



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA**

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERA EN MECATRÓNICA**

TEMA:

**“DISEÑO DE UNA MÁQUINA SECADORA DE SEMILLA DE CACAO PARA
AGRICULTORES ARTESANALES”**

AUTOR:

CACUANGO COLCHA CAROL LISBETH

DIRECTOR:

PhD. DAVID ALBERTO OJEDA PEÑA

Ibarra, 2023



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA
AUTORIZACIÓN DE USO Y PBLICACIÓN A FAVOR DE LA
UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CEDULA DE IDENTIDAD:	1751038025		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Cacuango Colcha Carol Lisbeth		
DIRECCIÓN:	Quito		
EMAIL:	clcacuangoc@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	-	TELÉFONO MÓVIL:	0989225178

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	“DISEÑO DE UNA MÁQUINA SECADORA DE SEMILLA DE CACAO PARA AGRICULTORES ARTESANALES”
AUTOR:	Cacuango Colcha Carol Lisbeth
FECHA:	31 /07 /2023
SOLO PARA TRABAJOS DE TITULACIÓN	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en Mecatrónica
DIRECTOR:	PhD. DAVID ALBERTO OJEDA PEÑA

CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra, objeto de la presente autorización, es original y se la desarrollo sin violar derechos de autoridades de terceros, por lo tanto, la obra es original, y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de esta y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 31 días del mes de julio de 2023.

EI AUTOR:



Firma:

Nombre: Carol Cacuango

CERTIFICACIÓN DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Ibarra, 31 de julio de 2023

PhD. DAVID ALBERTO OJEDA PEÑA

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del trabajo de titulación, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Unidad Académica de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.



.....
PhD. DAVID ALBERTO OJEDA PEÑA

C.C.: 1757898489

APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El Tribunal Examinador del trabajo de titulación “DISEÑO DE UNA MÁQUINA SECADORA DE SEMILLA DE CACAO PARA AGRICULTORES ARTESANALES” elaborado por CAROL LISBETH CACUANGO COLCHA, previo a la obtención del título del INGENIERO EN MECATRÓNICA, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:



.....
PhD. DAVID ALBERTO OJEDA PEÑA
C.C.: 1757898489



.....
PhD. BRIZEIDA NOHEMÍ GÁMEZ APARICO
C.C.: 1758387383

DEDICATORIA

El presente trabajo y la obtención de mi título como Ingeniera en Mecatrónica está dedicado especialmente a mis padres con profundo amor y gratitud, ya que gracias a su aliento constante, apoyo incondicional y sacrificio han sido la fuerza que me ha impulsado para culminar esta etapa académica, les agradezco enormemente por ser mis pilares, mis consejeros y mis motivadores más grandes durante este camino.

A mis hermanos y hermanas, quienes han sido mi constante motivación y fuente de inspiración para cumplir esta meta tan importante en mi vida., gracias por compartir conmigo valiosas lecciones de vida que me han ayudado a crecer como persona.

Carol Lisbeth Cacuango Colcha

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero expresar mi sincero agradecimiento a Dios por haberme brindado salud y vida, y por haberme dado los conocimientos y la fortaleza necesaria para superar los obstáculos que se presentaron en el transcurso de este proyecto académico.

Agradezco a mi familia, en especial a mis padres, por inculcarme valores y principios que han sido fundamentales para alcanzar mis objetivos, su apoyo y orientación han sido esenciales para conseguir este importante logro.

Agradezco a la Universidad Técnica del Norte y cada uno de los docentes, quienes me brindaron la oportunidad y el estímulo para formarme profesionalmente.

Agradezco a mi tutor, el Ing. David Ojeda, y a mi asesora, la Ing. Brizeida Gámez, por su paciencia y dedicación durante todo el proceso de investigación, sus conocimientos impartidos me han servido para poder culminar mi trabajo de titulación.

A mis amigos, quienes me brindaron su aliento y compañía en los momentos más desafiantes, les agradezco por las experiencias y anécdotas compartidas durante esta etapa de mi vida.

Carol Lisbeth Cacuango Colcha

ÍNDICE DE CONTENIDOS

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA	ii
CONSTANCIAS	iii
CERTIFICACIÓN DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR.....	iv
APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR	v
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTOS	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvi
INTRODUCCIÓN.....	17
Problema	17
Objetivos	18
<i>Objetivo General</i>	18
<i>Objetivos Específicos</i>	18
Justificación	18
Alcance.....	19
CAPÍTULO I: MARCO REFERENCIAL	20

1.1.	Antecedentes	20
1.2.	Marco Teórico.....	21
1.2.1.	Cacao	21
1.2.2.	Proceso de secado.....	25
1.2.3.	Tipos de secado	29
1.2.4.	Tipos de máquinas artificiales secadoras de cacao.....	31
1.2.5.	Características fisicoquímicas de la semilla de cacao	34
1.2.6.	Fundamentos que intervienen en el proceso de secado	37
1.2.7.	Tipos de transferencia de calor.....	38
CAPITULO II: MARCO METODOLÓGICO.....		43
2.1.	Tipos de investigación	43
2.2.	Diseño de la investigación	44
CAPITULO III: RESULTADOS Y ANÁLISIS		50
3.1.	Especificaciones y requerimientos de la máquina secadora de cacao	50
3.1.1.	Matriz de calidad (QFD).....	50
3.2.	Especificaciones técnicas para el diseño de la máquina	55
3.3.	Propuesta de alternativas de solución	57
3.3.1.	Alternativa 1	57
3.3.2.	Alternativa 2	58
3.4.	Selección de la alternativa de solución	59

3.5. Método de calentamiento.....	64
3.5.1. Calentamiento con GLP	64
3.6. Diseño de la máquina secadora de cacao.....	65
3.6.1. Diseño del sistema de secado	66
3.6.2. Diseño del sistema motriz.....	100
3.6.3. Diseño de la estructura	106
3.6.4. Cálculos CFD	111
3.6.5 Sistema de control	113
CONCLUSIONES	119
RECOMENDACIÓN	120
BIBLIOGRAFÍA	121
ANEXOS	127

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1</i> Localización en el mapa de los países que se dedican a la producción de cacao [8].	22
<i>Figura 2</i> Distribución porcentual de la producción de cacao en las provincias del Ecuador [4].	23
<i>Figura 3</i> Cacao Fino de Aroma [11].	24
<i>Figura 4</i> Cacao CCN-51 [11].	25
<i>Figura 5</i> Tipos de cajones de fermentación [12].	28
<i>Figura 6</i> Almendras secas de cacao [12].	29
<i>Figura 7</i> Secado Natural de Cacao [14].	30
<i>Figura 8</i> Secadora de cacao rectangular [5].	32
<i>Figura 9</i> Secadora de cacao cilíndrica [5].	33
<i>Figura 10</i> Secadora de cacao tipo tambor [16].	34
<i>Figura 11</i> Comportamiento de la radiación térmica [20].	39
<i>Figura 12</i> Comportamiento de la conductividad térmica con el calentamiento de una barra de metal al extremo [20].	40
<i>Figura 13</i> Representación de la convección natural y forzada [20].	42
<i>Figura 14</i> Matriz de Calidad (QFD) [25].	51
<i>Figura 15</i> Esquema de los sistemas que conforman la máquina secadora.	65
<i>Figura 16</i> Volumen que ocupa los granos de cacao en el tambor interno.	67
<i>Figura 17</i> Diámetro Vs Longitud del cilindro rotatorio.	69
<i>Figura 18</i> Diseño cilindro rotatorio.	70
<i>Figura 19</i> Diagrama de cuerpo libre de la viga.	75

<i>Figura 20</i> Tramo AB de la viga	77
<i>Figura 21</i> Diagrama de fuerza cortante del cilindro interno.	78
<i>Figura 22</i> Diagrama de momento flector del cilindro interno.	78
<i>Figura 23</i> Propiedades de una viga sección circular hueca [28].	79
<i>Figura 24</i> Centroide del volumen que ocupa el cacao.	81
<i>Figura 25</i> Diagrama de momento torsor.	82
<i>Figura 26</i> Dimensiones de salida de la tubería.	89
<i>Figura 27</i> Diseño de la tubería.	94
<i>Figura 28</i> Quemador atmosférico [34].	97
<i>Figura 29</i> Diagrama de cuerpo libre de la viga.	107
<i>Figura 30</i> Resultado de Temperatura en el cálculo CFD.	112
<i>Figura 31</i> Resultado de distribución de flujo en el cálculo CFD.	112
<i>Figura 32</i> Esquema del control de temperatura.	116
<i>Figura 33</i> Diagrama de potencia de motores eléctricos.	117
<i>Figura 34</i> Diagrama de control de motores eléctricos.	117
<i>Figura 35</i> Programación del control de temperatura.	118

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1 Países que se dedican a la producción de cacao [8].</i>	22
<i>Tabla 2 Características físicas de las semillas de cacao según su estado [5].</i>	35
<i>Tabla 3 Características químicas de la semilla de cacao fermentado y seco [5].</i>	36
<i>Tabla 4 Requerimientos del usuario con su valor de importancia.</i>	52
<i>Tabla 5 Relación “QUES” vs “COMOS”.</i>	54
<i>Tabla 6 Importancia técnica absoluta y relativa de los “COMOS”.</i>	55
<i>Tabla 7 Especificaciones técnicas para la máquina secadora de cacao</i>	56
<i>Tabla 8 Boceto rápido de alternativa de solución 1.</i>	57
<i>Tabla 9 Boceto rápido de alternativa de solución 2.</i>	58
<i>Tabla 10 Comparación de los criterios con las alternativas de solución.</i>	61
<i>Tabla 11 Evaluación de cada criterio.</i>	62
<i>Tabla 12 Evaluación de las alternativas con respecto al secado homogéneo.</i>	62
<i>Tabla 13 Evaluación de las alternativas con respecto a fácil operación.</i>	62
<i>Tabla 14 Evaluación de las alternativas con respecto a seguridad.</i>	63
<i>Tabla 15 Evaluación de las alternativas con a fácil mantenimiento</i>	63
<i>Tabla 16 Evaluación de las alternativas con ergonomía.</i>	63
<i>Tabla 17 Resultado de la evaluación de alternativas.</i>	64
<i>Tabla 18 Dimensiones tentativas del cilindro rotatorio.</i>	69
<i>Tabla 19 Propiedades Generales de los aceros inoxidables [26].</i>	71
<i>Tabla 20 Propiedades mecánica del acero inoxidable AISI 304 [27].</i>	72
<i>Tabla 21 Características de los principales tipos termoaislantes [29].</i>	87
<i>Tabla 22 Valores de rugosidad de tubos para distintos materiales [32].</i>	92

Tabla 23 <i>Coeficiente de pérdidas en accesorios [32].</i>	94
Tabla 24 <i>Características del motorreductor seleccionado [36].</i>	102
Tabla 25 <i>Propiedades mecánicas del acero inoxidable en ejes [37].</i>	103
Tabla 26 <i>Especificaciones de rodamientos de bolas para temperaturas extremas [38].</i>	105
Tabla 27 <i>Propiedades mecánicas del acero galvanizado ASTM A500 [39].</i>	107
Tabla 28 <i>Características de tubos estructurales en acero galvanizado ASTM A500 [39].</i> ...	109
Tabla 29 <i>Resultados de análisis termodinámico.</i>	111
Tabla 30 <i>Datos técnicos del PLC Siemens.</i>	113
Tabla 31 <i>Datos técnicos del LOGO! AM2 AQ.</i>	114
Tabla 32 <i>Datos técnicos del controlador de temperatura PID REX-C100.</i>	114

RESUMEN

La presente investigación ha permitido reconocer que la mayoría de los agricultores artesanales del Ecuador realizan el proceso de secado de cacao de forma natural, lo que conlleva riesgos de contaminación bacteriana que afectan las cualidades organolépticas de la semilla de cacao y también enfrentan pérdidas de producción debido a los cambios climáticos en el país. Por esta razón, se plantea el diseño de una máquina secadora de granos de cacao para agricultores artesanales, que asegure el proceso de deshidratación manteniendo todas sus propiedades.

El proyecto comenzó con una revisión bibliográfica sobre las características fisicoquímicas del cacao, el proceso de secado y los tipos de máquinas secadoras de cacao. Luego, se realizó un análisis para establecer los requisitos y especificaciones para la máquina y se propusieron alternativas de solución para seleccionar la opción más factible.

Posteriormente, se procedió a realizar el diseño mecánico de los sistemas que integran la máquina, llevando a cabo los cálculos respectivos para la cámara de secado, la cámara de calentamiento, del sistema motriz y sistema de control.

Finalmente se hizo un análisis CFD (Dinámica de Fluidos Computacional) que determinó que la fuente de calor debe mantenerse a 1.200°C para asegurar una temperatura que no exceda los 60°C en la cámara de secado. Además, se observó una distribución uniforme del calor y una circulación adecuada del aire por todo el sistema de secado.

Palabras clave: Cacao, Chocolate, Máquina de secado.

ABSTRACT

This research has allowed us to recognize that most of the artisanal farmers in Ecuador carry out the cocoa drying process in a natural way, which entails risks of bacterial contamination that affect the organoleptic qualities of the cocoa bean and face production losses due to climatic changes in the country. For this reason, the design of a cocoa bean drying machine for artisanal farmers is proposed to ensure the dehydration process while maintaining all its properties.

The project began with a literature review on the physicochemical characteristics of cocoa, the drying process, and the types of cocoa drying machines. Then, an analysis was carried out to establish the requirements and specifications for the machine, and alternative solutions were proposed to select the most feasible option.

Subsequently, the mechanical design of the systems that integrate the machine was made, carrying out the respective calculations for the drying chamber, the heating chamber, the drive system, and the control system.

Finally, a CFD (Computational Fluid Dynamics) analysis was performed, which determined that the heat source must be maintained at 1200°C to ensure a temperature that does not exceed 60°C in the drying chamber. In addition, uniform heat distribution and adequate air circulation throughout the drying system were observed.

Keywords: Cocoa, Drying, Drying machine, Chocolate

INTRODUCCIÓN

Problema

Ecuador es un país considerado, principalmente, como productor y exportador de diversos productos agrícolas. Entre estos productos, el cacao ocupa una posición destacada debido a la alta calidad de sus semillas, lo que ha llevado a grandes fabricantes de chocolates a utilizarlo a nivel mundial. Asimismo, el cacao fue el principal recurso económico y social del Ecuador durante casi un siglo antes del auge petrolero, sin embargo, sigue produciéndose y exportándose a varias compañías transnacionales. Desde la década de los 80, esta actividad ha generado significativos ingresos para Ecuador [1].

El cacao, como base para la obtención de chocolates y otros productos derivados, debe pasar por diferentes procesos siendo uno de los más importantes el secado de la semilla. En esta etapa se deben considerar ciertos parámetros de calidad, entre los más fundamentales se encuentra conservar las propiedades del producto evitando la proliferación de bacterias por lo que se recomienda un porcentaje de humedad comprendida entre los 7 y 8% [2].

Según los datos proporcionados por Anecacao, en la actualidad, más de 200.000 familias se dedican a la producción y recolección de cacao, lo que representa una contribución significativa al sector comercial del país [3]. Los pequeños productores cacaoteros utilizan el método natural para realizar el proceso de secado de la semilla. Para ello aprovechan directamente la luz solar; sin embargo, este proceso tiene como desventaja que depende de las condiciones climáticas de la zona. De hecho, en épocas de lluvia, el tiempo de secado se

multiplica considerablemente, generando pérdidas económicas a los pequeños productores cacaoteros [4].

Para lo anteriormente descrito, se requiere el diseño de un dispositivo que permita secar la semilla de cacao para pequeños productores cacaoteros.

Objetivos

Objetivo General

Implementar un secador artesanal de semilla de cacao.

Objetivos Específicos

- Identificar las características y condiciones para el secado de semillas de cacao.
- Diseñar la propuesta seleccionada.
- Validar la propuesta planteada.

Justificación

La producción de cacao es de vital importancia para la economía del país debido a que es uno de los productos de mayor exportación y actúa como fuente de empleo para muchos productores artesanales que participan en los procesos de producción, postcosecha, secado, exportación y servicios de cadena. La máquina secadora de cacao posibilita a dichos productores cacaoteros optimizar el tiempo de secado, lo cual permite incrementar los ingresos económicos de tal manera que mejoraría su economía.

El proyecto tiene como finalidad sentar bases de información en la Universidad Técnica del Norte, concernientes con el diseño de secadores de semillas de cacao, la cual servirá de base para próximas investigaciones relacionadas con el tema.

Alcance

La finalidad del proyecto es el diseño de una máquina secadora de semilla de cacao con el propósito de optimizar el tiempo de deshidratación. Para ello, debe tomarse en cuenta cada uno de los parámetros que influyen en su secado y así obtener una buena calidad de la semilla. Adicionalmente, se realizarán los planos; así como los cálculos de ingeniería para posteriormente validar el funcionamiento de la máquina.

CAPÍTULO I: MARCO REFERENCIAL

1.1. Antecedentes

Las investigaciones actuales se han centrado en la optimización de las tecnologías de secado del cacao y al análisis de los sistemas más adecuados para llevar a cabo este proceso. Como en el caso del trabajo de titulación “Diseño y construcción de una máquina automática para el secado de cacao tipo plataforma con capacidad de 100 libras, para mejorar los tiempos de producción en la hacienda San Francisco, de la parroquia Pucayacu cantón la Maná” fue realizado por el autor Gómez Urgilez Erick José en el año 2019 en la Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE).

En este proyecto, el investigador desarrollo el diseño y construcción de una máquina, con la capacidad de controlar y monitorear el proceso de secado del grano de cacao mediante una interfaz hombre-máquina (HMI). Se llevaron a cabo pruebas de la máquina, las cuales demostraron que, al reducir el tiempo de producción, se podrá aumentar la cosecha del cacao en un 33% aumentando las ganancias económicas en un 33,31% y con pérdidas de grano seco entre 2 y 3% el cual es un porcentaje aceptable [4].

En el proyecto “Diseño y construcción de una secadora automática para cacao a base de aire caliente tipo rotatorio para una capacidad de 500 kg” llevado a cabo por Cueva Moreno Oswaldo Virgilio y Saquina Caiza Luis Germán, en el año 2016 en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), el autor presenta el desarrollo de un secadero automático tipo rotativo de aire caliente para 500 kg de cacao.

El objetivo de este proyecto es mejorar la eficiencia energética y la producción en el sector campesino. El autor realizó pruebas de funcionamiento de la máquina, tomando en cuenta

la calidad del cacao. Finalmente, el autor detalla los resultados obtenidos después del proceso de secado con un tiempo de 4 a 5 horas, el cacao quedó con un porcentaje de humedad del 9 % alcanzando una temperatura entre 43 a 44°C. Los siguientes datos fueron verificados en el laboratorio de procesos industriales, cumpliendo de esta manera con los estándares de calidad del producto [5].

1.2. Marco Teórico

1.2.1. Cacao

El cacao conocido científicamente como “Theobroma cacao” recibe su nombre del griego que significa “alimento de Dioses” [6]. El cacao pertenece a la familia de las Malvaceae, es un árbol tropical que se produce en lugares cálidos y húmedos con latitudes de diez grados al Norte y al Sur del Ecuador. Sus semillas son en forma de almendras y estas son utilizadas como materia prima para la obtención de productos como manteca, licor de chocolate, aceite para las industrias y asimismo para elaboración de productos procesados como el chocolate [7].

El cacao es originario de América, dando sus primeros cultivos en América Central y México. Antes del descubrimiento de América, los aztecas no solo utilizaban el cacao para preparar bebidas, sino que también lo consideraban un elemento de gran valor. Lo utilizaban para realizar trueques, ya que lo consideraban como una moneda, por lo que los indígenas lo llamaban “pepa de oro”. A lo largo del tiempo, la producción de cacao fue expandiéndose hacia países ubicados dentro de América del Sur, Asia, África, Oceanía y el Caribe como se puede observar en la figura 1 [8].

Actualmente, Ecuador es un mayor productor y exportador de cacao, además del banano y el petróleo, de los cuales el cacao se encuentra como tercer producto más exportado. Este cultivo cumple con un papel significativo dentro del sector económico del país desde la época colonial, debido a que sus exportaciones se dieron desde el año 1593 [7]. Las zonas de mayor producción de cacao en el país son en la costa ecuatoriana. Según los datos proporcionados, el 35% de la producción se centra en la provincia de Los Ríos, seguido por un 25% en Guayas, un 14% en Manabí, 8% en Esmeraldas, 5% en El Oro y el 13% restantes se distribuye entre las provincias de la Sierra y el Oriente [4]. En la figura 2 se representa un diagrama de pastel que ilustra la distribución porcentual de la producción de cacao a nivel nacional.

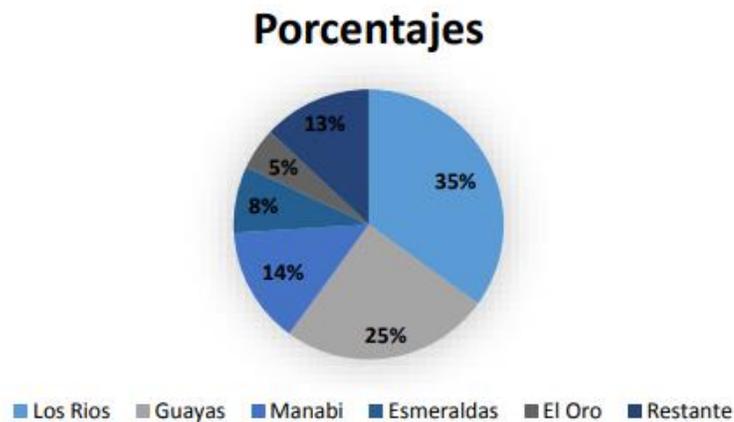


Figura 2 Distribución porcentual de la producción de cacao en las provincias del Ecuador [4].

En Ecuador, la industria del cacao proporciona empleo para aproximadamente 100.000 productores artesanales que se encuentran ubicados principalmente en las áreas rurales. En el año 2020, los ingresos por producción de cacao fueron de casi 908 millones de dólares [9]. Según Agrocalidad, la exportación de cacao ecuatoriano ha experimentado un notable aumento en los últimos cinco años. En el año 2021, se certificaron 330 mil toneladas de almendras de

cacao para su exportación, lo que representó un valor de aproximadamente 758 millones de dólares en costos [10]. Las siguientes cifras reflejan la importancia del cacao en Ecuador como generador de empleos a muchas familias dedicadas a la producción de cacao.

1.2.1.1 Tipos de cacao

Actualmente en Ecuador se pueden encontrar dos tipos de cultivos principales de cacao: el cacao fino de aroma o cacao nacional y el cacao CCN-51 llamado Colección Castro Naranjal

- **Cacao fino Aroma**

Este tipo de cacao es conocido por su delicado aroma y sabor único debido a las condiciones climáticas y geográficas del lugar en donde se origina, se distingue por el color amarillento de la mazorca. El chocolate de alta calidad se elabora a partir de este tipo de cacao, que se caracteriza por la pureza de sabor y olor. Ecuador es uno de los principales exportadores de cacao fino Aroma a nivel mundial, representando el 63% de la producción mundial de este tipo de cacao, y goza de una sólida reputación en el mercado internacional (ver figura 3) [4].



Figura 3 Cacao Fino de Aroma [11].

- **Cacao CCN-51**

El cacao Colección Castro naranjal se destaca por el color del fruto, los cuales adquieren un tono más rojizo cuando alcanzan su madurez. A diferencia del cacao fino Aroma este contiene más grasa y pulpa. Este tipo de cacao se produce en grandes cantidades, hasta 4 veces más que el cacao fino de aroma, esto debido a que el cacao CCN-51 es más persistente a las plagas y enfermedades que suelen afectar el proceso de producción. Esto permite reducir el uso excesivo de fertilizantes químicos e insecticidas. Por este motivo, ciertos segmentos del mercado prefieren la comercialización de este cacao, ya que permite la elaboración de productos derivados y se utiliza en la producción de chocolate a gran escala (ver figura 4) [4].



Figura 4 Cacao CCN-51 [11].

1.2.2. Proceso de secado

El proceso de secado del grano de cacao implica reducir su contenido de humedad desde aproximadamente un 55% hasta un 7%. Esto se logra mediante la aplicación de calor, ya sea de

forma natural o artificial, efectuándose por evaporación. El propósito principal de este proceso es detener el crecimiento de microorganismos como hongos o bacterias y preservar el producto durante más tiempo, permitiendo su comercialización y procesamiento posterior. Antes de someterse al proceso de secado, el cacao debe pasar por varias etapas para prepararlo adecuadamente [12].

1.2.2.1 Cosecha

El proceso de secado de cacao comienza principalmente con la cosecha de los frutos. Es esencial recolectarlos en el momento oportuno cuando las mazorcas están maduras. La maduración del cacao tiene un periodo entre los 5 a 6 meses después de la floración, y se puede identificar mediante la coloración de la mazorca, que debería ser de color rojo o amarillo. Es importante llevar a cabo esta etapa utilizando herramientas adecuadas y desinfectadas, como una tijera podadora manual o una horquilla. Se debe evitar el uso de machete o arrancar los frutos con las manos, ya que esto podría dañar a los granos de cacao, al cojín floral o el tronco [12].

1.2.2.2 Postcosecha

En la siguiente etapa del proceso, es necesario identificar y separar los frutos sanos de los enfermos, los verdes de los maduros y las mazorcas pequeñas de las grandes, de esta forma se garantiza la comercialización de granos de alta calidad. A continuación, se lleva a cabo el quebrado de la mazorca para extraer los granos de cacao. Se recomienda cortar las mazorcas transversalmente utilizando un machete, ya que este método minimiza el daño a los granos, que son susceptibles a infecciones fúngicas. Es preferible realizar este proceso antes de las 12 horas para evitar que las almendras se resequen. Para el desgrane de las almendras, el operario debe

colocarse el equipo de protección personal (EPP), en este caso, se requieren guantes de material adecuado que permitan realizar el trabajo de manera afectiva. Los granos desgranados se deben almacenar en un depósito limpio de plástico para evitar la contaminación por tierra o basura. Finalmente, una vez recolectados, los granos se envían para continuar con el proceso de fermentación [12].

1.2.2.3 Fermentación

La etapa de fermentación es crucial y tiene un gran impacto en la calidad del grano de cacao, ya que es en este proceso donde se desarrollan los sabores y aromas característicos que contribuyen a la producción de un buen chocolate. En esta etapa lo que se busca es el desprendimiento del mucilago que rodea a las almendras mediante el incremento de la temperatura. Además, este proceso ayuda a reducir los sabores amargos y ásperos del grano, mejorando así su perfil de sabor.

El proceso de fermentación de manera natural se realiza en cajones de madera con pequeños orificios de $\frac{1}{2}$ cm para permitir el drenaje de líquidos. Estos cajones deben estar ubicados en lugares cerrados y cubiertos para mantener la temperatura y la humedad relativa estables. La madera ayuda a mantener un rango de temperatura entre los 50° a 60° centígrados durante el día y la noche. Los cajones deben elevarse del suelo entre 15 a 20 cm para permitir que la baba del cacao se escurra correctamente. Sus dimensiones deben de ser de 70 cm de profundidad por 80 cm de ancho. El proceso de fermentación tiene una duración aproximadamente de 5 a 6 días, dependiendo de las condiciones climáticas. Al finalizar la fermentación, los granos deben estar hinchados y la cascara adquiere un color oscuro. Existen diferentes tipos de cajones de fermentación, entre ellas están los fermentadores lineales o

modificables, en forma de escalera y los fermentadores tipo tambor rotatorio como se muestra en la figura 5 [12].



Figura 5 Tipos de cajones de fermentación [12].

1.2.2.4 Secado

El proceso de secado es fundamental para completar la fermentación del cacao, lo que resulta cambios en las propiedades físicas y químicas que le dan su sabor y aroma al chocolate. Durante el secado, se disminuye el contenido de humedad del cacao hasta obtener entre un 6% a un 7%. Si la humedad se encuentra por debajo de este valor, se obtienen granos quebradizos, de lo contrario, si el índice de humedad supera el 8% es más probable a la formación de mohos y al desarrollo de acidez, reduciendo la calidad del grano. Cuando las almendras terminan su fase de secado, estas se denotan crujientes y cambian de color a marrón y son enviadas para el proceso de productos procesados como pasta de cacao, cacao en polvo y manteca de cacao [13]. En la figura 6 muestra el aspecto de las almendras de cacao una vez finalizado el proceso de cacao.



Figura 6 Almendras secas de cacao [12].

1.2.3. Tipos de secado

Tradicionalmente los productores artesanales realizan el proceso de secado de manera natural, es decir, secan los granos de cacao aprovechando la luz solar en los patios de sus casas. Este método de secado natural ha sido ampliamente utilizado. No obstante, con los avances tecnológicos, se han desarrollado métodos de secado de forma artificial que permiten acelerar el proceso de secado y reducir la dependencia de la mano de obra de los productores. Existen dos tipos de secado: el secado natural y el secado artificial.

1.2.3.1 Secado Natural

Generalmente, el secado natural del cacao se lleva a cabo en estructuras como tendales de cemento o marquesinas elaborado con maderas blancas y secas. Estas estructuras deben colocarse en espacios amplios y con buena iluminación como se muestra en la figura 7. Este

método de secado es gratuito en términos de consumo de energía, pero requiere mucho tiempo y mano de obra para completar este proceso. Además, depende de las condiciones climáticas, ya que en épocas de lluvias se detiene el proceso de secado, lo que provoca pérdidas de producción, el secado tiene una duración de aproximadamente siete días [13].

Es recomendable realizar un secado gradual al sol durante los primeros días del proceso. Por ejemplo, se puede exponer al sol durante 2 a 3 horas el primer día, de 4 a 6 horas el segundo día, 8 horas el tercer día y a partir del cuarto día se puede exponer al sol las horas que se necesite. Durante todo el proceso, se recomienda remover constantemente a los granos de cacao con herramientas de madera o plásticos bien limpios, con el fin de distribuir uniformemente el aire y la temperatura [12].



Figura 7 Secado Natural de Cacao [14].

1.2.3.2 Secado Artificial

El secado artificial es un método de secado rápido y preciso, este tipo de secado se aplica cuando el secado natural no es posible debido a diversos factores, principalmente cuando las condiciones climáticas no son las adecuadas, y cuando se tiene un volumen de cacao demasiado elevado. Las ventajas del uso de este tipo de secado incluyen una mayor eficiencia en el tiempo de secado, una menor dependencia de mano de obra y protección ambiental contra insectos, roedores u otros tipos de contaminantes.

Para el secado artificial requiere el uso de una máquina que utiliza una fuente de energía, como combustibles, gas, carbón, electricidad u otros, para calentar el aire y llevar a cabo el proceso de secado. Por lo tanto, para este tipo de secado hay que tener en cuenta la dependencia del consumo de energía y el costo por inversión en tecnología. Durante el proceso de secado, es fundamental mantener una temperatura adecuada, generalmente entre 50 y 55 °C para lograr una reducción efectiva de la acidez de los granos. Es importante evitar que la temperatura supere los 60 °C ya que esto puede ocasionar la ruptura y deterioro de los granos de manera fácil [15].

1.2.4. Tipos de máquinas artificiales secadoras de cacao

En la industria del cacao, se emplean diferentes tipos de máquinas secadoras artificiales para el proceso de secado de los granos. Estas máquinas ofrecen beneficios como la disminución del tiempo de producción y el incremento de los ingresos económicos. Una de las variantes más utilizadas son las secadoras que se basan en el calentamiento del aire mediante ventilación forzada para alcanzar el nivel de humedad óptimo de las semillas de cacao. A continuación, se describen las secadoras artificiales más comunes para secar el cacao:

1.2.4.1 Secadora de cacao rectangular

Este tipo de secadora se utiliza ampliamente en industrias dedicadas a la producción de cacao seco, debido a su capacidad para optimizar el tiempo de secado y ahorrar energía. La carga, remoción y extracción de los granos se realizan manualmente mediante el uso de palas de madera o metal. La máquina está conformada por una cámara de secado en la parte inferior, y una cámara de carga de cacao en la parte superior. Para asegurar la circulación del aire hacia la cámara de secado, se utiliza un ventilador, mientras que el calentamiento del aire se logra mediante el uso de combustibles como GLP o diésel. Además, la secadora cuenta con un control de llama para regular la temperatura. Se recomienda utilizar materiales como acero inoxidable o galvanizado, ya que son adecuadas para aplicaciones en la industria alimentaria (ver figura 8) [5].



Figura 8 Secadora de cacao rectangular [5].

1.2.4.2 Secadora de cacao cilíndrica

Es otro tipo de máquina utilizada para obtener cacao seco en el menor tiempo posible. A diferencia de la secadora rectangular, esta máquina cuenta con un mecanismo de remoción automatizado, lo que permite un secado uniforme de las semillas y además conserva las propiedades de calidad del cacao. Esta máquina está conformada con la cámara de alimentación tipo contenedor circular, con la cámara de secado en la parte inferior, un sistema de ventilación y un sistema de control de temperatura electrónico. Además, se utiliza combustible para calentar el aire. El diseño de la máquina se realiza con materiales de acero inoxidable alimenticio o galvanizado, que cumple con los estándares de seguridad alimentaria (ver figura 9) [5].



Figura 9 Secadora de cacao cilíndrica [5].

1.2.4.3 Secadora de cacao tipo tambor rotatorio

Es una máquina que utiliza un cilindro giratorio para secar los granos de cacao de manera uniforme. Es este tipo de máquina, los granos se colocan dentro del tambor, que gira lentamente mientras se aplica calor desde una fuente de calor externa y luego se transfiere a los

granos de cacao. Además, La máquina cuenta con un ventilador que ayuda a circular el aire caliente a través de los granos para un secado más eficiente. La temperatura y la humedad dentro del tambor pueden ser controladas para asegurar un secado óptimo. Este tipo de secadora se utiliza normalmente en grandes plantaciones de cacao (ver figura 10) [16].



Figura 10 Secadora de cacao tipo tambor [16].

1.2.5. Características fisicoquímicas de la semilla de cacao

Las características físicas y químicas de las semillas de cacao son importantes para evaluar la calidad del cacao y su idoneidad en la producción de chocolate y otros productos derivados. Estas características abarcan aspectos tanto físicos como químicos:

1.2.5.1 Características físicas

Estas características indican las propiedades externas que se pueden observar en la semilla y en la cascara del cacao. En la tabla 2 se observa las características físicas de las semillas de cacao según su estado.

Tabla 2 Características físicas de las semillas de cacao según su estado [5].

CARACTERÍSTICAS	SIN FERMENTAR	FERMENTADA	SECO
AROMA	Desagradable	Agradable	Agradable
SABOR	Astringente	Medianamente amargo	Amargo
FORMA	Aplanada	Hinchada	Hinchada
TEXTURA	Compacta	Quebradiza	Duras y crujientes
HUMEDAD (%)	100	60	7
DENSIDAD (kg/m3)	900	775	635

Humedad: El contenido de humedad de los granos de cacao tiene un impacto significativo en su almacenamiento y calidad. Según la Norma Técnica Ecuatoriana (176:2006) indican que el porcentaje de humedad del cacao debe mantenerse alrededor del 7% para garantizar una vida útil prolongada y prevenir el crecimiento de moho [17].

Sabor y aroma: El sabor y aroma de la semilla de cacao son los principales factores que determinan su calidad utilizada en la producción de chocolate. Estas características están influenciadas por diversos factores, como la variedad de cacao, su lugar de origen, el proceso de fermentación y el proceso de secado.

Forma y textura: la forma y textura pueden variar en función de su estado, ya que experimentan cambios durante el proceso de maduración, fermentación, secado y almacenado.

Densidad: la densidad del cacao puede variar según la variedad y el grado de humedad de las semillas de cacao.

1.2.5.2 Características químicas

Las características químicas indican la composición química de los componentes presentes en la semilla de cacao. La tabla 3 muestra el porcentaje de la composición química de la semilla de cacao fermentado y seco.

Tabla 3 Características químicas de la semilla de cacao fermentado y seco [5].

Componentes	Fermentado y seco (%)	Cascara (%)	Germen o radícula (%)
Agua	5,00	4,50	8,50
Grasa	54,00	1,50	3,50
Cafeína	0,20		
Teobromina	1,20	1,40	
Polihidroxifenoles	6,00		
Proteínas bruta	11,50	1,90	25,10
Mono-oligosacáridos	1,00	0,10	2,30
Almidón	6,00		
Pentosanos	1,50	7,00	
Celulosa	9,00	26,50	4,30
Ácidos carboxílicos	1,50		
Otras sustancias	0,50		
Cenizas	2,60	8,00	6,30

Proteína: Esta proteína es importante para la producción de chocolate y otros productos derivados, ya que es responsable de la estructura y la textura.

pH: El pH de los granos de cacao se encuentra entre 5,2 y 5,8. Este rango de pH es importante para garantizar que los granos de cacao estén fermentados de manera adecuada para producir el sabor y aroma deseados en el chocolate.

Contenido de cafeína: La semilla de cacao contiene una cantidad moderada de cafeína, que puede variar según la variedad de cacao. La cafeína es responsable de algunos de los efectos estimulantes del chocolate.

1.2.6. Fundamentos que intervienen en el proceso de secado

El secado del cacao es una etapa importante en la producción del cacao, ya que el contenido de humedad de los granos de cacao debe reducirse a un nivel adecuado para garantizar su calidad y almacenamiento adecuado. Los siguientes son los fundamentos que intervienen en el proceso de secado del cacao:

Transferencia de calor: La transferencia de calor es fundamental en el proceso de secado de cacao. El calor se utiliza para evaporar el agua de los granos de cacao y reducir su contenido de humedad. El calor puede ser generado a través del sol, el aire caliente, la energía eléctrica, o el vapor.

Transferencia de masa: La transferencia de masa es la transferencia del agua desde el interior de los granos de cacao al exterior, donde puede evaporarse. La difusión es la principal forma de transferencia de masa y se produce debido a una diferencia de concentración de agua entre el interior de los granos de cacao y el ambiente de secado.

Humedad relativa del aire: La humedad relativa del aire es un factor importante en el proceso de secado de cacao. Si la humedad relativa es demasiado alta, se reduce la capacidad del aire para absorber la humedad de los granos de cacao y el proceso de secado se ralentiza.

Tiempo de secado: El tiempo de secado también es importante y puede variar según el método utilizado y las condiciones ambientales. El tiempo de secado óptimo es aquel que reduce el contenido de humedad de los granos de cacao a un nivel seguro sin causar daño a los granos [18].

Velocidad del aire: La velocidad del aire también es un factor importante en el proceso de secado de cacao. Un flujo de aire más rápido puede aumentar la tasa de evaporación de agua de los granos de cacao, pero un flujo demasiado rápido puede causar daño a los granos de cacao y reducir la calidad. La velocidad de aire ideal dentro de la cámara de secado debe estar entre 0,3 y 4 m/s. Para asegurar un secado uniforme se sugiere una velocidad de aire de 1,5 m/s [5].

Temperatura del aire: La temperatura del aire es un factor crítico en el proceso de secado de cacao. Una temperatura demasiado alta puede causar daño a los granos de cacao, mientras que una temperatura demasiado baja puede ralentizar el proceso de secado. Se recomienda mantener la temperatura del aire alrededor de 50-60°C durante el proceso de secado [5].

1.2.7. Tipos de transferencia de calor

La transferencia de calor, también conocida como transferencia térmica se refiere al proceso mediante el cual se transfiere energía calórica cuando se ponen en contacto dos cuerpos o partes con distintas temperaturas, y se detiene cuando sus temperaturas se igualan o alcanzan un equilibrio térmico. La transferencia de energía calórica siempre ocurre desde un cuerpo con mayor temperatura hacia uno con menor temperatura, hasta que ambos cuerpos alcancen la misma temperatura. La transferencia de calor es inevitable, solamente se puede reducir su efecto utilizando aislantes térmicos o barreras para controlar la energía térmica [19].

La transferencia de calor se produce a través de tres mecanismos: conducción, convección y radiación. Estos mecanismos permiten que el calor se transfiera de un objeto a otro cuando existe una diferencia de temperatura entre ellos. A continuación, se presenta una breve descripción de cada uno de estos mecanismos:

1.2.7.1 Radiación

La transferencia de calor por radiación se caracteriza por la transferencia de energía en forma de ondas electromagnéticas, como la luz visible, la luz ultravioleta, y los rayos infrarrojos. Este tipo de transferencia de calor es la más rápida debido a que los fotones viajan a la velocidad de la luz, sin afectarse por el vacío. Un ejemplo ilustrativo es la transferencia de energía del Sol a la Tierra como muestra en la figura 11, donde los rayos solares atraviesan millonadas de kilómetros en el espacio vacío para llegar hasta nosotros [20].



Figura 11 Comportamiento de la radiación térmica [20].

1.2.7.2 Conducción

La transferencia de calor por conducción se basa en la interacción directa entre las moléculas de un material, en otras palabras, la energía térmica se transfiere de partículas con mayor energía a aquellas con menos energía. La conducción de calor ocurre cuando la energía

se transfiere debido a la colisión de partículas, de modo que en cada colisión las partículas liberan parte de su energía cinética a las partículas con las que interactúan, sin transferencia de materia. Cuando un objeto presenta una temperatura alta, las partículas se mueven con mayor rapidez y tienen una mayor energía térmica, mientras que en un objeto tiene con temperatura baja, las partículas se mueven más lentamente [20].

Según el artículo “Mecanismos de transferencia de calor”, señala un ejemplo donde se calienta un extremo de una barra metálica. En este caso, las partículas del metal en el punto de calentamiento comienzan a moverse más rápidamente, lo que provoca choques con las partículas adyacentes. Esta energía cinética se propaga a lo largo de la barra, transmitiendo calor hasta alcanzar el otro extremo, donde la temperatura también aumenta [20].

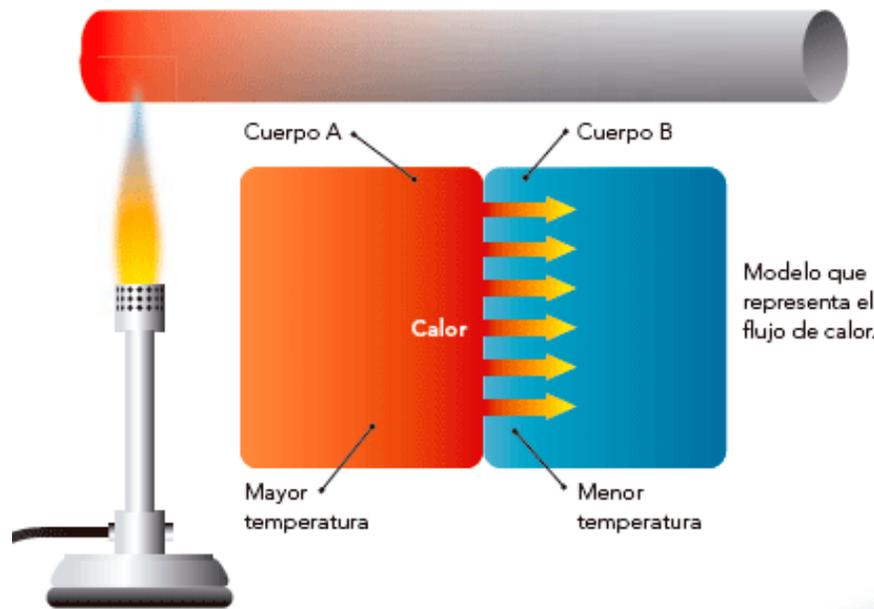


Figura 12 Comportamiento de la conductividad térmica con el calentamiento de una barra de metal al extremo [20].

1.2.7.3 Convección

La transferencia de calor por convección implica el intercambio de energía térmica mediante el movimiento de fluidos, particularmente gases y líquidos. En la convección, abarca la mezcla de dos efectos que incluyen la conducción y el movimiento de fluidos. Se observa que a medida que aumenta la velocidad del flujo del fluido, aumenta la transferencia de calor por convección [19]. Existen dos formas de transferencia de calor por convección: natural y forzada.

- **Convección natural**

La convección natural, también conocida como convección libre, ocurre cuando el movimiento del fluido es causado por la presión debido a la diferencia de densidad producido por el cambio de temperatura del fluido. Un ejemplo muy particular es un plato de sopa caliente [20].

- **Convección forzada**

La convección forzada se da cuando el movimiento del fluido es impulsado por mecanismos externos, ya sea un ventilador o bomba como se muestra en la figura 13. Un ejemplo de convección forzada es el fluido de sangre en el cuerpo humano, donde el corazón actúa como una bomba que impulsa el flujo sanguíneo, permitiéndole la transferencia de calor y ayudando a mantener una temperatura constante [21].

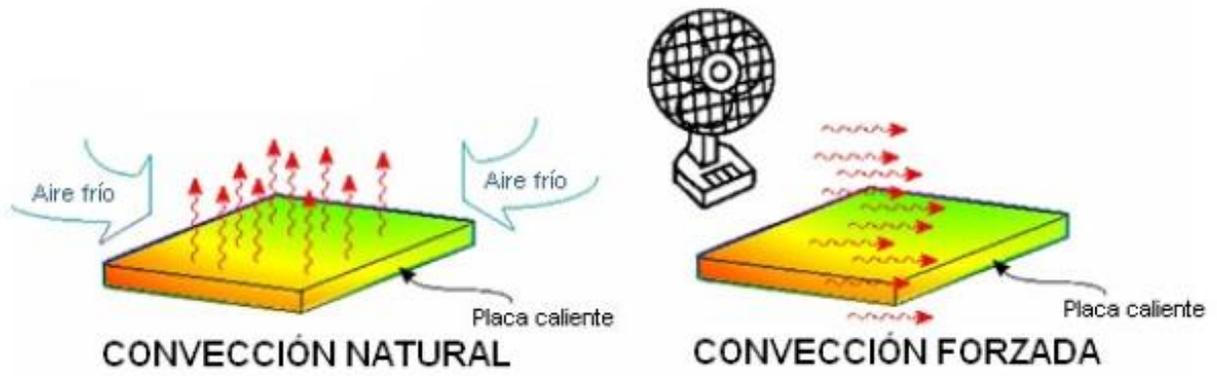


Figura 13 Representación de la convección natural y forzada [20].

CAPITULO II: MARCO METODOLÓGICO

2.1. Tipos de investigación

En el presente capítulo se explica la metodología que se empleará para llevar a cabo el siguiente trabajo de grado, detallando los enfoques de investigación, métodos y técnicas que se utilizarán en función de los objetivos establecidos.

Para el trabajo de grado se desarrolla una investigación aplicada, ya que tiene como objetivo generar nuevos conocimientos que permitan dar soluciones a problemas prácticos [22]. En este caso, el objetivo es encontrar una solución adecuada para los agricultores artesanos dedicados a la cosecha y postcosecha del cacao.

Se aplica una investigación documental, debido a que en este tipo de investigación implica recopilar información fundamental para el desarrollo del presente trabajo de grado. Esta información se obtiene de distintas fuentes bibliográficas, tales como libros, revistas, artículos, entre otros. Estos documentos proporcionan los fundamentos necesarios para el desarrollo del estudio. La información recopilada se organiza de manera sistemática para facilitar la interpretación y el análisis de los datos relacionados con el objeto de estudio [23].

Además, se aplica la investigación descriptiva, cuyo propósito es estudiar las características de un grupo de personas, procesos o fenómenos sin establecer una relación causal. Para llevar a cabo esta investigación se puede utilizar diferentes procesos, como el uso de observaciones cualitativa o cuantitativa, análisis en profundidad para generar una hipótesis o encuestas para recopilar información de manera sistemática [22].

Adicionalmente, se aplicará la investigación experimental, que se basa en la realización de un experimento científico donde las variables independientes son deliberadamente estudiadas y manipuladas bajo el control del investigador para analizar los efectos sobre las variables dependientes. Esta metodología permitirá examinar la relación entre las variables y obtener una comprensión más precisa de su influencia [22].

2.2. Diseño de la investigación

En el siguiente capítulo se detalla el desarrollo de las actividades que se necesitan para cumplir con cada uno de los objetivos específicos establecidos en este trabajo de grado. Se presentará de manera secuencial y detallada el proceso seguido para el diseño de un secador artesanal de semillas de cacao.

2.2.1. Fase 1: Identificar las características y condiciones para el secado de semillas de cacao.

En la siguiente fase se llevará a cabo una investigación documental, dado que se recopilará información relevante de fuentes bibliográficas y documentos de referencia. Esta información será utilizada para comprender las características y requisitos necesarios que se deben cumplir durante el proceso de secado de semillas de cacao.

Actividad 1: “Investigar en bibliotecas, base de datos, revistas, características fisicoquímicas de la semilla del cacao”; Se realiza una investigación exhaustiva sobre las propiedades físicas y químicas de las semillas de cacao, con la finalidad de analizar su comportamiento frente a diferentes influencias externas, como por ejemplo el calentamiento.

Actividad 2: “Buscar información del proceso de secado, específicamente para el cacao (Revistas)”; Se efectúa una investigación documental sobre cada etapa del proceso de secado de los granos de cacao, así como los métodos utilizados para llevar a cabo este proceso. El objetivo principal es obtener información relevante para garantizar la producción de almendras de cacao secas de alta calidad y cumplir con las especificaciones adecuadas para su comercialización.

Actividad 3: “Buscar antecedentes de secadoras de semillas de cacao”; Se indaga sobre algunos secadores de granos de cacao que han sido diseñadas o desarrolladas anteriormente, así como su funcionamiento. El propósito de esta actividad es obtener información y conocimientos previos que servirán como base para proponer alternativas de solución mejoradas al problema planteado.

Actividad 4: “Clasificar las propiedades relevantes para el diseño del secado de cacao” En esta etapa, se realiza un proceso de identificación y clasificación de los criterios y propiedades fundamentales necesarios para el diseño óptimo de la secadora de cacao. Se considerarán las especificaciones y limitaciones que deben tenerse en cuenta para el desarrollo del diseño de la máquina, con el objetivo de ofrecer una solución adecuada al problema planteado.

2.2.2. Fase 2: Diseñar la propuesta seleccionada.

En esta fase se emplea una investigación descriptiva, cuyo propósito es estudiar y describir las necesidades de los agricultores artesanales con el objetivo de brindar posibles soluciones. Se utilizarán métodos específicos para recopilar información y obtener un panorama

detallado de las necesidades y requerimientos de los agricultores. Esta investigación servirá de base para el desarrollo de la solución óptima que se busca implementar.

***Actividad 1: “Realizar la matriz de calidad (QFD)”;** Con el fin de garantizar una solución efectiva, se llevará a cabo un análisis de calidad utilizando la matriz QFD. Esta herramienta se centra en identificar las necesidades y expectativas de los clientes, priorizando aquellas de mayor importancia. La matriz de calidad permite describir estos requisitos y determinar cómo se pueden satisfacer.*

***Actividad 2: “Plantear, por lo menos, tres alternativas de solución”;** las alternativas de solución propuestas deben ser pertinentes y adecuadas para abordar el problema planteado. Este proceso implica desarrollar un diseño conceptual que integre tanto los conocimientos de ingeniería como la creatividad, manteniendo siempre en mente las necesidades y expectativas de los clientes. La generación de múltiples alternativas permite evaluar diferentes enfoques y seleccionar la solución óptima.*

***Actividad 3: “Seleccionar la mejor alternativa de solución”;** Después de haber generado las alternativas de solución, se procede a realizar un análisis detallado y una evaluación de los criterios relevantes para cada diseño propuesto. Estos criterios pueden incluir aspectos técnicos, seguridad, facilidad de uso y viabilidad económica, entre otros. Con base en esta evaluación, se selecciona la alternativa de solución que mejor cumple con los requisitos y ofrece la mayor ventaja en términos de eficiencia, efectividad y satisfacción del cliente.*

***Actividad 4: “Realizar los cálculos CAD-CAE de la propuesta”;** Se utilizan herramientas de diseño asistido por computador (CAD) y análisis de elementos finitos (CAE)*

para llevar a cabo los cálculos y la elaboración de los planos de cada componente mecánico de la máquina propuesta. Estas herramientas permiten perfeccionar el proceso de desarrollo del producto al proporcionar un entorno virtual donde se pueden diseñar y simular distintas configuraciones. Asimismo, se realizan análisis de ingeniería para evaluar la resistencia, durabilidad y rendimiento de los componentes. El uso de estas herramientas garantiza la calidad y eficiencia en el diseño del producto.

Actividad 5: “Seleccionar los componentes mecánicos, electrónicos y de control, que complementa el diseño”; *En esta etapa se deben considerar criterios de ingeniería como la resistencia de los materiales, los esfuerzos aplicados, las limitaciones geométricas y tecnológicas, entre otros, con el fin de seleccionar los componentes adecuados que garanticen el correcto funcionamiento de la máquina. Es importante tener en cuenta las especificaciones técnicas de cada componente, su compatibilidad con el diseño general y su disponibilidad en el mercado. La selección de estos componentes es crucial para asegurar la eficiencia, seguridad y durabilidad del producto final.*

2.2.3. Fase 3: Validar la propuesta planteada

En esta fase se aplica una investigación experimental, en el cual se realizarán simulaciones del funcionamiento de la secadora de semilla de cacao. Estas simulaciones tienen como objetivo verificar que la máquina cumpla con los requerimientos y condiciones necesarias durante el proceso de secado. Además, se busca asegurar que las almendras de cacao adquieran las características deseadas después de ser secadas. A través de estas pruebas experimentales, se podrá evaluar el desempeño de la máquina y realizar los ajustes necesarios para optimizar su funcionamiento y garantizar la calidad del producto final.

Actividad 1: “Seleccionar el método de validación”; Se procederá a investigar y evaluar distintas metodologías de validación disponibles. Con base en esta investigación, se seleccionará el método más adecuado que permita demostrar de manera precisa y confiable el cumplimiento de los requisitos, necesidades y expectativas identificadas en la matriz QFD a través de los resultados obtenidos. El método de validación seleccionado será fundamental para garantizar efectividad y la calidad del proyecto, brindando una base sólida para respaldar los resultados obtenidos y demostrar la viabilidad y la funcionalidad de la solución propuesta.

Actividad 2: “Establecer la metodología de validación”; Ejecutar la metodología de validación seleccionada previamente. Esto incluye realizar análisis estáticos, térmicos y de dinámica de fluidos para recopilar datos y asegurar el correcto funcionamiento de la máquina secadora de cacao. Durante esta actividad, se realizarán los cálculos necesarios y se utilizarán las herramientas de simulación y análisis para evaluar el rendimiento de la máquina en diferentes condiciones de operación.

Actividad 3: “Realizar los ensayos experimentales respectivos”; Se realizarán pruebas experimentales para estudiar los efectos del proceso de secado. Durante estas pruebas, se realizarán mediciones y se recopilarán datos para evaluar el rendimiento y la eficiencia de la secadora en diferentes condiciones experimentales. Con el fin de determinar las variables óptimas que influyen en el proceso de secado, tales como la temperatura, humedad, velocidad de aire, entre otras. Estos ensayos permitirán obtener información precisa sobre el comportamiento de la secadora y su capacidad para lograr un secado eficaz y de calidad de las semillas de cacao.

Actividad 4: “Socializar los resultados con los actores y proponer las mejoras correspondientes”; Se compartirán los resultados obtenidos en los ensayos experimentales con los involucrados. Esta socialización permitirá proponer mejoras o ajustes necesarios en el diseño y proceso de secado, utilizando los conocimientos de ingeniería y la información recopilada durante el estudio. Para perfeccionar la propuesta de solución y garantizar su eficacia en la práctica, asegurando que cumpla las necesidades y expectativas de los agricultores y demás involucrados.

CAPITULO III: RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1. Especificaciones y requerimientos de la máquina secadora de cacao

Las especificaciones y requerimientos de la máquina son fundamentales para garantizar su funcionamiento adecuado, durabilidad y calidad. Al ofrecer alternativas de solución, es esencial considerar las especificaciones establecidas por el usuario, que en este caso se centran en la optimización del tiempo de secado y el aumento de la producción de cacao seco. Estos requisitos del usuario son cruciales para desarrollar propuestas que satisfagan sus necesidades específicas.

Para determinar las especificaciones y requerimientos que requiere la máquina se utilizará la Matriz de Calidad QFD (Quality Function Deployment).

3.1.1. Matriz de calidad (QFD)

También conocida como Casa de Calidad, es una herramienta utilizada en el diseño y desarrollo de productos para asegurar que las necesidades y deseos de los clientes se tengan en cuenta durante todo el proceso. Además, proporciona puntos críticos de las características de diseño de los productos desde su etapa de creación.

La matriz QFD se representa en forma de tabla, como se muestra en la figura 14, en esta tabla se enumeran en una columna los deseos del cliente, también conocidos como “QUES”, junto con su valor de importancia. En las filas, se describen los diversos métodos o requisitos para cumplir con esos deseos, también conocidos como “COMOS”. Se establecen relaciones entre estos dos para determinar la importancia de cada requisito en términos de la satisfacción del cliente [24].



Figura 14 Matriz de Calidad (QFD) [25].

Para efectuar la matriz QFD, primero se debe de identificar las necesidades del cliente.

3.1.1.1 Requerimientos del cliente “QUES”

Para recopilar los requerimientos del cliente, se llevó a cabo una entrevista abierta con un agricultor artesano especializado en la producción de cacao en el Cantón Pedro Vicente. En dicha entrevista, se obtuvieron los requerimientos presentados en la tabla 4, cada uno con su correspondiente valor de importancia en relación con su impacto en la satisfacción del cliente y su viabilidad.

Tabla 4 Requerimientos del usuario con su valor de importancia.

VALOR DE IMPORTANCIA	REQUERIMIENTO
5	Optimización del tiempo de secado
5	Obtención de mayor producción
5	Capacidad de secado aproximadamente de 200 kg
5	Realizar el secado de cacao de forma adecuada
5	Conservar las propiedades del cacao para obtener granos de calidad
3	Fuente de energía preferiblemente con gas
5	Funcionamiento con energía eléctrica
5	El grano de cacao seco debe tener un porcentaje de 7% de humedad
5	Fácil operación
5	Operación segura
3	Fácil mantenimiento
3	Bajo costo de la máquina
1 = nada importante	3 = poco importante 5 = muy importante

3.1.1.2 Requerimientos del ingeniero “COMOS”

El siguiente paso consiste en identificar los requisitos de diseño necesarios para satisfacer las necesidades del cliente. Estos requisitos pueden abarcar aspectos como las características del producto, la tecnología requerida, entre otros. A continuación, se presentan los requerimientos identificados para la máquina secadora de cacao:

- Materiales
- Dimensiones del prototipo
- Secado uniforme
- Consumo de energía
- Consumo de combustible
- Seguridad
- Ergonomía
- Control y automatización
- Control de temperatura del aire
- Velocidad del aire

3.1.1.3 Relación de los “QUES” vs “COMOS”

Se analiza la relación entre cada “QUE” y cada “COMO” para determinar la influencia de los requisitos de diseño en la satisfacción del cliente: Esto se realiza mediante la asignación de puntuaciones o valores de importancia a cada relación (Ver tabla 5), siendo la siguiente:

0 = no hay relación,

1 = relación ligera.

3 = relación media

9 = relación fuerte.

Tabla 5 Relación “QUES” vs “COMOS”.

No	Requisitos del Calidad Nivel 2	Peso Ponderado	Materiales	Dimensiones	Secado Uniforme	Consumo de energía	Consumo de combustible	Seguridad	Ergonomía	Control y automatización	Control de temperatura del aire	Velocidad del aire
1	Realizar el secado de cacao en menor tiempo posible	5.00			3	9	1			9		9
2	Obtención de mayor producción	5.00		9	3	1	1					
3	Capacidad de secado aproximadamente de 200 kg	5.00		9	3	1	1				3	1
4	Realizar el secado de cacao de forma adecuada	5.00	9		9					9	3	3
5	Conservar las propiedades del cacao para obtener granos de calidad	5.00	9		9		3			3	9	3
6	Fuente de energía preferiblemente con gas	3.00	1			3	9	3			3	
7	Funcionamiento con energía eléctrica	5.00	1			9		3		3	3	3
8	El cacao seco debe tener un porcentaje de 7% de humedad	5.00			9						9	
9	Fácil operación	5.00				3	1	9	9	9	3	3
10	Fácil mantenimiento	3.00	3					9	9		1	1
12	Bajo costo de la máquina	3.00	9	3	3	1	3	1		3	1	1
14	Seguridad en operación	5.00	3					9	9	3	3	

3.1.1.4 Resultados de la matriz QFD

La tabla 6 muestra el porcentaje que representa el nivel de importancia técnica absoluta y relativa de los “COMOS”. Los requerimientos técnicos más importantes son el secado uniforme y el control y automatización de la máquina. El secado uniforme es crucial para obtener resultados consistentes y de alta calidad en las semillas de cacao, ya que asegura que todas las partes del cacao estén expuestas a las mismas condiciones de secado, evitando la formación de áreas húmedas o secas que puedan comprometer la calidad y promoviendo la prevención de la proliferación de microorganismos dañinos. Por otro lado, el sistema de control permite mantener condiciones de secado consistentes y controladas. Esto garantiza que se apliquen los parámetros adecuados de temperatura, tiempo, entre otros para obtener un secado óptimo.

Tabla 6 Importancia técnica absoluta y relativa de los “COMOS”.

	Materiales	Dimensiones	Secado Uniforme	Consumo de energía	Consumo de combustible	Seguridad	Ergonomía	Control y automatización	Control de temperatura del aire	Velocidad del aire
Importancia técnica absoluta y relativa	149.0	99.0	189.0	127.0	71.0	144.0	117.0	189.0	180.0	116.0
	10.8%	7.2%	13.7%	9.2%	5.1%	10.4%	8.5%	13.7%	13.0%	8.4%

3.2. Especificaciones técnicas para el diseño de la máquina

Las especificaciones técnicas para el diseño de la máquina incluyen una serie de características y requisitos que deben cumplirse los cuales se detallan en la tabla 7, estas especificaciones se basan en las necesidades y expectativas del cliente, así como en consideraciones técnicas y de viabilidad.

Tabla 7 Especificaciones técnicas para la máquina secadora de cacao.

CONCEPTO	PROPUESTO	REQUERIMIENTO/DESEO	DESCRIPCIÓN
Material	Diseñador	Requerimiento	Utilizar acero inoxidable alimenticio
Temperatura del aire	Diseñador	Requerimiento	La temperatura para realizar el proceso de secado debe ser de 50-60°C
Velocidad del aire	Diseñador	Requerimiento	Para un secado uniforme en la cámara de secado la velocidad del aire debe ser entre 0.3 y 4 m/s
Fuente de energía	Diseñador Cliente	Requerimiento	Fuente de calor: aire caliente con GLP Fuente eléctrica: 220V
Control y automatización	Diseñador Cliente	Deseo	Uso de sensor de temperatura y PLC (controlador lógico programable)
Secado uniforme	Cliente	Requerimiento	La máquina debe contar con un sistema de remoción
Dimensiones	Diseñador	Deseo	La máquina debe ser ligera
Operación	Cliente	Deseo	El manejo de la maquina debe ser fácil
Capacidad	Cliente	Deseo	La capacidad de secado debe ser de 200 kg
Seguridad y ergonomía	Cliente Diseñador	Requerimiento	Se debe tomar en cuenta la ubicación de cada componente mecánico, eléctrico y de control

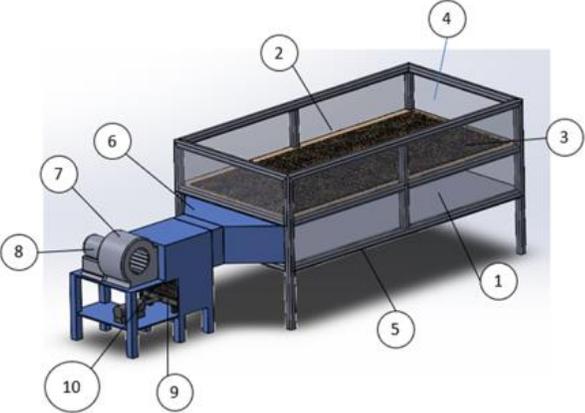
3.3. Propuesta de alternativas de solución

Se presentan dos opciones de solución para abordar el problema planteado, tomando en consideración las especificaciones técnicas requeridas para la máquina secadora de cacao. Estas propuestas de solución se basan en el análisis de los diferentes tipos de secadoras de cacao existentes en la actualidad, con el objetivo de mejorar sus características y funcionalidades.

3.3.1. Alternativa 1

La primera alternativa propuesta consiste en una máquina secadora de cacao tipo rectangular. En la tabla 8 se presenta el esquema y los componentes que integran esta secadora de cacao.

Tabla 8 Boceto rápido de alternativa de solución 1.

ESQUEMA DE LA MÁQUINA	COMPONENTES
 El diagrama muestra una máquina secadora de cacao rectangular. A la izquierda hay un motor (8) conectado a un ventilador (7) que aspira aire a través de una entrada (6). El aire caliente pasa por un quemador (9) y sale por una compuerta (10). El aire caliente entra en la cámara de carga (2) a través de un tamiz (3). La cámara de carga está sobre una estructura base (5) y tiene una compuerta de vaciado (4) en la parte superior. La cámara de secado (1) está debajo de la cámara de carga.	<ol style="list-style-type: none">1. Cámara de secado2. Cámara de carga3. Tamiz4. Compuerta de vaciado5. Estructura base6. Entrada de aire7. Ventilador8. Motor del ventilador9. Quemador10. Compuerta del horno

Descripción de funcionamiento alternativa 1

La funcionalidad de la máquina está dividida en diferentes módulos, los cuales se detallan a continuación:

Alimentación y extracción de la semilla de cacao: estos procesos se realizarán manualmente utilizando paletas de madera o metal. La máquina está equipada con una compuerta ubicada en la parte lateral derecha de la cámara de carga para facilitar este proceso.

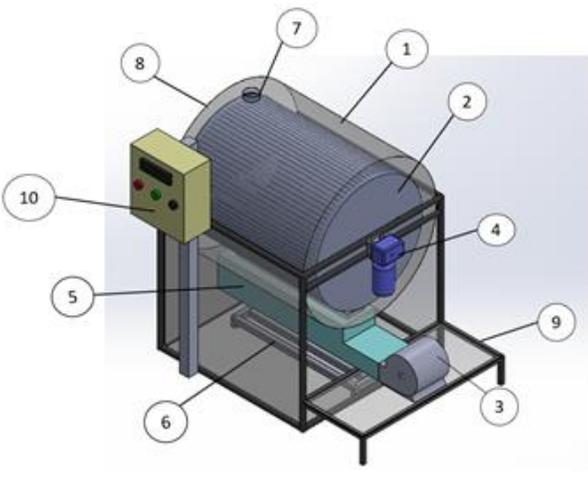
Sistema de remoción: la máquina no cuenta con un sistema de remoción mecánico, por lo tanto, se requiere la intervención de un operario para llevar a cabo manualmente el proceso de remoción utilizando paletas de madera o metal.

Proceso de secado: este proceso se ejecutará mediante la aplicación de aire caliente con ventilación. Para calentar el aire que circulará por el conducto hacia la cámara de secado, se empleará un combustible adecuado.

3.3.2. Alternativa 2

La alternativa de solución 2 consiste en una secadora de cacao automática de tipo tambor. En la tabla 9 se presenta el esquema y se detallan las diferentes partes que conforman esta secadora.

Tabla 9 Boceto rápido de alternativa de solución 2.

ESQUEMA DE LA MÁQUINA	COMPONENTES
 <p>El diagrama muestra una secadora de cacao automática de tipo tambor. El tambor principal (2) está montado sobre una estructura (9) y es accionado por un motorreductor (4). Una tubería de entrada de aire (5) conecta el quemador (6) con el tambor. Una chimenea (7) se encuentra en la parte superior del tambor. Una compuerta (8) está ubicada en la parte lateral derecha. Un panel de control (10) está conectado al sistema. Un ventilador (3) está ubicado en la parte inferior de la estructura.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Cámara de calentamiento 2. Cámara de secado 3. Ventilador 4. Motorreductor 5. Tubería de entrada de aire 6. Quemador 7. Chimenea 8. Compuertas 9. Estructura 10. Panel de control

Descripción de funcionamiento alternativa 2

La funcionalidad de la máquina está dividida en diferentes módulos, los cuales se detallan a continuación:

Alimentación y extracción de la semilla de cacao: en este caso estos procesos se realizarán de forma manual con paletas de madera o metal. La máquina cuenta con dos compuertas laterales que facilitan la carga y extracción del cacao.

Sistema de remoción: la máquina está compuesta por un cilindro interno perforado. Este cilindro se mantiene rotando constantemente a una velocidad apropiada para evitar dañar las propiedades del cacao.

Proceso de secado: este proceso se realizará mediante aire caliente con ventilación. El aire circula a través de una tubería ubicada en la parte inferior, donde se calienta mediante un quemador que se encuentra debajo de la tubería. Luego, el aire caliente ingresa al cilindro externo donde empieza a secar las semillas de cacao. Además, la máquina cuenta con una chimenea para extraer el vapor generado por el calor.

3.4. Selección de la alternativa de solución

Para la selección de la mejor propuesta de solución se consideran varios criterios para evaluar y comparar las opciones disponibles. Los criterios más comunes que se pueden utilizar en el proceso de secado son:

Secado homogéneo: evaluar la capacidad de la máquina para proporcionar un secado uniforme y consistente en todas las semillas de cacao, evitando puntos de humedad o sobre secado.

Fácil operación: es importante tener en cuenta la facilidad de uso y comprensión de la máquina durante la selección. Esto implica que el equipo debe ser intuitivo y de fácil manejo, de modo que el operario pueda utilizarlo sin ningún inconveniente. Es preferible evitar procedimientos complicados y asegurarse de que no se requiera capacitación externa para operarla.

Seguridad: es fundamental que la máquina cuente con un diseño seguro que incluya una carcasa protectora para cada uno de sus componentes, evitando así el contacto físico directo con los operarios y minimizando los riesgos de accidentes durante su uso. Además, es importante que la máquina este equipada con un sistema de parada de emergencia que permita detener rápidamente su funcionamiento en situaciones de riesgo.

Fácil mantenimiento: el mantenimiento de la máquina es un aspecto importante para considerar para garantizar su funcionamiento óptimo y prolongar su vida útil. Por tal motivo, es esencial que el diseño de la máquina debe permitir un acceso fácil a los componentes y partes que requieran mantenimiento. Esto implica la posibilidad de desmontar de forma sencilla partes relevantes, como paneles o cubiertas, para facilitar la limpieza o el reemplazo de piezas.

Ergonomía: el diseño de la máquina debe garantizar la seguridad, comodidad y eficiencia de los operarios que interactúan con ella. Esto implica tener en cuenta la altura, espacio y posición de trabajo, evitando posturas forzadas o incómodas que puedan causar fatiga o lesiones a largo plazo.

Se procede a comparar los criterios entre las diferentes alternativas de solución para evaluar las ventajas y desventajas de cada una de ellas. El objetivo es realizar una selección adecuada que cumpla con los objetivos del proyecto (ver tabla 10).

Tabla 10 Comparación de los criterios con las alternativas de solución.

CRITERIO	ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN	
	Secadora de cacao tipo rectangular	Secadora de cacao tipo tambor rotatorio
Secado homogéneo	Secado no homogéneo, debido a su forma rectangular existe la posibilidad de una distribución desigual del calor dentro del secador. Esto puede resultar áreas con mayor o menor temperatura, lo que afectaría la calidad y uniformidad del secado.	Secado homogéneo, gracias a la rotación constante del cilindro interno, la secadora logra un secado homogéneo del cacao. Esta rotación permite la remoción uniforme, evitando áreas con mayor o menor humedad.
Fácil operación	Operación fácil, ya que las instrucciones y procedimientos de operación de la secadora son simples y directos.	
Seguridad	Nivel de seguridad medio, ya que el proceso de remoción es manual, lo que podría presentar un riesgo de quemaduras para el operador debido al calor.	Nivel de seguridad alto, ya que el operario no tiene contacto directo con los componentes de la máquina. Esto se debe a que la máquina cuenta con las protecciones adecuadas.
Fácil mantenimiento	Fácil mantenimiento, la estructura y diseño de la máquina facilitan acceder a los componentes y realizar tareas de limpieza y mantenimiento con facilidad.	Mantenimiento complejo, debido a la dificultad en la limpieza, ya que su diseño dificulta el acceso de algunas áreas del secador.
Ergonomía	El operario debe mantenerse de pie la mayor parte del tiempo supervisando el proceso. Además, realiza esfuerzos físicos al cargar, descargar y remover las semillas.	El operario no debe realizar esfuerzos físicos ni mantenerse de pie supervisando continuamente el proceso de secado.

En la tabla 11 se muestra la evaluación y asignación de su peso relativo de cada criterio

Tabla 11 Evaluación de cada criterio.

	Secado homogéneo	Fácil operación	Seguridad	Fácil mantenimiento	Ergonomía	$\Sigma +1$	Ponderación
Secado homogéneo		1	0.5	1	0.5	4	0.27
Fácil operación	0		0.5	1	0.5	3	0.2
Seguridad	0.5	0.5		0.5	0.5	3	0.2
Fácil mantenimiento	0	0	0.5		0.5	2	0.13
Ergonomía	0.5	0.5	0.5	0.5		3	0.2
TOTAL						15	1

En las tablas 12, 13, 14, 15 y 16 se muestra una evaluación de las alternativas con respecto a cada uno de los criterios para la selección de alternativas de solución.

Tabla 12 Evaluación de las alternativas con respecto al secado homogéneo.

SECADO HOMOGÉNEO	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma +1$	Ponderación
Alternativa 1		0	1	0.33
Alternativa 2	1		2	0.67
TOTAL			3	1
ALTERNATIVA 1 < ALTERNATIVA 2				

Tabla 13 Evaluación de las alternativas con respecto a fácil operación.

FÁCIL OPERACIÓN	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma +1$	Ponderación
Alternativa 1		0.5	1.5	0.5
Alternativa 2	0.5		1.5	0.5
TOTAL			3	1
ALTERNATIVA 1 = ALTERNATIVA 2				

Tabla 14 Evaluación de las alternativas con respecto a seguridad.

SEGURIDAD	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0	1	0.33
Alternativa 2	1		2	0.67
TOTAL			3	1
ALTERNATIVA 1 < ALTERNATIVA 2				

Tabla 15 Evaluación de las alternativas con a fácil mantenimiento.

FÁCIL MANTENIMIENTO	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	1	0.67
Alternativa 2	0		2	0.33
TOTAL			3	1
ALTERNATIVA 1 > ALTERNATIVA 2				

Tabla 16 Evaluación de las alternativas con ergonomía.

ERGONOMÍA	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0	1	0.33
Alternativa 2	1		2	0.67
TOTAL			3	1
ALTERNATIVA 1 < ALTERNATIVA 2				

Según la tabla 17, la mejor alternativa de solución para la máquina secadora de cacao es la alternativa 2, que corresponde a la secadora tipo tambor rotatorio. Además, en la selección se consideró la opinión de un Ingeniero Agroindustrial [40] experto en el procesamiento de alimentos de la Universidad Técnica del Norte, así como la perspectiva de un agricultor artesanal de cacao.

Tabla 17 Resultado de la evaluación de alternativas.

Conclusión	Secado homogéneo	Fácil operación	Seguridad	Fácil mantenimiento	Ergonomía	Σ	Ponderación
Alternativa 1	0.27 x 0.33	0.2x0.5	0.2x0.33	0.13x0.67	0.2x0.33	0.4082	2
Alternativa 2	0.27 x 0.67	0.2x0.5	0.2x0.67	0.13x0.33	0.2x0.67	0.5918	1

3.5. Método de calentamiento

En el sector industrial y doméstico, se emplean diversos métodos de calentamiento para distintas aplicaciones, tales como el calentamiento con GLP (Gas Licuado de Petróleo), el calentamiento eléctrico, el calentamiento por radiación y el calentamiento por inducción. Según las preferencias del cliente, se ha especificado que se requiere el uso de GLP como método de calentamiento para el flujo de aire.

3.5.1. Calentamiento con GLP

Se realiza mediante la combustión controlada de este combustible en un dispositivo, como un quemador o una caldera. El GLP se quema en presencia de oxígeno, liberando energía térmica en forma de calor. Este calor puede ser utilizado para calentar aire, agua, vapor u otros fluidos, dependiendo de las necesidades específicas de la aplicación industrial.

Ventajas

- Alta eficiencia energética
- Combustión más limpia
- Versatilidad
- Facilidad de uso

Desventajas

- Seguridad
- Disponibilidad y costo
- Emisiones contaminantes

3.6. Diseño de la máquina secadora de cacao

La máquina secadora de cacao está compuesta por varios sistemas que desempeñan funciones específicas en el proceso de secado. Cada sistema está formado por una serie de componentes que se dividen en sistemas individuales para comprender mejor sus características y funcionalidades. El diseño de la máquina se realiza considerando los requisitos específicos del proyecto, con el objetivo de diseñar una máquina que cumpla con su objetivo principal. La figura 15 proporciona una representación visual de los diferentes sistemas que componen la máquina secadora.

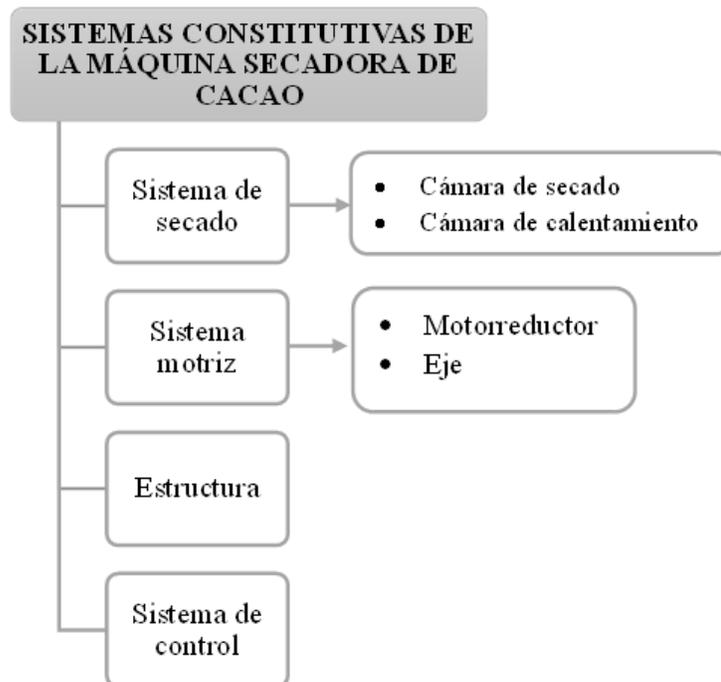


Figura 15 Esquema de los sistemas que conforman la máquina secadora.

3.6.1. Diseño del sistema de secado

El sistema de secado de la máquina está compuesto por dos componentes principales: la cámara de secado y la cámara de calentamiento.

Cámara de secado: consta de un cilindro rotatorio que alberga y seca el grano de cacao. Este cilindro está conectado al eje motriz y se encuentra ubicado dentro de la cámara de combustión. De esta manera, el cilindro rotatorio permite el movimiento y la adecuada distribución del cacao durante el proceso de secado.

Cámara de calentamiento: consta de un cilindro externo conectado a una tubería y un ventilador. El ventilador es responsable de generar el flujo de aire, que luego es calentado por el quemador ubicado debajo de la tubería. Esta configuración permite que el aire caliente circule a través de la tubería y llegue a la cámara de secado para realizar el proceso de secado.

3.6.1.1 Tambor rotatorio

Para el diseño del tambor rotatorio es necesario calcular el volumen de producción teniendo en cuenta una capacidad de semilla de cacao de 200 kg. Para realizar este cálculo, se utiliza la ecuación (1), y se toma en consideración la densidad del cacao fermentado, la cual se encuentra especificada en la Tabla 2.

$$V_{prod} = \frac{m_c}{\rho_c} \quad (1)$$

Donde:

V_{prod} = volumen de producción, [m³]

m_c = masa de cacao, 200 [kg]

ρ_c = densidad del cacao, 775 [kg/m³]

$$V_{prod} = \frac{200 \text{ kg}}{775 \text{ kg/m}^3}$$

$$V_{prod} = 0,26 \text{ m}^3$$

El volumen de producción para los 200 kg de grano de cacao es de $0,26 \text{ m}^3$. Para garantizar un proceso óptimo de secado, se recomienda que el cacao llene la mitad del volumen del cilindro interno, como se ilustra en la figura 16. Esto permite que en la otra mitad fluya el aire caliente y que el cacao se mueva libremente.

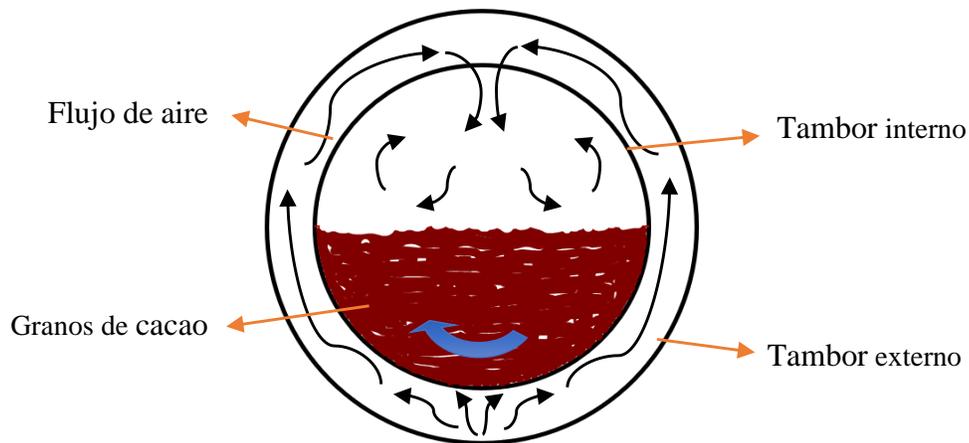


Figura 16 Volumen que ocupa los granos de cacao en el tambor interno.

En base a esta configuración, se utiliza la ecuación (2) para calcular el área ocupada por cacao en el cilindro rotatorio.

$$A_{sc} = \frac{\pi}{8} * D_e^2 \quad (2)$$

Donde:

A_{sc} = área del secado de cacao, $[m^2]$

D_e = diámetro externo del tambor rotatorio, $[m]$

Luego, se calcula la longitud mediante la relación del volumen de producción y el área de secado, con la ecuación (3).

$$V_{prod} = A_{sc} * L_c \quad (3)$$

$$L_c = \frac{V_{prod}}{A_{sc}}$$

Donde:

L_c = Longitud del cilindro rotatorio, [m]

V_{prod} = volumen de producción, [m³]

A_{sc} = Área del secado de cacao, [m²]

Con el fin de seleccionar las dimensiones adecuadas, se consideran diferentes diámetros para el cilindro rotatorio. Esto permite evaluar y determinar las dimensiones óptimas para asegurar un secado eficiente y uniforme del cacao en la máquina secadora. En la tabla 18 se presentan los cálculos correspondientes al área y longitud basados en los diámetros considerados.

Tabla 18 Dimensiones tentativas del cilindro rotatorio.

DIÁMETRO	ÁREA	LONGITUD
0,5	0,10	2,65
0,6	0,14	1,84
0,7	0,19	1,35
0,8	0,25	1,03
0,9	0,32	0,82
1	0,39	0,66
1,1	0,48	0,55
1,2	0,57	0,46
1,3	0,66	0,39

La figura 17 muestra un gráfico de líneas que representa la relación entre el diámetro y la longitud del tambor rotatorio. Este gráfico permite visualizar cómo varía la longitud del tambor en función de diferentes diámetros.

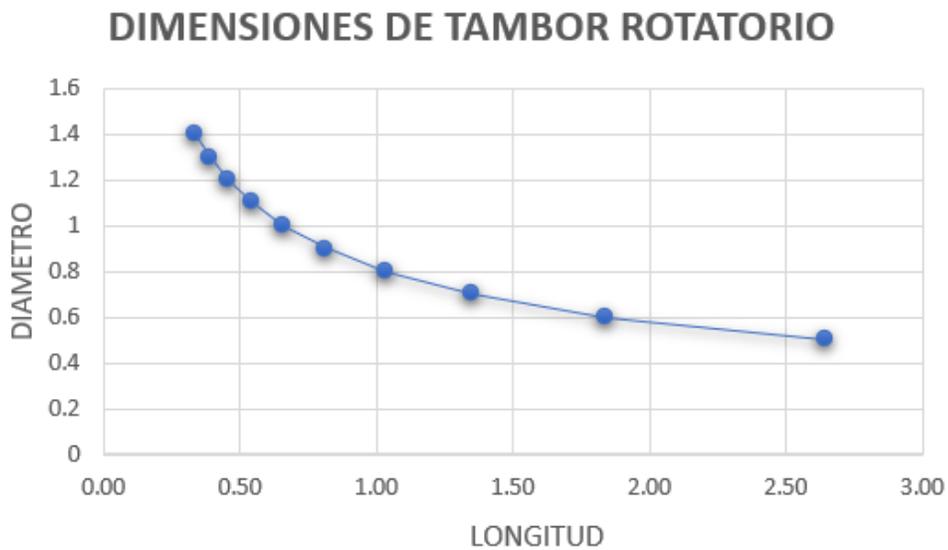


Figura 17 Diámetro Vs Longitud del cilindro rotatorio.

La relación seleccionada es la de diámetro 0,8 y longitud de 1,03 m, esta selección se basa en consideraciones de diseño. El diámetro se ha elegido considerando la altura de la máquina para garantizar una facilidad de acceso para la carga y descarga del cacao. Por otro lado, la longitud se selecciona en función del espacio necesario para el correcto funcionamiento de los sistemas de calentamiento, ventilación y remoción del cacao.

El cilindro rotatorio está diseñado con perforaciones que permiten el paso del aire durante el proceso de secado. Estas perforaciones aseguran que el aire caliente circule de manera uniforme a través del cilindro, entrando en contacto directo con las semillas de cacao y facilitando un secado homogéneo. Es importante que el diámetro de las perforaciones sea adecuado para permitir el flujo de aire sin que las semillas de cacao se filtren a través de ellas. En este caso, se ha establecido un diámetro de 8 mm.

En la secadora de cacao, el cilindro rotatorio está equipado con paletas fijas en el interior, cuya función principal es distribuir los granos de cacao uniformemente evitando su acumulación dentro del cilindro, esto permite que el aire caliente que ingresa entre en contacto con todas las superficies del cacao, evitando que se quemen o sufran daños durante el proceso de secado. Además, el diseño del cilindro incluye una abertura lateral, lo que facilita la carga y extracción de las semillas de cacao (ver figura 18).

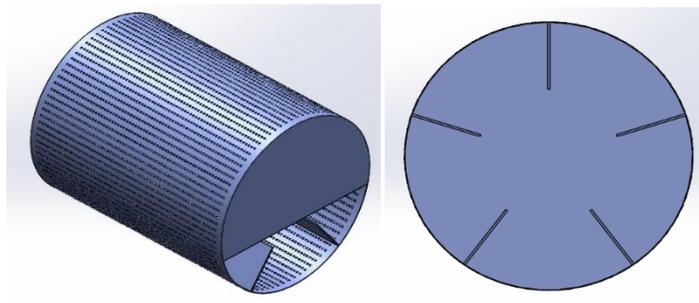


Figura 18 Diseño cilindro rotatorio.

3.6.1.2 Selección del material de la cámara de secado

Los materiales más comúnmente utilizados en la construcción de máquinas que entran en contacto directo con los alimentos, tanto a nivel mundial como local, son los aceros inoxidables y los aceros galvanizados. Estos materiales son ampliamente utilizados debido a su capacidad para cumplir con los requisitos de seguridad alimentaria.

Acero inoxidable: el acero inoxidable es ampliamente utilizado debido a su alta resistencia a la corrosión, resistencia al calor, facilidad de limpieza y durabilidad. Es un tipo de acero compuesto principalmente por hierro, cromo y carbono. Su contenido de carbono es bajo, alrededor del 0,8%, y contiene aproximadamente un 11% de cromo en peso. Esta composición le confiere al acero inoxidable su capacidad de resistir la corrosión en diversos entornos. Es un material muy valorado donde se requiere higiene, durabilidad y resistencia a la corrosión, como en la industria alimentaria. El acero inoxidable se divide en diferentes familias según su estructura, la tabla 19 muestra las propiedades generales de los distintos tipos de acero inoxidables [25].

Tabla 19 *Propiedades Generales de los aceros inoxidables [26].*

Tipo	Resistencia a la corrosión	Dureza	Magnéticos	Endurecibles por tratamiento térmico	Soldabilidad
Martensíticos	Baja	Alta	Si	Si	Pobre
Ferríticos	Buena	Media baja	Si	No	Limitada
Austeníticos	Excelente	Alta	No	No	Excelente

Se selecciona el acero inoxidable de tipo austenítico debido a sus ventajas distintivas. Estas incluyen una elevada resistencia a la corrosión, lo que lo hace altamente adecuado en entornos húmedos y corrosivos. Además, ofrece excelentes propiedades de soldabilidad, lo que facilita su fabricación y montaje de la maquinaria. También se caracteriza por su notable maleabilidad y ductilidad, lo que le permite ser moldeado en diversas formas y configuraciones. Otro beneficio importante es su excelente factor de higiene y facilidad de limpieza, lo que es crucial en aplicaciones alimentarias y puede funcionar eficazmente en temperaturas extremas sin perder sus propiedades mecánicas.

El acero inoxidable AISI 304, perteneciente a la familia de los austeníticos, es seleccionado debido a sus propiedades adecuadas para una amplia gama de aplicaciones. Este material se caracteriza por ser ligero y tener una alta ductilidad, lo que facilita su conformado y doblado. Además, ofrece una buena resistencia a la corrosión en diversos entornos. También muestra un buen rendimiento en temperaturas elevadas, en el rango de 800 a 900 °C, y exhibe propiedades mecánicas favorables. En la tabla 20 se ilustra sus propiedades mecánicas [26].

Tabla 20 Propiedades mecánica del acero inoxidable AISI 304 [27].

Resistencia a la tracción			Límite de fluencia			Alargamiento en 2" (%)	Reducción de área (%)	Relación de maquinabilidad 1212 EF =100%	Dureza (HRB)
MPa	kgf/mm ²	KSI	MPa	kgf/mm ²	KSI				
481	49	70	176	18	26	40	50	45	92
510	52	74	206	21	30				-

3.6.1.3 Cálculo del espesor del tambor rotatorio

Para calcular el espesor del cilindro, es posible realizar un análisis estático considerando el cilindro como una viga circular hueca. Se asume que la carga del cacao se distribuye uniformemente a lo largo de la viga.

El primer paso consiste en calcular la fuerza total ejercida sobre la viga. Para ello, se debe calcular la aceleración centrípeta, que es la aceleración experimentada por el cacao debido a la rotación del cilindro.

- **Aceleración centrípeta**

La aceleración centrípeta se calcula teniendo en cuenta la velocidad angular del cilindro interno. El cilindro interno requiere que rote a una velocidad comprendida entre 3 y 6 revoluciones por minuto (rpm). En este caso, se utilizará una velocidad promedio de 4,5 rpm. Para calcular la aceleración centrípeta, se emplea la ecuación (4).

$$a_c = w_c^2 * r_c \quad (4)$$

Donde:

$a_c =$ *aceleración experimentada por el cilindro en rotación, [m/s²]*

$w_c =$ *velocidad angular del cilindro, 4,5 rpm = 0,47 [rad/s]*

$r_c =$ *radio del cilindro rotatorio, [0,4 m]*

$$a_c = (0,47 \text{ rad/s})^2 * 0,4 \text{ m}$$

$$a_c = 0,0883 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

- **Fuerza dinámica**

Posteriormente, se realiza el cálculo de la fuerza dinámica utilizando la ecuación (5).

$$f_{din} = m_c * a_c \quad (5)$$

Donde:

$f_{din} =$ *fuerza dinámica que ejerce el cacao sobre el cilindro interno, [N]*

$m_c =$ *masa de cacao, 200 [kg]*

$a_c =$ *aceleración centrípeta, 0,0883 [m/s²]*

$$f_{din} = 200 \text{ kg} * 0,0883 \frac{m}{s^2}$$

$$f_{din} = 17,66 \text{ N}$$

- **Fuerza estática**

Para calcular la fuerza estática, se tiene en cuenta el peso de la carga que actúa sobre el cilindro, en este caso los 200 kg de semilla de cacao, para ello se emplea la ecuación (6).

$$f_{est} = 9,81 \text{ m/s}^2 * m_c \quad (6)$$

Donde:

f_{est} = fuerza estática generada por el cacao, [N]

m_c = masa de cacao, 200 [kg]

$$f_{est} = 9,81 \frac{m}{s^2} * 200 \text{ kg}$$

$$f_{est} = 1.962 \text{ N}$$

- **Fuerza total**

La fuerza total es el resultado de la fuerza dinámica y estática, se calcula mediante la ecuación (7).

$$F_{Total} = f_{din} + f_{est} \quad (7)$$

Donde:

F_{Total} = fuerza total que ejerce el cacao sobre el cilindro interno, [N]

f_{din} = fuerza dinámica que ejerce el cacao sobre el cilindro interno, 17,66 [N]

f_{est} = fuerza estática generada por el cacao sobre el cilindro interno, 1.962 [N]

$$F_{Total} = 17,66 \text{ N} + 1.962 \text{ N}$$

$$F_{Total} = 1.979.66 \text{ N}$$

- **Carga distribuida**

Con la ecuación (8) se calcula la carga distribuida de los granos de cacao a lo largo del cilindro rotatorio.

$$f_{distribuida} = \frac{F_{Total}}{L_c} \quad (8)$$

Donde:

$f_{distribuida}$ = carga distribuida del cacao sobre el cilindro interno, [N/m]

F_{Total} = fuerza total que ejerce sobre el cilindro interno, 1.979,66[N]

L_c = longitud del cilindro, 1,03 [m]

$$f_{distribuida} = \frac{1.979,66 \text{ N}}{1,03 \text{ m}}$$

$$f_{distribuida} = 1.922 \text{ N/m}$$

- **Diagrama de cuerpo libre (DCL)**

Se aplica una carga distribuida de 1.922 N/m a lo largo de la viga con una longitud de 1,03 m. El diagrama de cuerpo libre visualizada en la figura 19 muestra la fuerza que actúa en la estructura, lo que permite analizar y determinar las reacciones presentes en ella.

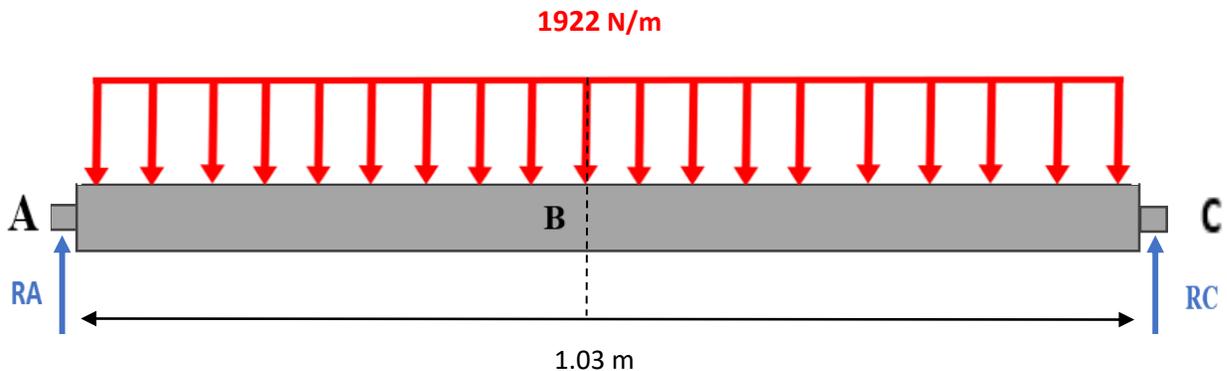


Figura 19 Diagrama de cuerpo libre de la viga.

- **Cálculo de reacciones A y C**

Para determinar las reacciones en los puntos A y C de la estructura, se realiza una sumatoria de fuerzas en el eje vertical (eje Y) y una suma de momentos en el punto A. Esto permite obtener las ecuaciones necesarias para calcular las reacciones en los puntos de apoyo de la estructura.

$$\Sigma F_y = 0$$

$$R_A + R_C - f_{dis} * L_C = 0$$

$$R_A + R_C - 1,922 * 1,03 = 0$$

$$R_A + R_C - 1,979,66 = 0$$

$$R_A + R_C = 1,979,66$$

Reacción en C:

$$\Sigma M_A = 0$$

$$-F_{Total} \left(\frac{l}{2} \right) + R_C * (L_C) = 0$$

$$-1,979,66 \left(\frac{1,03}{2} \right) + R_C * (1,03) = 0$$

$$R_C = 989,83 \text{ N}$$

Reacción en A:

$$R_A + R_C = 1,979,66$$

$$R_A + 989,83 = 1,979,66$$

$$R_A = 989,83 \text{ N}$$

La figura 20 muestra el tramo AB de la viga, se realiza este corte para poder obtener las ecuaciones necesarias para graficar el diagrama de fuerza cortante y el diagrama de momento flector.

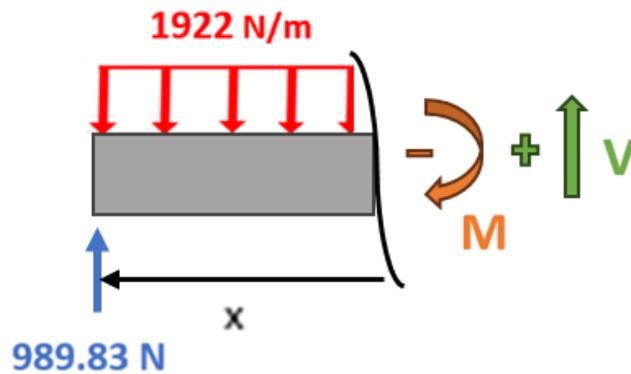


Figura 20 Tramo AB de la viga.

- **Diagrama fuerza cortante y momento flector del cilindro interno**

La figura 21 representa los puntos de la viga donde se alcanza la máxima intensidad de fuerza en la sección transversal. Estos puntos corresponden a los extremos de la viga donde se encuentran los puntos de apoyo, registrando una fuerza cortante máxima de 989,83 N. Se obtiene la siguiente ecuación para trazar el diagrama de fuerza cortante:

$$V = 989,83 - 1.922(x)$$

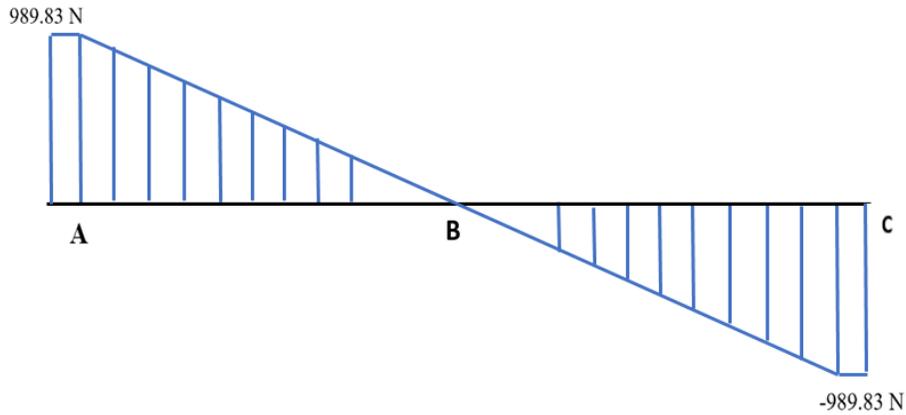


Figura 21 Diagrama de fuerza cortante del cilindro interno.

La figura 22 indica los puntos en los cuales la viga alcanza su máxima capacidad de resistencia. Este punto corresponde al punto B de la viga donde se aplica la carga puntual, registrando un momento máximo de 254,88 Nm. Se obtiene la siguiente ecuación para trazar el diagrama de momento flector:

$$-M - 989,83(x) + 1.922(x) \left(\frac{x}{2}\right) = 0$$

$$M = -989,83(x) + 961(x)^2$$

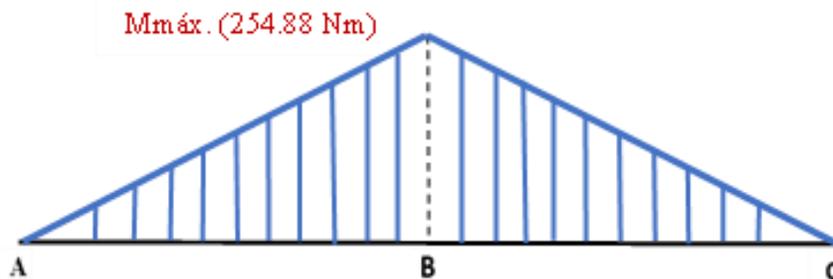


Figura 22 Diagrama de momento flector del cilindro interno.

Con el momento de flexión máximo se determina el módulo de resistencia de sección circular hueca, con la ecuación (9).

$$M = Z * R \quad (9)$$

Donde:

$M =$ momento de flexión generada por la carga distribuida, 254,88 [Nm]

$Z =$ módulo de sección, [m³]

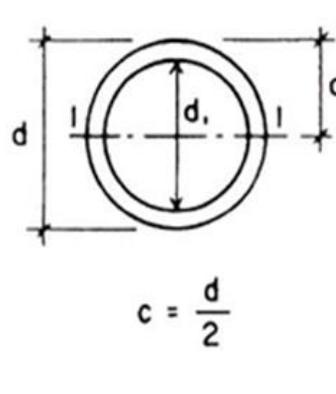
$R =$ resistencia a la tracción del material, 481x10⁶ [N/m²]

$$Z = \frac{M}{R}$$

$$Z = \frac{254,88 \text{ Nm}}{481 \times 10^6 \text{ N/m}^2}$$

$$Z = 5,299 \times 10^{-7} \text{ m}^3$$

Se calcula el diámetro interno del cilindro empleando la ecuación del módulo de sección para una viga circular hueca como muestra en la figura 23, para determinar el espesor.



$$A = \frac{\pi (d^2 - d_i^2)}{4}$$

$$I_x = \frac{\pi (d^4 - d_i^4)}{64}$$

$$S_x = \frac{\pi (d^4 - d_i^4)}{32 d}$$

$$r_x = \frac{\sqrt{d^2 - d_i^2}}{4}$$

$c = \frac{d}{2}$

S = módulo de la sección :

Figura 23 Propiedades de una viga sección circular hueca [28].

$$Z = \frac{\pi (D^4 - d^4)}{32 * D} \quad (10)$$

Donde:

$Z = \text{Modulo de resistencia de sección circular hueca, } 5,299 \times 10^{-7} \text{ [m}^3\text{]}$

$D = \text{diámetro extremo del cilindro interno, } 0,80 \text{ [m]}$

$d = \text{diámetro interno del cilindro interno, [m]}$

$$d = \sqrt[4]{D^4 - \frac{32 * Z * D}{\pi}}$$

$$d = \sqrt[4]{(0,80 \text{ m})^4 - \frac{32 * 5,299 \times 10^{-7} \text{ m}^3 * 0,80 \text{ m}}{\pi}}$$

$$d = 0,7999978916 \text{ m}$$

Espesor del cilindro, aplicando la ecuación (11).

$$e = \frac{D - d}{2} \quad (11)$$

Donde:

$e = \text{espesor del cilindro interno, [m]}$

$D = \text{diámetro externo del cilindro interno, } 0,80 \text{ [m]}$

$d = \text{diámetro interno del cilindro interno, } 0,7999978916 \text{ [m]}$

$$e = \frac{0,80 \text{ m} - 0,7999978916 \text{ m}}{2}$$

$$e = 1,0542 \times 10^{-6}$$

El espesor calculado es extremadamente pequeño, dado que las láminas perforadas de acero inoxidable AISI 304 disponibles en el mercado local comienzan desde un espesor de 0,3 mm. Por lo tanto, se ha optado por emplear un espesor de 1,5 mm para garantizar mayor resistencia.

3.6.1.4 Cálculos resistivos

Se realizará un análisis de resistencia con el objetivo de evaluar la capacidad del tambor interno para soportar la cargas y fuerzas a las que está expuesto. Este análisis implica calcular las tensiones internas y determinar los esfuerzos máximos a los que se somete el cilindro interno.

- **Diagrama del momento Torsor T**

Se obtiene el centroide del volumen ocupado por el cacao en el cilindro, que en este caso corresponde al 50% del área total como muestra la figura 24. Utilizando la ecuación (12), se realiza el cálculo del torque.

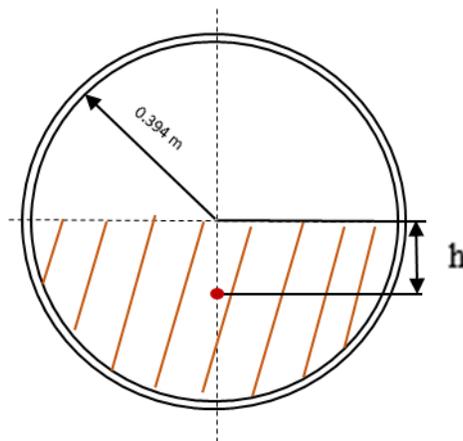


Figura 24 Centroide del volumen que ocupa el cacao.

$$T = h * W \quad (12)$$

Donde:

$T =$ momento torsor máximo, [Nm]

$h =$ distancia desde el eje del cilindro al centroide, 0,19925 [m]

$w =$ peso de los granos de cacao, 1.962 [N]

$$T = 0,19925 \text{ m} * 1.962 \text{ N}$$

$$T = 390,93 \text{ N}$$

El momento torsor máximo es de 390,93 Nm como muestra la figura 25.

T_{\max} (390.93 Nm)

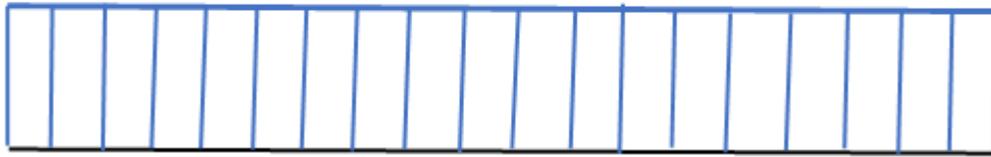


Figura 25 Diagrama de momento torsor.

Para determinar esfuerzo normal máximo, se calcula el momento de inercia de un eje circular hueco con la ecuación (13).

$$I = \frac{\pi (D^4 - d^4)}{64} \quad (13)$$

Donde:

$I =$ momento de inercia, [m⁴]

$D =$ diámetro externo del cilindro interno, 0,80 [m]

$d = \text{diámetro interno del cilindro interno, } 0,797 \text{ [m]}$

$$I = \frac{\pi (0,8 \text{ m}^4 - 0,797 \text{ m}^4)}{64}$$

$$I = 2,999 \times 10^{-4} \text{ m}^4$$

Para determinar el esfuerzo normal máximo, se aplica la ecuación (14).

$$\sigma = \frac{M_{max} * C}{I} \quad (14)$$

Donde:

$\sigma = \text{esfuerzo normal máximo, [MPa]}$

$M_{max} = \text{momento flector máximo, } 254,88 \text{ [Nm]}$

$C = \text{distancia desde el eje neutro hasta donde se determina el esfuerzo, } 0,40 \text{ [m]}$

$I = \text{momento de inercia, } 2,999 \times 10^{-4} \text{ [m}^4\text{]}$

$$\sigma = \frac{254,88 \text{ Nm} * 0,40 \text{ m}}{= 2,999 \times 10^{-4} \text{ m}^4}$$

$$\sigma = 0,3399 \text{ MPa}$$

Para determinar el esfuerzo cortante máximo, se calcula el momento polar de inercia para un eje circular hueco con la ecuación (15).

$$J = \frac{\pi (D^4 - d^4)}{32} \quad (15)$$

Donde:

$J = \text{momento polar de inercia, [m}^4\text{]}$

$D = \text{diámetro externo del cilindro interno, 0,80 [m]}$

$d = \text{diámetro interno del cilindro interno, 0,797 [m]}$

$$J = \frac{\pi (0,8 \text{ m}^4 - 0,797 \text{ m}^4)}{32}$$

$$J = 5,998 \times 10^{-4} \text{ m}^4$$

Para determinar el esfuerzo cortante máximo se emplea la ecuación (16).

$$\tau = \frac{T_{max} * r}{J} \quad (16)$$

Donde:

$\tau = \text{esfuerzo cortante máximo, [MPa]}$

$T_{max} = \text{momento torsor máximo, 390,93 [Nm]}$

$r = \text{radio del cilindro interno, 0,40 [m]}$

$J = \text{momento polar de inercia, } 5,998 \times 10^{-4} \text{ [m}^4\text{]}$

$$\tau = \frac{390,93 \text{ Nm} * 0,40 \text{ m}}{5,998 \times 10^{-4} \text{ m}^4}$$

$$\tau = 0,2607 \text{ MPa}$$

En la tabla 20 se encuentra los valores de límite a la fluencia (S_y) y resistencia a la tracción (S_{ut}) del material Acero Inoxidable AISI 304.

$$S_y = 176 \text{ MPa}$$

$$S_{ut} = 481 \text{ MPa}$$

- **Factor de seguridad**

Para determinar el factor de seguridad, se utiliza la ecuación (17) que aplica el criterio de von Mises para calcular el esfuerzo máximo equivalente.

$$S_{vm} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \quad (17)$$

Donde:

$$S_{vm} = \text{esfuerzo máximo de von Mises, [MPa]}$$

$$\sigma = \text{esfuerzo normal máximo, 0,3399 [MPa]}$$

$$\tau = \text{esfuerzo cortante máximo, 0,2607 [MPa]}$$

$$S_{vm} = \sqrt{(0,3399)^2 + 3 * (0,2607)^2}$$

$$S_{vm} = 0,565 \text{ MPa}$$

Se utiliza el factor de seguridad para evaluar la capacidad de resistencia del material frente a las cargas aplicadas. En este caso, se ha establecido un factor de seguridad mínimo de 3, lo que significa que se busca una amplia margen de seguridad. Utilizando la ecuación (18), se realiza el cálculo del esfuerzo teniendo en cuenta este factor de seguridad.

$$S_{vm} = \frac{S_y}{n} \quad (18)$$

$$S_{vm} = \frac{176 \text{ MPa}}{3}$$

$$S_{vm} = 58,66 \text{ MPa}$$

$$58,66 \text{ MPa} > 0,565 \text{ MPa}$$

El esfuerzo calculado con el criterio de von Mises no sobrepasa el esfuerzo máximo calculado con el factor de seguridad 3. Esto indica que el cilindro será capaz de soportar el peso del cacao sin exceder sus límites de resistencia.

3.6.1.5 Cámara de calentamiento

La cámara de calentamiento consta de un cilindro externo que actúa como soporte para el cilindro rotatorio. Su función principal es mantener el calor permitiendo eliminar la humedad y reducir el contenido de agua de los granos de cacao hasta niveles óptimos. Para lograrlo, la cámara está conectada a una tubería por donde ingresa el aire generado por un ventilador hacia el cilindro externo, y este aire es previamente calentado por quemadores antes de entrar en la cámara. De esta manera, se logra un proceso eficiente de secado de los granos de cacao.

3.6.1.6 Selección del tipo de aislante térmico

En la cámara de calentamiento, se utiliza un aislante térmico para minimizar la transferencia de calor entre dos ambientes con diferentes temperaturas. Su función principal es evitar pérdidas o ganancias excesivas de calor y mejorar la eficiencia del proceso de secado. Además, la presencia de un aislante térmico es esencial por razones de seguridad. Esto garantiza un control adecuado de la temperatura en el interior de la cámara, protegiendo tanto el equipo como el entorno circundante durante el proceso de secado.

En el mercado se encuentran diversos tipos de aislantes térmicos, y su selección depende tanto de la aplicación específica como del costo. En la tabla 21 se detallan las características de los aislantes térmicos más comunes.

Tabla 21 Características de los principales tipos termoaislantes [29].

TIPO DE AISLANTE	MATERIAL	CARACTERÍSTICAS
LANA DE VIDRIO	Se fabrica a partir de vidrio reciclado y fundido, que se convierte en fibras muy finas y flexibles	<ul style="list-style-type: none"> • Baja conductividad térmica • Excelente aislamiento acústico • Temperatura máxima 454°C • Fácil de instalar • Versatilidad • Ligero y fácil de manejar • Bajo costo
LANA DE ROCA	Se fabrica a partir de rocas naturales, como basalto o diabasa, que se funden a altas temperaturas y se transforman en fibras finas y flexibles	<ul style="list-style-type: none"> • Baja conductividad térmica • Temperatura máxima 982 °C • Instalación complicada • Pesado • Durabilidad • Alto costo
POLIESTIRENO	Es un polímero termoplástico derivado del petróleo, y se presenta en forma de espuma rígida y expandida.	<ul style="list-style-type: none"> • Baja conductividad térmica • Temperatura máxima 80°C • Instalación complicada • Ligero y fácil de manejar • Bajo costo

Considerando las características mencionadas, se ha optado por seleccionar la lana de vidrio en forma de manta como el termoaislante adecuado para la máquina secadora de cacao debido a sus beneficios.

3.6.1.7 Selección de ventilador

Un ventilador es un dispositivo mecánico que tiene la función de generar movimiento y circulación de aire. Funciona mediante un motor eléctrico que impulsa las aspas, generando así

un flujo de aire hacia adelante. Dependiendo del diseño y la configuración de las aspas, los ventiladores pueden generar diferentes tipos de flujo de aire, como flujo axial o radial.

Para el proceso de secado de granos, se recomienda el uso de un ventilador centrífugo debido a su mayor presión estática. Estos ventiladores generan un flujo de aire perpendicular a la dirección de rotación, lo que los hace ideales para aplicaciones en las que se necesita mover el aire a través de conductos o sistemas con cierta resistencia.

La selección del ventilador para la máquina secadora de cacao es un proceso importante para garantizar un funcionamiento óptimo del sistema. Al elegir el ventilador adecuado, se deben considerar varios factores:

Caudal del aire: es fundamental determinar la cantidad de aire requerida para el proceso de secado. El caudal de aire necesario dependerá del volumen de cacao que se esté secando y de los requisitos de velocidad y distribución del aire dentro de la cámara de calentamiento.

Presión estática: la presión estática es la resistencia que el sistema de ventilación debe vencer para mover el aire a través de los conductos hacia la cámara de secado.

Eficiencia energética: es importante elegir un ventilador que sea eficiente desde el punto de vista energético, ya que esto ayudará a reducir los costos operativos y el consumo de energía en el proceso de secado.

Nivel de ruido: es conveniente considerar el nivel de ruido por el ventilador para asegurar un ambiente de trabajo cómodo y seguro [30].

Para seleccionar el ventilador adecuado, es necesario determinar el caudal y la presión estática del sistema. Para ello, se deben calcular las pérdidas de carga debidas a la fricción y los accesorios presentes en la tubería.

- **Caudal**

Para calcular el caudal de aire necesario, es fundamental determinar el área de la salida del conducto por donde ingresará el aire a la cámara de calentamiento. En la figura 26 presenta las dimensiones de esta salida.

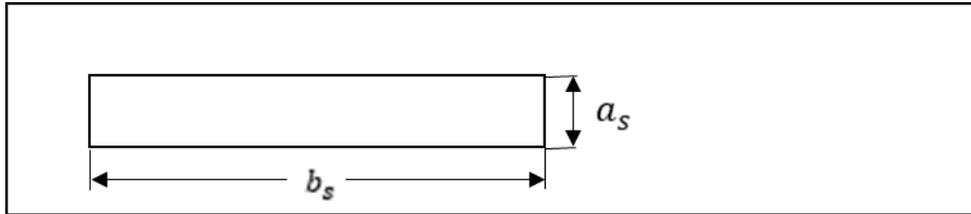


Figura 26 Dimensiones de salida de la tubería.

Se determina el área con la ecuación (19).

$$A_s = b_s * a_s \quad (19)$$

Donde:

A_s = área de la salida del ducto, $[m^2]$

b_s = base de la salida del ducto, $0,80 [m]$

a_s = altura de la salida del ducto, $0,10 [m]$

$$A_s = 0,80 m * 0,10 m$$

$$A_s = 0,08 m^2$$

Se calcula el caudal del aire con la ecuación (20).

$$Q_a = V_a * A_s \quad (20)$$

Donde:

$Q_a = \text{caudal del aire, [m}^3/\text{s]}$

$V_a = \text{velocidad del aire, 1,5 [m/s]}$

$A_s = \text{área de la salida del ducto, 0,08 [m}^2\text{]}$

$$Q_a = 1,5 \text{ m/s} * 0,08 \text{ m}^2$$

$$Q_a = 0,12 \text{ m}^3/\text{s}$$

- **Perdidas por fricción**

Para calcular las pérdidas de energía por fricción se aplica la ecuación de Darcy Weisbach (21).

$$h_f = f * \frac{L_t * V_a^2}{D_t * 2 * g} \quad (21)$$

Donde:

$h_f = \text{pérdida de energía debido a la fricción, [mca]}$

$f = \text{factor de fricción}$

$L_t = \text{longitud de la tubería, 1,20 [m]}$

$D_t = \text{diámetro de la tubería, [m]}$

$V_a = \text{velocidad del aire, 1,5 [m/s]}$

$g = \text{aceleración de la gravedad, 9,8 [m/s}^2\text{]}$

Se calcula el diámetro de la tubería con la ecuación (22).

$$A_s = \frac{\pi * D_t^2}{4} \quad (22)$$

Donde:

$A_s = \text{área de la salida del ducto, } 0,08 \text{ [m}^2\text{]}$

$D_t = \text{diámetro de la tubería, [m]}$

Se despeja para calcular el diámetro:

$$D_t = \sqrt{\frac{4 * A_s}{\pi}}$$

$$D_t = \sqrt{\frac{4 * 0,08 \text{ m}^2}{\pi}}$$

$$D_t = 0,32 \text{ m}$$

Para determinar el factor de fricción, primero se calcula el número de Reynolds utilizando la ecuación (22). Tomar en cuenta que si:

NR < 2000, flujo laminar

NR > 4000, flujo turbulento

$$NR = \frac{V_a * D_t * \rho_a}{\eta_a} \quad (23)$$

Donde:

NR = número de Reynolds

$V_a = \text{velocidad del aire, } 1,5 \text{ [m/s]}$

$D_t =$ diámetro de la tubería, 0,32 [m]

$\rho_a =$ densidad del aire a 1 atm con una temperatura de 60°C; 1,06 [kg/m³] [31]

$\eta_a =$ viscosidad dinámica del aire a 1 atm con una temperatura de 60°C, 2,008x10⁻⁵ [Pa * s] [31].

$$NR = \frac{1,5 \text{ m/s} * 0,32 \text{ m} * 1,06 \text{ kg/m}^3}{2,008 \times 10^{-5} \text{ kg/m} * \text{s}}$$

$$NR = 25.338$$

$$25.338 > 4000$$

Una vez calculado el número de Reynolds se verifica un flujo turbulento. Por lo tanto, el factor de fricción se determinará mediante el diagrama de Moody.

La tabla 22 proporciona los valores de rugosidad absoluta para distintos materiales, y en este caso se considera el valor correspondiente al acero comercial para calcular la rugosidad relativa.

Tabla 22 Valores de rugosidad de tubos para distintos materiales [32].

Material	Rugosidad (m)	Rugosidad (ft)
Vidrio	Liso	Liso
Plástico	3,0x10 ⁻⁷	9,8x10 ⁻⁷
Tubo extruido, cobre, latón y acero	1,5x10 ⁻⁶	4,9x10 ⁻⁶
Acero comercial o soldado	4,6x10 ⁻⁵	1,5x10 ⁻⁴
Hierro galvanizado	1,5x10 ⁻⁴	4,9x10 ⁻⁴
Hierro dúctil recubierto	1,2x10 ⁻⁴	3,9x10 ⁻⁴
Hierro dúctil no recubierto	2,4x10 ⁻⁴	7,9x10 ⁻⁴
Concreto, bien fabricado	1,2x10 ⁻⁴	3,9x10 ⁻⁴
Acero Remachado	1,8x10 ⁻⁴	5,9x10 ⁻⁴

Se calcula la rugosidad relativa con la ecuación (24).

$$R_r = \frac{\varepsilon}{D_t} \quad (24)$$

Donde:

R_r = rugosidad relativa

ε = rugosidad absoluta del acero comercial, $4,6 \times 10^{-5} [m]$

D_t = diámetro de la tubería, $0,32 [m]$

$$R_r = \frac{4,6 \times 10^{-5} \text{ m}}{0,32 \text{ m}}$$

$$R_r = 1,44 \times 10^{-4}$$

Utilizando el número de Reynolds y la rugosidad relativa, se procede a encontrar el factor de fricción en el diagrama de Moody. (Anexo 2)

De acuerdo con el diagrama de Moody, el factor de fricción es de 0,025. Con los valores obtenidos, se procede a reemplazar en la ecuación (21) para calcular la pérdida de energía por fricción en la tubería.

$$h_f = 0,025 * \frac{1,20 \text{ m} * (1,5 \text{ m/s})^2}{0,32 \text{ m} * 2 * 9,8 \text{ m/s}^2}$$

$$h_f = 0,011 \text{ mca}$$

- **Pérdidas en accesorios**

Las pérdidas en accesorios se refieren a las de energía que ocurren en un sistema de conducto debido a la presencia de componentes o accesorios como codos, válvulas, entre otros.

Estos accesorios generan turbulencias y cambios en la dirección del flujo, lo que produce una resistencia adicional al movimiento del fluido, por lo tanto, causa una pérdida de energía.

En este caso, se ha optado por instalar una tubería equipada con deflectores o difusores. Estos deflectores son de gran importancia, ya que desempeñan un papel crucial en el control y modificación del flujo del fluido, lo que a su vez mejora la transferencia de calor hacia la cámara de secado. Estos componentes permiten dirigir el aire caliente hacia la cámara de secado (ver figura 27).

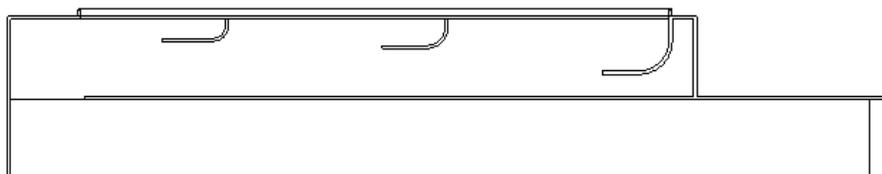


Figura 27 Diseño de la tubería.

Se calculan las pérdidas de presión en los difusores con la ecuación (25). En la tabla 23 muestra los valores de coeficientes de pérdidas en accesorios.

Tabla 23 Coeficiente de pérdidas en accesorios [32].

COEFICIENTE DE PÉRDIDAS EN ACCESORIOS	C
CODO 90°: LISO REDONDO	0.22
CODO 90°: 5 PIEZAS, REDONDEADO	0.33
CODO 90°: 4 PIEZAS, REDONDEADO	0.27
CODO 90°: 3 PIEZAS, REDONDEADO	0.42
CODO 90°: BISELADO, REDONDEADO	0.20
CODO 90°: LISO, RECTANGULAR	0.18
TEE, RAMA	1.00
TEE, FLUJO A TRAVÉS DEL TRAMO PRINCIPAL Y, SIMÉTRICA	0.10
REGULADOR 0° (COMPLETAMENTE ABIERTO)	0.20
REGULADOR 10°	0.52
REGULADOR 20°	1.50
REGULADOR 30°	4.50
REGULADOR 40°	11.00
REGULADOR 50°	29.00

$$h_a = C * \left(\frac{V_a}{1,29}\right)^2 \quad (25)$$

Donde:

h_a = pérdidas de presión en los difusores, [Pa]

C = coeficiente de pérdidas para codo 90°, 0,18

V_a = velocidad del aire, 1,5 [m/s]

$$h_a = 0,18 * \left(\frac{1,5 \text{ m/s}}{1,29}\right)^2$$

$$h_a = 0,24 \text{ Pa}$$

Como son tres difusores el total de pérdida por accesorio es 0,73 Pa.

- **Caída de presión estática**

La caída de presión estática se determina mediante la diferencia entre las pérdidas de carga por fricción y las pérdidas dinámicas causadas por los accesorios. Para este cálculo, se emplea la ecuación (26).

$$P_e = h_f - h_a \quad (26)$$

Donde:

P_e = caída de presión estática en la tubería, [Pa]

h_f = pérdida de energía debido a la fricción, 0,011 [mca] = 107,87 [Pa]

h_a = pérdidas de presión en los difusores, 0,73 [Pa]

$$P_e = 107,87 - 0,73$$

$$P_e = 107,14 Pa$$

Con los datos calculados se selecciona el ventilador:

$$Q_a = 0,12 \frac{m^3}{s} = 432 \frac{m^3}{h}$$

$$P_e = 107,14 Pa$$

El ventilador es elegido basándose en la curva del ventilador encontrada en el CATÁLOGO ECOFIT (Anexo 3). A continuación, se detallan sus características.

- Modelo: ventilador con salida rectangular GDSG9 146x188, sus dimensiones se observan en el Anexo 2 [33].
- Caudal: $432 \frac{m^3}{h}$
- Presión estática: $107,14 Pa$
- Potencia: 98 W
- Nivel de ruido: 59 dB
- RPM: 1.230 RPM
- Peso: 3,3 kg
- Material: acero galvanizado

3.6.1.8 Selección del quemador

Para la máquina secadora de cacao, se ha optado por utilizar un quemador atmosférico que funciona aprovechando el principio de convección natural para generar la mezcla de combustión entre el gas licuado de petróleo (GLP) y el aire. El quemador atmosférico se compone de un inyector de combustible que regula el flujo de aire y gas a través de un pequeño

agujero. La cantidad de gas que entra en el quemador depende de la presión que se encuentre en la línea de combustible.

El funcionamiento del quemador atmosférico es sencillo: el gas GLP se libera a través de una boquilla en la cámara de combustión, donde se mezcla con el aire que ingresa a través de los orificios en la estructura del quemador. La combinación de gas y aire forma una llama que se enciende para generar calor necesario en el proceso de secado del cacao.

Este tipo de quemador ha sido seleccionado debido a su diseño simple y su capacidad para operar sin necesidad de componentes adicionales, lo que lo convierte en una opción económica y confiable [33].



Figura 28 Quemador atmosférico [34].

3.6.1.9 Diseño de la chimenea

La función principal de la chimenea de la secadora de cacao es proporcionar una salida para el aire caliente y húmedo generado durante el proceso de secado de cacao, impidiendo así la acumulación de aire húmedo en el interior del cilindro rotatorio. También contribuye a mantener una atmósfera adecuada dentro del tambor al permitir una ventilación adecuada. La elección de una sección circular para la chimenea se basa en su capacidad para minimizar la resistencia al flujo de aire, lo que mejora la eficiencia de la salida del aire caliente y húmedo.

Los parámetros de diseño son el diámetro y altura de la chimenea, para determinar el diámetro se toma en cuenta las condiciones de la corriente residual, como la velocidad de salida de la chimenea y el flujo volumétrico. Se emplea la ecuación para calcular el diámetro de la salida de la chimenea (27).

$$Ds_{ch} = 1,128 \left(\frac{Q_a}{V_a} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (27)$$

Donde:

Ds_{ch} = diámetro de salida de la chimenea, [m]

Q_a = caudal del aire, 0,12 [m³/s]

V_a = velocidad del aire, 1,5 [m/s]

$$Ds_{ch} = 1,128 \left(\frac{0,12 \text{ m}^3/\text{s}}{1,5 \text{ m/s}} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$Ds_{ch} = 0,090 \text{ m}$$

El diámetro de la entrada de la chimenea por razones estructurales debe ser mayor al diámetro de salida de la chimenea, entonces se puede establecer una relación entre ambos diámetros para asegurar que se cumpla esta condición. Se utiliza un porcentaje de incremento del 15% para determinar el diámetro de entra en función del diámetro de salida. Se calcula el incremento con la ecuación (28).

$$In = Ds_{ch} * \left(\frac{\text{Porcentaje}}{100} \right) \quad (28)$$

Donde:

$In =$ incremento de diámetro, [m]

$DS_{ch} =$ diámetro de salida de la chimenea, 0,090 [m]

$$In = 0,090 * \left(\frac{15}{100}\right)$$

$$In = 0,0139 \text{ m}$$

Se calcula el diámetro de entrada de la chimenea mediante la ecuación (29):

$$De_{ch} = DS_{ch} + In \quad (29)$$

$$De_{ch} = 0,090 \text{ m} + 0,0139 \text{ m}$$

$$De_{ch} = 0,1039 \text{ m}$$

Con la ecuación (30) se calcula la altura que debe tener la chimenea:

$$Q = AC \sqrt{2gH * \frac{Ti - Te}{Ti}} \quad (30)$$

Donde:

$Q =$ caudal volumétrico del aire, 0,12 [m^3/s]

$A =$ área de la sección transversal de la chimenea, $A = \frac{\pi}{r^2} = 1.164,07 [m^2]$

$C =$ coeficiente de descarga, 0,65

$g =$ gravedad, 9,81 [m/s^2]

$Ti =$ media de la temperatura del aire caliente, 35°C a 60°C = 47,5°C

T_e = temperatura ambiente, 24°C

H = altura de la chimenea, [m]

Se despeja H en la ecuación para determinar la altura

$$H = \frac{T_i * (\frac{Q}{C * A})^2}{2 * g * (T_i - T_e)}$$

Remplazando se obtiene:

$$H = 2,594x10^{-9}$$

Según lo establecido en el artículo 58 de la normativa de prevención, mitigación y protección contra incendios, es recomendable que la chimenea sea alcance una altura de 1,5 a 3 metros desde el dispositivo, con el propósito de garantizar la protección contra daños [35].

3.6.2. Diseño del sistema motriz

El sistema motriz es responsable de proporcionar el movimiento necesario para que el cilindro interno rote y permita el proceso de secado del cacao. Este sistema está compuesto por una combinación de componentes que trabajan en conjunto para proporcionar el impulso requerido. Este sistema motriz se encarga de transmitir el movimiento al cilindro rotatorio, asegurando así una rotación continua y uniforme que evita quemaduras en los granos y logra un secado homogéneo. En particular, para esta aplicación se utilizará un motorreductor como elemento clave del sistema.

3.6.2.1 Selección del motorreductor

En el sistema motriz, el motorreductor es el componente central encargado de proporcionar la energía mecánica necesaria para el funcionamiento del tambor rotatorio. El

motorreductor se encarga de reducir la alta velocidad de rotación del motor eléctrico a una velocidad más baja y constante que sea apropiada para el proceso de secado, en este caso el tambor gira a una velocidad constante de 4,5 rpm.

Para la selección del motorreductor se debe determinar la potencia necesaria para girar el tambor rotatorio con la ecuación (31):

$$Pot_m = T * w_c \quad (31)$$

Donde:

$Pot_m = potencia\ del\ motor,\ [W]$

$T = momento\ torsor\ máximo,\ 390,93[Nm]$

$w_c = velocidad\ angular\ del\ cilindro\ rotatorio,\ 4,5\ rpm = 0,47\ [rad/s]$

$$Pot_m = 390,93\ Nm * 0,47\ rad/s$$

$$Pot_m = 183.737\ W = 0,246\ HP$$

Se ha optado por seleccionar un motorreductor cónico helicoidal para esta aplicación, teniendo en cuenta su posición de acoplamiento en la máquina como sus propiedades favorables. Este tipo de motorreductor combina las características de los reductores cónicos y helicoidales para ofrecer un movimiento más eficiente y suave. Sus características son:

- Distribución uniforme de la carga
- Menor desgaste
- Alta eficiencia
- Menor pérdida de energía
- Control de velocidad

- Versatilidad

Se ha seleccionado el motorreductor del catálogo Motorreductores MOTOX con una potencia de 0,22 kW, ya que es la opción más cercana a la potencia calculada. A continuación, se detallan algunas características específicas del motorreductor elegido. En anexo 4 se encuentran otras propiedades y dimensiones de dicho motorreductor.

Tabla 24 Características del motorreductor seleccionado [36].

Modelo	Potencia del motor	Velocidad de salida	Par de salida	Factor de servicio	Índice de reducción	Peso
Motorreductor cónico helicoidal K.48-LA80S8	0.22 kW/0.30 HP	4.8 rpm	432 Nm	1	169.53	29

3.6.2.2 Diseño del eje motriz

El eje del sistema de transmisión es el que une el motorreductor con el tambor rotatorio, y se encarga de transferir la potencia del motor al tambor para posibilitar su rotación. El eje debe ser lo suficientemente resistente para soportar la carga del cacao y las fuerzas producidas a lo largo del proceso de secado con el fin de proporcionar un funcionamiento óptimo y seguro. Para lograrlo, se requiere seleccionar el material apropiado y dimensionar el eje de acuerdo con las tensiones y esfuerzos a los que estará sometido durante el secado.

El material utilizado para el eje es el acero inoxidable AISI 304 debido a su destacada resistencia a la corrosión, lo que lo hace adecuado para un entorno húmedo y corrosivo generado por el calor. Además, este material es capaz de soportar altas temperaturas, lo que lo convierte

en una opción idónea para esta aplicación. En la tabla 25 se ilustra las propiedades físicas del acero inoxidable en ejes como la resistencia mecánica y punto de fluencia.

Tabla 25 Propiedades mecánicas del acero inoxidable en ejes [37].

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

$$S_y = 220 \text{ MPa}$$

$$S_{ut} = 520 \text{ MPa}$$

Se ha decidido aplicar un factor de seguridad de 2 para el eje. Para determinar el diámetro del eje se realiza el análisis de resistencia a la fatiga mediante la ecuación (32).

$$S_{y_s} = 0,77 * S_y \tag{32}$$

Donde:

S_{y_s} = resistencia a la fatiga

S_y = resistencia a la fluencia del material del eje, 220 [MPa]

$$S_{y_s} = 0,577 * 220 \text{ MPa}$$

$$S_{y_s} = 126,94 \times 10^6 \text{ Pa}$$

Para determinar la carga total que actúa sobre el eje, se considera el peso del cilindro rotatorio, el cual tiene una masa aproximadamente de 98,13 kg, equivalente a una fuerza de

962,66 N y la fuerza de reacción en el punto A del cilindro con un valor de 989,49 N, dando una fuerza total de 1.952,15 N.

Para el cálculo del diámetro se realiza una igualdad de las ecuaciones de torsión (33) y (34):

$$\tau = \frac{S y_s}{n} \quad (33)$$

$$\tau = \frac{\sqrt{3} * Fuerza_{total}}{\frac{\pi * D_e^2}{4}} \quad (34)$$

Igualando la ecuación:

$$\frac{\sqrt{3} * Fuerza_{total}}{\frac{\pi * D_e^2}{4}} = \frac{S y_s}{n}$$

Se despeja el diámetro:

$$D_e = \sqrt{\frac{\sqrt{3} * 4 * Fuerza_{total}}{\pi * S y_s}}$$

$$D_e = \sqrt{\frac{\sqrt{3} * 4 * Fuerza_{total}}{\pi * S y_s}}$$

$$D_e = 5,82 \times 10^{-3} \text{ m} \approx 5,82 \text{ mm}$$

3.6.2.3 Selección de rodamientos.

Los rodamientos son dispositivos mecánicos que permiten el movimiento relativo entre dos partes, minimizando así la fricción y el desgaste. El cilindro interno del secador de cacao

se apoya en los rodamientos, colocados en sus extremos para ofrecer un apoyo suficiente y permitir la rotación durante toda la operación.

En el proceso de selección del rodamiento, se consideran factores como el tamaño del diámetro del eje motriz, la temperatura a la que trabajará y su disponibilidad en el mercado.

El rodamiento es seleccionado del catálogo Rodamientos SKF, específicamente diseñados para soportar altas temperaturas. En el mercado se encuentra disponibles rodamientos con un diámetro mínimo de 10 mm para el eje. En la tabla 26 muestra las especificaciones de cada rodamiento.

Tabla 26 Especificaciones de rodamientos de bolas para temperaturas extremas [38].

VA201		2Z/VA201		2Z/VA208		2Z/VA228			
Dimensiones						Capacidad de carga estática básica C_0	Velocidad límite	Masa	Designación
d	D	B	d_1	D_2	$r_{1,2}$ min.				
mm									
10	35	11	17,5	28,7	0,6	3,4	400	0,053	6300-2Z/VA201
12	32	10	18,4	27,4	0,6	3,1	400	0,037	6201/VA201
	32	10	18,4	27,4	0,6	3,1	400	0,037	6201-2Z/VA201
	32	10	18,4	27,4	0,6	3,1	400	0,037	6201-2Z/VA228
15	35	11	21,7	30,4	0,6	3,75	360	0,045	6202/VA201
	35	11	21,7	30,4	0,6	3,75	360	0,045	6202-2Z/VA201
	35	11	21,7	30,4	0,6	3,75	360	0,045	6202-2Z/VA228
17	35	10	23	31,2	0,3	3,25	340	0,038	6003/VA201
	35	10	23	31,2	0,3	3,25	340	0,038	6003-2Z/VA201
	35	10	23	31,2	0,3	3,25	170	0,038	6003-2Z/VA208
20	40	12	24,5	35	0,6	4,75	310	0,065	6203/VA201
	40	12	24,5	35	0,6	4,75	310	0,065	6203-2Z/VA201
	40	12	24,5	35	0,6	4,75	310	0,065	6203-2Z/VA228
	47	14	26,5	39,6	1	6,55	280	0,11	6303/VA201
	47	14	26,5	39,6	1	6,55	280	0,11	6303-2Z/VA228
20	42	12	27,2	37,2	0,6	5	290	0,067	6004/VA201
	42	12	27,2	37,2	0,6	5	140	0,067	6004-2Z/VA208
	47	14	28,8	40,6	1	6,55	260	0,031	6204/VA201
	47	14	28,8	40,6	1	6,55	260	0,031	6204-2Z/VA201
	47	14	28,8	40,6	1	6,55	260	0,031	6204-2Z/VA228

Se calcula el factor de seguridad estática para el rodamiento de 10 mm mediante la ecuación (35) para verificar la resistencia a las cargas estáticas generadas por la carga del cacao y el cilindro interno.

$$s_o = \frac{C_o}{P_o} \quad (35)$$

Donde:

s_o = factor de seguridad estática

C_o = capacidad de carga estática básica, 3,4 [kN]

P_o = carga estática equivalente del rodamiento, 1.952,15 [N]

$$s_o = \frac{3.400 \text{ N}}{1.952,15 \text{ N}}$$

$$s_o = 1,74$$

Al ser un factor de seguridad muy bajo, se opta por seleccionar un rodamiento de 20 mm de diámetro para el eje motriz, con un factor de seguridad estática 2,56, el cual indica que el rodamiento tiene una capacidad de soportar las cargas aplicadas de manera segura y confiable.

3.6.3. Diseño de la estructura

La estructura de la máquina secadora de cacao debe proporcionar soporte, estabilidad y resistencia para el funcionamiento y seguridad del equipo durante el proceso de secado. La estructura de la máquina secadora de cacao se construirá utilizando tubo cuadrado galvanizado ASTM A500, ya que este material no entra en contacto directo con los granos de cacao. Además, posee una excelente resistencia a la corrosión, tiene buena durabilidad, fuerza y rigidez. En la tabla 27 se encuentra sus propiedades mecánicas:

Tabla 27 Propiedades mecánicas del acero galvanizado ASTM A500 [39].

Propiedades Mecánicas	Límite de Fluencia (Mpa) mín.	269
	Resistencia a la Tracción (Mpa) mín.	310
	Elongación Probeta 8"	25.0% mínimo

Para determinar el espesor adecuado del tubo, se llevará a cabo un análisis estático de una de las vigas que estarán sometidas a fuerzas estáticas, con el fin de garantizar la resistencia y estabilidad de la estructura durante su funcionamiento. Se calcula la fuerza estática que se ejerce sobre la viga con la ecuación (36).

$$F_e = m * 9,81m/s^2 \quad (36)$$

Donde:

F_e = fuerza estática que ejerce sobre la viga, [N]

m_c = masa de la estructura + la masa de la carga de cacao, aproximadamente 367 [kg]

$$F_e = 3.600 \text{ N}$$

Se realiza el diagrama de cuerpo libre de la viga perfectamente empotrada, para el análisis estático (ver figura 29)

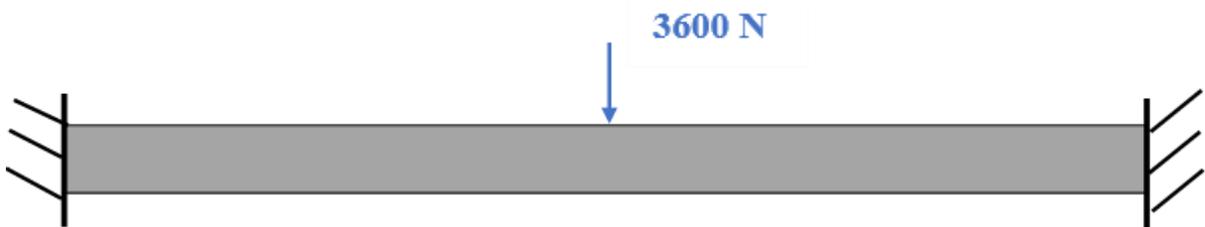


Figura 29 Diagrama de cuerpo libre de la viga.

Se calcula el momento flector máximo de la viga con la ecuación (37) para la carga de 3.600 N.

$$M_{max_v} = \frac{F_v * L_v}{8} \quad (37)$$

Donde:

M_{max_v} = momento flector máximo de la viga, [Nm]

F_v = fuerza estática que ejerce sobre la viga, 3.600 [N]

L_v = longitud de la viga, 1,033 [m]

$$M_{max_v} = \frac{3.600 \text{ N} * 1,033 \text{ m}}{8}$$

$$M_{max_v} = 464,85 \text{ Nm}$$

Se encuentra el módulo de sección de la viga de un tubo cuadrado hueco con la ecuación (38).

$$M = Z * R \quad (38)$$

Donde:

M = momento de flexión generada en la viga, 464,85 [Nm]

Z = módulo de sección, [m³]

R = resistencia a la tracción del material ASTM A500, 310x10⁶ [N/m²]

$$Z = \frac{M}{R}$$

$$Z = \frac{464,85 \text{ Nm}}{310 \times 10^6 \text{ N/m}^2}$$

$$Z = 1,5 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \approx 1,5 \text{ cm}^3$$

De acuerdo con la tabla 28, se verifica que el tubo cuadrado con una designación de 30x30 mm y un espesor de 1,80 mm cumple con la condición de la sección mínima requerida. Por lo tanto, se decide seleccionar esta dimensión para la estructura de la máquina.

Tabla 28 Características de tubos estructurales en acero galvanizado ASTM A500

[39].

Designaciones		Área	Peso	Propiedades Estáticas		
				Eje x-x = y-y		
				Momento de inercia	Módulo de resistencia	Radio de giro
B	e	A	P	I	W	I
mm	mm	cm ²	kg/m	cm ⁴	cm ³	cm
30	1,40	1,55	1,22	2,08	1,39	1,16
	1,50	1,65	1,30	2,20	1,47	1,15
	1,80	1,95	1,53	2,53	1,68	1,14
	2,00	2,14	1,68	2,73	1,82	1,13

3.6.3.1 Cálculo resistivo de la estructura

La máquina esta soportada por cuatro vigas, de manera que el peso total de la máquina, que es de 3.600 N, se distribuye equitativamente a cada punto de apoyo con un valor de 900 N para cada uno.

Se calcula el esfuerzo al que está sometido cada viga con la ecuación (39)

$$\sigma_v = \frac{F_e}{A} \quad (39)$$

Donde:

$\sigma_v =$ esfuerzo de compresión a la viga, [N]

$F_e =$ fuerza total, 3.600 [N]

$A =$ Área transversal de tubo cuadrado hueco, $2,03 \times 10^{-4}$ [m²]

$$\sigma_v = \frac{3.600 \text{ N}}{2,03 \times 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$\sigma_v = 17,734 \text{ MPa}$$

Se calcula el factor de seguridad para cada viga con el esfuerzo calculado, aplicando la ecuación (40).

$$n_v = \frac{S_y}{\sigma_v} \quad (40)$$

Donde:

$n_v =$ factor de seguridad

$S_y =$ resistencia a la fluencia del material acero galvanizado ASTM A500, 269 [MPa]

$\sigma_v =$ esfuerzo de compresión a la viga, 17,734 [MPa]

$$n_v = \frac{269 \text{ MPa}}{17,734 \text{ MPa}}$$

$$n_v = 15,16$$

3.6.4. Cálculos CFD

Flow Simulation es una herramienta integrada en el Software SolidWorks, que facilita la simulación de Dinámica de Fluidos Computacional (CFD). Esta herramienta es utilizada para analizar y comprender el comportamiento de los fluidos en diferentes sistemas. Flow Simulation facilita la evaluación de la transferencia de calor tanto dentro del fluido como en los componentes del diseño, permitiendo un análisis detallado de aspectos como la distribución de la temperatura, presión y otros resultados asociados al flujo de fluidos.

Se empleo esta herramienta para simular y visualizar la transferencia de calor a través del ducto, la cámara de calentamiento y secado. El enfoque principal fue observar cómo se comporta la convección forzada en interacción con el fluido. Durante estas simulaciones, se consideró diferentes fuentes de calor para determinar la temperatura adecuada de la llama. Por lo cual, se prestó atención a la temperatura dentro de la cámara de secado, asegurándose de que no exceda los 60°C, ya que esto podría ocasionar daños o quemaduras al grano de cacao.

La tabla 29 presenta los resultados de las temperaturas dentro de la cámara de secado con diferentes fuentes de calor. Al analizar los datos, se puede notar que la temperatura ideal en la fuente de calor es de 1.200°C, ya que esta temperatura no supera el límite máximo permitido en el cilindro interno.

Tabla 29 Resultados de análisis termodinámico.

Fuente de calor (°C)	Temperatura mínima (°C)	Temperatura máxima (°C)	Temperatura de salida (°C)
1000	32	54	37
1200	35	60	41
1300	40	62	43
1400	42	73	49

En la figura 30 presenta los resultados de distribución de temperatura del fluido mediante una gráfica acompañada de una escala de colores, utilizando una fuente de calor de 1.200 °C, Además la figura muestra diferentes puntos dentro del sistema con sus respectivas temperaturas correspondientes.

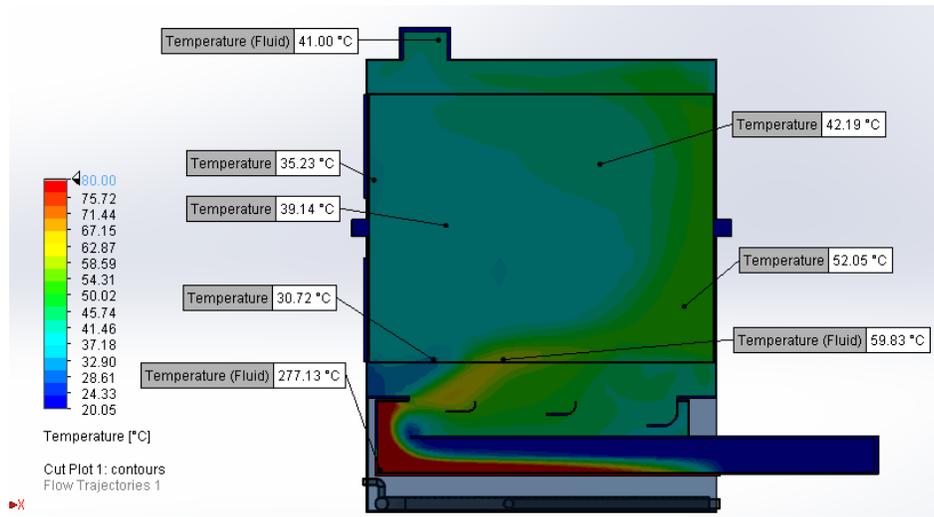


Figura 30 Resultado de Temperatura en el cálculo CFD.

La figura 31 ilustra la distribución del aire dentro por la tubería, la cámara de calentamiento y la cámara de secado.

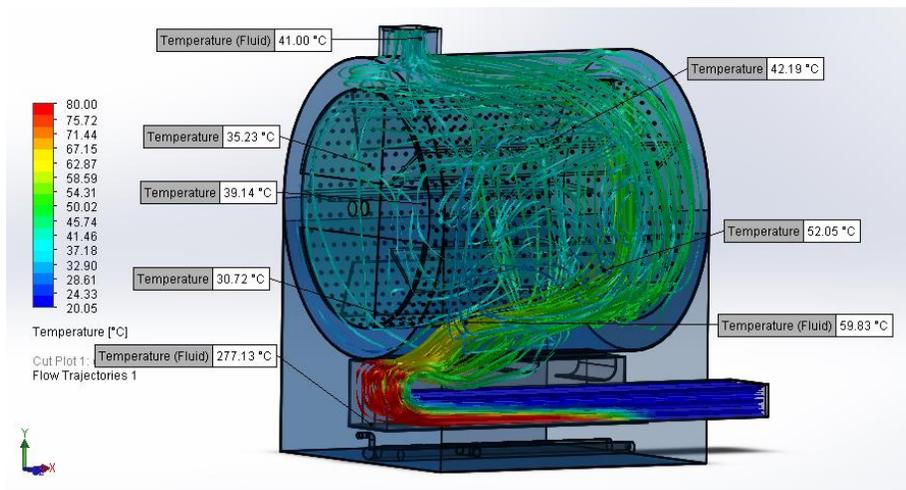


Figura 31 Resultado de distribución de flujo en el cálculo CFD.

3.6.5 Sistema de control

El sistema de control de la máquina secadora de cacao es responsable de monitorear y regular diversos parámetros y variables para asegurar un funcionamiento eficiente y seguro del proceso de secado.

3.6.5.1 Descripción de los componentes del sistema de control

- **PLC Siemens**

El PLC es un dispositivo de automatización industrial fabricado por Siemens, especialmente diseñado para realizar tareas de control y automatización en aplicaciones de pequeña a mediana escala. Su versatilidad le permitirá encargarse del control de la máquina secadora de cacao, controlando el encendido y apagado de máquina, la rotación del cilindro, la activación del ventilador y el monitoreo de la temperatura. En la tabla 30 se detallan las especificaciones del PLC.

Tabla 30 Datos técnicos del PLC Siemens.

MODELO	PLC LOGO! 230 RC
VOLTAJE DE ENTRADA	115 a 230 V AC/DC
NÚMERO DE ENTRADAS	8
NUMERO DE SALIDAS	4
CABLE DE PROGRAMACIÓN	Ethernet

- **Módulo de expansión LOGO! AM2 AQ**

El módulo de expansión LOGO! AM2 AQ es un dispositivo empleado para agregar dos salidas análogas adicionales al PLC LOGO! 230 RC. La intensidad de una señal eléctrica puede ajustarse mediante estas salidas análogas, lo cual es útil para controlar la válvula solenoide de gas. En la tabla 31 se proporciona algunas características del módulo.

Tabla 31 Datos técnicos del LOGO! AM2 AQ.

MODELO	MÓDULO LOGO! AM2 AQ
ALIMENTACIÓN	24VDC
ENTRADAS	-
SALIDAS	2 análogas
RANGO DE SALIDA	4-20 mA

- **Controlador de temperatura**

El controlador de temperatura se encargará de supervisar constantemente la temperatura dentro de la cámara de secado durante todo el proceso. Además, enviara los datos al PLC para asegurar que la temperatura se mantenga estable y precisa, optimizando así el proceso de secado del cacao. En la tabla 32 se muestra algunas características del controlador PID.

Tabla 32 Datos técnicos del controlador de temperatura PID REX-C100.

MODELO	Controlador de temperatura PID REX-C100
RANGO DE TEMPERATURA	0 a 400 °C
CONSUMO DE ENERGÍA	10 V
RESISTENCIA DE AISLAMIENTO	50M ohm (500V DC)

- **Válvula solenoide de GLP**

Una válvula solenoide es un dispositivo utilizado para regular el flujo de gas en aplicaciones industriales. Su funcionamiento se basa en un solenoide que, al recibir una corriente eléctrica, se activa para abrir o cerrar la válvula, permitiendo o irrumpiendo el flujo de gas.

- **Sensor de llama UV1 BRAHMA**

La detección de la llama en el quemador se efectuará mediante un sensor UV1, el cual está capacitado para detectar la presencia de la llama mediante una señal eléctrica. Su funcionamiento se basa en la detección de la radiación UV emitida por la llama cuando está presente mediante una fotocélula especializada.

- **Sensor de temperatura Termocupla Tipo K**

Las termocuplas tipo K son ampliamente utilizados en diversas aplicaciones como hornos, calderos y otros procesos industriales, debido a su amplio rango de temperatura de operación, que oscila entre -200 y 1260°C. La unión de medición, que se encuentra en el lugar donde se va a tomar la temperatura, se forma uniendo los extremos de los hilos metálicos que componen estos sensores, uno de los cuales es de níquel-cromo y el otro de níquel-aluminio.

- **Chispero de GLP**

Es un dispositivo eléctrico que se utiliza para encender gas en aplicaciones específicas, como los quemadores, hornos y calentadores. Funciona creando una chispa eléctrica entre dos electrodos mediante una descarga de alta tensión, que enciende gas.

3.6.5.2 Diseño de control de la temperatura

El control de la temperatura en la secadora de cacao se lleva a cabo mediante un sistema de automatización que incluye el PLC y el controlador de temperatura PID. El PLC recibe y procesa las señales del sensor de llama y la información de temperatura proporcionada por la termocupla. Utilizando esta información, el PLC toma decisiones y regula la válvula solenoide para mantener la temperatura dentro del rango deseado. Así, el sistema de automatización garantiza un control preciso y eficiente de la temperatura durante el proceso de secado de cacao. En la figura 32 se muestra un esquema del sistema de control de temperatura.

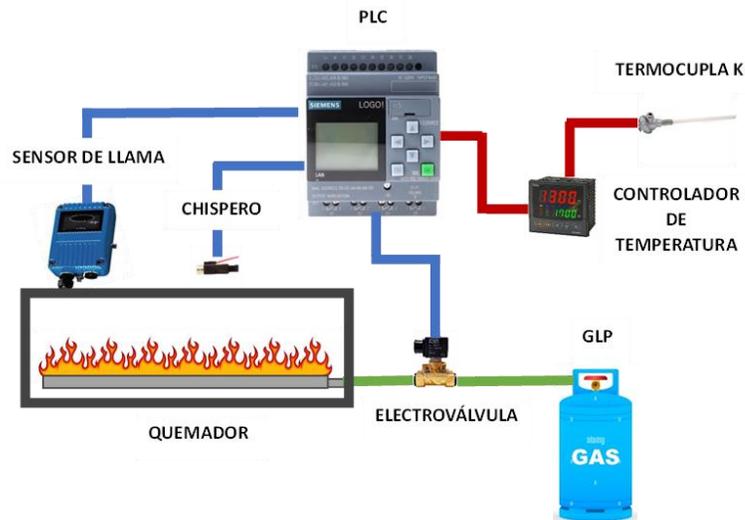


Figura 32 Esquema del control de temperatura.

3.6.5.3 Diseño de control de los motores eléctricos

La máquina secadora de cacao está equipada con un motorreductor que permite el giro del cilindro interno, facilitando la remoción homogénea de los granos de cacao durante el proceso de secado. También cuenta con un motor que acciona las aspas del ventilador, proporcionando el flujo de aire necesario para el secado, para luego ser calentado por el quemador. Este sistema es controlado mediante el PLC. En la figura 33 y 34 se ilustra el

diagrama de control y potencia para el encendido y apagado de los motores eléctricos, simulado a través del software CADe_SIMU.

DIAGRAMA DE POTENCIA

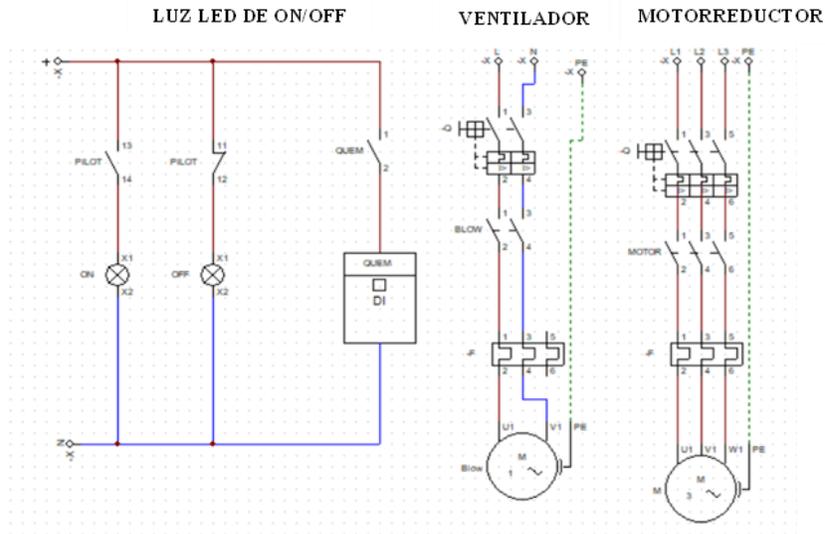


Figura 33 Diagrama de potencia de motores eléctricos.

DIAGRAMA DE CONTROL

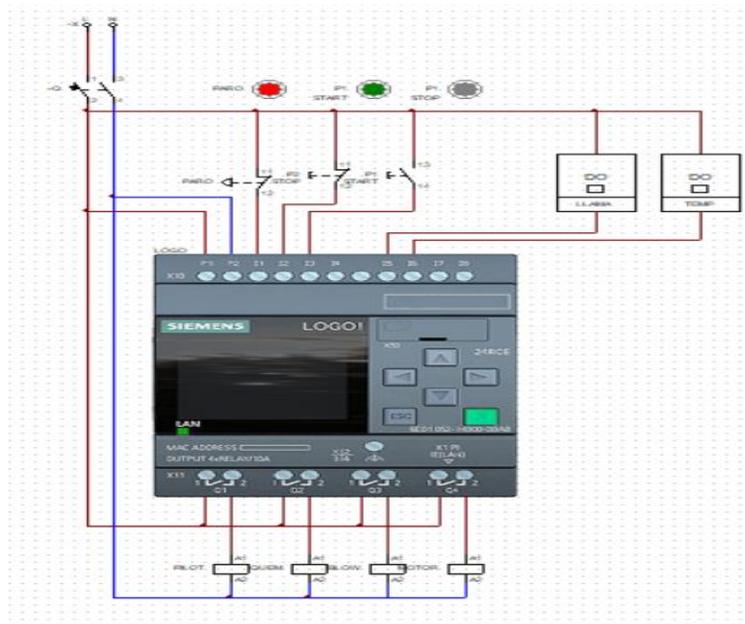


Figura 34 Diagrama de control de motores eléctricos.

3.6.5.4 Programación del PLC LOGO 230 RC

Se desarrolla la programación del PLC utilizando el software de simulación fluidSIM para automatizar la máquina secadora de cacao, tanto en el control de temperatura como en la activación de los motores eléctricos. El lenguaje de programación utilizado en esta simulación es el de bloques. En la figura 35 muestra la programación.

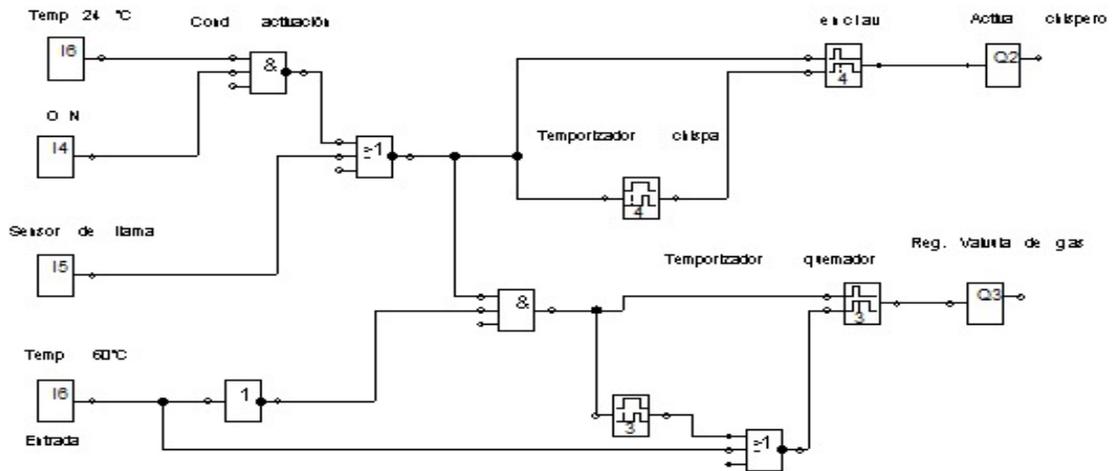


Figura 35 Programación del control de temperatura.

CONCLUSIONES

Mediante la revisión bibliográfica, se recopilaron datos sobre las propiedades fisicoquímicas del cacao, el procedimiento detallado del proceso de secado, los fundamentos que intervienen en dicho proceso, antecedentes sobre máquinas secadoras de semilla de cacao y la metodología de diseño utilizada para llevar a cabo de manera efectiva el proceso de secado.

Para el proceso de diseño, se ha empleado una matriz QFD (Casa de Calidad), con el propósito de asegurar que la máquina cumpla con los requisitos y necesidades del usuario, así como también los requerimientos técnicos establecidos.

Se ha diseñado una secadora de cacao de tipo rotatorio que opera con aire caliente generado por GLP (Gas Licuado de Petróleo), el diseño ha sido dimensionado para que la máquina sea capaz de soportar una capacidad de 200 kg de granos de cacao. La misma está compuesta por un cilindro que rota a una velocidad de 4,5 rpm, lo cual garantiza un proceso uniforme, sin comprometer las propiedades de calidad del cacao.

La estructura de la máquina ha sido diseñada con solidez y resistencia, considerando su capacidad para soportar tanto la carga del cacao como el sistema de secado, además se ha establecido que se construya con tubo cuadrado galvanizado ASTM A500, debido a sus propiedades de resistencia a la corrosión y durabilidad en ambientes de alta humedad y temperaturas elevadas. Esto garantiza una larga vida útil y un funcionamiento confiable.

La herramienta Flow Simulation ha sido de gran utilidad para comprender como se produce la transferencia de calor en todo el sistema de secado. Mediante estas simulaciones, se ha podido evaluar diferentes fuentes de calor y su impacto en la temperatura dentro de la cámara

de secado, asegurando que no sobrepase el límite de 60°C y de esta manera, protegiendo la calidad del cacao.

Los cálculos realizados mediante CFD (Dinámica de Fluidos Computacional) han demostrado su eficiencia en el proceso de secado, ya que aseguran una distribución uniforme del calor y una adecuada circulación del aire. Esto contribuye a un secado homogéneo de los granos de cacao, lo que resulta en una reducción de los tiempos de secado y en la obtención de un producto final de alta calidad.

RECOMENDACIÓN

Es importante no exceder la carga máxima de 200 kg de grano de cacao, ya que esto afectaría negativamente el proceso de secado, generando problemas en la distribución uniforme del calor, lo que impediría que el grano de cacao alcance su nivel de humedad óptimo, establecido entre el 7% y 6%.

Se recomienda no exceder los 60°C de temperatura durante el proceso de secado, ya que esto podría causar daños en el producto y además se debe trabajar con una velocidad del aire de 1,5 m/s, ya que a esta velocidad se logra un proceso de secado uniforme.

Para llevar a cabo el proceso de secado en la máquina secadora de cacao, es imprescindible que los granos hayan pasado previamente por el proceso de fermentación y se encuentre con una humedad entre 55 y 60%.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. López Guerrero, "“Producción y Comercialización de Cacao Fino de Aroma en el Ecuador - Año 2012-2014”", Superintendencia de Control del Poder del Mercado, p. 32, 2017.
- [2] M. D. Toroche Novillo, "“Diseño de un equipo automatizado para el proceso de secado de cacao”", Trabajo de grado, Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, Cuenca, 2021.
- [3] "Ecuador tiene en el cacao una oportunidad de oro". Gestión Digital. <https://revistagestion.ec/economia-y-finanzas-analisis/ecuador-tiene-en-el-cacao-una-oportunidad-de-oro>.
- [4] E. J. Gómez Urgilez, "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA AUTOMÁTICA PARA EL SECADO DE CACAO TIPO PLATAFORMA CON CAPACIDAD DE 100 LIBRAS, PARA MEJORAR LOS TIEMPOS DE PRODUCCIÓN EN LA HACIENDA SAN FRANCISCO, DE LA PARROQUIA PUCAYACU CANTÓN LA MANÁ.", Trabajo de grado, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Latacunga, 2019.
- [5] O. V. Cueva Moreno, "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA SECADORA AUTOMÁTICA PARA CACAO A BASE DE AIRE CALIENTE TIPO ROTATORIO PARA UNA CAPACIDAD DE 500 kg", Trabajo de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Riobamba, 2016.
- [6] P. E. Ramírez Villar, "EL CACAO: AYER, HOY Y SIEMPRE EN EL DESARROLLO SOCIOECONÓMICO Y CULTURAL DEL MUNDO, NORTE

DE SANTANDER Y CÚCUTA COCOA: YESTERDAY, TODAY AND ALWAYS IN THE SOCIO-ECONOMIC DEVELOPMENT AND CULTURAL WORLD OF NORTE DE SANTANDER AND CÚCUTA". 6a ed. 2013, p. 76–83.

- [7] Gestión del conocimiento, La Cadena de Valor del Cacao en América Latina y El Caribe. Quito: Cacao 2030-2050, 2019.
- [8] L. Batista, Guía Técnica El Cultivo de Cacao. Santo Domingo, República Dominicana: Centro para el Desarrollo Agropecuario y Forestal (CEDAF), 2009.
- [9] A. R. García Briones, "La cadena de producción del Cacao en Ecuador: Resiliencia en los diferentes actores de la producción", Novasinerгия, pp. 21, diciembre de 2021.
- [10] "EN 2021 SE CERTIFICARON MÁS DE 300 MIL TONELADAS DE CACAO EN GRANO HACIA 40 DESTINOS MUNDIALES - AGROCALIDAD". AGROCALIDAD. <https://www.agrocalidad.gob.ec/en-2021-se-certificaron-mas-de-300-mil-toneladas-de-cacao-en-grano-hacia-40-destinos-mundiales/>.
- [11] A. P. SOSA VERA, "ESTUDIO DEL CACAO FINO DE AROMA", Trabajo de grado, Universidad de los hemisferios, Quito, Ecuador, 2019.
- [12] Compañía Nacional de Chocolate, COSECHA, BENEFICIO Y CALIDAD DEL GRANO DE CACAO (*Theobroma cacao* L.). Medellín, Colombia, 2019.
- [13] M. Á. Arvelo Sánchez, D. González León, T. Delgado López, S. Maroto Arce y P. Montoya Rodríguez, ESTADO ACTUAL SOBRE LA PRODUCCIÓN, EL

COMERCIO Y CULTIVO DEL CACAO EN AMÉRICA. México: IICA 1942-2017, 2017.

- [14] E. M. Naranjo Vargas, Y. J. Zamora Solorzano, J. R. Moyano Arévalo y O. F. Balseca Sampedro, "Optimización del tiempo de secado a través del diseño de una secadora de cacao con movimiento rotatorio", Polo del Conocimiento, vol. 6, 2021, art. n.º 5. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.23857/pc.v6i5.2714>
- [15] Esencial Costa Rica, PROCOMER Costa Rica Experta y BID, POSCOSECHA DE CACAO FINO Y DE AROMA MANUAL TÉCNICO. 2021.
- [16] A. D. Chivango Dinis, "Dimensionamiento de un secador rotatorio para la mena aurífera de la empresa UEB producciones mineras "Placetas"", Trabajo de grado, INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO DE MOA, Moa, 2019.
- [17] NORMA TÉCNICA ECUATORIANA. (2006). CACAO EN GRANO. REQUISITOS. (INEN 176:2006).
- [18] A. Cabrera Vázquez, "El efecto de la temperatura de operación sobre el proceso de secado en un lecho fluidizado a vacío empleando vapor sobrecalentado para diferentes tipos de partículas", Trabajo de grado, Universidad de las Américas Puebla., Puebla, México, 2004.
- [19] Y. A. ÇENGEL y A. J. GHAJAR, TRANSFERENCIA DE CALOR Y MASA FUNDAMENTOS Y APLICACIONES, 4a ed. México: McGRAW-HILL, 2011.

- [20] F. J. Barrera Ríos, S. A. Ramírez León, E. Sánchez Ángeles, J. A. Pérez Trujillo y A. Cruz Álvarez, "Mecanismos de Transferencia de Calor", TEPEXI Boletín Científico de la Escuela Superior Tepeji del Río, vol. 8, 2021, art. n.º 16.
- [21] C. A. Jiménez Carballo, "TRANSFERENCIA DE CALOR", Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- [22] R. Hernández Sampieri, C. Fernández Collado y M. d. P. Baptista Lucio, METODOLOGÍA de la investigación, 5a ed. México: MCGRAW-HILL, 2010.
- [23] L. Reyes-Ruiz, "La investigación documental para la comprensión ontológica del objeto de estudio.", Tesis doctoral, Universidad Simón Bolívar, 2020.
- [24] Acosta, J. d. P. (2015). Modelo de despliegue de función de la calidad (QFD) aplicado a la responsabilidad social empresarial [Trabajo de posgrado inédito]. UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA.
- [25] INDURA S.A. (2010). Manual ACEROS INOXIDABLES.
- [26] BONNET. (1967). Suministros y Maquinaria.
- [27] Ferrocortes. (s.f.). Aceros Aleados Inoxidables Austenítico SAE 304.
- [28] PROPIEDADES DE LAS SECCIONES. (s.f.). (pp. 12).

- [29] COMISIÓN NACIONAL PARA EL USO EFICIENTE DE LA ENERGIA (CONUEE) y SECRETARÍA DE ENERGÍA (SENER), Beneficios del aislamiento térmico en la industria. 2009.
- [30] A. Parra Coronado y J. E. Hernández Hernandez, Movimiento de aire en sistemas de secado y almacenamiento de productos agrícolas. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, 2011.
- [31] Y. A. ÇENGEL y J. M. CIMBALA, Mecánica de fluidos: Fundamentos y aplicaciones. México: McGraw-Hill, 2006.
- [32] R. L. Mott, Mecánica de fluidos, 6a ed. México: Prentice Hall, 2006.
- [33] Rosenberg. (2012). *Catálogo ventiladores ECOFIT*.
- [34] B. Heath Flanigan, "AN EXPLORATION IN ATMOSPHERIC GAS BURNERS", Trabajo de maestría, Universidad de Tennessee en Chattanooga en Parcial, Chattanooga, Tennessee, 2019.
- [35] Registro Oficial Edición Especial. (2009). *REGLAMENTO DE PREVENCION, MITIGACION Y PROTECCION CONTRA INCENDIOS* (Acuerdo Ministerial 1257).
- [36] SIEMENS. (2008). *Motorreductores MOTOX*.
- [37] DIPAC. (s.f.). *Ejes AISI 304 (Inoxidable)*.

[38] SKF. (s.f.). *Rodamientos*.

[39] IMPORT ACEROS. (s.f.). *Catálogo de Productos*.

[40] C. Vega (entrevista), 2023

ANEXOS

Anexo 1: Características del Acero Inoxidable AISI 304 en plancha



Estado de suministro

Laminado más torneado con tolerancia ISO 286-2 h11
Trefilado con tolerancia ISO 286-2 h11

Formas y color:



Características

Acero inoxidable austenítico, aleado con Cromo y Níquel y bajo contenido de Carbono que presenta una buena resistencia a la corrosión. No es templable ni magnético. Puede ser fácilmente trabajado en frío.

Microestructura



El tipo 304 presenta una estructura de grano austenítico equiaxiado uniformemente.

Microestructura típica del tipo 201, 200X. Ataque químico con reactivo glicerregia.

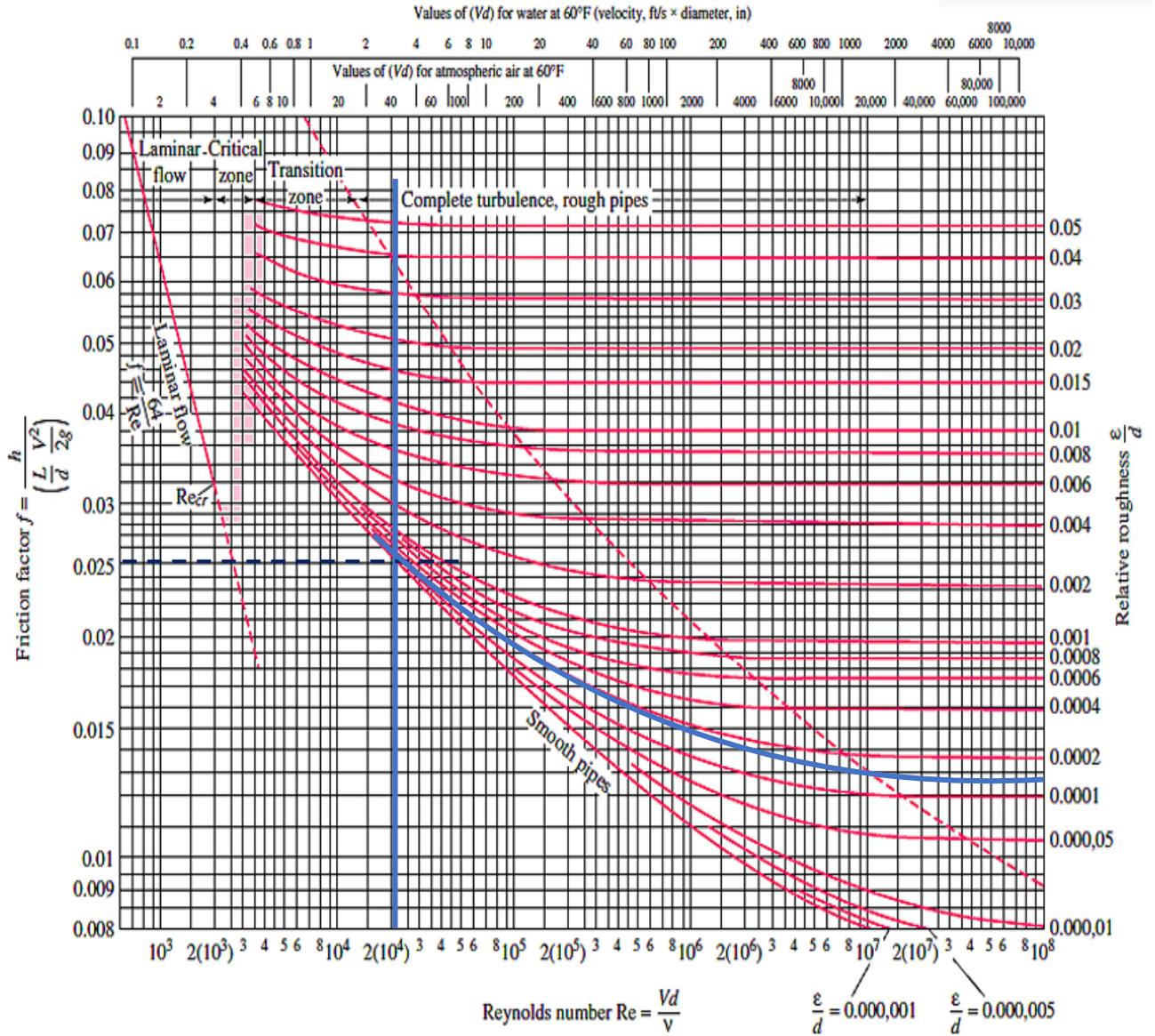
Composición química (% en peso)

	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Ni
304	0.08 Máx.	1.00 Máx.	2.00 Máx.	0.045 Máx.	0.030 Máx.	18.00 - 20.00	8.0 - 10.5
304L	0.03 Máx.	1.00 Máx.	2.00 Máx.	0.045 Máx.	0.030 Máx.	18.00 - 20.00	8.0 - 12.0

Propiedades mecánicas mínimas estimadas SAE J1397

Resistencia a la tracción			Limite de fluencia			Alargamiento en 2" (%)	Reducción de área (%)	Relación de maquinabilidad 1212 EF =100%	Dureza (HRB)
MPa	kgf/mm ²	KSI	MPa	kgf/mm ²	KSI				
481	49	70	176	18	26	40	50	45	92
510	52	74	206	21	30				-

Anexo 2: Diagrama de Moody



Anexo 3: Propiedades y dimensiones del ventilador.

Double inlet centrifugal fans - G9 motor

ECOFIT Data sheet

For professional use only. Please refer to the conditions of use of our catalogue.

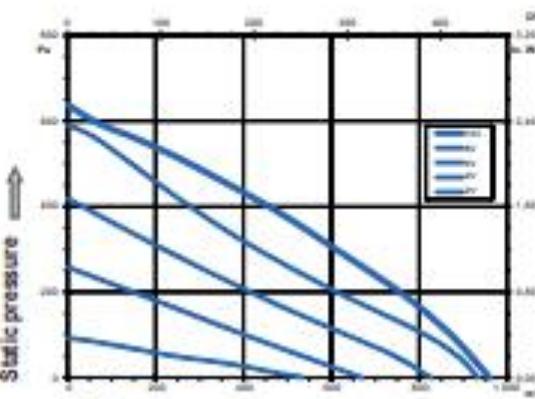
Rev. 2 - Revision : 07-2012

GDSG9 146x188R P/N L02-A3

Voltage	Frequency	Total power	Current	Airflow	Speed	Noise level	Rotation direction	Operating temperature	CE	CE
V	Hz	W	A	m³/h	RPM	dBA	R	Min / Max	OK	OK
230	50/60	98	0.36	960	1230	59	R	-30°C / +50°C	OK	OK
230	50/60			363 CFM				-4°F / +122°F		

dB(A) free jet out

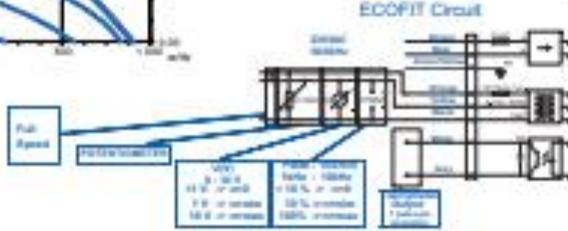




- Weight: 3.3 Kg
- Ball bearing
- Class F winding
- IP4x may be IP44 after checking customer appliance
- G2.5 balancing
- Scroll housing: black paint
- Galvanized steel impeller

CE

ECOFIT Circuit



Full speed

21338

ECOFIT

<http://www.ecofit.com> E-mail: info@ecofit.com

Professional use only

06/2010

Anexo 5: Características del Acero Inoxidable AISI 304 en eje.

EJES

ACERO INOXIDABLE

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

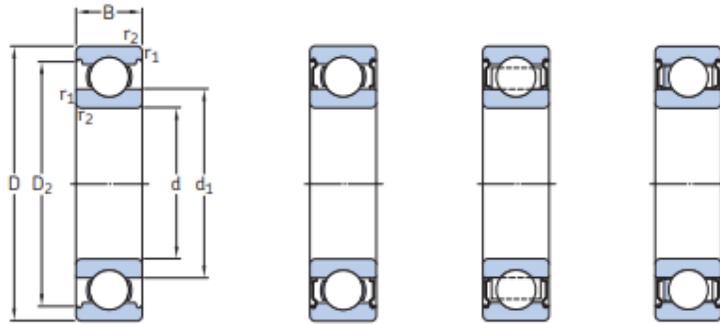
PROPIEDADES MECÁNICAS			
RESISTENCIA MECÁNICA (N/mm ²)	PUNTO DE FLUENCIA (N/mm ²)	Elongación % Min.	DUREZA ROCKWELL B
520	220	20	249 - 278

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"
4"
5"
6"

Anexo 6: Propiedades y dimensiones del rodamiento.

15B.1 Rodamientos rígidos de una hilera de bolas para temperaturas extremas d 10 – 65 mm



VA201

2Z/VA201

2Z/VA208

2Z/VA228

Dimensiones						Capacidad de carga estática básica C_0	Velocidad límite	Masa	Designación
d	D	B	d_1	D_2	$r_{1,2}$ min.				
mm						kN	r. p. m.	kg	-
10	35	11	17,5	28,7	0,6	3,4	400	0,053	6300-2Z/VA201
12	32	10	18,4	27,4	0,6	3,1	400	0,037	6201/VA201
	32	10	18,4	27,4	0,6	3,1	400	0,037	6201-2Z/VA201
	32	10	18,4	27,4	0,6	3,1	400	0,037	6201-2Z/VA228
15	35	11	21,7	30,4	0,6	3,75	360	0,045	6202/VA201
	35	11	21,7	30,4	0,6	3,75	360	0,045	6202-2Z/VA201
	35	11	21,7	30,4	0,6	3,75	360	0,045	6202-2Z/VA228
17	35	10	23	31,2	0,3	3,25	340	0,038	6003/VA201
	35	10	23	31,2	0,3	3,25	340	0,038	6003-2Z/VA201
	35	10	23	31,2	0,3	3,25	170	0,038	6003-2Z/VA208
20	40	12	24,5	35	0,6	4,75	310	0,065	6203/VA201
	40	12	24,5	35	0,6	4,75	310	0,065	6203-2Z/VA201
	40	12	24,5	35	0,6	4,75	310	0,065	6203-2Z/VA228
	47	14	26,5	39,6	1	6,55	280	0,11	6303/VA201
	47	14	26,5	39,6	1	6,55	280	0,11	6303-2Z/VA228
	47	14	26,5	39,6	1	6,55	280	0,11	6303-2Z/VA228
25	42	12	27,2	37,2	0,6	5	290	0,067	6004/VA201
	42	12	27,2	37,2	0,6	5	140	0,067	6004-2Z/VA208
	47	14	28,8	40,6	1	6,55	260	0,031	6204/VA201
	47	14	28,8	40,6	1	6,55	260	0,031	6204-2Z/VA201
	47	14	28,8	40,6	1	6,55	260	0,031	6204-2Z/VA228
	47	14	28,8	40,6	1	6,55	260	0,031	6204-2Z/VA228
30	52	15	30,3	44,8	1,1	7,8	250	0,14	6304/VA201
	52	15	30,3	44,8	1,1	7,8	250	0,14	6304-2Z/VA201
	52	15	30,3	44,8	1,1	7,8	250	0,14	6304-2Z/VA228
	47	12	32	42,2	0,6	6,55	250	0,078	6005/VA201
	47	12	32	42,2	0,6	6,55	250	0,078	6005-2Z/VA201
	47	12	32	42,2	0,6	6,55	120	0,078	6005-2Z/VA208
35	52	15	34,3	46,3	1	7,8	230	0,13	6205/VA201
	52	15	34,3	46,3	1	7,8	230	0,13	6205-2Z/VA201
	52	15	34,3	46,3	1	7,8	230	0,13	6205-2Z/VA228
	62	17	36,6	52,7	1,1	11,6	200	0,23	6305/VA201
	62	17	36,6	52,7	1,1	11,6	200	0,23	6305/VA201

Anexo 7: Características del Acero galvanizado ASTM A500 en tubo cuadrado.

Tubo Cuadrado y Rectangular de Acero ASTM A500



TUBO CUADRADO ACERO A500

El tubo cuadrado de acero estructural laminado al caliente (LAC), presenta una soldadura interna con el sistema ERW. Son ampliamente utilizados en el mantenimiento industrial, implementos agrícolas, equipos de transporte, ornamental, etc.

Especificaciones: ASTM A500, AISI A500

Fácil de soldar, cortar, dar forma y maquinar.

Longitud 6 metros.

Propiedades Mecánicas	Límite de Fluencia (Mpa) mín.	269
	Resistencia a la Tracción (Mpa) mín.	310
	Elongación Probeta 8"	25.0% mínimo

TUBO CUADRADO A500

Dimensiones		Espesor		Peso Teórico	
mm	pulg	mm		Kg/m	
25 x 25	1" x 1"	1.5		1.061	
		2		1.460	
30 x 30	1 1/4" x 1 1/4"	1.5		1.300	
		2		1.700	
40 x 40	1 1/2" x 1 1/2"	1.5		1.770	
		2		2.244	
		3		3.320	
50 x 50	2" x 2"	1.5		2.250	
		2		3.122	
		2.5		3.872	
		3		4.316	
75 x 75	3" x 3"	2		4.500	
		2.5		5.560	
		3		6.810	
100 x 100	4" x 4"	2		6.165	
		2.5		7.675	
		3		9.174	
		4		12.133	
		4.5		13.594	
		6		16.980	
125 x 125	5" x 5"	3		11.310	
		4		14.870	
		4.5		16.620	
		6		21.690	
150 x 150	6" x 6"	3		13.670	
		4.5		20.8	
		6		27.386	

* Equivalencias de conversión son aproximadas.

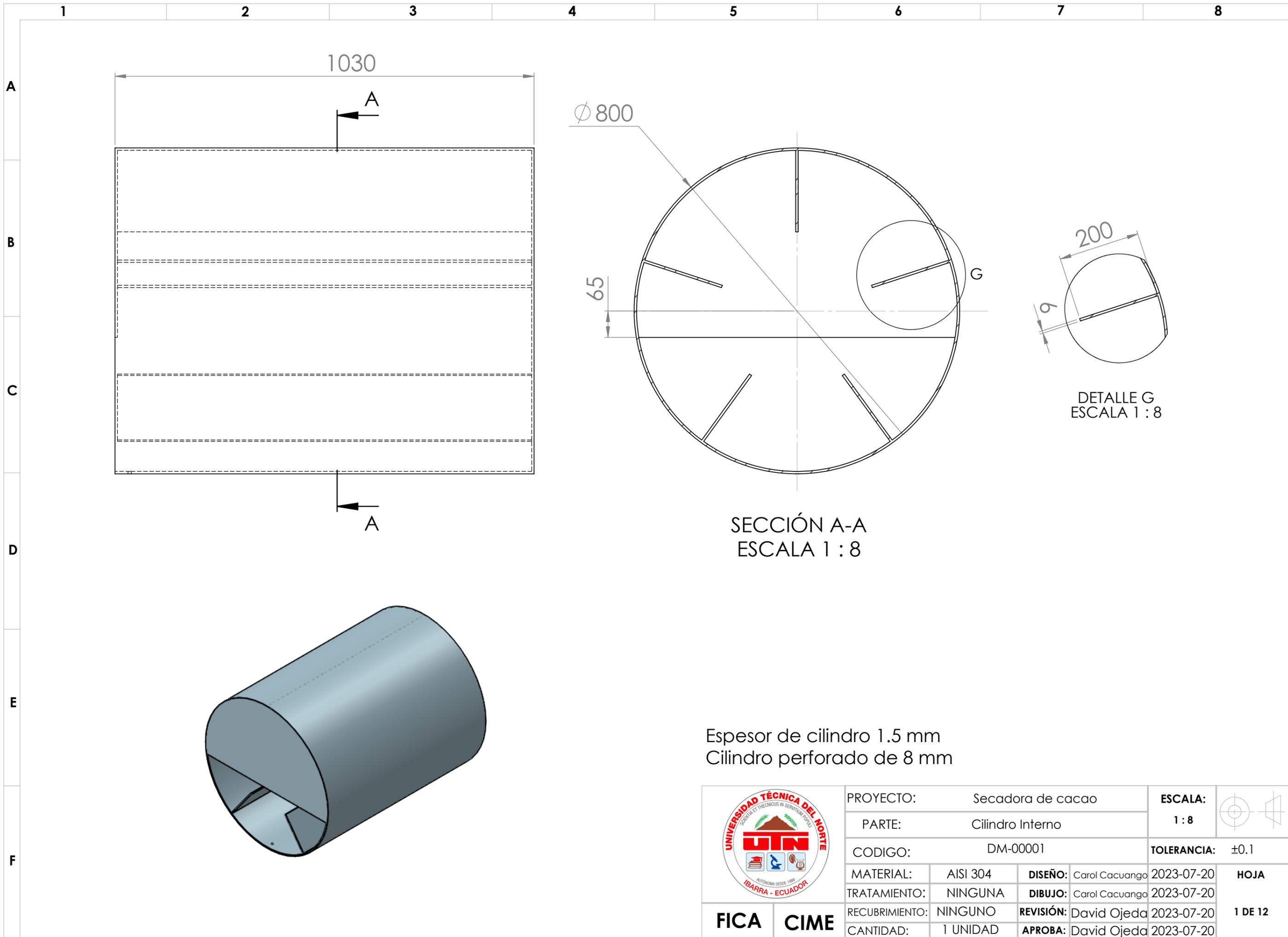
TUBO RECTANGULAR A500

Dimensiones		Espesor		Peso Teórico	
mm	pulg	mm		Kg/m	
20 x 40	3/4" x 1 1/2"	1.5		1.354	
		2		1.700	
25 x 50	1" x 2"	1.5		1.650	
		2		2.261	
40 x 60	1 1/2" x 1 3/4"	1.5		2.260	
		2		3.033	
		2.5		3.600	
40 x 80	1 1/2" x 3 3/16"	3		4.250	
		1.5		2.710	
		2		3.660	
50 x 75	2" x 3"	2.5		4.390	
		3		5.190	
		3		5.423	
		2		4.500	
50 x 100	2" x 4"	2.5		5.560	
		3		6.600	
		4		8.590	
50 x 150	2" x 6"	2		6.165	
		2.5		7.676	
		3		9.174	
100 x 150	4" x 6"	4		11.730	
		3		10.850	
		4.5		16.600	
100 x 200	4" x 8"	6		21.700	
		3		13.670	
		4		18.010	
150 x 200	6" x 8"	4.5		20.150	
		6		26.400	
		4		21.150	
		4.5		23.680	
		6		31.100	

* Equivalencias de conversión son aproximadas.

ANEXO 8

PLANOS



SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 8

DETALLE G
ESCALA 1 : 8

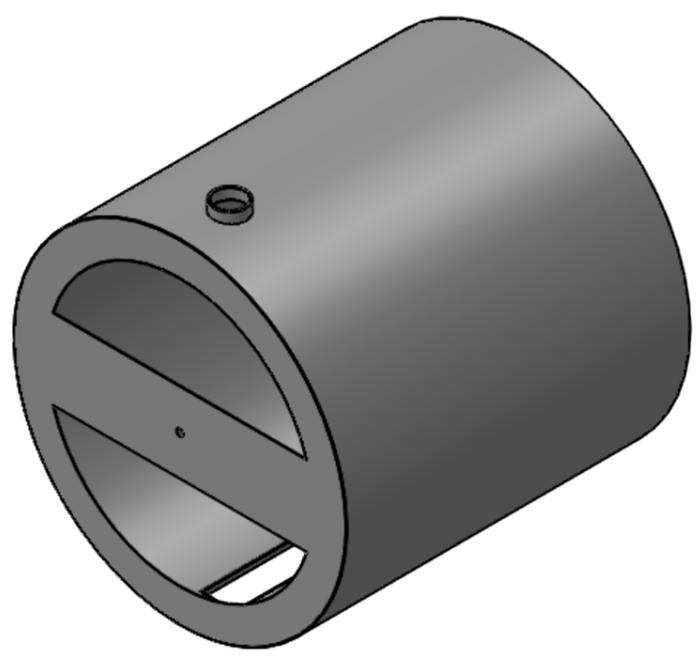
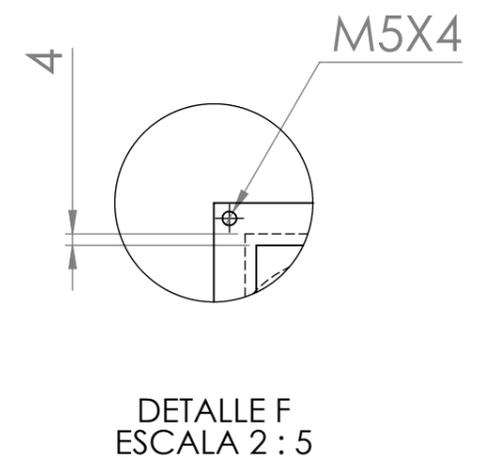
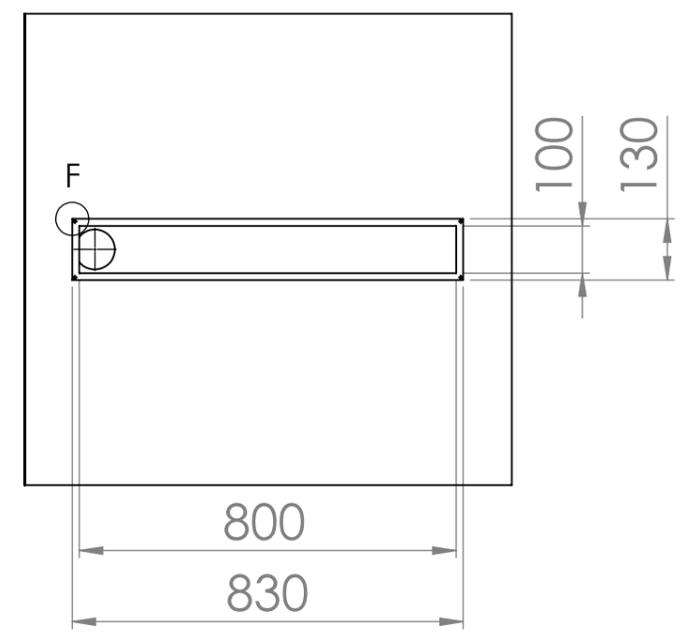
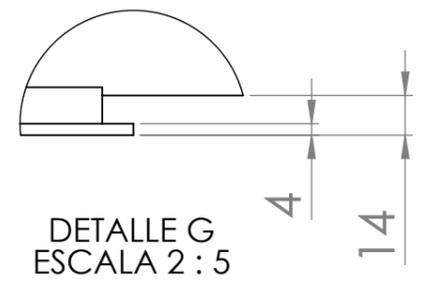
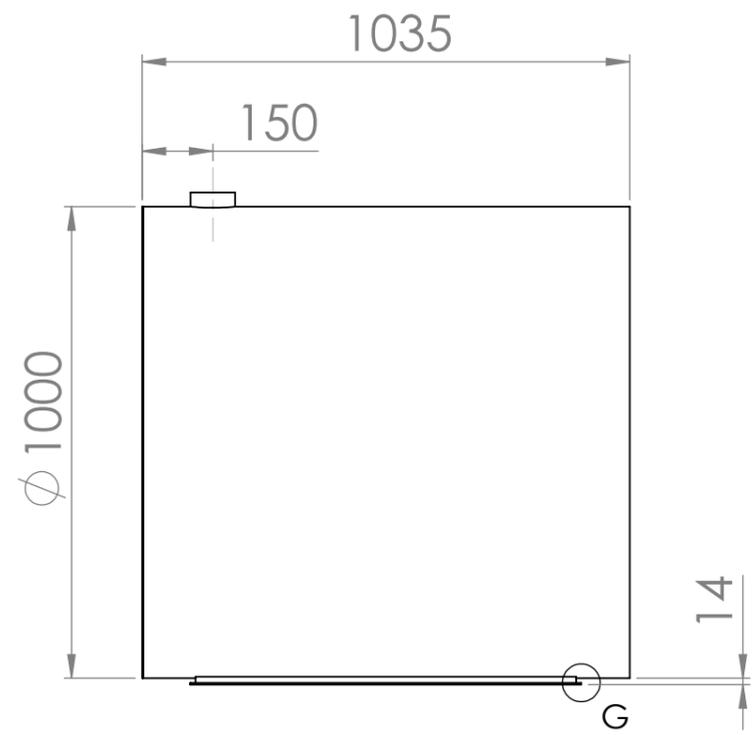
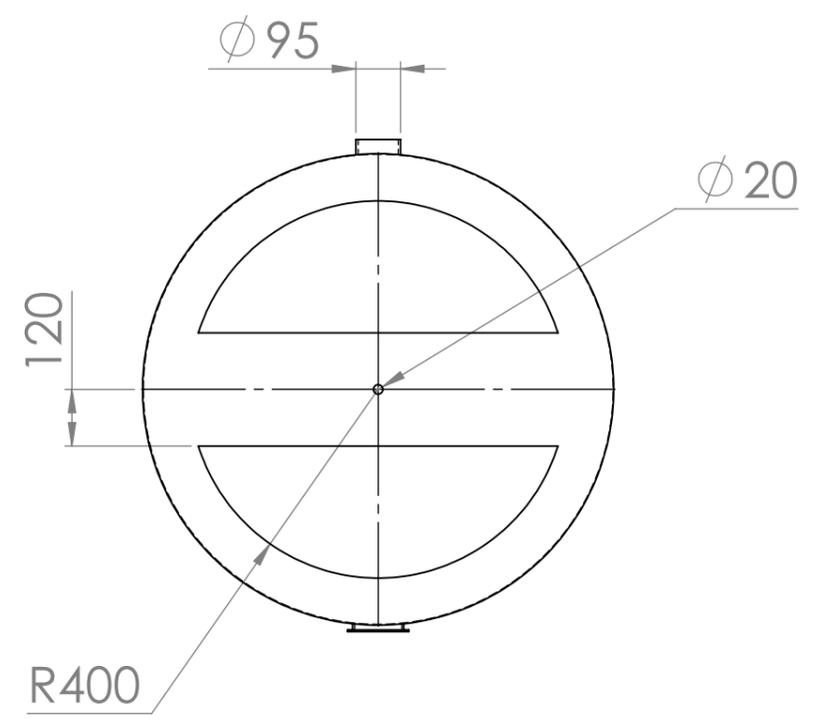
Espesor de cilindro 1.5 mm
Cilindro perforado de 8 mm

	PROYECTO: Secadora de cacao		ESCALA: 1 : 8	
	PARTE: Cilindro Interno			
	CODIGO: DM-00001		TOLERANCIA: ±0.1	
	MATERIAL: AISI 304	DISEÑO: Carol Cacuango	2023-07-20	HOJA 1 DE 12
TRATAMIENTO: NINGUNA	DIBUJO: Carol Cacuango	2023-07-20		
RECUBRIMIENTO: NINGUNO	REVISIÓN: David Ojeda	2023-07-20		
CANTIDAD: 1 UNIDAD	APROBA: David Ojeda	2023-07-20		

FICA CIME

1 2 3 4 5 6 7 8

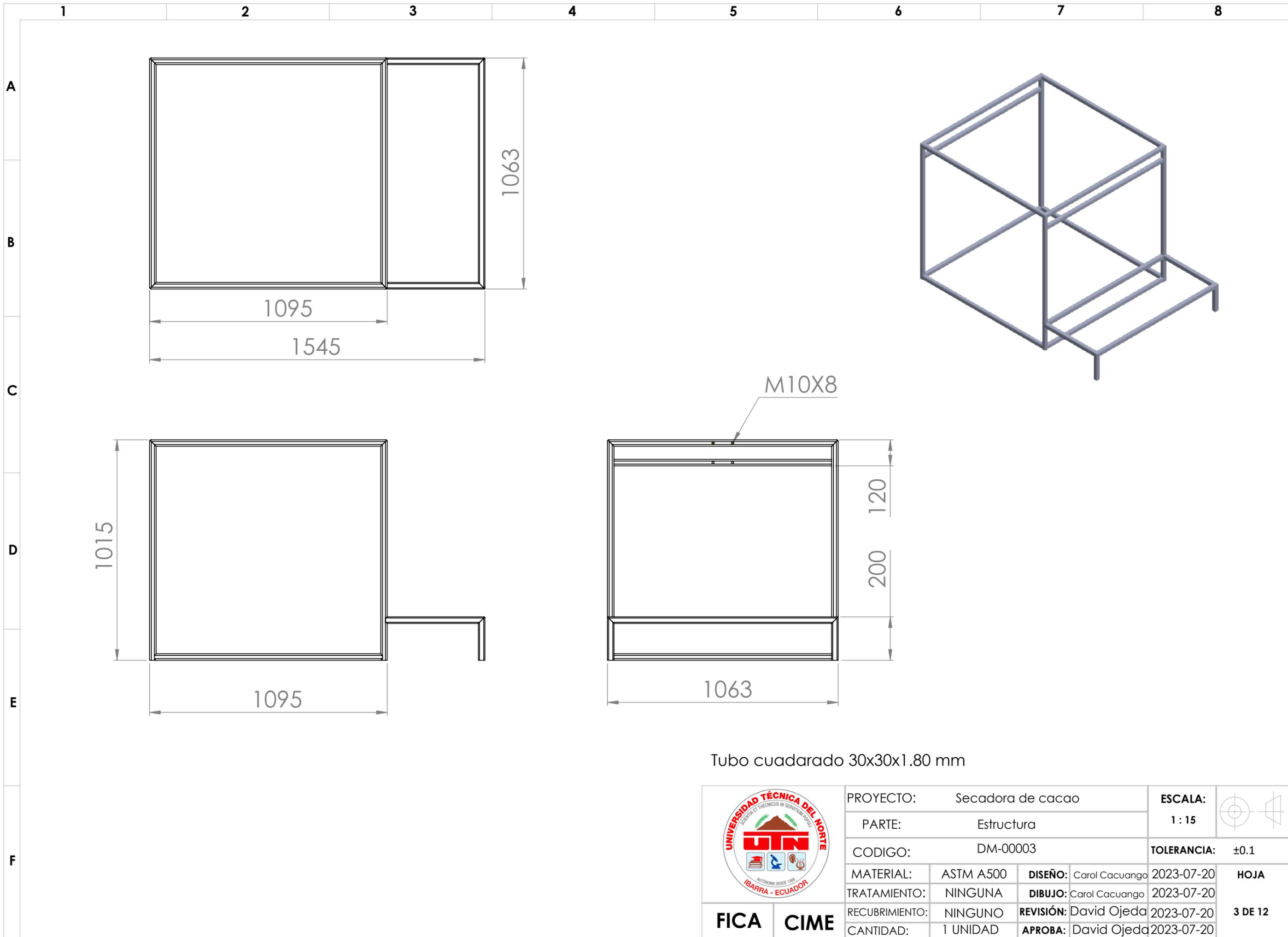
A
B
C
D
E
F



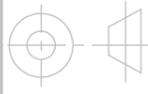
Espesor 1.5 mm

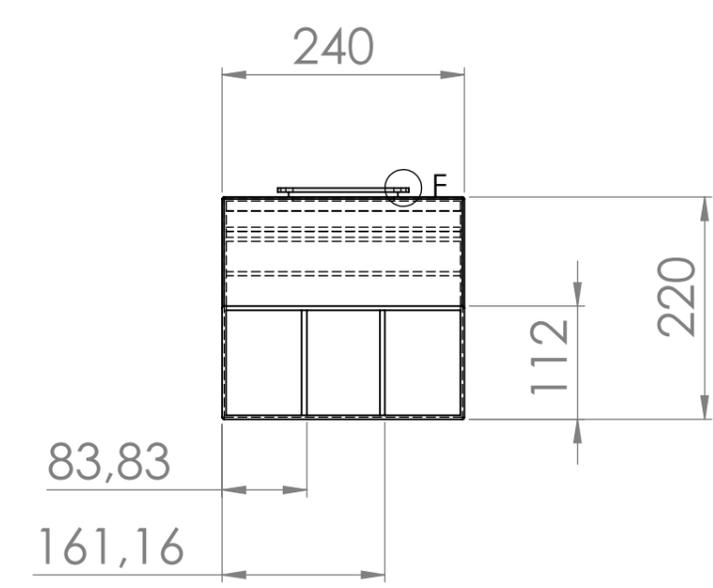
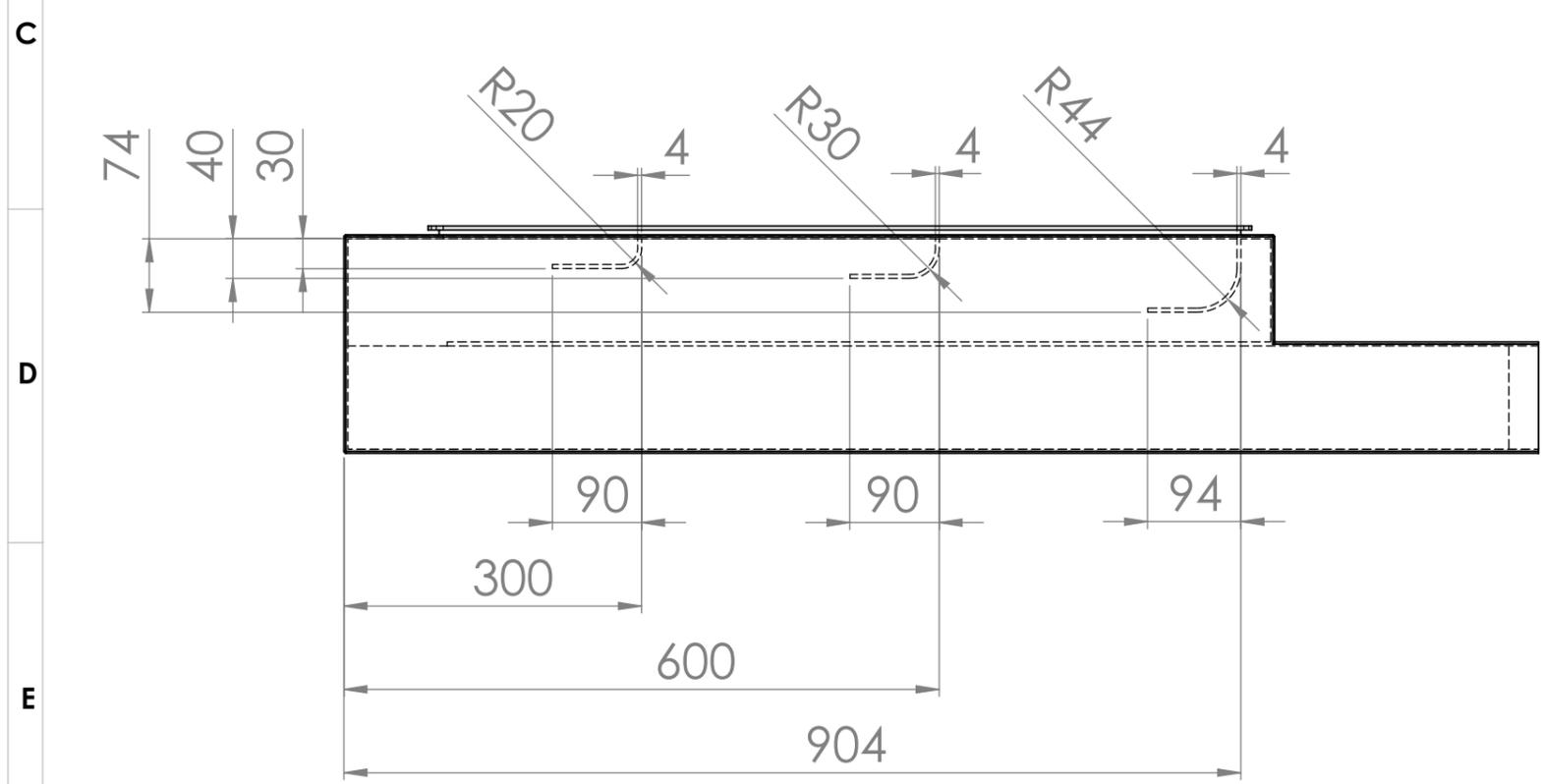
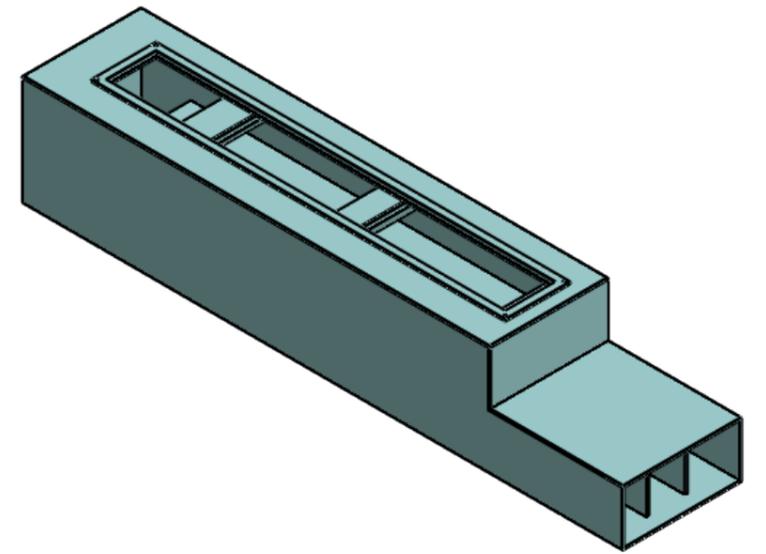
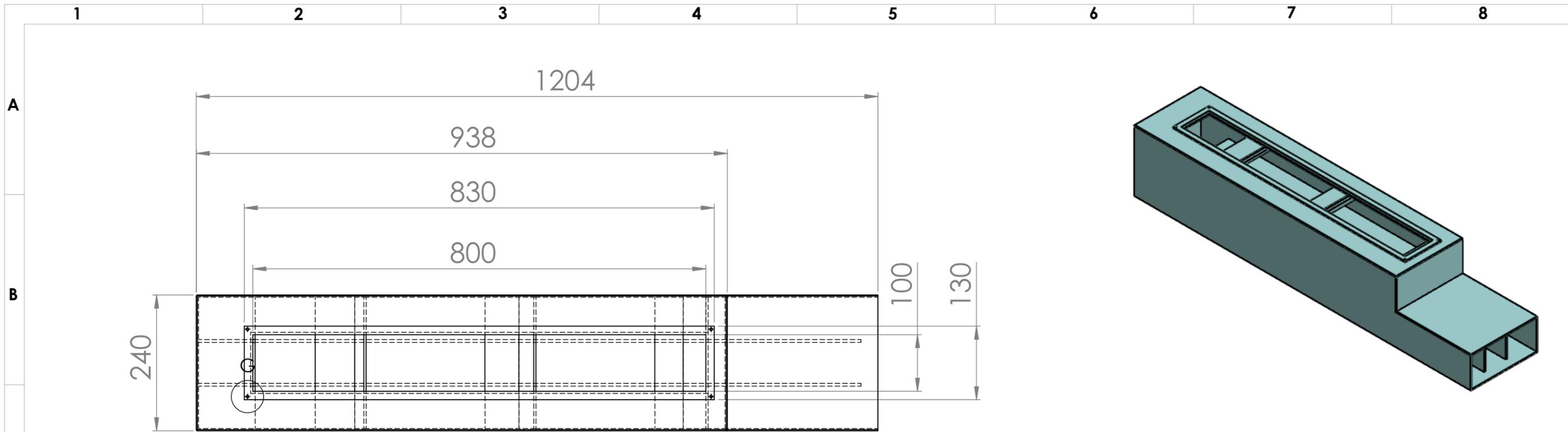
	PROYECTO: Secadora de cacao		ESCALA: 1 : 15	
	PARTE: Cilindro externo			
	CODIGO: DM-0002		TOLERANCIA: ± 0.1	
	MATERIAL: AISI 304	DISEÑO: Carol Cacuango	2023-07-20	HOJA 2 DE 12
TRATAMIENTO: NINGUNA	DIBUJO: Carol Cacuango	2023-07-20		
RECUBRIMIENTO: Lana de vidrio	REVISIÓN: David Ojeda	2023-07-20		
CANTIDAD: 1 UNIDAD	APROBA: David Ojeda	2023-07-20		

FICA CIME

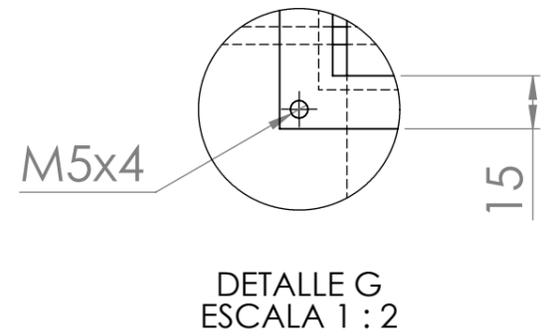
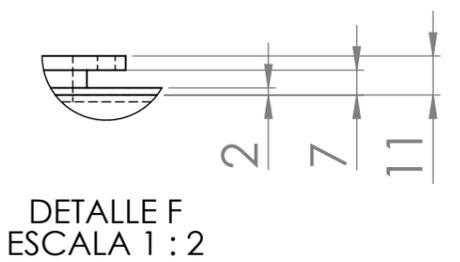


Tubo cuadrado 30x30x1.80 mm

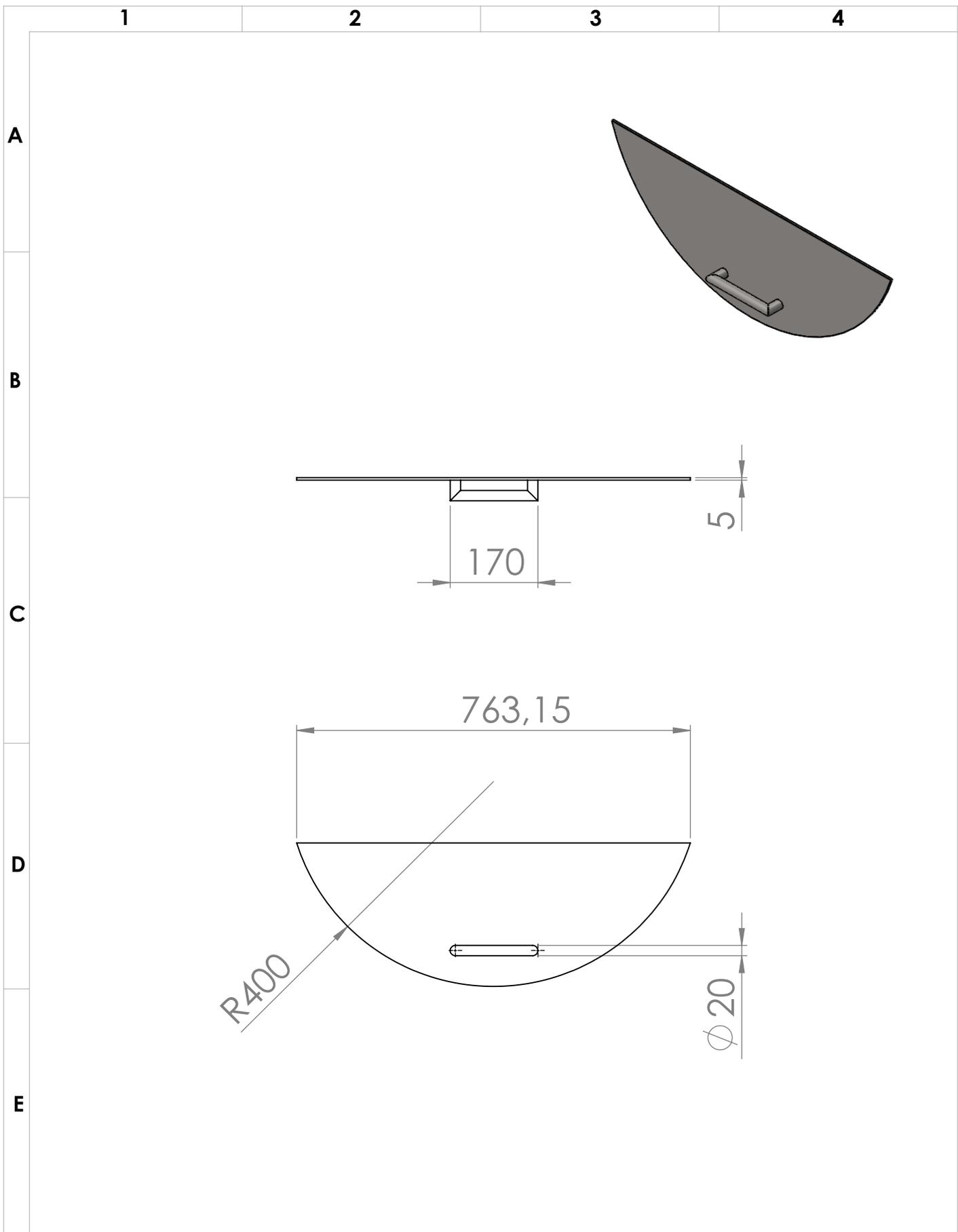
	PROYECTO: Secadora de cacao		ESCALA: 1 : 15	
	PARTE: Estructura			
	CODIGO: DM-00003		TOLERANCIA: ±0.1	
	MATERIAL: ASTM A500	DISEÑO: Carol Cacuango	2023-07-20	HOJA 3 DE 12
TRATAMIENTO: NINGUNA	DIBUJO: Carol Cacuango	2023-07-20		
RECUBRIMIENTO: NINGUNO	REVISIÓN: David Ojeda	2023-07-20		
CANTIDAD: 1 UNIDAD	APROBA: David Ojeda	2023-07-20		
FICA	CIME			



Espesor 4 mm
Redondeo 2mm

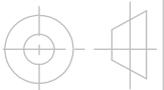


	PROYECTO: Secadora de cacao		ESCALA: 1 : 7	
	PARTE: Tubería			
	CODIGO: DM-0004		TOLERANCIA: ±0.1	
	MATERIAL: AISI 304	DISEÑO: Carol Cacuango	2023-07-20	HOJA 4 DE 12
	TRATAMIENTO: NINGUNA	DIBUJO: Carol Cacuango	2023-07-20	
	RECUBRIMIENTO: NINGUNO	REVISIÓN: David Ojeda	2023-07-20	
	CANTIDAD: 1 UNIDAD	APROBA: David Ojeda	2023-07-20	
FICA	CIME			



PROYECTO: Secadora de cacao

ESCALA:



PARTE: Compuerta

1 : 10

CODIGO: DM-00005

TOLERANCIA: ± 0.1

MATERIAL: AISI 304

DISEÑO: Carol Cacuango

2023-07-20

HOJA

TRATAMIENTO: NINGUNO

DIBUJO: Carol Cacuango

2023-07-20

RECUBRIMIENTO: NINGUNO

REVISIÓN: David Ojeda

2023-07-20

5 DE 12

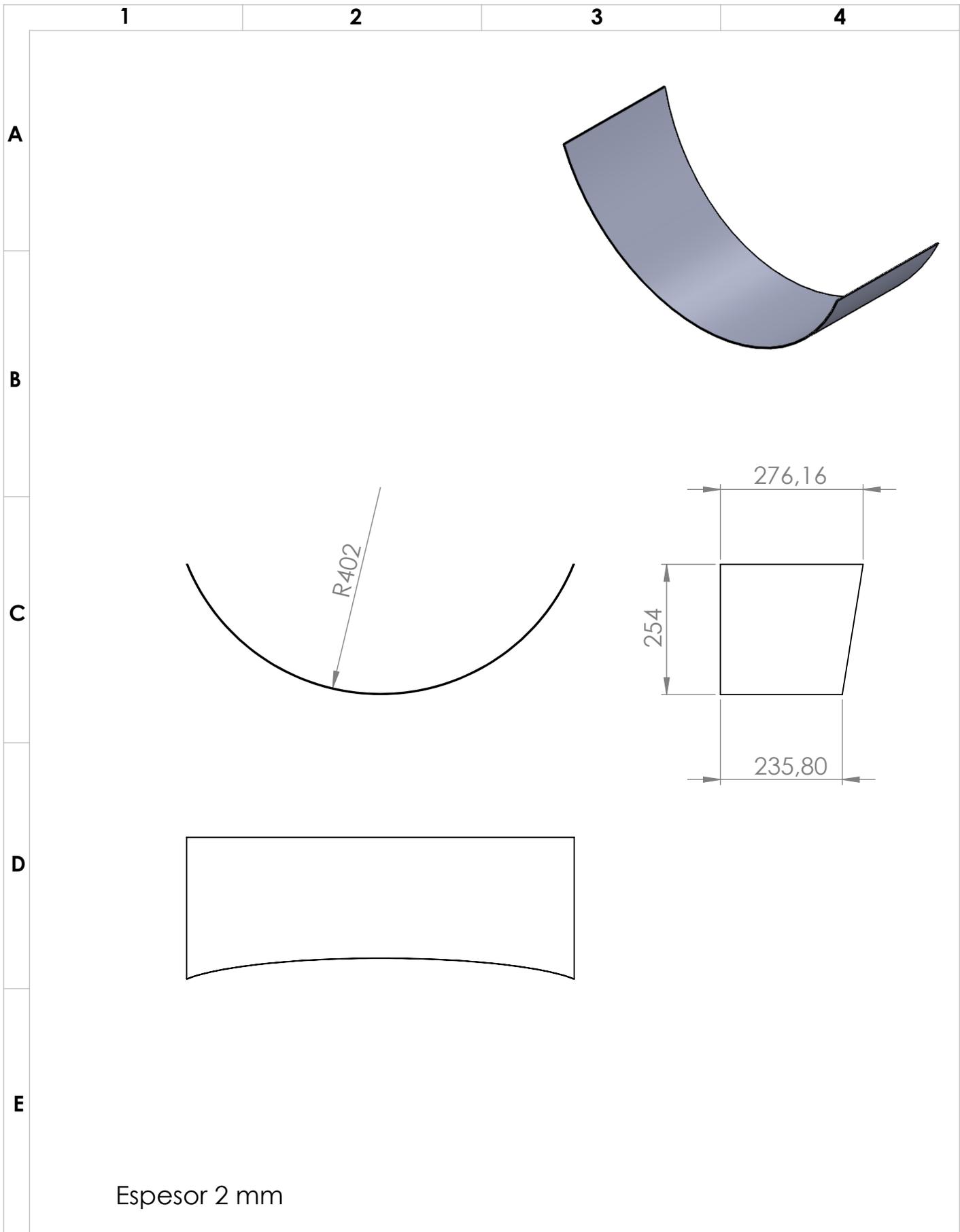
CANTIDAD: 2 UNIDAD

APROBA: David Ojeda

2023-07-20

FICA

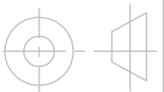
CIME

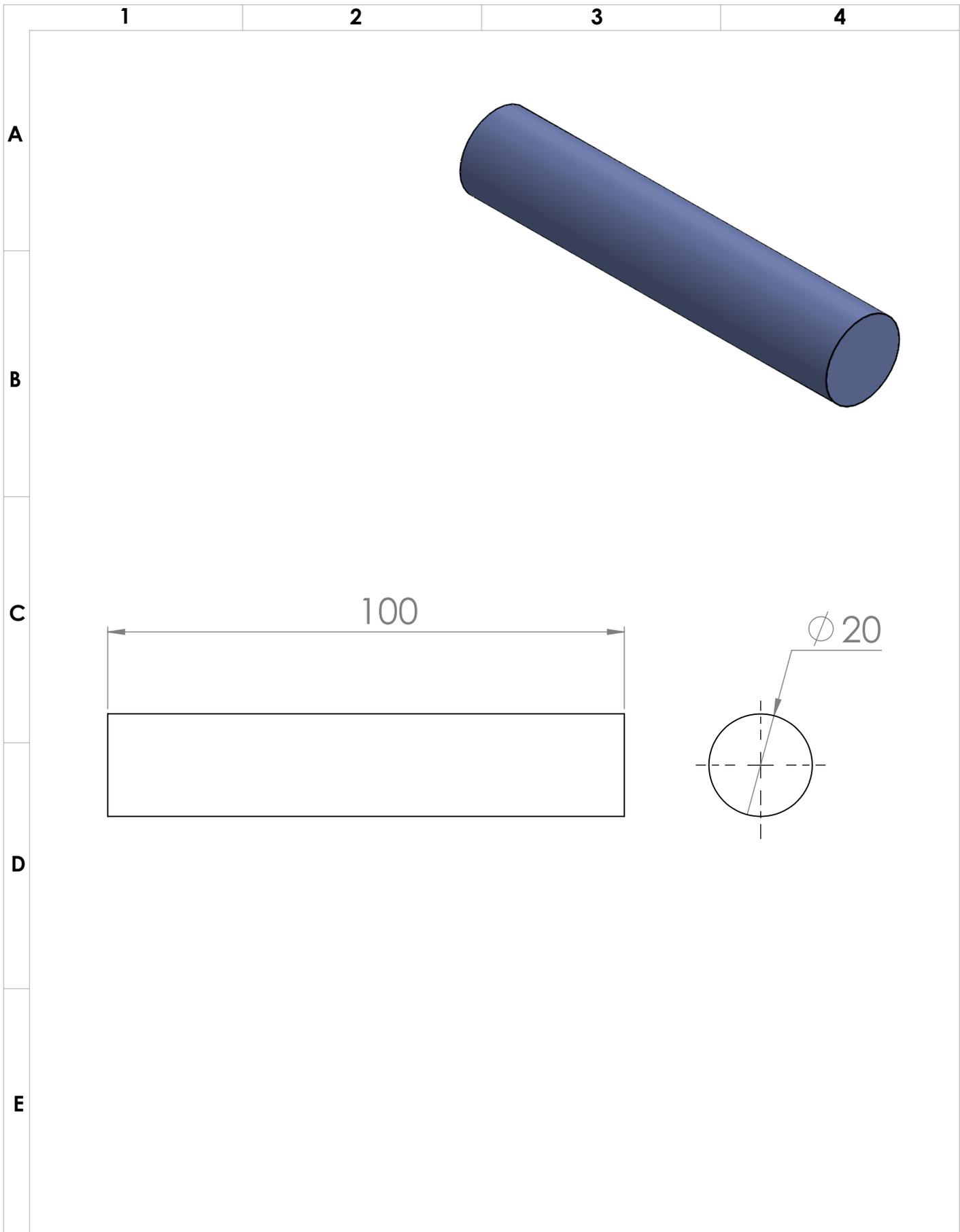


PROYECTO:		Secadora de cacao		ESCALA:	1 : 10
PARTE:		Tolva de salida			
CODIGO:		DM-00006		TOLERANCIA:	±0.1
MATERIAL:	AISI 304	DISEÑO:	Carol Cacuango	2023-07-20	HOJA 6 DE 12
TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJO:	Carol Cacuango	2023-07-20	
RECUBRIMIENTO:	NINGUNO	REVISIÓN:	David Ojeda	2023-07-20	
CANTIDAD:	1 UNIDAD	APROBA:	David Ojeda	2023-07-20	

FICA

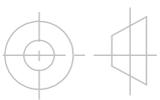
CIME





PROYECTO: Secadora de cacao

ESCALA:



PARTE: Eje motriz

1:1

CODIGO: DM-00007

TOLERANCIA: ±0.1

MATERIAL: AISI 304 DISEÑO: Carol Cacuango 2023-07-20

HOJA

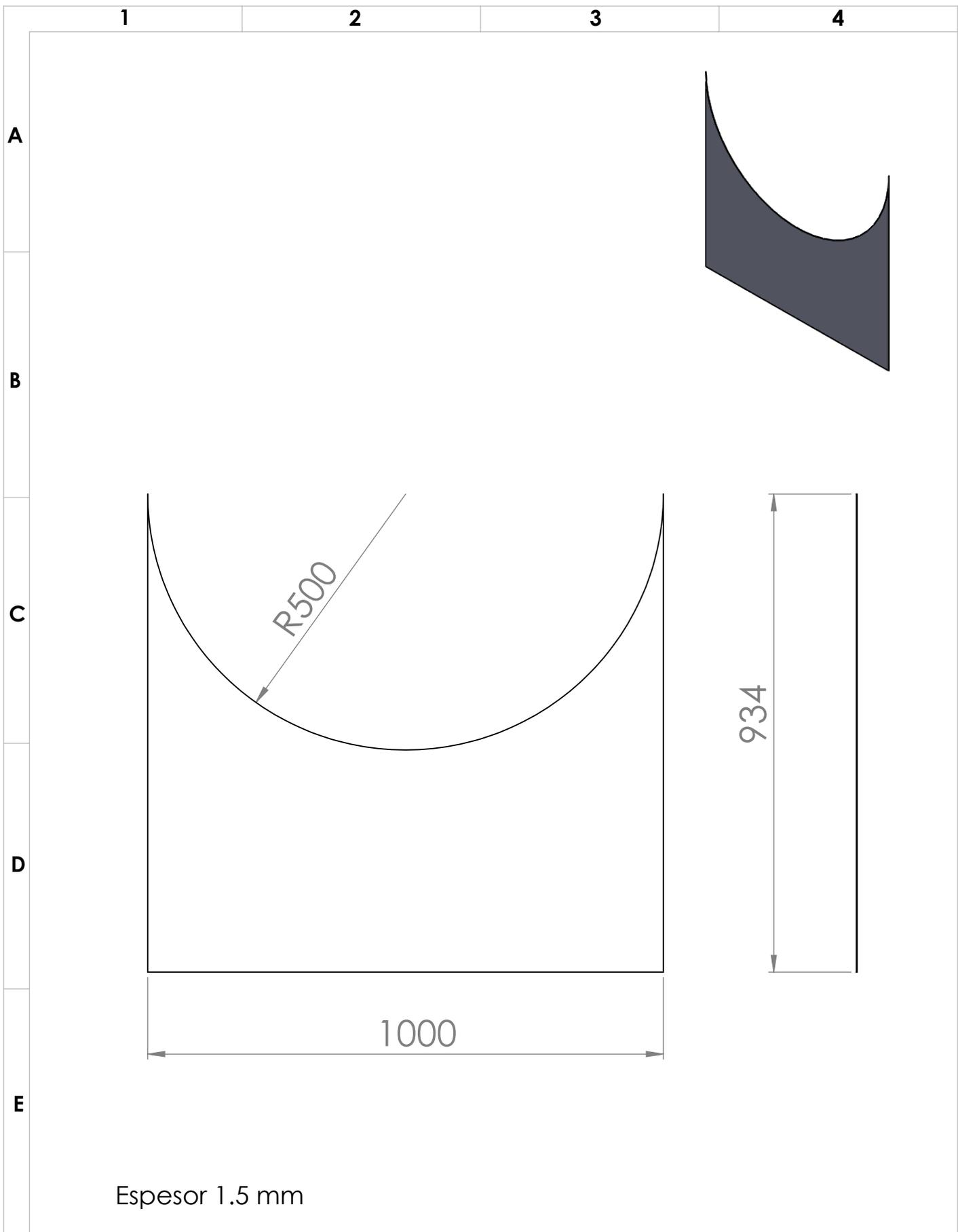
TRATAMIENTO: NINGUNO DIBUJO: Carol Cacuango 2023-07-20

RECUBRIMIENTO: NINGUNO REVISIÓN: David Ojeda 2023-07-20

7 DE 12

CANTIDAD: 2 UNIDAD APROBA: David Ojeda 2023-07-20

FICA CIME

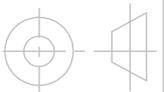


PROYECTO: Secadora de cacao

ESCALA:

PARTE: Cubierta Frontal

1 : 10



CODIGO: DM-00008

TOLERANCIA: ± 0.1

MATERIAL: AISI 304

DISEÑO: Carol Cacuango

2023-07-20

HOJA

TRATAMIENTO: NINGUNO

DIBUJO: Carol Cacuango

2023-07-20

RECUBRIMIENTO: NINGUNO

REVISIÓN: David Ojeda

2023-07-20

8 DE 12

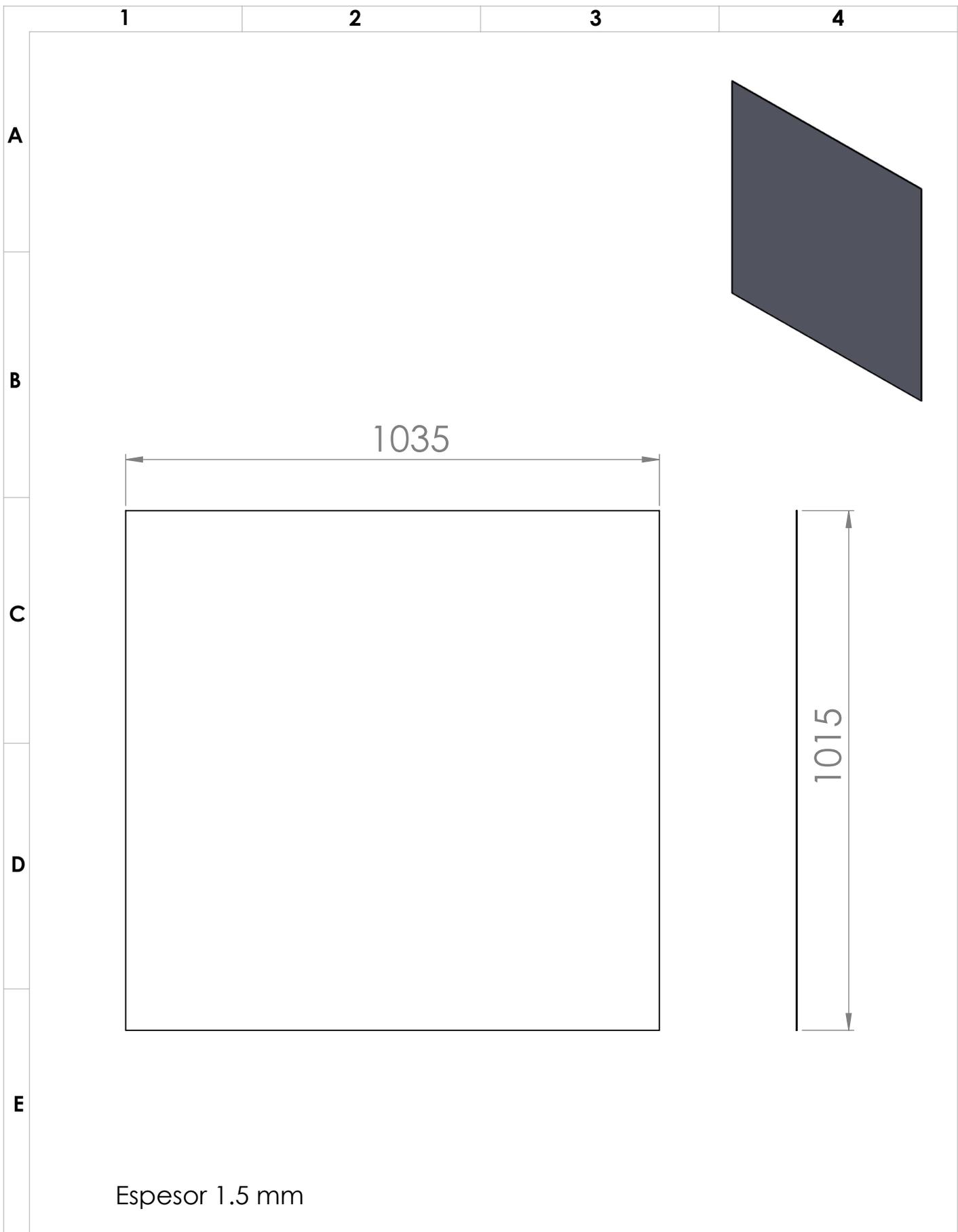
CANTIDAD: 1 UNIDAD

APROBA: David Ojeda

2023-07-20

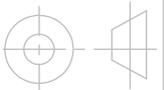
FICA

CIME



PROYECTO: Secadora de cacao

ESCALA:



PARTE: Cubierta lateral

1 : 10

CODIGO: DM-00009

TOLERANCIA: ± 0.1

MATERIAL: AISI 304

DISEÑO: Carol Cacuango

2023-07-20

HOJA

TRATAMIENTO: NINGUNO

DIBUJO: Carol Cacuango

2023-07-20

RECUBRIMIENTO: NINGUNO

REVISIÓN: David Ojeda

2023-07-20

9 DE 12

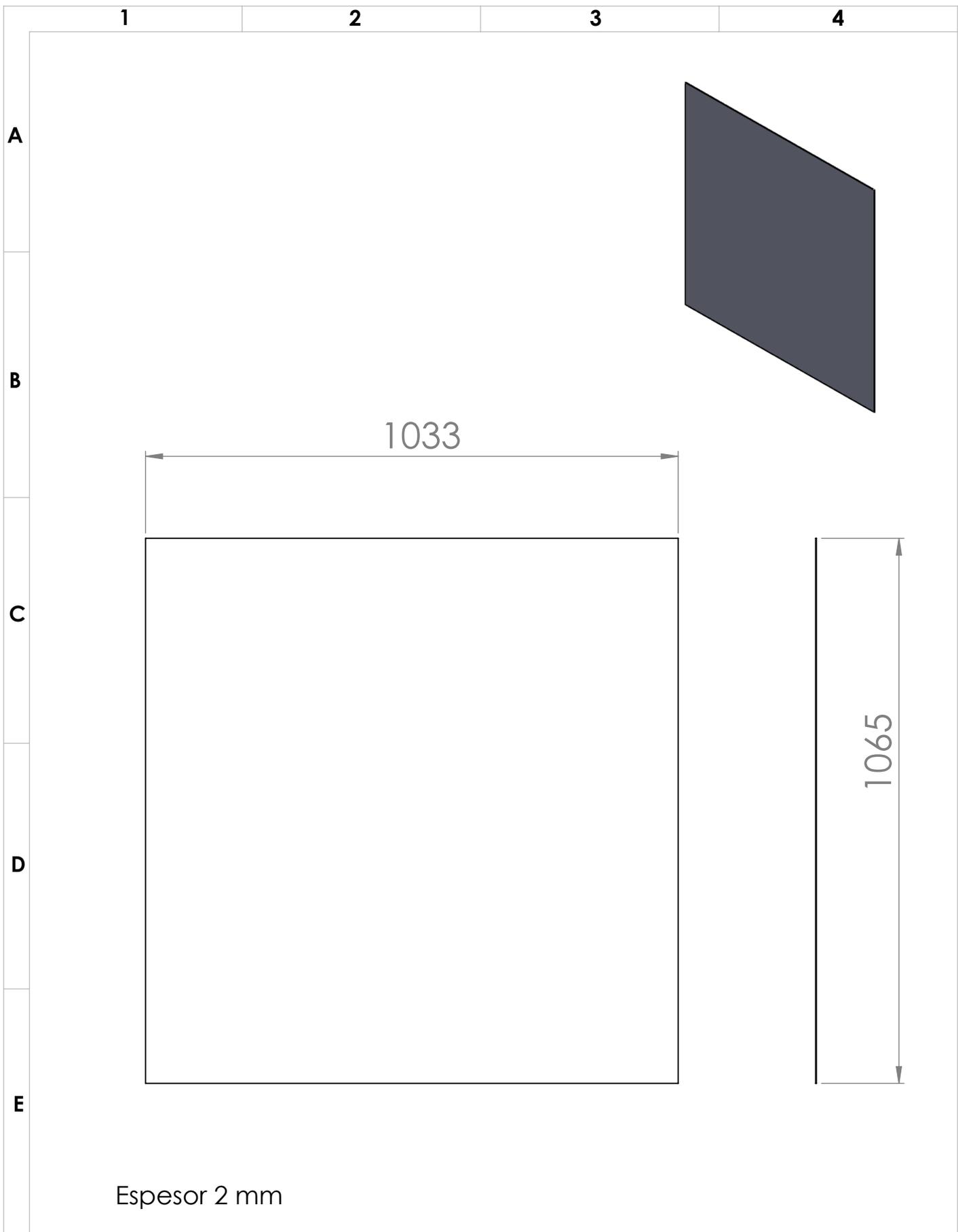
CANTIDAD: 2 UNIDAD

APROBA: David Ojeda

2023-07-20

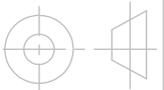
FICA

CIME



PROYECTO: Secadora de cacao

ESCALA:



PARTE: Cubierta inferior

1 : 10

CODIGO: DM-00010

TOLERANCIA: ± 0.1

MATERIAL: AISI 304

DISEÑO: Carol Cacuango

2023-07-20

HOJA

TRATAMIENTO: NINGUNO

DIBUJO: Carol Cacuango

2023-07-20

RECUBRIMIENTO: NINGUNO

REVISIÓN: David Ojeda

2023-07-20

10 DE 12

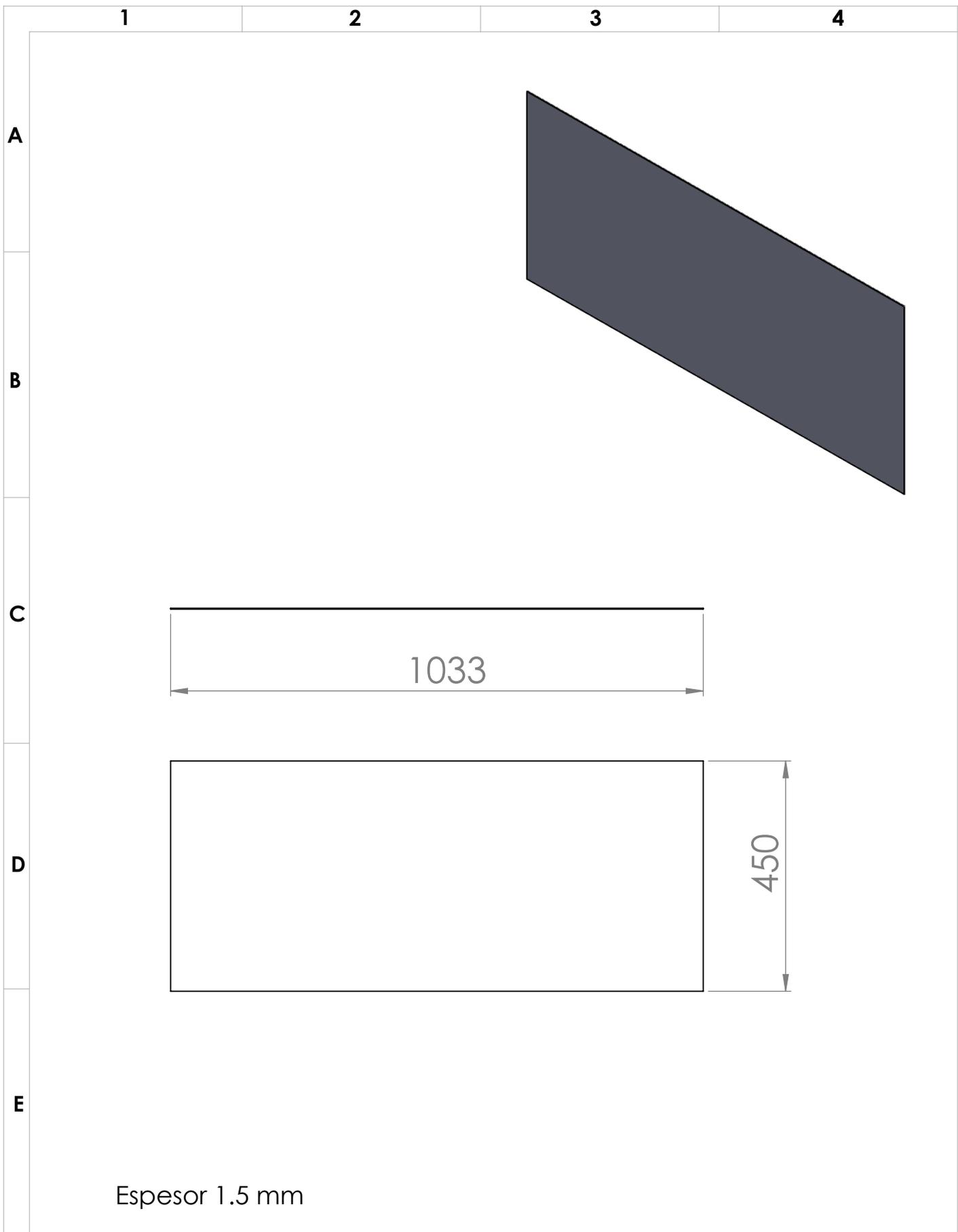
CANTIDAD: 1 UNIDAD

APROBA: David Ojeda

2023-07-20

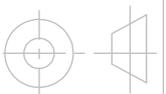
FICA

CIME



PROYECTO: Secadora de cacao

ESCALA:



PARTE: Soporte de ventilador

1 : 10

CODIGO: DM-00011

TOLERANCIA: ± 0.1

MATERIAL: AISI 304

DISEÑO: Carol Cacuango

2023-07-20

HOJA

TRATAMIENTO: NINGUNO

DIBUJO: Carol Cacuango

2023-07-20

RECUBRIMIENTO: NINGUNO

REVISIÓN: David Ojeda

2023-07-20

11 DE 12

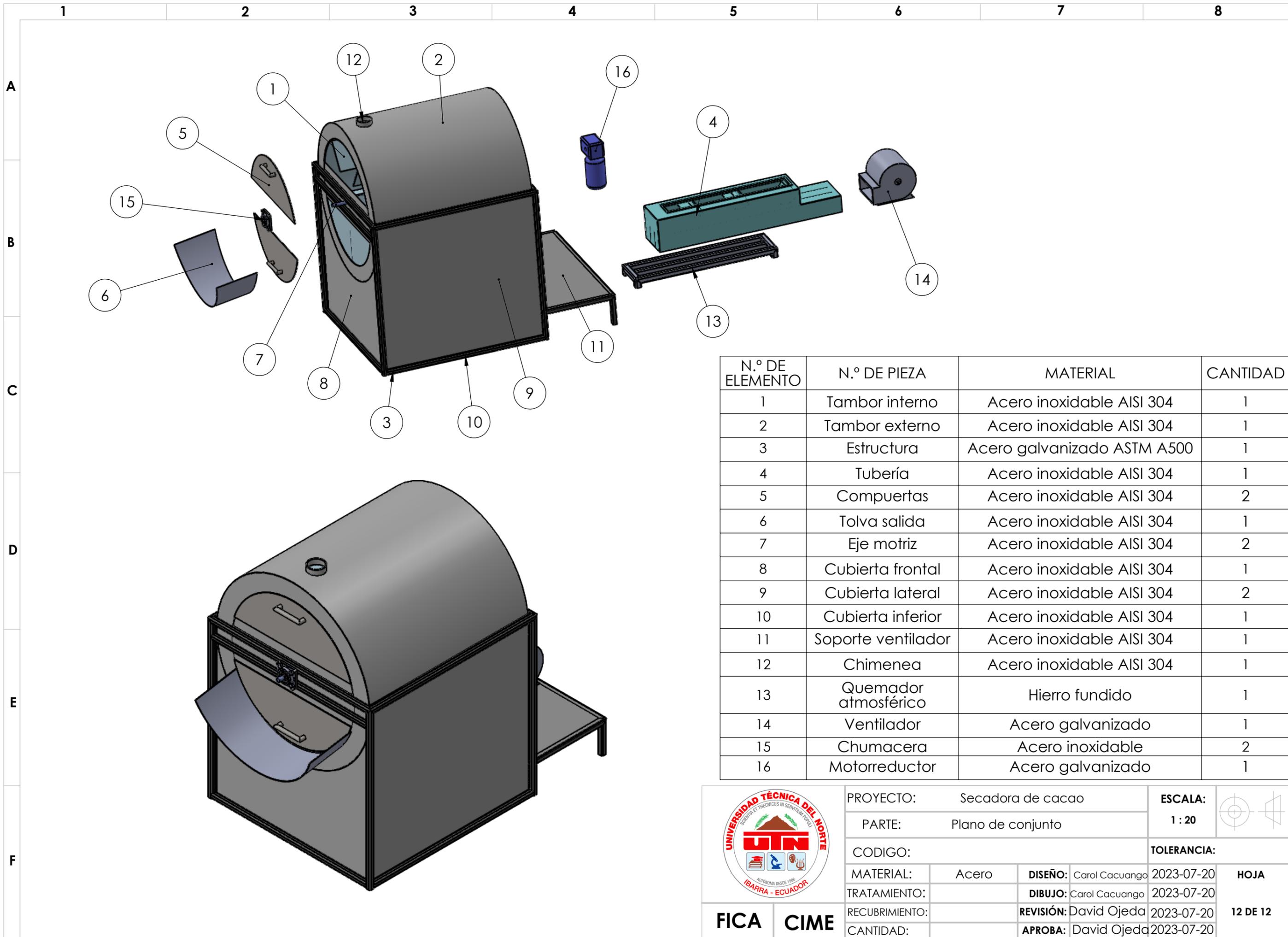
CANTIDAD: 1 UNIDAD

APROBA: David Ojeda

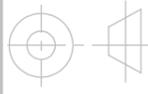
2023-07-20

FICA

CIME



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	MATERIAL	CANTIDAD
1	Tambor interno	Acero inoxidable AISI 304	1
2	Tambor externo	Acero inoxidable AISI 304	1
3	Estructura	Acero galvanizado ASTM A500	1
4	Tubería	Acero inoxidable AISI 304	1
5	Compuertas	Acero inoxidable AISI 304	2
6	Tolva salida	Acero inoxidable AISI 304	1
7	Eje motriz	Acero inoxidable AISI 304	2
8	Cubierta frontal	Acero inoxidable AISI 304	1
9	Cubierta lateral	Acero inoxidable AISI 304	2
10	Cubierta inferior	Acero inoxidable AISI 304	1
11	Soporte ventilador	Acero inoxidable AISI 304	1
12	Chimenea	Acero inoxidable AISI 304	1
13	Quemador atmosférico	Hierro fundido	1
14	Ventilador	Acero galvanizado	1
15	Chumacera	Acero inoxidable	2
16	Motorreductor	Acero galvanizado	1

	PROYECTO:	Secadora de cacao	ESCALA:			
	PARTE:	Plano de conjunto	1 : 20			
	CODIGO:		TOLERANCIA:			
	MATERIAL:	Acero	DISEÑO:	Carol Cacuango	2023-07-20	HOJA 12 DE 12
	TRATAMIENTO:		DIBUJO:	Carol Cacuango	2023-07-20	
	RECUBRIMIENTO:		REVISIÓN:	David Ojeda	2023-07-20	
	CANTIDAD:		APROBA:	David Ojeda	2023-07-20	