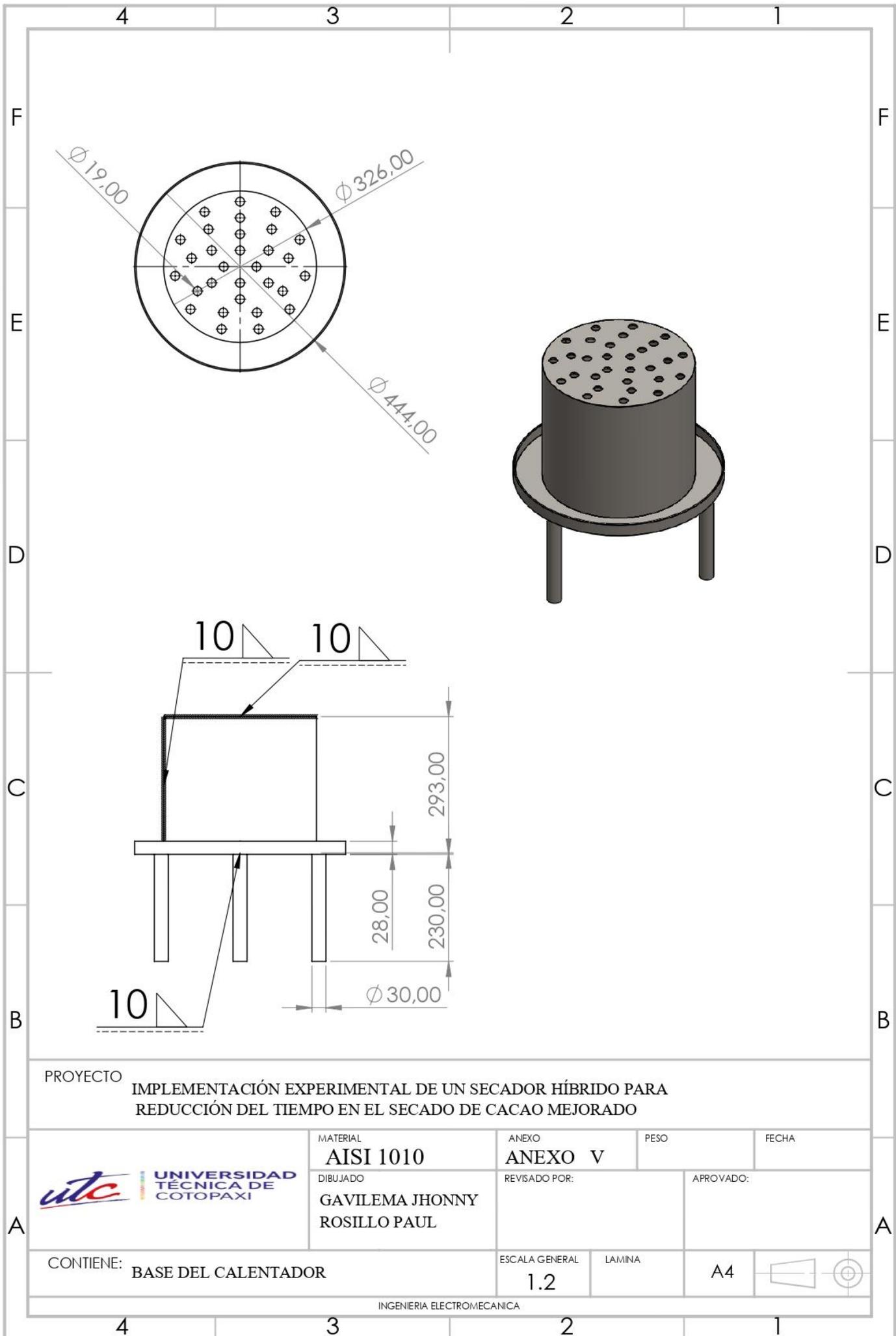
CONTIENE: **RECUBRIDOR DEL INTERCAMBIADOR**

ESCALA GENERAL  
**1.1**

LAMINA

**A4**





PROYECTO IMPLEMENTACIÓN EXPERIMENTAL DE UN SECADOR HÍBRIDO PARA REDUCCIÓN DEL TIEMPO EN EL SECADO DE CACAO MEJORADO



MATERIAL  
**AISI 1010**

ANEXO  
**ANEXO V**

PESO

FECHA

DIBUJADO  
**GAVILEMA JHONNY  
ROSILLO PAUL**

REVISADO POR:

APROVADO:

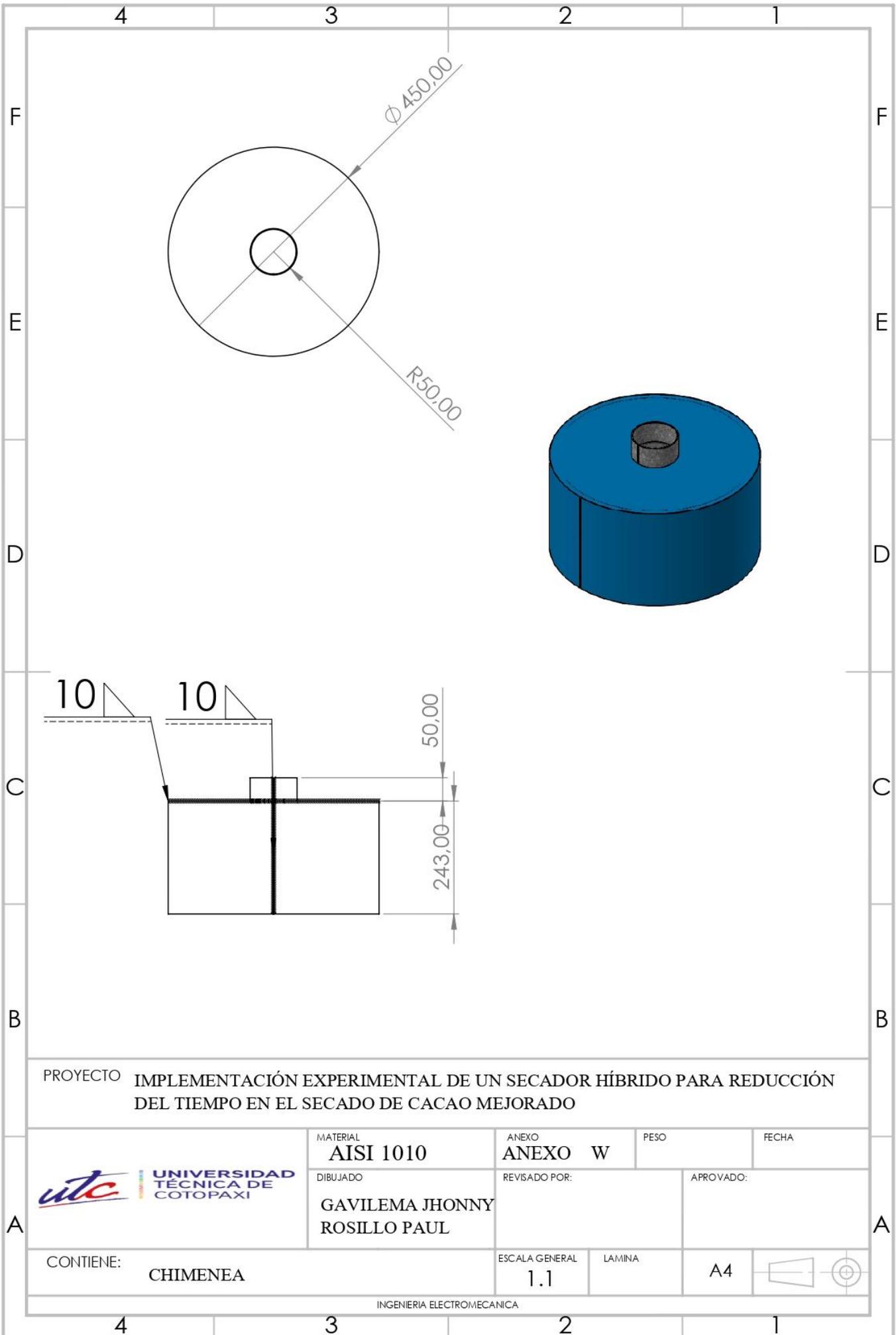
CONTIENE: **BASE DEL CALENTADOR**

ESCALA GENERAL  
**1.2**

LAMINA

**A4**





PROYECTO IMPLEMENTACIÓN EXPERIMENTAL DE UN SECADOR HÍBRIDO PARA REDUCCIÓN DEL TIEMPO EN EL SECADO DE CACAO MEJORADO

	MATERIAL <b>AISI 1010</b>	ANEXO <b>ANEXO W</b>	PESO	FECHA
	DIBUJADO <b>GAVILEMA JHONNY ROSILLO PAUL</b>	REVISADO POR:	APROVADO:	

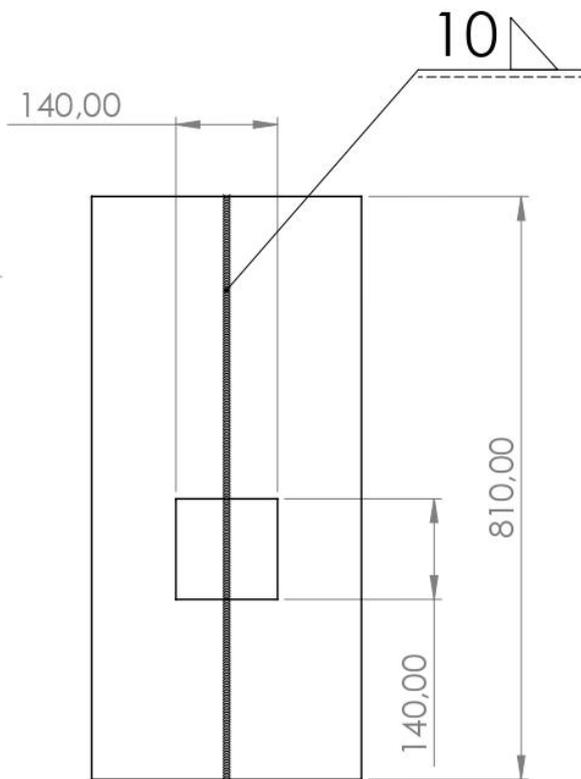
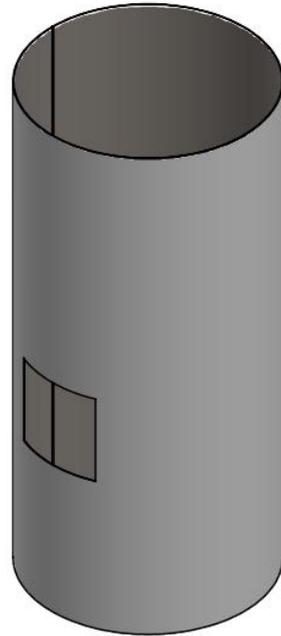
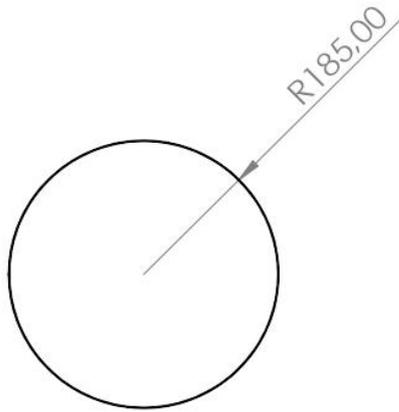
CONTIENE: **CHIMENEA**

ESCALA GENERAL  
**1.1**

LAMINA

**A4**





PROYECTO **IMPLEMENTACIÓN EXPERIMENTAL DE UN SECADOR HÍBRIDO PARA REDUCCIÓN DEL TIEMPO EN EL SECADO DE CACAO MEJORADO**



MATERIAL  
**AISI 1010**

ANEXO  
**ANEXO Y**

PESO

FECHA

DIBUJADO  
**GAVILEMA JHONNY  
ROSILLO PAUL**

REVISADO POR:

APROVADO:

CONTIENE: **LAMINA DE ACERO DEL INTERCAMBIADOR**

ESCALA GENERAL  
**1.1**

LAMINA

**A4**

