

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

Diseño de tostador de granos de cacao basado en un secador rotatorio con
capacidad de hasta 10 quintales por día

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Mecánico

Presentado por:

Cristhian Andres Macay Erazo

Edgar Bryan Vera Solis

Guayaquil - Ecuador

Año: 2023

Dedicatoria

El presente proyecto se lo dedico a Dios por su amor y guía en mi vida, a mi mamá Geoconda Erazo y mi papá Erik Macay por todos sus sacrificios para llegar aquí, a toda mi familia que siempre me ayudó cuando lo necesitaba, a mis amigos y compañeros por motivarme a no rendirme, a los docentes por compartirme sus conocimientos y en especial a mi abuela, abuelo y todos quienes hoy no se encuentran, guardo sus enseñanzas y recuerdos en mi corazón, gracias.

Cristhian Andres Macay Erazo

El presente proyecto se lo dedico a mi admirable mamá Cristina Solis que es mi sustento de vida, a mi padre Edgar Vera que me ha brindado su apoyo a lo largo de esta carrera, a mis 3 hermosas hermanas que me alentaban día a día, a mi madrina Susana Solis que es mi segunda madre y a mi novia que es mi fuente de inspiración, para ustedes este estudio que resume mi vida universitaria y que gracias a Dios puede culminar.

Edgar Bryan Vera Solis

Agradecimientos

Nuestro más sincero agradecimiento al Ingeniero Ernesto Martínez y al Ingeniero Jorge Clavijo quienes nos ayudaron y guiaron en el desarrollo de este proyecto y así también con nuestro desarrollo profesional. También a los docentes de la universidad y personas externas que nos apoyaron a través de su conocimientos y experiencias.

Declaración Expresa

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Cristhian Andres Macay Erazo y Edgar Bryan Vera Solis damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”



Cristhian Macay E.



Edgar Vera S.

Evaluadores

Ph.D. Emerita Delgado P.

Profesor de Materia

Ing. Ernesto Martínez L.

Tutor de proyecto

RESUMEN

En este trabajo se busca adaptar una máquina rotatoria secadora de granos de cacao en una máquina tostadora que posibilite realizar ambas funciones permitiendo generar otro producto con mayor valor agregado. Se identifican los elementos requeridos para su transformación, con ayuda de software dedicado se observa su comportamiento y se realizan pruebas de prototipo. Se tomaron mediciones de temperatura en la plancha donde se encuentra los granos de cacao y el quemador, se observaron el estado de los elementos imprescindibles para el tostado, se diseñaron los elementos requeridos y se realizaron prototipos para mejorar la remoción de granos de cacao y aumentar la temperatura de trabajo. Como resultados se obtuvo que estos elementos permitieron mejorar la temperatura del quemador aumentándolo al obtener una llama de color azul durante la combustión y mayores registros de temperatura casi homogéneos en toda la plancha, además los elementos de transmisión propuestos no involucraron cambios cruciales en el equipo como son el eje principal y motor eléctrico. Finalmente, este proyecto permitió conocer que características se deben considerar para la adaptación en equipos similares, y se registró mejoras por parte de estos elementos para el funcionamiento de tostado de granos de cacao.

***Palabras Clave:** Adaptación, Diseño de elementos de tostado, Granos de cacao, Mejoras, Tostado de cacao.*

ABSTRACT

In this thesis work, we seek to adapt a rotary drying machine for cocoa beans into a roasting machine that makes it possible to perform both functions, allowing the generation of another product with greater added value. The elements required for its transformation are identified, with the help of dedicated software its behavior is observed, and prototype tests are carried out. Temperature measurements were taken on the plate where the cocoa beans and the burner are located, the state of the essential elements for roasting were observed, the required elements were designed, and prototypes were made to improve the removal of cocoa beans and increase the working temperature. As a result, it was obtained that these elements allowed to improve the burner temperature, increasing it by obtaining a blue flame during combustion and higher almost homogeneous temperature records throughout the plate, in addition, the proposed transmission elements did not involve crucial changes in the equipment such as They are the main shaft and electric motor. Finally, this project allowed to know what characteristics should be considered for the adaptation in similar equipment, and improvements were registered by these elements for the operation of roasting cocoa beans.

Keywords: *Adaptation, Roasting element design, Cocoa beans, Improvements, Cocoa roasting.*

Índice general

Índice general	I
Abreviaturas	IV
Simbología	V
Índice de figuras	VI
Índice de tablas.....	IX
Índice de planos.....	XI
Capítulo 1	1
1.1 Introducción.....	2
1.2 Descripción del problema.....	2
1.3 Justificación del problema	3
1.4 Objetivos.....	4
1.4.1 Objetivo general.....	4
1.4.2 Objetivos específicos	4
1.5 Marco teórico.....	4
1.5.1 Aspectos generales del cacao en el Ecuador.....	4
1.5.2 Contexto de la producción nacional de cacao.....	5
1.5.3 Producción de cacao en la provincia de Bolívar	6
1.5.4 Fermentación de los granos de cacao.....	7
1.5.5 Secado de los granos de cacao	8
1.5.6 Transferencia de masa y de energía	10
1.5.7 Curva de secado	10
1.5.8 Velocidad de secado	11
1.5.9 Tiempo de secado	12
1.5.10 Psicrométrica en cámara de secado.....	12
1.5.11 Tostado de los granos de cacao.....	13
1.5.12 Curva de tostado	13
1.5.13 Tipo de máquinas tostadoras.....	15
Capítulo 2	18
2.1 Metodología.....	19
2.2 Requerimientos de diseño.....	20
2.3 Criterios de diseño	21
2.3.1 Ponderación de criterios.....	22
2.4 Alternativas propuestas.....	24
2.4.1 Sistema de quemador GLP.....	24

2.4.2	Sistema de aislante térmico.....	26
2.4.3	Sistema de soporte estructural	28
2.4.4	Sistema de arrastre de granos de cacao.....	30
2.4.5	Recubrimiento superior.....	31
2.4.6	Sistema de transmisión.	33
2.5	Esquema de metodología de diseño.....	35
2.6	Diseño Conceptual.....	35
2.6.1	Estado actual del equipo	36
2.6.2	Análisis de distribución de temperatura.....	36
2.6.3	Diseño estructural de la cama	38
2.7	Funcionamiento del quemador GLP.....	41
2.8	Calor requerido en la operación del equipo.....	41
2.8.1	Análisis de flujo de entrada y salida de producto	41
2.8.2	Calentamiento del aire	42
2.8.3	Secado de granos de cacao.....	44
2.9	Pérdidas de calor en el equipo	46
2.9.1	Coefficiente de convección interno.....	47
2.9.2	Coefficiente de convección externo	48
2.9.3	Transferencia de calor en el equipo sin aislamiento	48
2.9.4	Transferencia de calor en el equipo con aislamiento	50
2.9.5	Pérdida de calor por radiación	51
2.10	Diseño del soporte estructural	51
2.11	Sistemas de transmisión mecánico	52
2.11.1	Sistema de transmisión del equipo.....	53
2.11.2	Selección de bandas	56
2.12	Análisis del eje removedor de granos de cacao.....	56
2.12.1	Momento de inercia de la masa de cacao.....	56
2.12.2	Momento de inercia del sistema removedor	57
2.12.3	Torque del sistema removedor.....	58
2.12.4	Torque aplicado en los elementos removedores	59
2.12.5	Torque global del sistema de giro.....	61
2.12.6	Dimensionamiento del eje principal	61
2.13	Recubrimiento superior	62
2.13.1	Potencia del motor eléctrico.....	63
Capítulo 3	64
3.1	Resultados y análisis.....	65
3.2	Análisis Termodinámico.....	66

3.2.1	Calor requerido para la operación el equipo	67
3.2.2	Pérdida de calor por radiación	67
3.2.3	Cálculo de coeficientes de convección	69
3.2.4	Pérdida de calor actual en el equipo	70
3.2.5	Pérdida de calor con aislamiento en el equipo.....	70
3.2.6	Mejoras para reducir fuga de calor	71
3.2.7	Implementación del nuevo quemador	73
3.2.8	Mejoras en la distribución de temperaturas internas.....	74
3.2.9	Análisis de arreglos de aletas internas	75
3.3	Análisis del sistema mecánico.....	77
3.3.1	Análisis estructural de la cama	77
3.3.2	Recubrimiento superior del tanque	79
3.3.3	Sistema de transmisión para el tostado	80
3.3.4	Selección de bandas y poleas.....	82
3.3.5	Correcciones en la transmisión del removedor.....	82
3.3.6	Momentos de inercia del cacao y sistema.....	83
3.3.7	Torque aplicado sobre los elementos removedores	84
3.3.8	Torque global del sistema	85
3.3.9	Efecto de las nuevas paletas removedoras	85
3.3.10	Dimensionamiento del eje removedor principal	87
3.3.11	Selección del motor eléctrico.....	88
3.4	Costos para la adaptación del equipo	89
3.4.1	Costos directos	89
3.4.2	Costos de maquinado y mano de obra	91
3.5	Costo total del proyecto.....	92
Capítulo 4	93
4.1	Conclusiones y recomendaciones.....	94
4.1.1	Conclusiones	94
4.1.2	Recomendaciones	95
Bibliografía	97
Apéndice	101

Abreviaturas

ASME	American Society of Mechanical Engineers
CCN 51	Colección Castro Naranja #51
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
INIAP	Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias
VAB	Valor agregado bruto

Simbología

A	Amperios
g	Gramos
HP	Caballos de fuerza
in	Pulgadas
J	Joules
k	Kilo
Lbf	Libras fuerza
Lbm	Libras masa
m	Metro
MM	Mil Millones
mm	Milésima de metros
N	Newton
Pa	Pascales
psi	Libras por pulgada cuadrada
qq	Quintales
RPM	Revoluciones por minuto
s	Segundos
V	Voltios
W	Vatios

Índice de figuras

Figura 1 <i>Superficie usada de la plantación agrícola (cultivos permanentes)</i>	5
Figura 2 <i>Provincias con mayor producción de cultivo de cacao</i>	6
Figura 3 <i>Uso de Suelo (ha) provincia de Bolívar 2022</i>	7
Figura 4 <i>Proceso de fermentación de granos de cacao</i>	8
Figura 5 <i>Secado natural de granos de cacao</i>	9
Figura 6 <i>Humedad relativa vs Tiempo</i>	11
Figura 7 <i>Velocidad de secado</i>	12
Figura 8 <i>Esquema psicrométrico del ciclo de secado</i>	13
Figura 9. <i>Curva de tostado de los granos de cacao.</i>	14
Figura 10. <i>Curva tiempo de tueste vs la humedad del cacao.</i>	15
Figura 11. <i>Tostador de acción continua de cacao.</i>	16
Figura 12. <i>Tostador de cacao de acción discontinua.</i>	17
Figura 13 <i>Diagrama de flujo</i>	19
Figura 14 <i>Secadora de cacao</i>	21
Figura 15 <i>Quemador GLP</i>	25
Figura 16 <i>Medición de temperatura de aire caliente en el secador</i>	27
Figura 17 <i>Soporte estructural de la plancha perforada</i>	28
Figura 18 <i>Palas de arrastre para granos de cacao</i>	30
Figura 19 <i>Acceso superior del secador</i>	31
Figura 20 <i>Sistema de transmisión del secador actual</i>	33
Figura 21 <i>Esquema representativo para simulación en el CAD.</i>	35
Figura 22 <i>Distribución de temperatura de aire caliente.</i>	37
Figura 23 <i>Gráfico de temperatura vs tiempo.</i>	37
Figura 24 <i>Flujo de trayectorias de líneas de calor en el equipo actual</i>	38

Figura 25 <i>Distribución de perforaciones actual del equipo.</i>	39
Figura 26 <i>Estructura de soporte inicial</i>	39
Figura 27 <i>Estructura inicial de la cama</i>	40
Figura 28 <i>Análisis de desplazamiento en la estructura inicial</i>	40
Figura 29 <i>Balace de energía en el intercambiador de calor</i>	42
Figura 30 <i>Diagrama psicométrico del calentamiento del aire</i>	44
Figura 31 <i>Diagrama psicométrico del aire en el proceso de secado</i>	46
Figura 32 <i>Esquema de transferencia de calor sin aislante</i>	49
Figura 33 <i>Pérdida de calor sin aislante</i>	49
Figura 34 <i>Esquema de transferencia de calor con aislante</i>	50
Figura 35 <i>Pérdida de calor con aislante</i>	50
Figura 36 <i>Esquema estructural de mesa que será simulado en el CAD.</i>	52
Figura 37 <i>Relación de poleas simples</i>	52
Figura 38 <i>Relación de engranajes</i>	53
Figura 39 <i>Sistema de transmisión mecánico</i>	54
Figura 40 <i>Esquemático de la transmisión original</i>	54
Figura 41 <i>Inercia del sistema removedor</i>	57
Figura 42 <i>Propiedades físicas del sistema removedor</i>	58
Figura 43 <i>Diagrama de fuerza sobre pletina</i>	59
Figura 44 <i>Diagrama de fuerza sobre removedor</i>	60
Figura 45 <i>Diagrama de fuerza sobre sujetador</i>	60
Figura 46 <i>Adaptación del secador a tostador de cacao</i>	65
Figura 47 <i>Ensamble de los elementos para tostado</i>	66
Figura 48 <i>Sellado de fugas de calor en el equipo</i>	71
Figura 49 <i>Reubicación de la termocupla con línea externa</i>	72

Figura 50 <i>Panel de control de la máquina</i>	72
Figura 51 <i>Prueba del nuevo quemador GLP</i>	73
Figura 52 <i>Temperatura registrada con el nuevo quemador</i>	74
Figura 53 <i>Distribución de temperatura por debajo de la cama de secado.</i>	74
Figura 54 <i>Arreglo de aletas dispuestas dentro del equipo.</i>	75
Figura 55 <i>Comportamiento de las líneas de calor dentro del equipo.</i>	76
Figura 56 <i>Aplicación de aletas en el equipo</i>	76
Figura 57 <i>Análisis de desplazamiento en la estructura final</i>	78
Figura 58 <i>Instalación de soportes de refuerzos</i>	78
Figura 59 <i>Vista de refuerzos aplicados</i>	79
Figura 60 <i>Instalación del recubrimiento superior interno</i>	79
Figura 61 <i>Sistema de transmisión mecánico mejorado</i>	81
Figura 62 <i>Alineación del piñón motriz</i>	82
Figura 63 <i>Ajuste de pletinas en los piñones</i>	83
Figura 64 <i>Implementación de nuevos removedores</i>	84
Figura 65 <i>Vista lateral de los nuevos elementos removedores</i>	85
Figura 66 <i>Mezcla de granos de cacao con la nueva paleta</i>	86
Figura 67 <i>Deshidratación de granos de cacao</i>	86
Figura 68 <i>Granos de cacao triturados</i>	87
Figura 69 <i>Placa del motor eléctrico</i>	88
Figura 70 <i>Medición de corriente del motor</i>	88

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Principales cultivos en la provincia de Bolívar año 2022</i>	7
Tabla 2 <i>Rango y criterios para la comparación de pares</i>	22
Tabla 3 <i>Comparación por pares para el Tostador de Cacao</i>	23
Tabla 4 <i>Rango y criterio para la matriz de decisión</i>	24
Tabla 5 <i>Alternativas de solución para el sistema del quemador GLP</i>	25
Tabla 6 <i>Matriz de decisión para el sistema del quemador GLP</i>	26
Tabla 7 <i>Alternativas de solución para aislante térmico</i>	27
Tabla 8 <i>Matriz de decisión para el sistema de aislante térmico</i>	28
Tabla 9 <i>Alternativas de solución para el soporte estructural de la plancha perforada</i> ..	29
Tabla 10 <i>Matriz de decisión para el sistema de soporte estructural</i>	29
Tabla 11 <i>Alternativas de solución para el sistema de arrastre de granos de cacao</i>	30
Tabla 12 <i>Matriz de decisión para el sistema de arrastre de granos de cacao</i>	31
Tabla 13 <i>Alternativas de solución para el recubrimiento superior</i>	32
Tabla 14 <i>Matriz de decisión recubrimiento superior</i>	32
Tabla 15 <i>Alternativas de solución para el sistema de transmisión</i>	34
Tabla 16 <i>Matriz de decisión del sistema de transmisión</i>	34
Tabla 17 <i>Tabla de parámetros medidos en el secador en funcionamiento</i>	36
Tabla 18 <i>Relaciones de transmisión de elementos</i>	55
Tabla 19 <i>Velocidades de la transmisión inicial</i>	55
Tabla 20 <i>Elementos propuestos para el tostado</i>	66
Tabla 21 <i>Flujo de energía para operación en la máquina</i>	67
Tabla 22 <i>Medición de la temperatura superficial del equipo</i>	68
Tabla 23 <i>Pérdida de calor por radiación</i>	68
Tabla 24 <i>Datos para la obtención del coeficiente de convección interno</i>	69

Tabla 25 <i>Datos para la obtención del coeficiente de convección externo</i>	69
Tabla 26 <i>Datos de pérdida de calor sin aislamiento</i>	70
Tabla 27 <i>Datos de pérdida de calor con aislamiento</i>	70
Tabla 28 <i>Cálculo del espesor del tanque a presión</i>	80
Tabla 29 <i>Características de las poleas escalonadas</i>	81
Tabla 30 <i>Transmisión mecánica para el tostado</i>	81
Tabla 31 <i>Torque del sistema removedor</i>	83
Tabla 32 <i>Torque de los elementos removedores</i>	84
Tabla 33 <i>Torque global del sistema</i>	85
Tabla 34 <i>Parámetros para el diseño del eje principal</i>	87
Tabla 35 <i>Selección del motor</i>	89
Tabla 36 <i>Costo de materia prima</i>	90
Tabla 37 <i>Costo de mano de obra</i>	91
Tabla 38 <i>Costo de instalación de mejoras</i>	91
Tabla 39 <i>Costo del proyecto final</i>	92

Índice de planos

Plano 1 <i>Tostador de granos de cacao</i>	128
Plano 2 <i>Quemador GLP</i>	129
Plano 3 <i>Aleta para disipación de calor</i>	130
Plano 4 <i>Tapa superior interna</i>	131
Plano 5 <i>Tapa superior externa</i>	132
Plano 6 <i>Paleta removedora</i>	133
Plano 7 <i>Polea múltiple 3"-4"-7"</i>	134
Plano 8 <i>Soporte estructural de la plancha perforada</i>	135
Plano 9 <i>Tanque de almacenamiento</i>	136
Plano 10 <i>Estructura del tanque</i>	137

Capítulo 1

1.1 Introducción

El cacao es uno de los productos más importantes en la exportación en el Ecuador, al ser muy comercial, el cultivo se ha incrementado en los últimos años derivando en una gran dificultad para los cacaoteros de la zona del sector de Las Paulinas de la provincia de Bolívar. (Carlos et al., 2022, pág. 82)

La cosecha masiva de este producto genera una saturación en la forma de su comercialización, puesto que la gran mayoría de agricultores tardan en la venta de su producto, a la espera de condiciones óptimas para su comercio. Es decir, se debe esperar a que el cacao reduzca su humedad entre un 7 y 8% aproximadamente, después de su fermentación realizando actividades de secado manual, lo que representa una inversión de tiempo extra en estas operaciones.

Por otro lado, una buena comercialización de cacao se da en condiciones de tostado, es decir, las industrias chocolateras adquieren el cacao con este valor agregado, por lo que los agricultores buscan la manera de llevarlos a otros lugares que den el servicio de tostado o, a su vez, vender el cacao por un menor precio, haciendo que esta actividad no sea tan rentable. Sistema de Trazabilidad y Transparencia (ST&T, 2021)

1.2 Descripción del problema

Luego de la fermentación de los granos de cacao, se debe esperar de 5 a 8 horas en el tiempo de secado con la máquina actual, este equipo presenta un consumo de 2 a 3 bombonas de gas licuado de petróleo para operación de secado. Durante el proceso se pierde aproximadamente el 20% de los 10 quintales de la materia prima, además, el sistema no cuenta con mecanismo de aislamiento térmico y su medio de transmisión se desarrolla de manera empírica, por lo que presenta un déficit en el uso de energía para pasar a las operaciones de tostado.

1.3 Justificación del problema

El 85% de la producción de cacao se exporta, mientras que el 15% se comercializa internamente en el Ecuador, bajo las mismas condiciones obtenidas se comercializa el cacao; y debido a la alta demanda de cultivos se produce una saturación en su comercio interno, haciendo que los cacaoteros dependan de intermediarios y que su valor económico se vea afectado.

(ST&T, 2021, pág. 12)

El predio Las Paulinas se encuentra en la provincia de Bolívar en una zona limítrofe a las provincias de Los Ríos y Guayas, dos de las mayores productoras de cacao a nivel nacional. A causa de su ubicación la comercialización de cacao para los agricultores puede llegar a ser muy lenta, esto debido a las condiciones climatológicas que afectan el secado natural por lo que se hace uso de tecnologías para venderlo seco y no en baba, con el fin de obtener mayores ganancias. Últimamente este sector busca darle valor agregado al grano de cacao con el propósito de evitar un devaluó en la venta de este producto debido a su alta producción.

Un uso prolongado de la máquina de secado fabricada de forma artesanal que no considere las pérdidas de calor que se generan, no solo podría afectar el consumo de energía, sino también la pérdida de la materia prima por la mala manipulación en los granos. Esto impide usarlo directamente como tostador de granos de cacao ya que se corre el riesgo de generar severas pérdidas económicas para los productores del sector en caso de que quieran vender el grano tostado o, peor aún, producir chocolate y sus derivados de forma local.

Debido a esta razón, se diseñará un tostador de cacao basado en la máquina secador rotatorio, donde se mejorará parte de la estructura y realizarán modificaciones para disminuir las pérdidas, aportando con las condiciones necesarias para el tostado del grano, mejorando a su vez la eficiencia de la operación de secado y dándole un valor agregado al cacao. Además, se podrá mejorar la rentabilidad de la producción de cacao entre los cacaoteros de la zona.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Diseñar un tostador de cacao partiendo del funcionamiento de una máquina secadora de cacao rotatorio en un predio rústico de Las Paulinas ubicado en la provincia de Bolívar para la generación de valor agregado en el producto.

1.4.2 Objetivos específicos

1. Analizar el comportamiento de los elementos requeridos para el funcionamiento de tostado de cacao por medio de simulación mecánico y transferencia de calor.
2. Proponer las adaptaciones en la máquina secadora de cacao para el tostado de sus granos en base a la operación de equipos similares.
3. Optimizar las cualidades del procedimiento de secado necesarios para el tostado con el fin de asegurar una mayor eficacia en la máquina.

1.5 Marco teórico

1.5.1 Aspectos generales del cacao en el Ecuador

El fruto “Theobroma cacao” es el nombre científico que se le da al origen del cacao en nuestro país. Las condiciones climáticas y los tipos de suelo han provocado que el cacao tenga variaciones en su genética mediante procesos naturales, con el fin de ser más resistentes a enfermedades y condiciones extremas. Por otro lado, están los clones del cacao “CCN 51” que fueron desarrollados con el fin de ser más resistentes y rendidores, pero con bajas condiciones propias del cacao y este también tiene efectos negativos en nuestros suelos (MOCCA, 2023).

De las variedades de cacao existentes en el mundo en el país se producen predominantemente dos tipos de cacao, estos son el CCN 51 y el Cacao Fino de Aroma, que es reconocido como Nacional (López, 2015).

El cacao de aroma fino se cultiva principalmente en sistemas agroforestales por parte de pequeños productores y empresas con áreas que superan las 120 hectáreas. La excelencia en cuanto a sus características sensoriales es reconocida globalmente, lo que se traduce en precios elevados en el mercado. Por otro lado, el Cacao CCN 51, que tiene una mayor productividad, es cultivado en monocultivos y a menudo sin sombra. Sin embargo, su calidad es inferior a la del cacao tipo Nacional (García-Briones et al., 2021, p. 155).

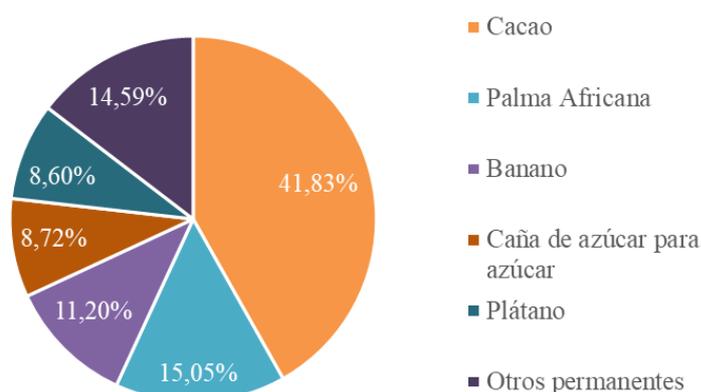
1.5.2 Contexto de la producción nacional de cacao

En el país uno de los rubros no petroleros más importantes está relacionado directamente con el sector agrícola, en el 2019 el cultivo de banano, café y cacao registró \$1.424 MM de VAB con una participación del 1.98% sobre el PIB total (CFN, 2021, p2).

En la figura 1 se aprecia la cantidad de superficie empleada en el país para el cultivo de cacao con lo que se observa la importancia económica para miles de familias que participan en el sector.

Figura 1

Superficie usada de la plantación agrícola (cultivos permanentes)



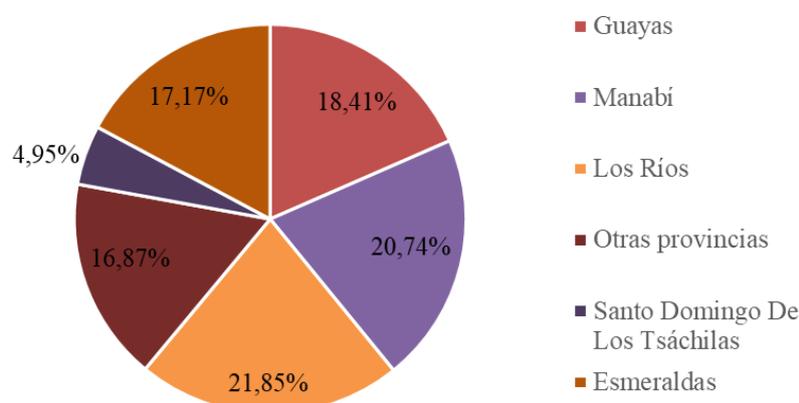
Nota. Se observan los cultivos con mayor uso de superficie, donde se destaca el cultivo de cacao. (INEC, 2021).

La superficie de cultivos permanentes fue de 1.498.668 hectáreas donde el 41.83% está focalizada en el cultivo de cacao, la mayor participación en la producción de cacao la tiene la

provincia de Los Ríos donde se concentra el 27.70 % del total de superficie empleada (INEC, 2021, p.18). En la figura 2 se observa la participación de las provincias en el cultivo permanente de cacao (almendra seca) donde se indica que “en el 2021, la superficie plantada de cacao a nivel nacional fue de 626.962 hectáreas” (INEC, 2021, p. 22)

Figura 2

Provincias con mayor producción de cultivo de cacao



Nota. Se observa que las provincias con mayor participación de cultivo son de la costa. (INEC, 2021)

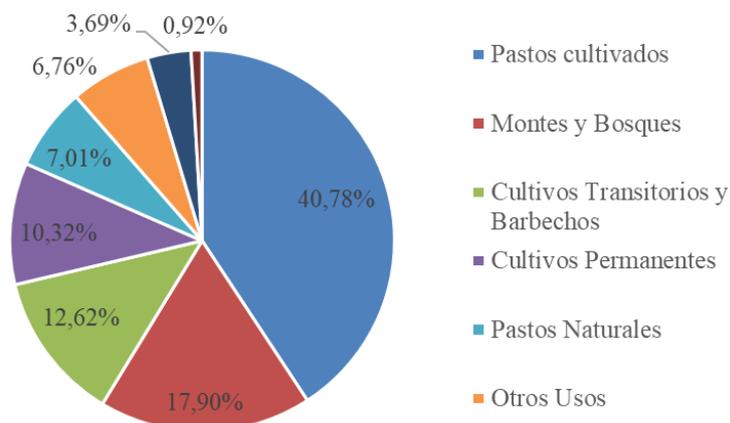
1.5.3 Producción de cacao en la provincia de Bolívar

El uso de suelos para cultivos permanentes, donde se concentran cultivos como el cacao, solo representa un poco más del 3% del uso de suelo de la provincia como se observa en la figura 3. La producción de cacao en la provincia de Bolívar en el año 2022 (tabla 1) es alta, pero menor si se compara con otras provincias donde se da la mayor producción a nivel nacional.

Esto se debe a que ciertas zonas están demográficamente cerca de provincias cacaoteras compartiendo condiciones ideales. En el caso del predio Las Paulinas, que está ubicada en la provincia de Bolívar y se encuentra en una zona limítrofe a las provincias del Guayas y los Ríos, se presentan condiciones meteorológicas favorables para el cultivo de cacao.

Figura 3

Uso de Suelo (ha) provincia de Bolívar 2022



Nota. El uso de suelos para actividades de cultivos permanentes ocupa el cuarto lugar en la provincia de Bolívar. (ESPAC, 2023).

Tabla 1

Principales cultivos en la provincia de Bolívar año 2022

No.	Producto	Superficies Plantadas (ha)	Superficies Cosechadas (ha)	Producción (t)	Rendimiento (t/ha)
1	Cacao	22 626	21 129	16 365	0.77
2	Maíz suave seco	12 266	11 935	16 705	1.40
3	Naranja	9 882	9 190	126 924	13.81
4	Fréjol seco	7 507	7 011	4 165	0.59
5	Maíz suave choclo	5 388	5 388	18 534	3.44

Nota. Se observa que el cacao es el producto con mayor participación de superficies plantadas. (ESPAC, 2023).

1.5.4 Fermentación de los granos de cacao

La fermentación desempeña un papel fundamental en el desarrollo del sabor y la acidez final de los granos de cacao. Sin este proceso, los granos de cacao carecerían de cualquier tipo de

sabor distintivo. La fermentación no se aplica directamente a los granos de cacao en sí, sino que implica la actividad de levaduras, bacterias y enzimas que actúan sobre la pulpa blanca y jugosa, conocida como "baba", que rodea los granos de cacao. Durante este proceso, los granos se ven afectados por el calor, el ácido y las enzimas presentes en la fermentación de la pulpa, lo que da como resultado una transformación tanto interna como externa en la composición del grano de cacao (Cadby, 2019).

Figura 4

Proceso de fermentación de granos de cacao



Nota. Proceso de fermentación artesanal de granos de cacao en hacienda cacaotera, ubicada en el recinto primavera (Cantón Naranjito, Guayas).

1.5.5 Secado de los granos de cacao

Posterior al fermentado se debe reducir la cantidad de agua que cada grano contiene después de la fermentación, el cacao permanece con un contenido de humedad de más o menos el 55 %, pero se busca reducirse a un margen de 6.5% a 7.5% para garantizar que pueda venderse o almacenarse durante mucho tiempo” (Atiaga Velastegui y Tarco Condor, 2022, p. 9).

Cada cierto tiempo de secado es necesaria la toma de muestras para medir la cantidad de humedad, si desciende la humedad de las almendras estas se tornan quebradizas y si están por encima adquieren un olor desagradable y las hace susceptibles al ataque de hongos perdiendo su valor comercial (Mayorga y Soliz, 2022, p. 8).

1.5.5.1 Secado natural.

El secado de granos se produce al exponerlos directamente al sol en una superficie plana ya sea el suelo o tablas, se caracteriza por su bajo costo y lograr un secado gradual agitándolo cada 30 minutos. El periodo de secada varía en función del lugar y época del año, suele requerir un plazo de 6 a 10 días para obtener un secado óptimo. Entre las desventajas de este proceso se tiene proliferación de hongos o presencia de plagas. (Caballero Cava, 2015).

Figura 5

Secado natural de granos de cacao



Nota. Secado convencional sobre lonas para almacenar en caso de lluvias en el recinto primavera (Cantón Naranjito, Guayas).

1.5.5.2 Secado artificial.

Los métodos artificiales permiten secar los granos de cacao de forma no directa reemplazando el uso del sol y empleando otras fuentes de calor como la combustión de biomasa, combustibles fósiles o resistencias eléctricas según el volumen de granos a secar requerido a secar. La temperatura aumenta gradualmente entre un rango de 50 y 80 °C con el fin de lograr un secado adecuado de la almendra. Aunque sea más rápido tomando periodos de hasta 10 horas el costo de operación es elevado (Caballero Cava 2015).

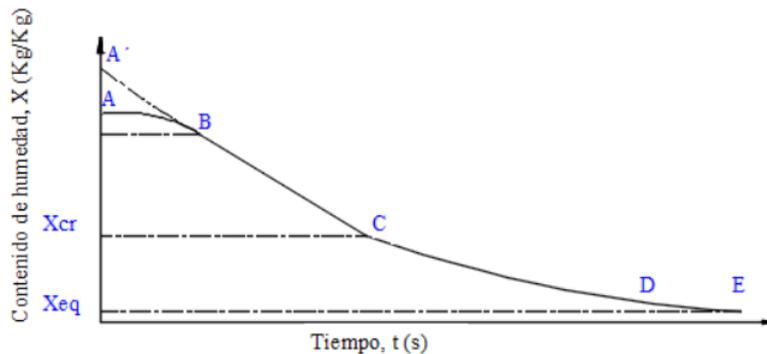
1.5.6 Transferencia de masa y de energía

En los procesos de secado el objetivo principal es el de eliminar las sustancias volátiles, como la humedad, con el fin de obtener un producto sólido. involucra la utilización de métodos térmicos, en los cuales se aplica calor, típicamente mediante la convección, mediante el flujo de aire. Durante el secado convectivo de materiales sólidos, se desarrollan simultáneamente dos procesos, la transferencia de energía desde el entorno circundante y la eliminación de humedad desde el interior del sólido. La velocidad de secado está influenciada por la relación entre la intensidad de estos dos procesos. (Parra Rosero, 2014, p.223).

1.5.7 Curva de secado

La curva de secado en un gráfico muestra el cambio del contenido de humedad de un producto a medida que transcurre el tiempo (figura 6). Para su construcción se emplean datos previamente recopilados y representados en un sistema de coordenadas (eje X e Y), donde se presenta el contenido de humedad del material (X) en función del tiempo transcurrido desde el inicio del proceso de secado (t). (Delgado Plaza, 2015, p. 21)

La figura 6 indica la relación del tiempo de secado con respecto a la humedad de los granos de cacao, interpretando el comportamiento de la curva, Cueva Moreno y Saquinha Caiza (2017) indican que “la recta B – C es el tramo de secado de velocidad constante mientras que para el tramo restante la velocidad de secado tiende a bajar” (p. 12).

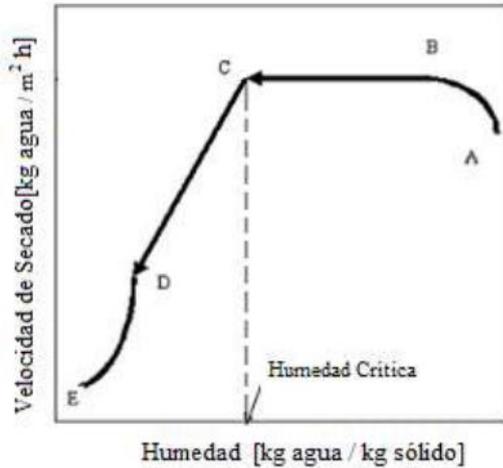
Figura 6*Humedad relativa vs Tiempo*

Nota. Se observa que la curva de secado tiene un periodo constante y decreciente. (Cueva Moreno y Saquinha Caiza, 2017, p. 13)

1.5.8 Velocidad de secado

Se conoce como velocidad de secado la rapidez con la que disminuye el contenido de humedad presente en sólidos. En la figura 7 se aprecia el comportamiento de la velocidad de secado donde explica Parra Rosero, (2017) que:

La pendiente de la curva representa el valor de la velocidad a la que se seca el material, esta velocidad varía a lo largo del proceso, ya que ocurre en varias etapas con velocidades diferentes. El punto A marca el comienzo del proceso. Durante el segmento AB, tanto el sólido como el agua contenida se calientan gradualmente. En el segmento BC se observa una disminución significativa en el contenido de agua a velocidad constante. Cuando se alcanza el punto C la humedad es crítica, se produce un cambio abrupto y el proceso de extracción de humedad se vuelve más lento, disminuyendo la velocidad de secado en la fase CD. (p. 16)

Figura 7*Velocidad de secado*

Nota. Tomado de Parra Rosero, Modelación de un proceso de secado de cacao utilizando una cámara rotatoria cilíndrica y flujo de aire caliente. (2017)

1.5.9 Tiempo de secado

El cálculo del tiempo de secado se puede realizar al tener en cuenta las dos etapas más relevantes de la curva de secado, cuando el proceso está en la zona de secado a velocidad constante, y cuando el proceso está en la fase de secado a velocidad decreciente. (Parra Rosero, 2017)

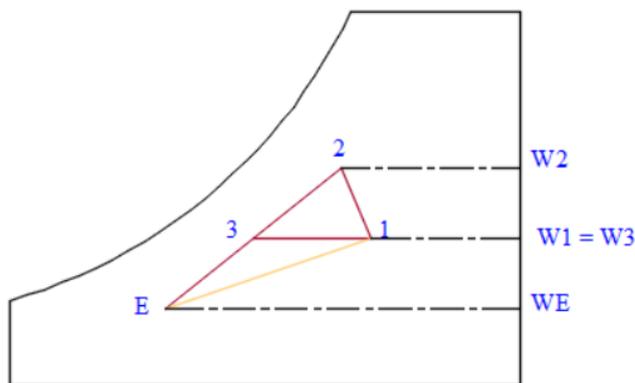
1.5.10 Psicrométrica en cámara de secado

Durante el proceso de secado, el aire transfiere calor a los sólidos que se encuentran a una temperatura más baja, con el fin de evaporar la humedad superficial. El agua se evapora del producto debido a una diferencia en las presiones parciales de vapor y es transportada por el flujo de aire; lo que aumenta la humedad absoluta y relativa del aire. Este intercambio neto de energía es igual a cero, ya que la energía cedida por el aire durante la evaporación es devuelta en forma de vapor de agua. Esto da lugar a un proceso en el cual la entalpía del aire que ingresa es igual a la entalpía del aire que sale (Zhigui Loja, 2021).

En la figura 8, se presenta el esquema de la carta psicrométrica utilizada a nivel general, en el punto 1 ingresa la mezcla de aire caliente y seco al secador, en el punto 2 indica su salida después de entrar en contacto con la materia prima, en el punto 3 la mezcla de aire llega al punto E y finalmente cierra en el punto 1 donde representa el calentamiento del aire. (Cueva Moreno y Saquinha Caiza, 2017)

Figura 8

Esquema psicrométrico del ciclo de secado



Nota. Mezcla de aire seco y caliente en el secador (Cueva Moreno y Saquinha Caiza, 2017).

1.5.11 Tostado de los granos de cacao

El tostado de granos de cacao genera un valor adicional sobre este, se realiza por periodos de tiempo comprendidos de 5 - 50 minutos con un rango de temperatura de 120 - 150°C, generalmente a 130 °C por 30 a 45 minutos, con el fin de adquirir sabores florales, frutos secos y frutales (INIAP, 2022, p.43).

1.5.12 Curva de tostado

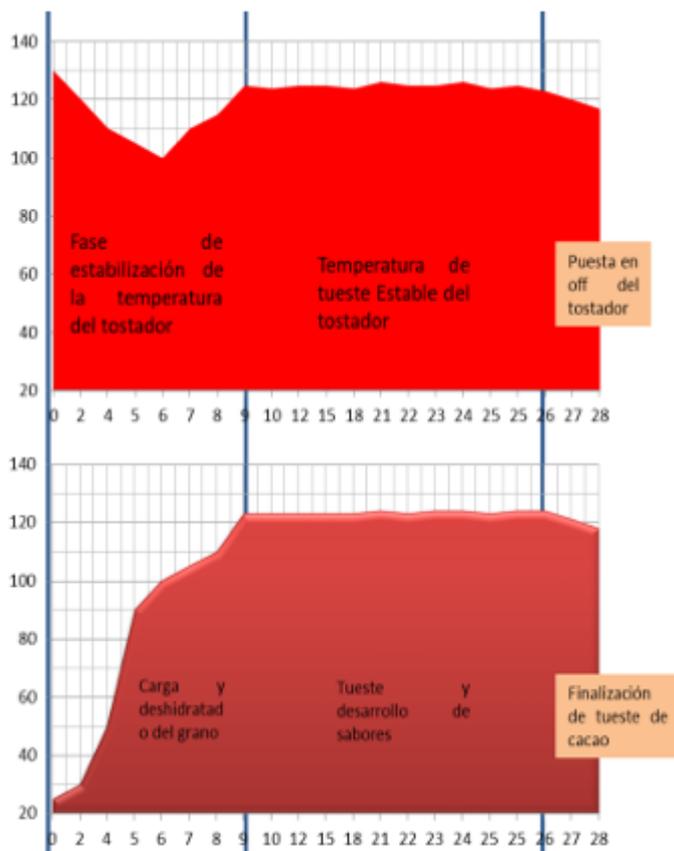
En la actualidad se han desarrollado muchos estudios que han permitido caracterizar las condiciones de un correcto tostado Guitierrez (2021) establece que:

En el inicio de la curva de tostado se establece que el equipo debe de iniciar con una temperatura de aproximadamente 120°C, con lo que se puede deducir una temperatura de

20°C para el grano, la variación de la temperatura hará disminuirla hasta menos de 100°C, y se requiere de un tiempo de 9 minutos para la estabilización. Consecuentemente se elevar la temperatura por encima de los 120°C con una aplicación constante de 20 minutos, esto garantiza un tostado uniforme, un aspecto muy importante a considerar es la distribución uniforme del producto, el producto debe de tener movimientos cíclicos y uniformes para una mayor convección. Finalmente el equipo culmina su operación y los granos de cacao tendrán un descenso de temperatura leve, por esto el equipo deberá tener movimientos atenués por un tiempo de 3 minutos. (p.8)

Figura 9.

Curva de tostado de los granos de cacao.



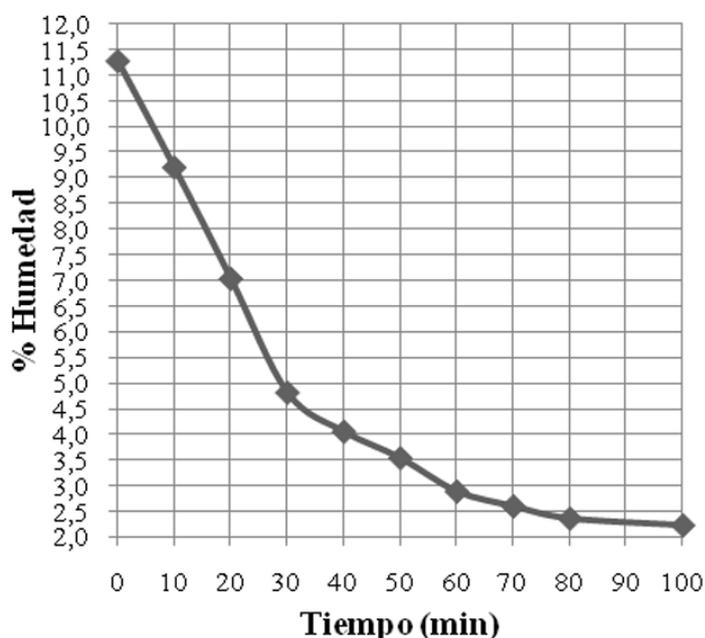
Nota. En la gráfica superior se observa el comportamiento de la temperatura vs el tiempo en el equipo de tostado, en la gráfica inferior la temperatura vs el tiempo en el grano de cacao.

(Guitierrez, 2021)

Las condiciones para obtener y garantizar un buen tostado dependen de la humedad con la que ingresa a la máquina, en una muestra de 500 gramos de cacao dentro de un tostador rotario a 140°C de temperatura y 35 minutos de aplicación se obtuvo resultados positivos con respecto al aroma y sabor, estas condiciones están sujetas al comportamiento de la curva de tueste e indican que se debe de mantener temperatura de menos de 155°C (Díaz et al. pág. 4).

Figura 10.

Curva tiempo de tueste vs la humedad del cacao.



Nota. En la gráfica se observa la humedad inicial del cacao vs el tiempo que se debe de tostar para una muestra de 820 gramos. (Plúa & Cornejo, 2013)

1.5.13 Tipo de máquinas tostadoras

Entre las diferentes máquinas tostadoras de cacao podemos encontrar; las de proceso continuo y no continuos. Estas tostadoras varían su condición de tratamiento en el producto aplicando calor por inducción o convección, ya sea con aplicación directa de llama o por resistencias eléctricas, condiciones infrarrojas o microondas. (Mayorga et al, 2022, pág. 11)

Con respecto a la figura 11, se puede observar el principio de forma de un tostador continuo, esta trabaja por acción directa del aire previamente calentado, puede ser a través de una resistencia o un quemador que eleva la temperatura del aire, ingresando por la parte inferior de la cresta perforada, el principio radica en eliminar la humedad de los granos por la salida superior del tostador sin la necesidad de elementos en rotación. (Mayorga y Soliz, 2022)

Figura 11.

Tostador de acción continua de cacao.



Nota. En la figura se observa un tostador continuo sin elementos de rotación. (VulcanoTEC, 2023)

Por otro lado, en la figura 12, tenemos a los tostadores discontinuos que usan tambores giratorios dentro de la cámara, accionado por medio de un motor eléctrico, en donde el calor penetra entre los granos por recirculación, es decir, el tostador realiza su operación por medio de quemadores de gas o resistencias eléctricas instalados en la parte inferior de la cámara. (Mayorga y Soliz, 2022, pág. 12)

Figura 12.

Tostador de cacao de acción discontinua.



Nota. En la figura se observa un tostador discontinuo con tambor rotatorio interno. (Delani, 2019)

Uno de los tostadores más usados en la industria, pero de bajas capacidades, son los tipos microondas, en donde la operación de tostado se da con pocos granos y con un tiempo completamente reducido, a diferencia de los otros métodos este tiene una gran efectividad y suelen ser portátiles. (Mayorga y Soliz, 2022, pág. 13)

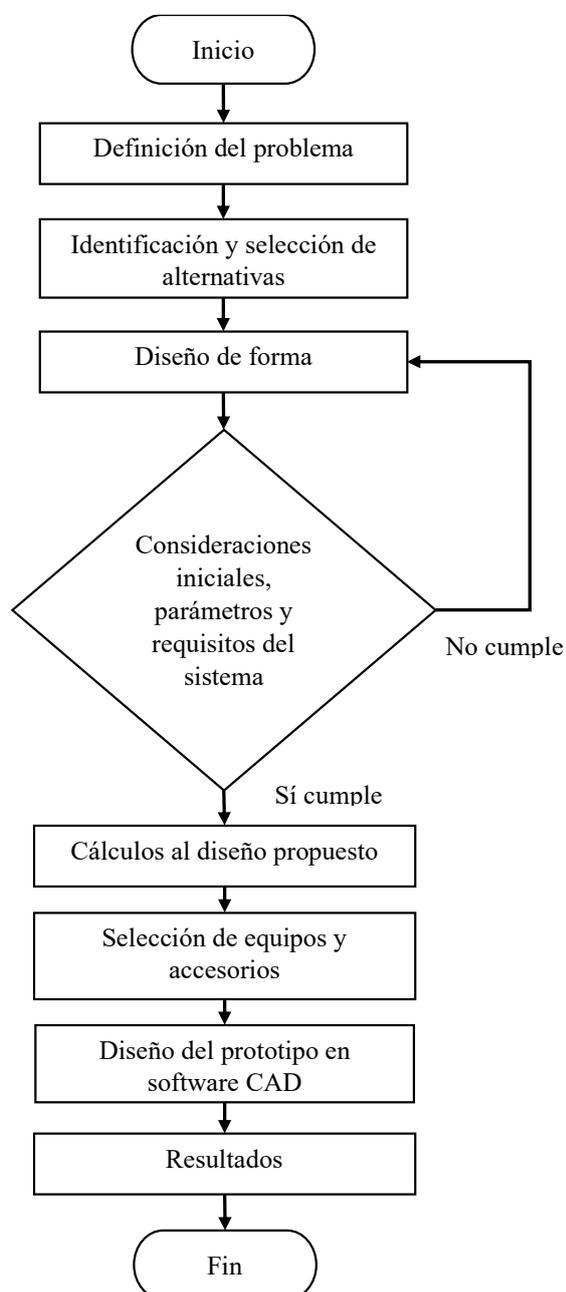
Capítulo 2

2.1 Metodología.

La adaptación del secador rotatorio en tostado de granos de cacao se basó en dos sistemas principales: térmico y estructural. En este capítulo se determinó mediante una matriz de decisión la mejor configuración. En la figura 13 se muestra las etapas que se implementaran para el desarrollo del proyecto

Figura 13

Diagrama de flujo



2.2 Requerimientos de diseño

Los requerimientos de diseño se basaron en las necesidades del cliente y las características de operación del secador.

- El equipo debe de brindar garantía en la operación del usuario y seguridad, tanto para los operadores, así como al producto alimenticio a tratar.
- Debe de mantener la inocuidad del producto, usar materiales, insumos y componentes diseñados para el grado alimenticio evitando contaminaciones de cualquier índole, como; acero inoxidable, lanas de roca, grasas de litio y 3H, siempre que sean amigables con el ambiente.
- Deber ser instalado sobre buenas bases y tener una estructura que sea resistente para las condiciones de trabajo.
- Debe de estar instalado en un ambiente abierto para evitar la acumulación de gases.
- Debe de trabajar con conexiones eléctricas en un rango de 120 a 220 V y con una frecuencia de 60 Hz, disponibles en el sector, también con 2 cilindros de GLP doméstico para la alimentación del quemador.
- Soportar más de 500 kg de cacao por más de 6 horas y trabajar sobre una temperatura máxima de 200°C.
- Poseer aislantes de calor que permitan a los operadores manipular la carcasa del equipo al abastecer la máquina con la materia prima.
- Debe tener autonomía de funcionalidad en el sector donde se encuentra, generando economía con los agricultores aledaños.
- Las piezas de recambios deben ser de fácil adquisición de preferencia que se encuentre en el mercado ecuatoriano.

Cabe destacar que muchas partes fueron cambiadas por lo que se trabajó directamente con la información levantada para este trabajo. En la figura 14, se muestra el equipo secador que será analizado para determinar la posibilidad de convertirlo en tostadora.

Figura 14

Secadora de cacao



Nota. Maquina secadora de cacao ubicado en el sector de las Paulinas.

2.3 Criterios de diseño

Para este proyecto los requerimientos de diseño se basaron en los siguientes criterios.

- **Seguridad:** Cumplir con las condiciones de seguridad para la operación del equipo adaptado como tostador con el fin de prevenir accidentes laborales.
- **Mantenimiento:** Facilidad y eficiencia con el cual este equipo puede ser mantenido y reparado después de sus modificaciones, así como facilidad de disponibilidad de refracciones dentro de la región.
- **Ergonomía:** Las adaptaciones en la máquina debe comprender las necesidades, habilidades y limitaciones del usuario para ser operado sin dificultad.

- **Adaptabilidad:** Capacidad del equipo para admitir cambios entre el proceso secado y tostado sin necesidad de montaje o desmontaje.
- **Operatividad:** El equipo adaptado sea eficiente en el proceso de secado y tostado de granos de cacao con menor consumo excesivo de combustible o energía eléctrica.
- **Autonomía:** Capacidad del equipo para realizar la transición de secado a tostado de forma automática.
- **Vida útil:** Garantizar que los componentes diseñados sean duraderos, confiables y capaces de funcionar durante un gran periodo de tiempo.

2.3.1 Ponderación de criterios

En la tabla 2 se estableció el rango y características de 5 niveles de incidencia para la comparación por pares de cada criterio en la ponderación del diseño.

Tabla 2

Rango y criterios para la comparación de pares

Rango	1	2	3	4	5
Criterio	Muy Bajo	Bajo	Regular	Alto	Muy Alto

Como se observa en la tabla 3, se realizó la comparación de cada criterio entre el rango del 1 al 5 definido anteriormente con su respectivo valor, con esto se evalúa el peso de cada criterio y la importancia que tienen en la máquina, resultando en el porcentaje de ponderación con la que se evaluarán las alternativas de solución.

Tabla 3*Comparación por pares para el Tostador de Cacao*

Criterios	Seguridad	Mantenimiento	Ergonomía	Adaptabilidad	Operatividad	Ergonomía	Vida útil	Total	Ponderación
Seguridad		5	4	1	4	3	1	18	0,17
Mantenimiento	5		2	1	3	4	5	20	0,18
Ergonomía	4	5		1	4	2	1	17	0,16
Adaptabilidad	1	2	2		5	2	3	15	0,14
Operatividad	3	5	3	1		1	1	14	0,13
Autonomía	2	3	1	3	1		3	13	0,12
Vida útil	3	5	1	1	1	1		12	0,11
TOTAL								109	1,00

Nota. Tabla de ponderación de pesos con sus respectivos valores, indica que el mantenimiento, seguridad y ergonomía son los criterios de mayor peso.

La mayor ponderación fue para el criterio de facilidad de mantenimiento que obtuvo 0,18 del peso total, debido a que el tostador debe mantener un correcto funcionamiento y una operación segura para garantizar la inocuidad el producto.

En segundo lugar, la seguridad obtuvo 0,17 del peso total, reafirmando que las operaciones de tostado en la máquina deben ser adaptadas al operador y al producto, con el fin de obtener un buen rendimiento.

El tercer criterio de mayor ponderación fue el de ergonomía con el 0,16 del peso total, esto refleja el vínculo en su manipulación entre el producto, máquina y operador.

El criterio de adaptabilidad obtuvo 0,14 del peso total, indicando que el diseño puede adaptarse a cambios, es decir, es capaz para pasar de operaciones del secado al tostado.

Para el criterio de operatividad obtuvo 0,13 del peso total, este representa la fácil manipulación del equipo y lo práctico que debe ser al momento de cambiar la operación.

Con respecto al criterio de autonomía obtuvo 0,12 del peso total, esto radica en que este proceso debe ser efectuado una sola vez y de la forma más sencilla posible.

Por último, el criterio de vida útil obtuvo 0,11 del peso total, ya que la máquina debe tener un uso prolongado y a su vez reduce el número de mantenimientos en el equipo.

2.4 Alternativas propuestas

La generación de las alternativas de diseño es un componente importante donde se exploran distintas soluciones posibles variando en términos de concepto, formas, materiales, colores, funciones, disposición y cualquier otro aspecto relevante del diseño. Posteriormente se evalúan para determinar el más adecuado en resolver la problemática. Para la selección de la mejor alternativa en este proyecto se indicó el problema o inconveniente a considerar de cada sistema al querer adaptar el secador a tostador, así como también sus respectivas alternativas de solución. Los pesos de ponderación descritos en la tabla 4 permitieron la selección de la mejor alternativa.

Tabla 4

Rango y criterio para la matriz de decisión.

Rango	1	2	3
Criterio	Baja	Regular	Alta

Nota: Tabla que representa el nivel de incidencia con respecto a la mejor alternativa de solución para cada problemática.

2.4.1 Sistema de quemador GLP

El problema del quemador es que no distribuye correctamente el calor, este cuenta con una flama completamente amarilla y con fuertes olores a GLP. La razón es que el sistema de alimentación del quemador no cuenta con entradas de aire controladas, tampoco con un inyector de boquilla que distribuye el GLP. El sistema no cuenta con un manómetro en la entrada del combustible en el quemador por lo tanto no se permite realizar un sistema de control. Se

proponen las alternativas de solución en la tabla 5. La selección de la mejor alternativa de diseño se observa en la tabla 6. De las 3 alternativas la seleccionada fue la opción A.

Figura 15

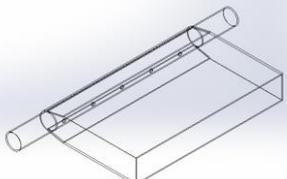
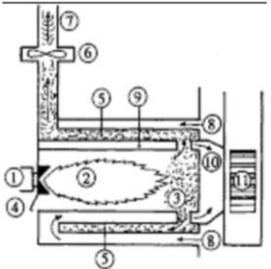
Quemador GLP



Nota: Quemador fabricado de forma artesanal utilizado en secador actual.

Tabla 5

Alternativas de solución para el sistema del quemador GLP

Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C
Instalar campana en el quemador y ventoleras de metal con apertura 60°	Instalar quemadores tipo estufas con un cañón dirijible.	Instalar conductos para conducción de calor
		

Nota: Imágenes de soluciones planteadas para el sistema del quemador.

Tabla 6*Matriz de decisión para el sistema del quemador GLP*

Criterios	Peso	Alternativas de solución					
		A		B		C	
		Evaluación	Pond.	Evaluación	Pond.	Evaluación	Pond.
Mantenimiento	0,18	3	0,54	3	0,54	2	0,36
Ergonomía	0,17	2	0,36	2	0,36	3	0,54
Seguridad	0,16	2	0,36	3	0,54	2	0,36
Costos	0,14	3	0,54	2	0,36	1	0,18
Operatividad	0,13	2	0,36	2	0,36	3	0,54
Instalación	0,12	3	0,54	3	0,54	2	0,36
Vida útil	0,11	3	0,54	1	0,18	2	0,36
Total	1,00	18	3,24	16	2,88	15	2,7

Nota: Tabla de matriz de decisión con la alternativa A como ganadora en comparación con las otras soluciones.

2.4.2 Sistema de aislante térmico

El problema del secador es que no tiene un aislante térmico y la temperatura del horno varía rápidamente aumentando el consumo de gas. Se proponen las alternativas de solución en la presentada en la tabla 7. La selección a de la alternativa de diseño se observa en la tabla 8. De las 3 alternativas la seleccionada fue la opción B.

Figura 16*Medición de temperatura de aire caliente en el secador***Tabla 7***Alternativas de solución para aislante térmico*

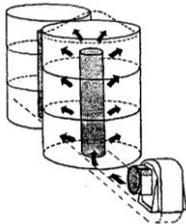
Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C
<p>Instalar conductos de dirección (Tipo estufa) baja el soporte de la cama.</p>	<p>Emplear una capa aislante de lana de roca que recubra externamente todo el equipo.</p>	<p>Usar ladrillos refractarios que recubran el exterior del equipo.</p>
		

Tabla 8

Matriz de decisión para el sistema de aislante térmico.

Criterios	Peso	Alternativas de solución					
		A		B		C	
		Evaluación	Pond.	Evaluación	Pond.	Evaluación	Pond.
Mantenimiento	0,18	1	0,18	3	0,54	3	0,54
Seguridad	0,17	2	0,36	1	0,18	3	0,54
Ergonomía	0,16	2	0,36	2	0,36	2	0,36
Costos	0,14	3	0,54	3	0,54	1	0,18
Operatividad	0,13	3	0,54	3	0,54	1	0,18
Instalación	0,12	3	0,54	3	0,54	3	0,54
Vida útil	0,11	3	0,54	3	0,54	3	0,54
Total	1,00	17	3,06	18	3,24	16	2,88

Nota: Tabla de matriz de decisión con la alternativa B como ganadora en comparación con las otras soluciones.

2.4.3 Sistema de soporte estructural

En la operación de secado se observó que la manipulación de los granos de cacao que se encuentran sobre la plancha de acero se destruye debido a que el suelo está desnivelado. Se proponen las alternativas de solución en la tabla 9. La selección a de la alternativa de diseño se observa en la tabla 10. De las 3 alternativas la seleccionada fue la opción A.

Figura 17

Soporte estructural de la plancha perforada



Tabla 9

Alternativas de solución para el soporte estructural de la plancha perforada

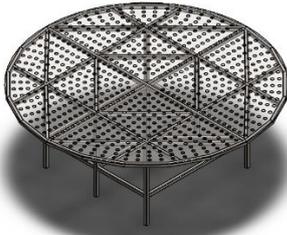
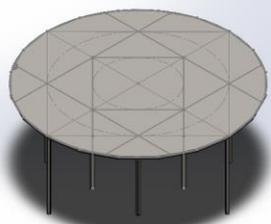
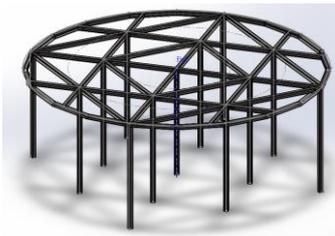
Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C
Instalar soportes estructurales bajo la plancha perforada.	Cambiar el piso fijo perforado por una plancha lisa rotatoria.	Rediseñar la estructura para la instalación de otra plancha de mayor espesor.
		

Tabla 10

Matriz de decisión para el sistema de soporte estructural.

Criterios	Peso	Alternativas de solución					
		A		B		C	
		Evaluación	Pond.	Evaluación	Pond.	Evaluación	Pond.
Mantenimiento	0,18	3	0,54	1	0,18	3	0,54
Seguridad	0,17	2	0,36	2	0,36	2	0,36
Ergonomía	0,16	3	0,54	3	0,54	3	0,54
Costos	0,14	2	0,36	3	0,54	3	0,54
Operatividad	0,13	3	0,54	1	0,18	2	0,36
Instalación	0,12	3	0,54	3	0,54	2	0,36
Vida útil	0,11	3	0,54	3	0,54	3	0,54
Total	1,00	19	3,42	16	2,88	18	3,24

Nota: Tabla de matriz de decisión con la alternativa A como ganadora en comparación con las otras soluciones.

2.4.4 Sistema de arrastre de granos de cacao

La secadora distribuye muy poca cantidad de granos, no hay paletas entre las pletinas que garanticen un mezclado requerido en la parte superior. Se proponen las alternativas de solución en la tabla 11. La selección a de la alternativa de diseño se observa en la tabla 12. De las 3 alternativas la seleccionada fue la opción B.

Figura 18

Palas de arrastre para granos de cacao



Tabla 11

Alternativas de solución para el sistema de arrastre de granos de cacao

Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C
Cambiar por agitadores de doble cinta helicoidal de flujo ascendente	Instalar paletas de arrastre para mejorar el movimiento de granos	Añadir dos nuevas extensiones con paletas similares a las actuales
		

Tabla 12

Matriz de decisión para el sistema de arrastre de granos de cacao.

Criterios	Peso	Alternativas de solución					
		A		B		C	
		Evaluación	Pond.	Evaluación	Pond.	Evaluación	Pond.
Mantenimiento	0,18	3	0,54	3	0,54	1	0,18
Seguridad	0,17	2	0,36	2	0,36	2	0,36
Ergonomía	0,16	2	0,36	3	0,54	3	0,54
Costos	0,14	3	0,54	3	0,54	3	0,54
Operatividad	0,13	2	0,36	3	0,54	1	0,18
Instalación	0,12	3	0,54	2	0,36	2	0,36
Vida útil	0,11	3	0,54	3	0,54	1	0,18
Total	1,00	18	3,24	19	3,42	13	2,34

Nota: Tabla de matriz de decisión con la alternativa B como ganadora en comparación con las otras soluciones.

2.4.5 Recubrimiento superior

El problema que se presentó al pasar a la operación de tostado es que el calor por convección escapa directamente al ambiente por la parte superior. Se proponen las alternativas de solución en la tabla 13.

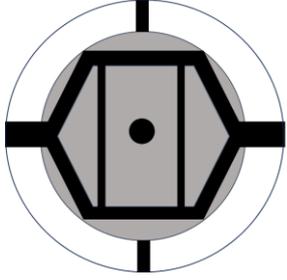
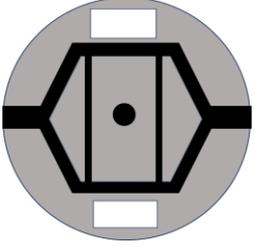
Figura 19

Acceso superior del secador



Nota. Se observa interferencia al momento de recubrir superiormente el tanque por su mecanismo de transmisión.

Tabla 13*Alternativas de solución para el recubrimiento superior*

Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C
Cuatro tapas de acero desmontables cubriendo el hexágono estructural y los lados en blanco.	Tapa de acero soldado al eje rotatorio cubriendo por completo la estructura con compuerta para ingreso de granos de cacao	Domo de acero inoxidable desmontable que encierra todo el parte superior incluido el mecanismo de transmisión de los removedores
		

Nota. La selección a de la alternativa de diseño se observa en la tabla 14. De las 3 alternativas la seleccionada fue la opción A.

Tabla 14*Matriz de decisión recubrimiento superior*

Criterios	Peso	Alternativas de solución					
		A		B		C	
		Evaluación	Pond.	Evaluación	Pond.	Evaluación	Pond.
Mantenimiento	0,18	3	0,54	1	0,18	1	0,18
Seguridad	0,17	2	0,36	2	0,36	2	0,36
Ergonomía	0,16	3	0,54	2	0,36	3	0,54
Costos	0,14	3	0,54	1	0,18	1	0,18
Operatividad	0,13	2	0,36	2	0,36	2	0,36
Instalación	0,12	1	0,18	3	0,54	3	0,54
Vida útil	0,11	3	0,54	3	0,54	3	0,54
Total	1,00	17	3,06	14	2,52	15	2,7

Nota: Tabla de matriz de decisión con la alternativa A como ganadora en comparación con las otras soluciones.

2.4.6 Sistema de transmisión.

En la figura 20, se puede observar el mecanismo de transmisión del secador y un gran problema que se presentó luego de algunas operaciones con capacidad máxima es que uno de los ejes principales presentó una desalineación con respecto sistema del removedor, esto debido a que el sistema de transmisión está ensamblado empíricamente y las relaciones de las revoluciones no son las adecuadas, en la tabla 15 se presentan 3 alternativas que se evaluarán en la matriz de decisión.

Figura 20

Sistema de transmisión del secador actual



Nota. Sistema de transmisión con un tren de chumaceras y un conjunto de poleas antes de la entrada del reductor.

Tabla 15*Alternativas de solución para el sistema de transmisión*

Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C
Instalación de un reductor de 1 a 20 RPM. 	Instalar un motorreductor con un variador de frecuencia. 	Reemplazar el sistema de bandas e implementar una nueva relación de transmisión. 

Nota. Alternativas de solución para el sistema de transmisión, en la tabla 16 se presentará la evaluación de la matriz de decisión.

Tabla 16*Matriz de decisión del sistema de transmisión.*

Criterios	Peso	Alternativas de solución					
		A		B		C	
		Evaluación	Pond.	Evaluación	Pond.	Evaluación	Pond.
Mantenimiento	0,18	3	0,54	3	0,54	3	0,54
Seguridad	0,17	3	0,54	3	0,54	3	0,54
Ergonomía	0,16	2	0,36	3	0,54	3	0,54
Costos	0,14	2	0,36	1	0,18	3	0,54
Operatividad	0,13	2	0,36	2	0,36	3	0,54
Instalación	0,12	3	0,54	3	0,54	2	0,36
Vida útil	0,11	3	0,54	3	0,54	2	0,36
Total	1,00	18	3,24	18	3,24	19	3,42

Nota. Solución ganadora alternativa C en comparación con las otras dos alternativas.

2.5 Esquema de metodología de diseño

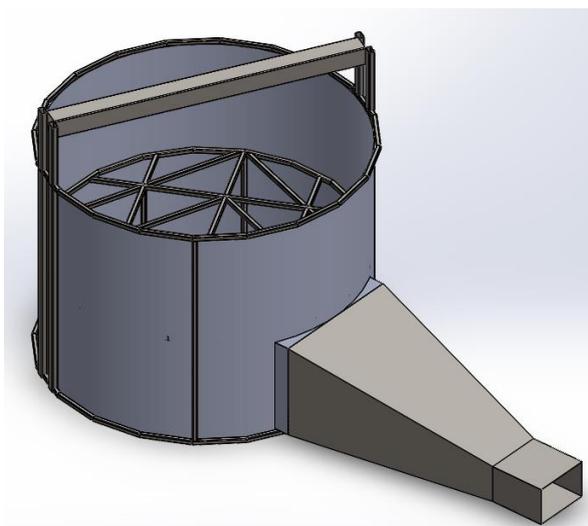
En la figura 21, se muestra el esquema de la metodología de diseño mediante un diagrama de flujos, la cual inicia con un equipo de secado en estado operativo, luego se presentan las mejores alternativas como posibles soluciones a las problemáticas planteadas anteriormente, mediante el uso de las matrices de ponderación y decisión se establecen las mejores soluciones y se discrimina la mejor utilidad hacia el objetivo de la investigación, caso contrario se establece un bucle cerrado que permite volver a plantear alternativas y repetir el proceso.

2.6 Diseño Conceptual

Para el diseño conceptual se consideró el análisis térmico y análisis estructural, donde se simuló en software de diseño CAD variando la distancia de los puntos de apoyos para la cama estructural y simulando el flujo de calor que entregará el quemador. En la figura 21 se presentó el diseño simple del equipo solo con los sistemas que se van a analizar.

Figura 21

Esquema representativo para simulación en el CAD.



Nota. Se asemeja el equipo secador, simulando las mejores alternativas de diseño.

2.6.1 Estado actual del equipo

Para representar las mediciones realizadas en el equipo, se replicará cada componente o sistema de la máquina actual en funcionamiento, con sus respectivos parámetros. En la tabla 17, se presentó las mediciones realizadas en el campo como los parámetros de velocidad del viento junto con las distribuciones de temperatura, fue necesario realizar más de una medición por ello el resultado es presentado en un rango. Parámetro que serán consideradas en la simulación dentro del software de diseño CAD.

Tabla 17

Tabla de parámetros medidos en el secador en funcionamiento.

Parámetros	Valor	Unidad
Velocidad de entrada del aire	4 – 8	m/s
Velocidad de salida del aire cada 5 perforaciones	0.8 – 1.1	m/s
Temperatura de flama en el quemador	700 – 800	°C
Temperatura de aire en las perforaciones de la cama	177 – 280	°C
Temperatura de la cama perforada	38 – 41	°C
Temperatura superficial del tanque	50 – 59	°C

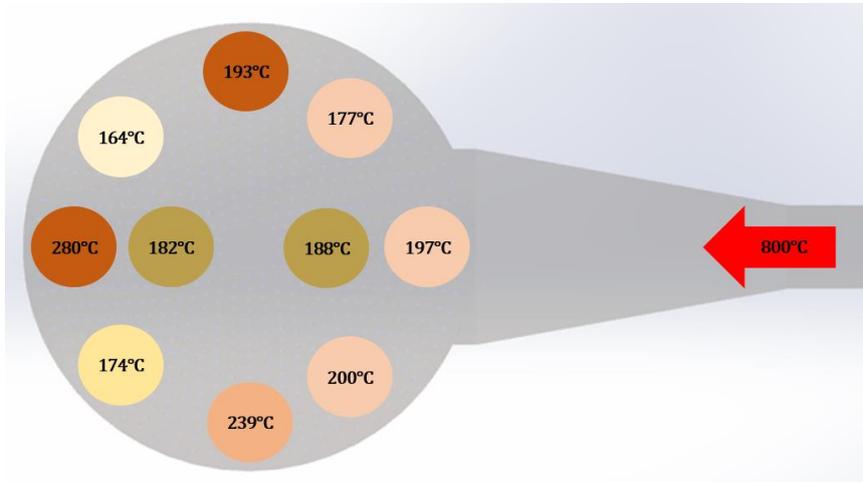
Nota. Las velocidades y temperaturas fueron obtenidas con el secador en operación

2.6.2 Análisis de distribución de temperatura

En la figura 22 se presenta la distribución de temperatura dentro del equipo, en donde se muestra zonas de temperaturas no homogéneas por debajo de la cama del secador.

Figura 22

Distribución de temperatura de aire caliente.

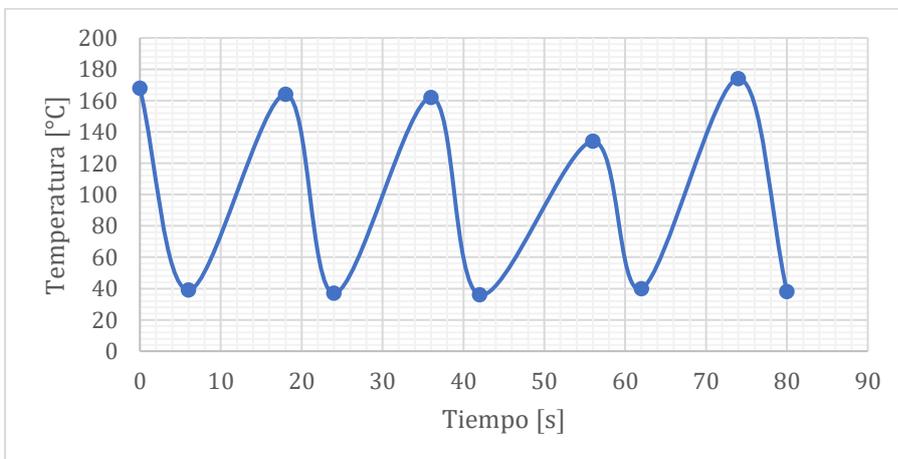


Nota. Distribución no homogénea de temperatura por debajo de la cama perforada.

En la figura 23, se muestra la variación de la temperatura en la operación del secado, se pudo evidenciar que la temperatura desciende muy rápido después de estar encendido por mucho tiempo, además, las temperaturas a las que desciende siempre se mantienen en el rango de 36°C a los 40°C. Con respecto a la máxima temperatura alcanzada siempre es variable por lo que no existe una correcta distribución de la temperatura.

Figura 23

Gráfico de temperatura vs tiempo.

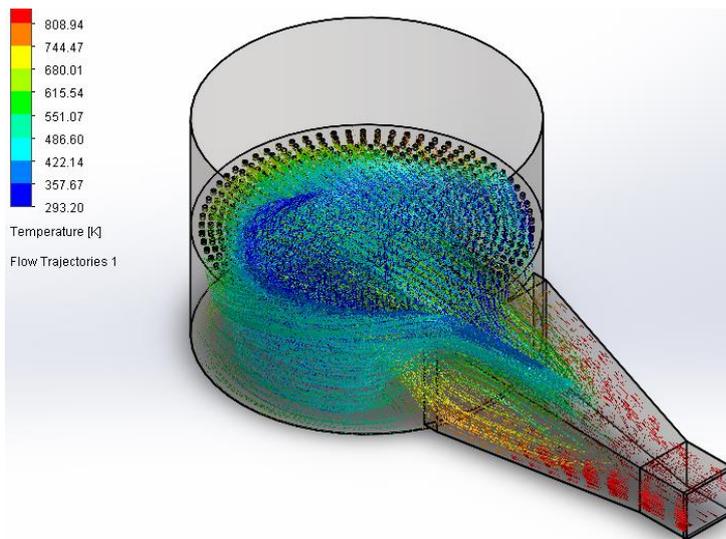


Nota. Temperatura que se recibe por debajo de la cama estructural con respecto al tiempo.

En la figura 24, se puede corroborar en el análisis de simulación de calor dentro del equipo mediante software de diseño CAD, considerando los parámetros de entrada de la temperatura de flama, condiciones atmosféricas exteriores y velocidad de entrada de aire especificadas en la tabla 14, se observó que desarrolló un conjunto de líneas rojas con 600°C representadas por la elevada temperatura y un conjunto de líneas azules indicando la baja temperatura entre 40°C y 120°C. Ambas líneas no se distribuyen correctamente por lo que se crean zonas frías.

Figura 24

Flujo de trayectorias de líneas de calor en el equipo actual.



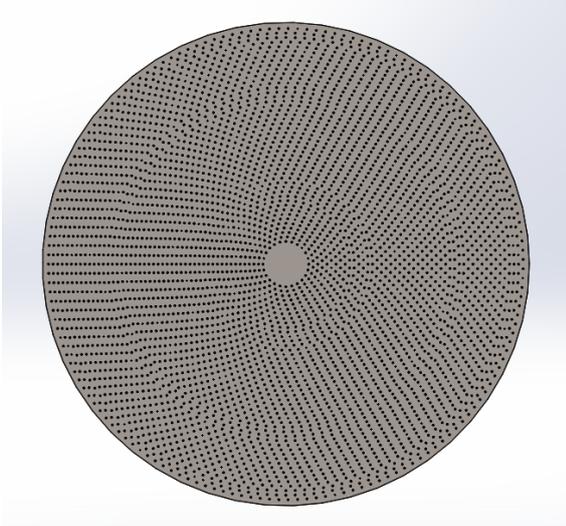
Nota. Distribución de líneas de calor en donde se crean zonas frías de calor dentro de la cámara de secado.

2.6.3 Diseño estructural de la cama

Consecuentemente en la figura 25 se observa el arreglo de perforaciones existentes de la plancha de acero, donde la medición de velocidad de salida del viento se tomó referenciando el equipo industrial, es decir, el diámetro de medición del anemómetro cubría 5 perforaciones de la plancha de acero, obteniendo aproximadamente 1m/s de velocidad de salida por cada 5 perforaciones.

Figura 25

Distribución de perforaciones actual del equipo.



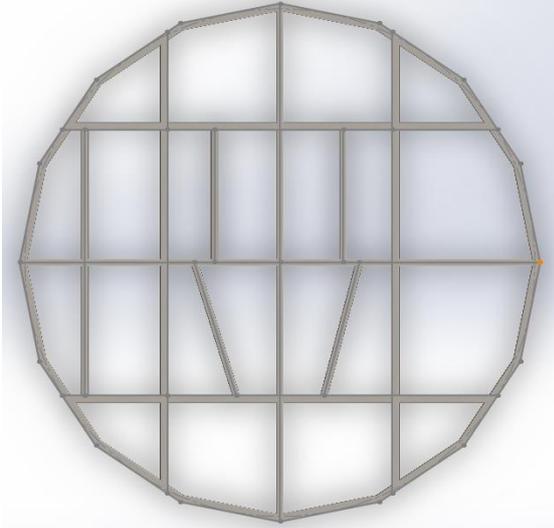
Nota. Perforaciones de 4mm de diámetro sobre la superficie de la cama, para obtener los datos de la velocidad del viento se consideró el diámetro del anemómetro.

En la figura 26 se muestra la deficiente estructura inicial y en la figura 27 la representación de la estructura donde reposa la cama de secado, esta a su vez no presenta una distribución uniforme con respecto a su estructura, ya que, existen cuadrantes de la estructura que no tienen refuerzos.

Figura 26

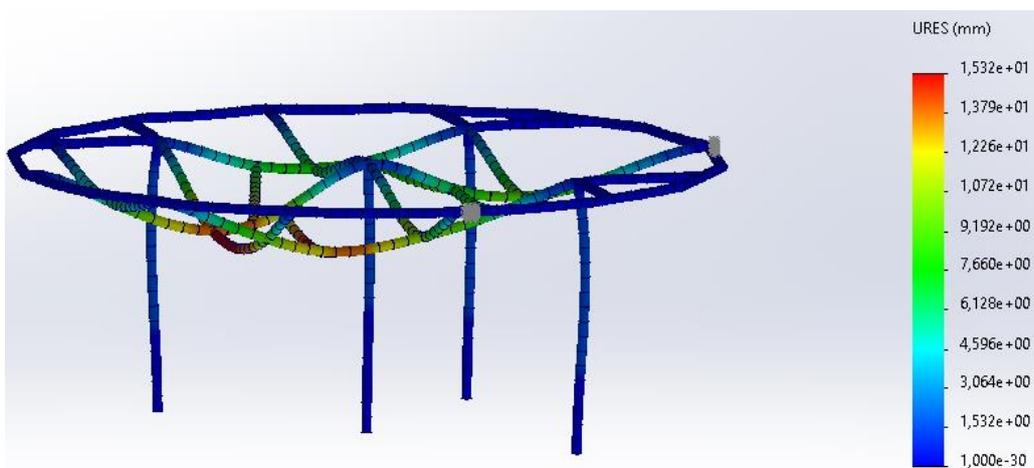
Estructura de soporte inicial



Figura 27*Estructura inicial de la cama*

Nota. Arreglo de soporte estructural para la cama de secado.

En la figura 28, se muestra la simulación de la estructura realizada en software de diseño CAD y la razón de porque se encuentre en mal estado con desplazamientos de hasta 15mm, se evidencia también la falta de apoyos en su superficie.

Figura 28*Análisis de desplazamiento en la estructura inicial*

Nota. Deformación por tensiones máximas sometidas a la carga nominal con 15mm de desplazamiento.

2.7 Funcionamiento del quemador GLP

El consumo de gas es crucial en la operación de este equipo donde aparte del secado de los granos de cacao se tostarán y demandará mayor uso de combustible para el quemador. Por lo que es primordial regular y mejorar este sistema. Una forma de describir correctamente el comportamiento de la combustión dentro del quemador es con la ecuación 2.1, donde el calor requerido para calentar el aire dependerá del flujo másico que ingresa.

$$Q_T = W_c \times PCS \quad (2.1)$$

Donde:

Q_T : Calor total para entrada del quemador.

W_c : Flujo másico GLP que ingresa (kg/h)

PCS : Poder calorífico del GLP (kJ/kg)

2.8 Calor requerido en la operación del equipo

Antes de calcular las pérdidas de calor en el equipo, fue indispensable calcular el calor requerido durante la deshidratación de granos de cacao, cabe destacar que este valor teóricamente será el mismo para el tostado.

2.8.1 Análisis de flujo de entrada y salida de producto

Se realizó un análisis de flujo de entrada y salida del producto húmedo de los granos de cacao. Se sabe que el equipo opera para una capacidad máxima de 10 qq en un tiempo de 6 horas. La ecuación 2.2 permite calcular la tasa de producto húmedo al ingreso del secador.

$$\dot{m}_{p \text{ in}} = \frac{\text{masa}_{\text{cacao}}}{\text{tiempo}_{\text{secado}}} \quad (2.2)$$

Dentro del equipo el producto tiene una humedad inicial del 50%. Las ecuaciones 2.3 y 2.4 nos permiten calcular el flujo másico de sólido seco $\dot{m}_{s \text{ in}}$ y flujo másico de agua $\dot{m}_{w \text{ in}}$.

$$\dot{m}_{s \text{ in}} = (1 - X_{in}) * \dot{m}_{p \text{ in}} \quad (2.3)$$

$$\dot{m}_{w in} = X_{in} * \dot{m}_{p in} \quad (2.4)$$

Como el flujo de solido seco se mantiene igual durante el proceso de secado estará descrito por la ecuación 2.5, cabe destacar que solo cambiará la humedad final que será un 8%.

$$\dot{m}_{s out} = \dot{m}_{s in} \quad (2.5)$$

La ecuación 2.6 permite calcular el flujo másico de agua a la salida del secador, mientras que la ecuación 2.7 permite calcular el flujo másico de producto húmedo a la salida del secador que corresponde a la suma del flujo másico de solido seco más el flujo másico de agua.

$$\dot{m}_{w out} = \frac{\dot{m}_{s out} * X_{out}}{1 - X_{out}} \quad (2.6)$$

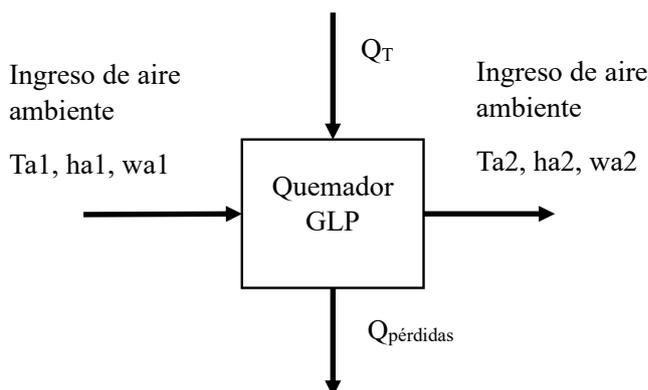
$$\dot{m}_{p out} = \dot{m}_{s out} + \dot{m}_{w out} \quad (2.7)$$

2.8.2 Calentamiento del aire

La ecuación 2.2 permitió calcular el calor necesario para calentar el aire \dot{Q}_1 , donde \dot{m}_a es el flujo másico del aire (kg/s), h_1 es la entalpía del aire a la entrada del intercambiador (kJ/kg) y h_2 es la entalpía a la salida del intercambiador.

Figura 29

Balace de energía en el intercambiador de calor



$$Q_T = \dot{m}_a (h_{a2} - h_{a1}) \quad (2.2)$$

Para el cálculo de la entalpía se asume que es la suma de la entalpía del aire seco más la entalpía del vapor de agua, para este caso se aproxima la entalpía del vapor del agua en el aire es

igual a la entalpía de vapor saturado a la temperatura del aire. Mediante las ecuaciones 2.3 y 2.4 se obtienen los valores de entalpía del aire en la entrada y salida.

$$h_{a1} = C_{P1}T_{a1} + w_{a1}h_{g1@T_{a1}} \quad (2.3)$$

Donde:

C_{P1} : Calor específico del aire a temperatura T_{a1} ($kJ/kg \times K$)

w_{a1} : Humedad absoluta del aire a la entrada del intercambiador

($kg_{aire\ seco}/kg_{vapor\ agua}$)

$h_{g1@T_{a1}}$: Entalpía de vapor saturado a la temperatura T_{a1} (kJ/kg)

$$h_{a2} = C_{P2}T_{a2} + w_{a2}h_{g2@T_{a2}} \quad (2.4)$$

Donde:

C_{P2} : Calor específico del aire a temperatura T_{a2} ($kJ/kg \times K$)

w_{a2} : Humedad absoluta del aire a la entrada del intercambiador

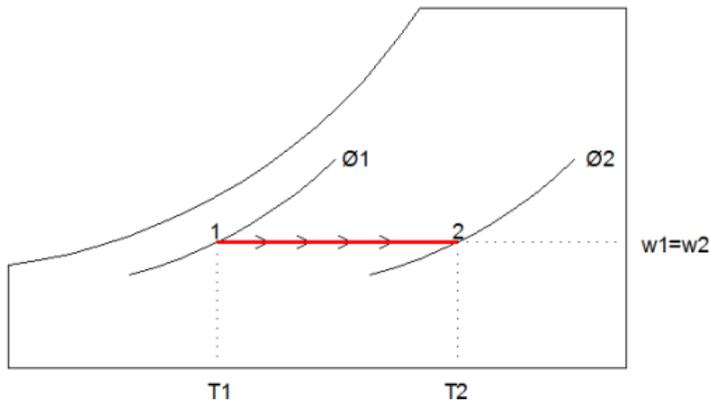
($kg_{aire\ seco}/kg_{vapor\ agua}$)

$h_{g2@T_{a2}}$: Entalpía de vapor saturado a la temperatura T_{a2} ($kJ/kg \times K$)

Caranqui (2015) establece, mediante una carta psicométrica, que durante el proceso de calentamiento del aire no se añade ni elimina humedad, por lo que la humedad absoluta permanece constante en ambos puntos teniendo que $w_{a1} = w_{a2}$. Esto se puede observar en la figura 30.

Figura 30

Diagrama psicrométrico del calentamiento del aire



Nota. (Caranqui, 2015)

La ecuación 2.5 permite calcular la humedad absoluta a la entrada del quemador donde P es la presión atmosférica (kPa) y P_{v1} es la presión parcial del vapor de agua, esta última se obtiene de la ecuación 2.6 donde corresponde a la humedad relativa del lugar.

$$w_1 = 0.622 \left(\frac{P_{v1}}{P - P_{v1}} \right) \quad (2.5)$$

$$P_{v1} = \phi_1 * P_{sat@25^\circ C} \quad (2.6)$$

2.8.3 Secado de granos de cacao

En el secado de los granos de cacao es importante considerar la tasa de vaporización de agua, como se aprecia en la ecuación 2.7, durante el proceso de deshidratación de los granos de cacao.

$$\Delta \dot{m}_w = \dot{m}_{w \text{ in}} - \dot{m}_{w \text{ out}} \quad (2.7)$$

Adicionalmente se debe añadir el calor que absorben los granos denominados que corresponde al calor cedido desde el aire con el fin de evaporar el agua presente tal como se observa en la ecuación 2.8.

$$\dot{Q}_2 = \Delta \dot{m}_w * h_{fg} + \dot{m}_{cacao} * C_{p,cacao} * (T_{out} - T_{in}) \quad (2.8)$$

Donde:

\dot{Q}_2 : Calor total de vaporización (kJ/s)

$\Delta\dot{m}_w$: Tasa de vaporización de agua (kg/s)

h_{fg} : Calor latente de vaporización del agua (kJ/kg)

\dot{m}_{cacao} : Flujo másico de cacao húmedo (kg/s)

Cp_{cacao} : Calor específico del cacao (kJ/kg °C)

T_{out} : Temperatura de granos de cacao a la salida del equipo

T_{in} : Temperatura de granos de cacao a la entrada al equipo

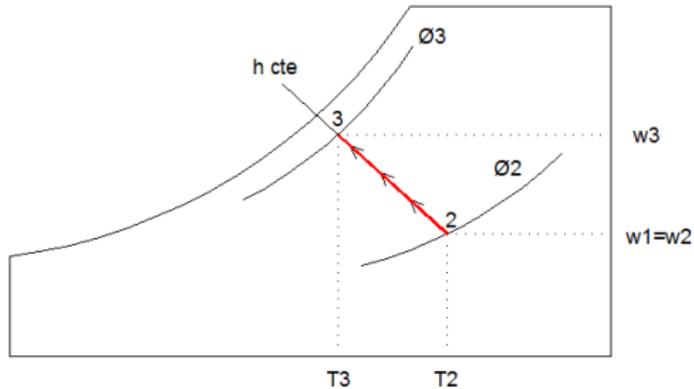
Para conocer lo que ocurre en el proceso de secado, Caranqui (2015) resalta lo siguiente:

En estos tipos de equipos secadores el aire caliente es el encargado de evaporar el agua contenido en los sólidos, como resultado la temperatura del aire disminuye a medida que sale del secador. Durante todo el proceso la entalpía del aire permanece constante, teniendo un proceso isoentálpico, esto se debe a que la energía del aire se pierda al ceder calor latente para evaporar el agua. La humedad absoluta del aire es mayor al salir del secador ($w_3 > w_2$). Es importante destacar que el aire que entra al secador tiene una humedad relativa más baja que la del ambiente ($\phi_2 < \phi_1$), lo que significa que el aire que ingresa tiene una mayor capacidad para absorber humedad.

El proceso de secado del aire se muestra en la Figura 31.

Figura 31

Diagrama psicrométrico del aire en el proceso de secado



Por lo que se dice que el calor corresponde al entregado por el aire caliente, y como no hay un ingreso adicional de calor al sistema, este debe ser igual al calor Q_1 del quemador, ecuación 2.8, esta relación permite calcular el flujo másico de aire requerido.

Sin embargo, en este proyecto ya se tiene el valor de la velocidad del aire en la cámara de secado por lo que directamente se hace uso de la ecuación 2.9 que permite calcular el flujo de aire requerido \dot{V}_{aire} (m^3/s), donde $A_{transversal}$ es el área transversal del equipo y v_{aire} es la velocidad de aire en la cámara de secado.

$$\dot{V}_{aire} = A_{transversal} \times v_{aire} \quad (2.9)$$

Para determinar la masa de aire que ingresa se hace uso de la ecuación 2.10 donde se relaciona la densidad del aire para una temperatura de $200^\circ C$. Este flujo másico se reemplaza en la ecuación 2.9 para determinar la cantidad de calor empleado en el equipo.

$$\dot{m}_{aire} = \rho_{aire} \times \dot{V}_{aire} \quad (2.10)$$

2.9 Pérdidas de calor en el equipo

Se trabajó una sección del tanque como un sistema de control y mediante analogías de resistencias eléctricas se determinó la pérdida de calor. Se determinó los coeficientes de

transferencia calor por convección en el interior y exterior. Y se decidió conocer la influencia que tendría la aplicación de un aislante térmico ante las pérdidas.

2.9.1 Coeficiente de convección interno

Dentro del equipo se consideró como convección forzada y se asumió que la parte donde ingresa el aire caliente del quemador trabaja como una placa plana.

En estos cálculos las propiedades del aire corresponden a la temperatura promedio de la temperatura superficial y ambiente que se obtiene en la siguiente ecuación.

$$T_f = \frac{T_{sup} + T_{amb}}{2} \quad (2.11)$$

Para determinar el comportamiento del flujo se hace uso de la ecuación 2.12 donde V es la velocidad del flujo de aire (m/s), L la longitud de la placa (m) y ν es la viscosidad cinemática (m²/s) del aire que fluye y la superficie de la placa. Es laminar si $Re_L < 5 \times 10^5$, y turbulento si $5 \times 10^5 \leq Re_L \leq 10^7$

$$Re_L = \frac{V L}{\nu} \quad (2.12)$$

La ecuación 2.13 calcula el coeficiente de convección interno en función del número de Nusselt y conductividad térmica del aire k .

$$h = \frac{Nu \times k}{L} \quad (2.13)$$

Es importante determinar que la ecuación del número de Nusselt varía para un flujo laminar y turbulento tal como se muestra en las ecuaciones 2.14 y 2.15 respectivamente, donde Pr hace referencia al número de Prantdl.

$$Nu = \frac{hL}{k} = 0.664 Re_L^{0.5} Pr^{1/3} \quad (2.14)$$

$$Nu = \frac{hL}{k} = 0.037 Re_L^{0.8} Pr^{1/3} \quad (2.15)$$

2.9.2 Coeficiente de convección externo

Para el cálculo del coeficiente externo se estableció que no hay corrientes de aire por forzamiento externo, además que se asumió que el aire está en reposo debido a su baja velocidad al estar en una zona aislada. La ecuación 2.16 permitió calcular el valor del coeficiente de la convección natural ($W/m^2°C$) del medio externo donde

$$h = \frac{k}{L} Nu \quad (2.16)$$

Donde el Nu corresponde al número de Nusselt de la convección natural y se obtiene a de la ecuación 2.17, donde Ra se refiere al número de Rayleigh, mientras que Pr al número Prandtl que se obtiene de las propiedades del aire a temperatura promedio entre la temperatura superficial y ambiente.

$$Nu = \left\{ 0.825 + \frac{0.387 Ra_L^{1/16}}{[1 + (0.492/Pr)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2 \quad (2.17)$$

En la ecuación 2.18 se tiene que g corresponde a la gravedad (m/s^2), B , T_s temperatura superficial y T_{ext} temperatura del medio ($°C$), L es la longitud característica (m), ν es la viscosidad cinemática (m^2/s), α es la difusividad térmica (m^2/s^2).

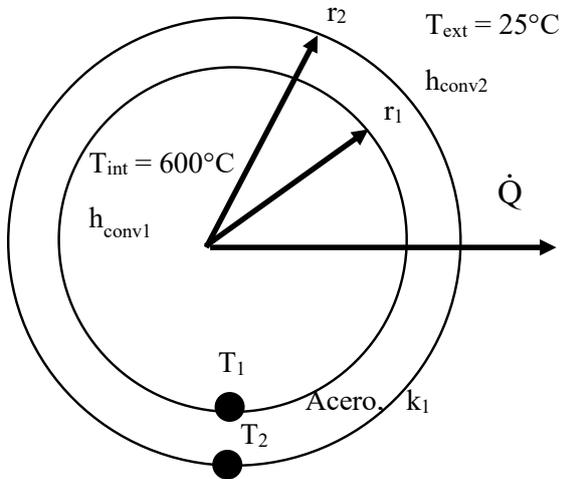
$$Ra_L = \frac{g \beta (T_{Sup} - T_{Ext}) L^3}{\nu \alpha} \quad (2.18)$$

2.9.3 Transferencia de calor en el equipo sin aislamiento

En la figura 32 se observa de forma detallada los parámetros requeridos para calcular la pérdida de calor sin aislamiento.

Figura 32

Esquema de transferencia de calor sin aislante

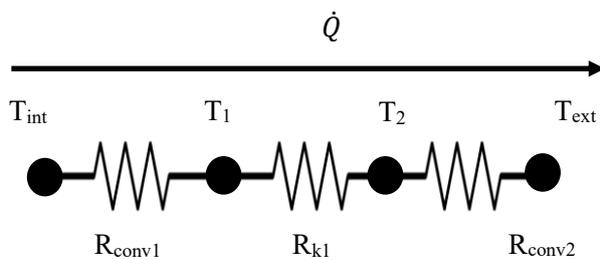


Nota. Las r en esta figura representan los radios de cada capa de material.

En la figura 33 se observa de forma detallada el análogo de las resistencias eléctricas para calcular la pérdida de calor sin aislamiento.

Figura 33

Pérdida de calor sin aislante



Nota. Las R representan las resistencias térmicas para la convección y conducción.

La ecuación 2.19 permite calcular la razón de transferencia de calor a través del cilindro sin aislamiento térmico.

$$\dot{Q}_{perdido} = \frac{T_{ext} - T_{int}}{\frac{1}{h_{conv1} \times 2 \times \pi \times R_1} + \frac{\ln(R_2/R_1)}{2 \times \pi \times L \times k_1} + \frac{1}{h_{conv2} \times 2 \times \pi \times R_2}} \quad (2.19)$$

2.9.4 Transferencia de calor en el equipo con aislamiento

En la figura 34 se observa de forma detallada los parámetros requeridos para calcular la pérdida de calor con aislamiento. En la figura 35 se observa de forma detallada el análogo de las resistencias eléctricas para calcular la pérdida de calor con aislamiento.

Figura 34

Esquema de transferencia de calor con aislante

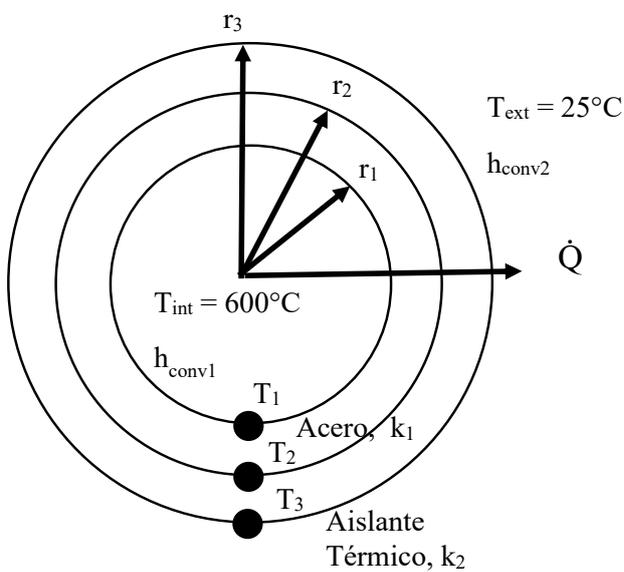
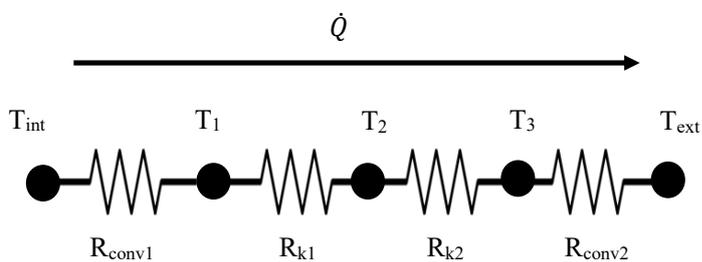


Figura 35

Pérdida de calor con aislante



Nota. Se observa que al agregar la capa de aislante lana de roca R_{k2} aumenta la resistencia.

La ecuación 2.20 permite calcular la razón de transferencia de calor a través del cilindro con aislamiento térmico.

$$\dot{Q}_{perdido} = \frac{T_{ext} - T_{int}}{\frac{1}{h_{conv1} \times 2\pi \times R_1} + \frac{\ln(R_2/R_1)}{2\pi \times L \times k_1} + \frac{\ln(R_3/R_2)}{2\pi \times L \times k_1} + \frac{1}{h_{conv2} \times 2\pi \times R_2}} \quad (2.20)$$

2.9.5 Pérdida de calor por radiación

Para determinar las pérdidas de calor por radiación al exterior del equipo se hace uso de la ecuación 2.21 conocida como ley de Stefan Boltzmann.

$$\dot{Q}_{rad} = \varepsilon \times A_1 \times \sigma \times (T_{s4}^4 - T_{sup}^4) \quad (2.21)$$

Donde:

\dot{Q}_{rad} : Pérdida de calor por radiación

ε : Emisividad del material de la resistencia

σ : Constante de Boltzmann

A: Área radiante del cilindro

T_{sup} : Temperatura superficial

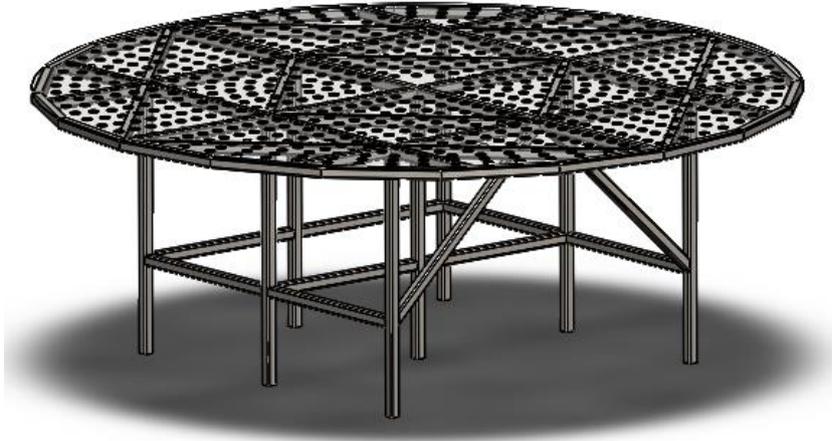
T_s : Temperatura del ambiente

2.10 Diseño del soporte estructural

Para el diseño del soporte estructural se evalúan las condiciones necesarias y la aplicación de esta estructura en el CAD, de esta forma simularemos las cargas que involucra el movimiento de nuestro secador y también la cantidad de calor que el tanque recibe. Para ello se diseñó una estructura con puntos nuevos de soporte distribuidos en todo su cuerpo con el fin de conseguir una buena estructura y un buen distribuidor de calor.

Figura 36

Esquema estructural de mesa que será simulado en el CAD.



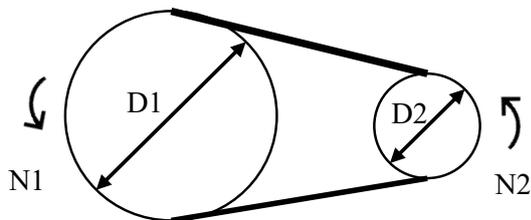
Nota. Se muestran las vigas cuadradas que serán instaladas en la mesa del secador junto con aletas para distribución de calor.

2.11 Sistemas de transmisión mecánico

El equipo emplea un juego de poleas, piñones y engranajes que permiten reducir la velocidad entregada por un motor eléctrico. La ecuación 2.22 muestra la relación entre poleas de la figura 37. La ecuación 2.23 muestra la relación de engranes de la figura 38. La ecuación 2.24 indica la relación de transmisión i que se aplica.

Figura 37

Relación de poleas simples



$$N_1 \times D_1 = N_2 \times D_2 \quad (2.22)$$

Donde:

D_1 : Diámetro de polea conductora

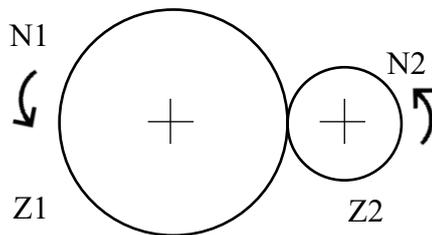
D_2 : Diámetro de polea conducida

N_1 : Velocidad de giro de polea conductora

N_2 : Velocidad de giro de la polea conducida

Figura 38

Relación de engranajes



$$N_1 \times Z_1 = N_2 \times Z_2 \quad (2.23)$$

Donde:

D_1 : Número de dientes del engrane conducido

D_2 : Números de dientes del engrane conductor

N_1 : Velocidad de giro del engrane conducido

N_2 : Velocidad de giro del engrane conductor

$$i = \frac{N_1}{N_2} = \frac{D_2}{D_1} \quad (2.24)$$

2.11.1 Sistema de transmisión del equipo

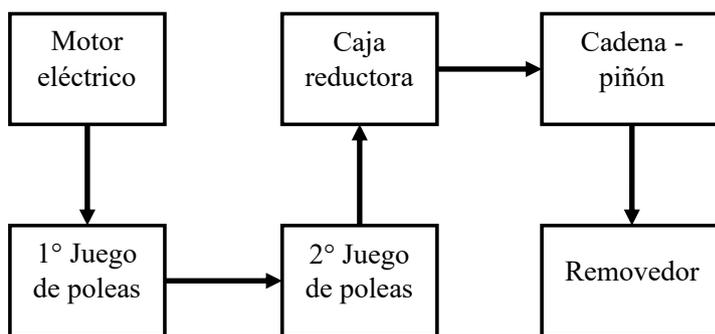
El sistema de transmisión mecánico actual del equipo conforme se registró genera una reducción de 865:1 y está compuesto por 4 etapas como se aprecia en la figura 40.

Figura 39

Sistema de transmisión mecánico

**Figura 40**

Esquemático de la transmisión original



Nota. Los juegos de poleas tienen la misma geometría y por ende la misma reducción.

Tabla 18

Relaciones de transmisión de elementos

Variable	Cantidad	Unidad	Descripción
$Dp_{conductora}$	75	mm	Diámetro de la polea conductora
$Dp_{conducida}$	230	mm	Diámetro de la polea conducida
i_{poleas}	3:1		Relación de reducción de poleas
i_{cr}	11:1		Caja reductora
$NP_{entrada}$	14		Número de dientes del piñón de entrada de la cadena
NP_{salida}	14		Número de dientes del piñón de salida de la cadena
i_{cadena}	1:1		Relación de reducción diente piñón
$N_{piñón}$	12		Número de dientes del piñón cónico
N_{corona}	120		Número de dientes de la corona
$i_{engranaje}$	10:1		Relación de reducción del engranaje

Tabla 19

Velocidades de la transmisión inicial

Variable	Cantidad	Unidad	Descripción
n_{motor}	1730	rpm	Velocidad de entrada del motor
$n_{poelas1}$	577	rpm	Velocidad de salida del primer sistema de poleas
$n_{poelas2}$	192	rpm	Velocidad de salida del segundo sistema de poleas
$n_{caja reductora}$	17	rpm	Velocidad de salida de la caja reductora
n_{cadena}	17	rpm	Velocidad de salida de cadena piñón
$n_{piñón}$	17	rpm	Velocidad de entrada del piñón cónico
n_{final}	1.74	rpm	Velocidad de salida del removedor o corona

2.11.2 Selección de bandas

El diseño de poleas depende del tipo y cantidad de bandas a emplear y según las ecuaciones de (Richard G. Budynas, 2015), se determina el número de bandas a usar.

$$n_{bandas} = \frac{H_{diseño}}{H_{admitida}} = \frac{H_{nominal} * K_s * n_d}{K_1 * K_2 * H_{tab}} \quad (2.25)$$

Donde los factores K serán obtenidos de las tablas del capítulo 17, las H (correspondiente a las potencias tabuladas) y n_d el factor de diseño también tabulado. Lo propio para la longitud de la banda, donde se empleará la ecuación 2.26.

$$C = 0.25 * \left\{ \left[L_p - \frac{\pi(D + d)}{2} \right] + \sqrt{\left[L_p - \frac{\pi(D + d)}{2} \right]^2 - 2 * (D - d)^2} \right\} \quad (2.26)$$

En la que el valor de D es el diámetro mayor y d el del menor, Lp corresponde a la longitud primitiva desarrollada.

$$L_p = 2 * C + \frac{\pi(D + d)}{2} + \frac{(D + d)^2}{4C} \quad (2.27)$$

Los valores se deben determinar por iteraciones, pero en este estudio asumiremos los valores C ya existentes.

2.12 Análisis del eje removedor de granos de cacao

Al instalar más paletas es importante conocer si el diámetro del eje actual se puede seguir empleando, así como también el motor eléctrico. En este apartado se calcularon los momentos de inercia a vencer por parte del removedor, así también la fuerza aplicada en cada elemento.

2.12.1 Momento de inercia de la masa de cacao

La inercia de la masa de cacao dentro del equipo cilíndrico a vencer se obtiene mediante la ecuación 2.28 que corresponde al momento de inercia de bloque cilíndrico sólido.

$$I_{cacao} = \frac{1}{12} * M_{cacao} * R_{cacao}^2 \quad (2.28)$$

Donde

M_{cacao} : Masa de cacao (kg)

R_{cacao} : Radio interior (m)

2.12.2 Momento de inercia del sistema removedor

Para el cálculo de la inercia del sistema removedor se empleó software de diseño CAD para determinar el momento de inercia con respecto al eje Y debido a la geometría completa. En este caso fue necesario diseñar los elementos propuestos para la mejora.

Figura 41

Inercia del sistema removedor

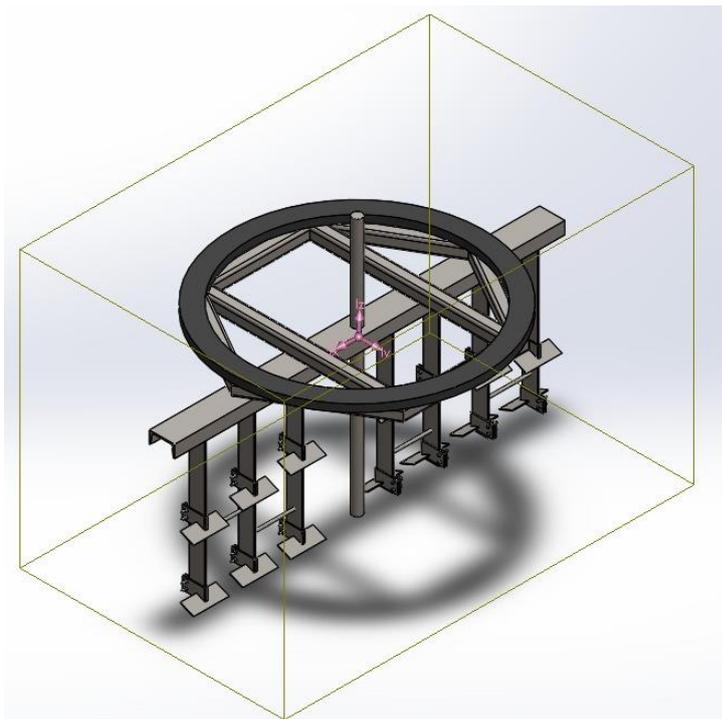


Figura 42*Propiedades físicas del sistema removedor*

Propiedades de masa de EnsamblajeEjeremovedor		
Configuración: Predeterminado		
Sistema de coordenadas: -- predeterminado --		
Masa = 118.26 kilogramos		
Volumen = 0.02 metros cúbicos		
Área de superficie = 4.00 metros cuadrados		
Centro de masa: (metros)		
X = 0.05		
Y = 0.09		
Z = -0.09		
Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: (kilogramos * metros cuadrados)		
Medido desde el centro de masa.		
Ix = (0.00, 0.03, 1.00)	Px = 11.43	
Iy = (1.00, 0.00, 0.00)	Py = 18.78	
Iz = (0.00, 1.00, -0.03)	Pz = 21.54	
Momentos de inercia: (kilogramos * metros cuadrados)		
Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas de resultados. (Usando notación tensorial positiva.)		
Lxx = 18.78	Lxy = 0.00	Lxz = 0.01
Lyx = 0.00	Lyx = 21.54	Lyz = 0.29
Lzx = 0.01	Lzy = 0.29	Lzz = 11.43
Momentos de inercia: (kilogramos * metros cuadrados)		
Medido desde el sistema de coordenadas de salida. (Usando notación tensorial positiva.)		
lxx = 20.85	lxy = 0.50	lxz = -0.51
lyx = 0.50	lyy = 22.85	lyz = -0.75
lzx = -0.51	lzy = -0.75	lzz = 12.70

Nota. Se toman los valores de Izz como la inercia del sistema.

2.12.3 Torque del sistema removedor

El torque del sistema removedor se obtuvo de la ecuación 2.29 donde I_{total} es la suma de los momentos de inercia del cacao y removedor, mientras que la aceleración angular α (rad/s²) se obtiene de la ecuación 2.30 en este caso la diferencia de tiempos corresponde al tiempo de arranque del removedor.

$$T_{removedor} = I_{total} \times \alpha \quad (2.29)$$

$$\alpha = \frac{\omega_f - \omega_o}{t_f - t_o} \quad (2.30)$$

Donde

ω_f : Velocidad angular final (rad/s)

ω_o : Velocidad angular inicial (rad/s)

t_f : Tiempo final (s)

t_o : Tiempo inicial (s)

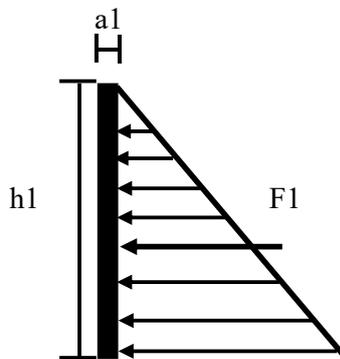
2.12.4 Torque aplicado en los elementos removedores

Haciendo analogía a la estática de fluidos sobre una pared se calculó la fuerza de los granos de cacao sobre cada elemento del removedor que está en contacto con su área superficial. Mediante la ecuación 2.31 se calculó el torque (Nm) de cada elemento con respecto a su ubicación del eje central.

$$T = F \times d \quad (2.31)$$

Figura 43

Diagrama de fuerza sobre pletina



$$F_1 = \rho_{cacao} \times g \times \frac{h_1}{2} \times (h_1 \times L_1) \quad (2.32)$$

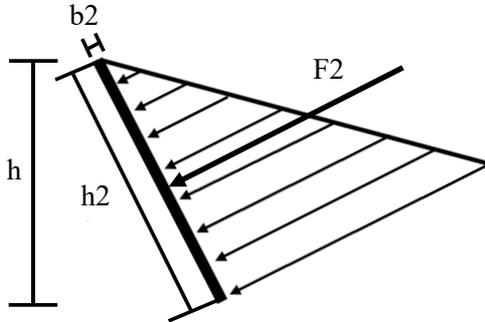
Donde:

ρ_{cacao} : Densidad de granos de cacao (kg/m^3)

g : Gravedad (m/s^2)

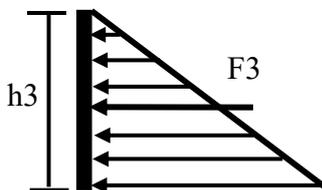
h_1 : Altura de la pletina (m)

L_1 : Largo de la pletina (m)

Figura 44*Diagrama de fuerza sobre removedor*

$$F_2 = \rho_{cacao} \times g \times \frac{h}{2} \times (L_2 \times h_2) \quad (2.33)$$

Donde:

 ρ_{cacao} : Densidad de granos de cacao (kg/m³) g : Gravedad (m/s²) h : Altura perpendicular de la paleta removedora (m) h_2 : Altura de la paleta removedora (m) L_2 : Largo del removedor (m)**Figura 45***Diagrama de fuerza sobre sujetador*

$$F_3 = \rho_{cacao} \times g \times \frac{h_3}{2} \times (L_3 \times h_3) \quad (2.34)$$

Donde:

 ρ_{cacao} : Densidad de granos de cacao (kg/m³) g : Gravedad (m/s²)

h_3 : Altura de la paleta removedora (m)

L_3 : Longitud el sujetador (m)

2.12.5 Torque global del sistema de giro

Mediante la ecuación 2.35 se calculó el torque total del sistema de giro que corresponde a la suma de los torques anteriores.

$$T_{global} = T_{removedor} + T_{elementos} \quad (2.35)$$

2.12.6 Dimensionamiento del eje principal

El eje del equipo se encuentra sometido a torsión por lo que el esfuerzo cortante es uniforme. Se hace uso de la ecuación 2.36 para el diseño del eje.

$$De = \left(\frac{32n}{\pi} \sqrt{\left(\frac{K_t M}{S'_n}\right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{T_{global}}{S_y}\right)^2} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (2.36)$$

Donde

De : Diámetro del eje

n : Factor de seguridad

K_t : Factor de concentración de esfuerzos

S_y : Limite de fluencia del material

T_{global} : Torsión máxima

Como no se requiere el factor de concentración en el esfuerzo cortante la ecuación queda reducida a la ecuación 2.37.

$$De = \left(\frac{32n}{\pi} \sqrt{\frac{3}{4} \left(\frac{T_{global}}{S_y}\right)^2} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (2.37)$$

2.13 Recubrimiento superior

Para el recubrimiento superior se trabajó como un tanque a presión con el fin de determinar si el espesor actual es adecuado. La ecuación 2.38 permitió calcular la presión de la masa de cacao donde F_{masa} es la fuerza que ejercen los granos de cacao sobre un área A_{fondo} determinado.

$$P_{masa} = \frac{F_{masa}}{A_{fondo}} \quad (2.38)$$

La fuerza ejercida por los granos de cacao se expresa en la ecuación 2.39 que corresponde a la masa total de granos dentro del tanque que es de 10 qq y g la gravedad de la tierra que es de 9.81 m/s^2 .

$$F_{masa} = m_{cacao} \times g \quad (2.39)$$

La presión total se determinó a partir de la siguiente expresión donde P_{atm} hace referencia a la presión atmosférica. Y se consideró un 10% adicional de presión como ajuste para recipientes.

$$P_t = P_{atm} + P_{masa} \quad (2.40)$$

El dimensionamiento del espesor del tanque se trabajó según lo estipulado en el código ASME Sección VIII como se muestra en la ecuación 2.41. La tabla de eficiencia mostrada en el apéndice permite conocer la eficiencia de la junta, sin embargo, debido a la falta de información se asume en un valor de 0.5.

$$t = \frac{PR}{SE - 0.6P} \quad (2.41)$$

Dónde:

t : Espesor mínimo requerido (pulgadas)

P : Presión interna de diseño (psi)

R : Radio interno de la carcasa a ser considerada (pulgadas)

S : Esfuerzo máximo admisible del acero inoxidable (psi)

E: Eficiencia de junta

2.13.1 Potencia del motor eléctrico

Es importante conocer si las modificaciones propuestas requieren de un cambio del motor eléctrico actual. La potencia mecánica del motor se obtiene mediante la ecuación 2.42.

$$P_{mecánica} = T_{global} \times \omega \quad (2.43)$$

Donde

$P_{mecánica}$: Potencia mecánica del motor (W)

T_{total} : Torque (Nm)

n : velocidad angular (rpm)

Mientras que la potencia eléctrica del motor se obtiene al dividir la potencia mecánica por una eficiencia η como se observa en la ecuación 2.44.

$$P_{eléctrica} = \frac{P_{mecánica}}{\eta} \quad (2.44)$$

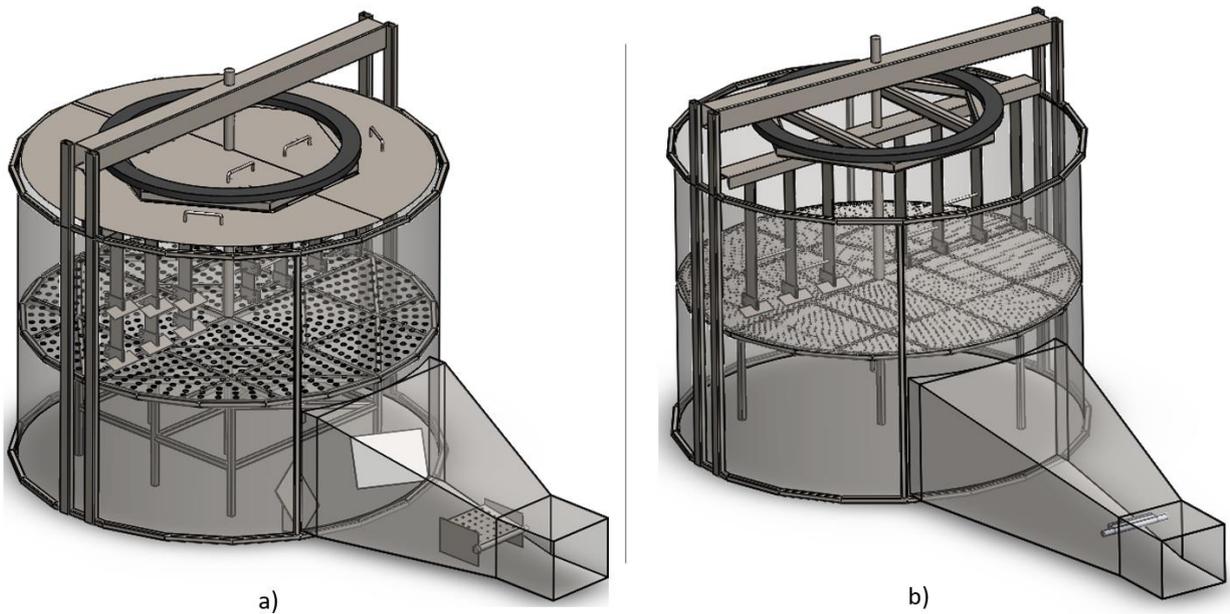
Capítulo 3

3.1 Resultados y análisis

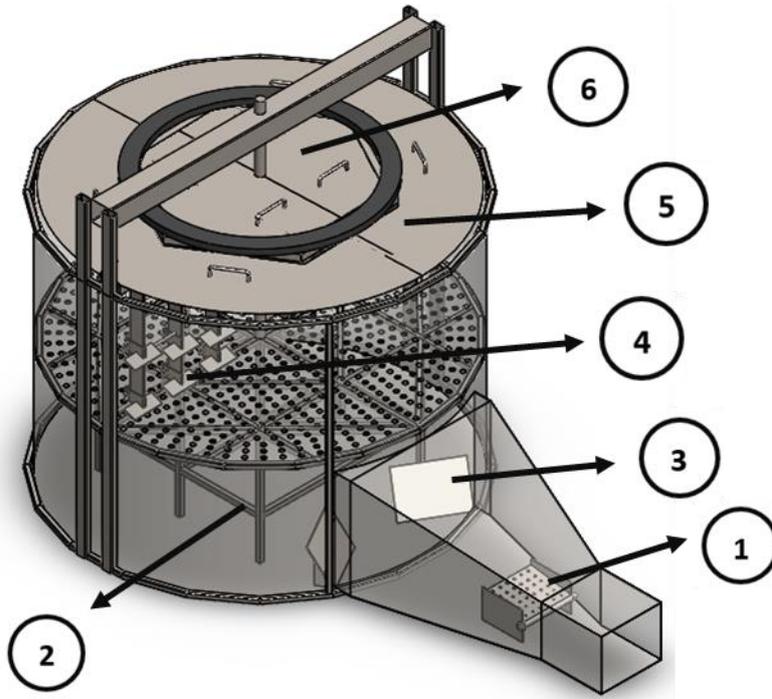
Los resultados de aplicación, diseño, simulación y costos se encuentran en este capítulo. La información obtenida, permitió conocer los efectos dados por los nuevos elementos propuestos en el equipo existente para su adaptación como tostador de granos de cacao. El resto de los cálculos y sus planos constructivos se detallan en la sección de apéndices.

Figura 46

Adaptación del secador a tostador de cacao



Nota. En la imagen a) se observa como quedaría el tostador, mientras que la imagen b) muestra al equipo inicial.

Figura 47*Ensamble de los elementos para tostado***Tabla 20***Elementos propuestos para el tostado*

Número de elemento	Descripción
1	Quemador GLP
2	Refuerzo estructural
3	Aletas
4	Mejora en sistema de mezcla
5	Recubrimiento superior externo
6	Recubrimiento superior interno

3.2 Análisis Termodinámico

En este apartado se mejoró la distribución interna de la temperatura con el fin de disminuir la posibilidad de que los granos de cacao en el tostado se quemen en ciertas zonas. Se calculó que la máquina requiere más de 56.26 kW de energía para su operación, con esta

información se determinó la influencia de usar un aislante térmico donde las pérdidas fueron cerca del 3.15%. Además, se estudió la influencia que tendría aplicaciones de aletas para una distribución homogénea del calor y la incorporación de un nuevo quemador para obtener una mejor combustión y mayor temperatura.

3.2.1 Calor requerido para la operación el equipo

Se obtuvo que el equipo teóricamente requiere de 56,26 kW para el secado de granos, este valor nos permitió comparar las pérdidas de calor por conducción, convección y radiación.

Tabla 21

Flujo de energía para operación en la máquina

Variable	Cantidad	Unidad	Descripción
ϕ_{a1}	85	%	Humedad relativa del lugar
P	101,5	kPa	Presión atmosférica
$P_{sat@25^{\circ}C}$	3,17	kPa	Presión saturación del vapor de agua
P_{v1}	2,69	kPa	Presión parcial del vapor de agua
$w_{1,2}$	0,01693	kg agua / kg aire seco	Humedad absoluta
$T_{aire\ sec}$	250	$^{\circ}C$	Temperatura del aire en la cámara de secado
ρ_{aire}	0,6746	kg/m ³	Densidad del aire
v_{aire}	8	m/s	Velocidad del aire en la cámara de secado
\dot{V}_{aire}	4,02	m ³ /s	Flujo volumétrico del aire
\dot{m}_{aire}	2,71	kg/s	Flujo másico del aire
h_{a1}	68,27	kJ/kg	Entalpía del aire a la entrada del quemador
h_{a2}	89,03	kJ/kg	Entalpía del aire a la salida del quemador
\dot{Q}_1	56,26	kW	Calor necesario para el secado de granos

3.2.2 Pérdida de calor por radiación

La temperatura superficial del equipo es de 59,7 $^{\circ}C$, sin embargo, para facilidad de cálculos se redondeó a 60 $^{\circ}C$. La pérdida de calor por radiación en estos tipos de máquinas es

despreciable debido a la baja temperatura superficial y emisividad del acero inoxidable, razón por la cual muchos estudios no consideran este tipo de pérdidas en equipos de similares características.

Tabla 22

Medición de la temperatura superficial del equipo

Punto de medición	Temperatura superficial (°C)	Temperatura inferior (°C)	Temperatura promedio (°C)
1	42	75	58,5
2	42	75	58,5
3	42	70	56
4	47	85	66
5	45	77	62
6	43	72	57,5
7	45	76	60,5
Total	43,7	75,7	59,7

Nota. Para el cálculo de la temperatura superficial se tomaron 14 medidas del exterior del equipo.

Tabla 23

Pérdida de calor por radiación

Variable	Valor	Unidad	Descripción
A_{sup}	10,20	m ²	Área superficial
T_{sup}	333	K	Temperatura superficial
T_{ext}	298	K	Temperatura exterior
ϵ	0,15		Emisividad del acero inoxidable
$Q_{perdido1}$	0,38	kW	Calor perdido por radiación

3.2.3 Cálculo de coeficientes de convección

Tabla 24

Datos para la obtención del coeficiente de convección interno

Variable	Valor	Unidad	Descripción
T_{int}	800	°C	Temperatura interna
T_{ext}	25	°C	Temperatura externa
T_f	412,5	°C	Temperatura promedio
V	8	m/s	Velocidad de flujo de aire
Pr	0,6953		Número de Prandtl
k	0,05086	W/mK	Conductividad térmica
v	$6,414 \times 10^{-5}$	m ² /s	Viscosidad cinemática
Re	$1,996 \times 10^5$		Número de Reynolds
Nu	262,78		Número de Nussel
h_{conv1}	8,35	W/m ² K	convección forzada

Nota. El número de Reynolds es menor que 5×10^5 , teniendo un fluido con comportamiento laminar.

Tabla 25

Datos para la obtención del coeficiente de convección externo

Variable	Valor	Unidad	Descripción
T_{sup}	60	°C	Temperatura superficial
T_{ext}	25	°C	Temperatura exterior
T_f	45	°C	Temperatura media
Pr	0.7241		Número de Prandtl
k	0.02699	W/mK	Conductividad térmica
v	1.750×10^{-5}	m ² /s	Viscosidad cinemática
Nu	470.05		Número de Nussel
h_{conv2}	10.17	W/m ² K	Convección natural

3.2.4 Pérdida de calor actual en el equipo

Se obtuvo que el calor perdido en el equipo actual es de 4,25kW generando pérdidas del 7,55% en el equipo y demandando mayor consumo de combustible.

Tabla 26

Datos de pérdida de calor sin aislamiento

Variable	Valor	Unidad	Descripción
K_{acero}	50	W/mK	Conductividad térmica del acero
e_{acero}	1,3	mm	Espesor del acero
R_{k1}	$3,23 \times 10^{-6}$	K/W	Resistencia del acero
R_1	0,024	K/W	Resistencia de convección interna
R_2	0,019	K/W	Resistencia de convección externa
Q_{perdido2}	4,25	kW	Calor perdido

Nota. Los espesores se expresan en milímetros debido a que su cotización suele darse en esa unidad.

3.2.5 Pérdida de calor con aislamiento en el equipo

El material aislante seleccionado será lana de roca debido a su baja conductividad térmica, soportar temperaturas máximas de 650°C y en caso de contacto directo no genera flama ni gases tóxicos. Se observa que la cantidad de calor perdido con aislante, bajo las condiciones iniciales donde no se realizó las mejoras, sería de 1,77 kW o del 3.15% en pérdidas, por lo que representa una mejora no indispensable pero útil.

Tabla 27

Datos de pérdida de calor con aislamiento

Variable	Valor	Unidad	Descripción
K_{lana}	0,036	W/mK	Conductividad térmica de la lana de roca
e_{lana}	25	mm	Espesor del aislante
R_{k2}	0,056	K/W	Resistencia de la lana de roca
Q_{perdido3}	1,77	kW	Calor perdido

3.2.6 Mejoras para reducir fuga de calor

Entre las mejoras realizadas se tiene, la aplicación de un sellador tixotrópico comercial empleado para juntas con el fin de disminuir filtraciones de calor tal como se observa en la figura 48, y la reubicación de la termocupla en un punto estratégico donde llega la flama mediante una nueva línea de tubería de acero galvanizado externa para evitar daños por contacto directo con las llamas figura 48. Estas se comprobaron mediante el sensado de temperatura mostrado en el panel de control donde el tiempo de trabajo del quemador disminuyo ya que esta se enciende cuando la temperatura registrada es menor de 88°C y se apagaba a una temperatura de 90° , obteniendo un comportamiento más constante.

Figura 48

Sellado de fugas de calor en el equipo



Figura 49

Reubicación de la termocupla con línea externa

**Figura 50**

Panel de control de la máquina



Nota. Los números de rojo y verde representan las temperaturas máximas mínimo respectivamente.

3.2.7 Implementación del nuevo quemador

El diseño del quemador se basó en el comportamiento de quemadores usados en la agroindustria, que establecen los rangos de dimensiones del quemador necesarios para garantizar una correcta mezcla aire – GLP. (American Burners n° ISO 9001:2015) Ver tabla en anexos.

Con la ayuda de un manómetro se reguló el flujo de salida con el fin de buscar una flama azul que indica una mezcla correcta y ahorro de GLP tal como se observa en la figura 51, con una presión de 30 psi la temperatura alcanzada fue superior a los 1 000°C, y su aplicación en el equipo aumentó la temperatura interna del equipo siendo muy favorable para el proceso posterior de tostado.

Figura 51

Prueba del nuevo quemador GLP



Nota. Se observa la flama de color azul.

Figura 52

Temperatura registrada con el nuevo quemador



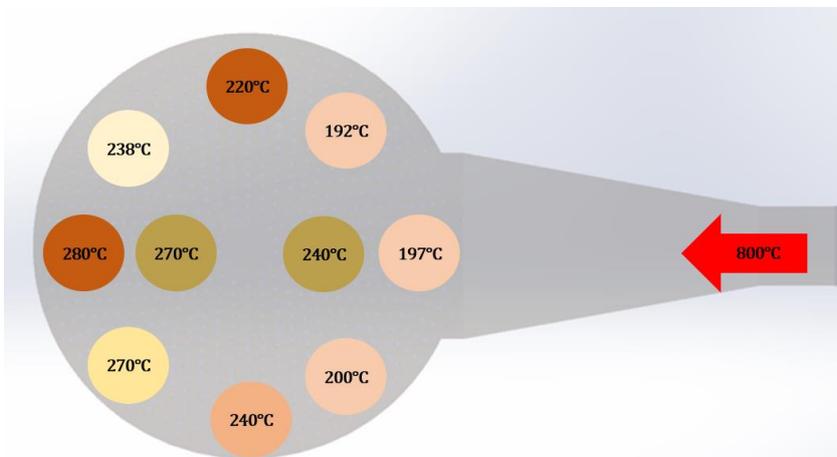
Nota. Temperatura de la plancha perforada con el nuevo quemador

3.2.8 Mejoras en la distribución de temperaturas internas

En la figura 53, se puede observar que las aplicaciones anteriores conservaron de mejor forma el calor y se obtuvieron temperaturas dentro de la cámara de secado entre 192°C y 280°C, con pérdidas de menos del 2% y con un rango menor de 80°C en comparación con la distribución inicial del equipo.

Figura 53

Distribución de temperatura por debajo de la cama de secado.



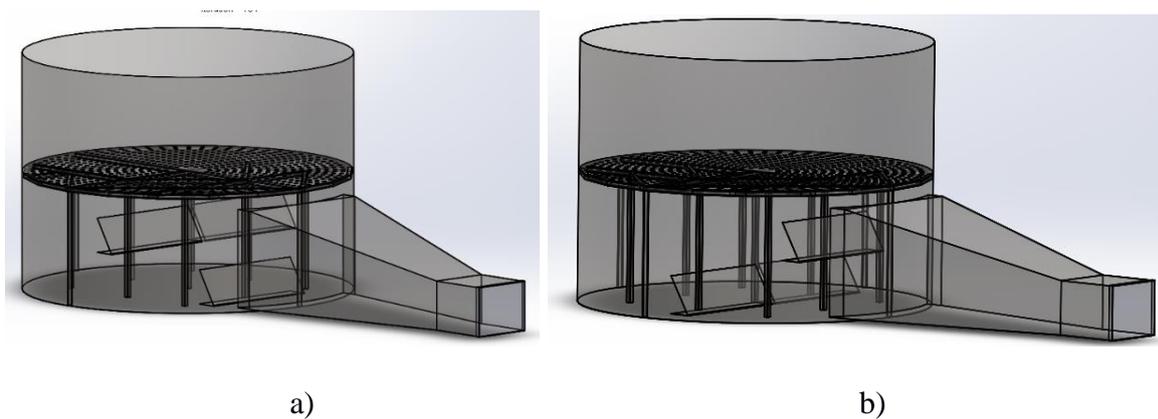
Nota. Distribución de temperatura con la aplicación de los aislantes y sello hermético.

3.2.9 Análisis de arreglos de aletas internas

Las aletas dentro del equipo permiten redireccionar la flama y el calor proveniente del quemador con el fin de distribuir de mejor forma la temperatura interna de la cámara de secado. En la figura 54 se observa la distribución tentativa de las aletas mediante simulación en software de diseño CAD, con parámetros de entrada de condiciones atmosféricas 25.4 °C de temperatura ambiente, 1 atm de presión atmosférica, el equipo abierto por ambos extremos, velocidad del viento en el equipo de 8m/s, 800 K de temperatura en la entrada y la medición se la realiza 2 mm por debajo de la cama de secado.

Figura 54

Arreglo de aletas dispuestas dentro del equipo.

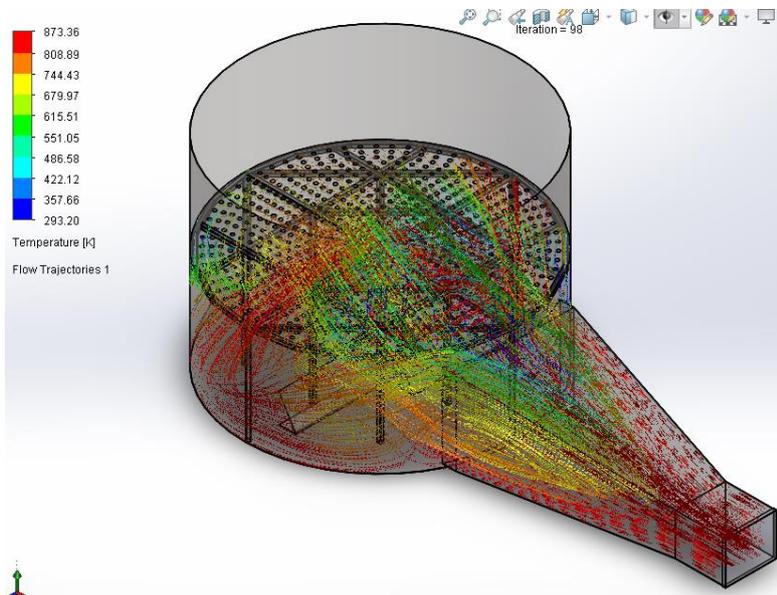


Nota. Se muestra el posicionamiento de las diferentes aletas dentro del equipo con una inclinación de 60°.

En la figura 55, se muestra el resultado positivo en la mejora de las líneas de temperatura, la disposición de la aleta de la figura 54 b), tuvo éxito en direccionar líneas de calor en las zonas frías desarrollando temperaturas de entre 679 a 490 K, 400 a 217 °C respectivamente, por lo que las aletas funcionaran en el desarrollo de la distribución de calor en el equipo.

Figura 55

Comportamiento de las líneas de calor dentro del equipo.



En la figura 56 se observa la instalación de una aleta en el equipo para toma de datos, en la prueba se obtuvo una mejora en la temperatura de la plancha en esa zona, pero se observaron anomalías en cuanto reducción de temperatura de la termocupla, debido a que se redujo el campo de acción de las líneas de calor en la dirección de la termocupla. Por tal motivo, se procedió a instalar las nuevas aletas de calor dispuestas a 60° tal como fue simulado.

Figura 56

Aplicación de aletas en el equipo



Nota. Las aletas se encuentran en lado izquierdo y derecho.

3.3 Análisis del sistema mecánico

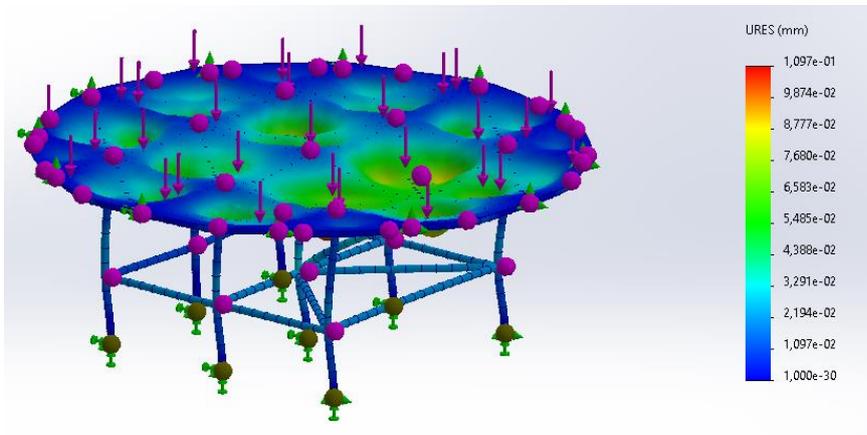
En este apartado se analizaron los elementos mecánicos requeridos para el tostado de granos de cacao, se reforzó la estructura de la plancha perforada para contrarrestar el pandeo en la plancha delgada, se propuso una solución viable para la velocidad de mezcla donde permitirá cambiar la velocidad de secado (2RPM) a tostado (5RPM) cuando sea requerida mediante poleas escalonadas, se experimentaron nuevos agitadores que disminuyeron las fracturas de los que los granos al pasar por áreas propensas a mayor pandeo. Además, se determinó que influencia tendría estas mejoras sobre la carcasa de la máquina, el eje principal del removedor y el motor eléctrico.

3.3.1 Análisis estructural de la cama

Debido al alto costo que tendría la construcción de una nueva cama se optó por reforzar la existente con el fin de evitar que esta y la plancha perforada se sigan pandeando por el peso y calor, el análisis realizado en software de diseño CAD mostró buenos resultados la solución de los refuerzos propuestos. En la figura 57 se obtiene la simulación con una carga distribuida de 7500 newtons, una temperatura de 60°C en el contorno, con un mallado al 80% fino y con 51 nodos en toda su estructura, se obtuvieron fuerzas cortantes máximas de 7 N que generan momentos 0.5 Nm, un esfuerzo de Von Mises máximo de $6.3 * 10^6 \frac{N}{m^2}$ que resulta en un factor de seguridad de 1.7, para la deformación se da menos de una milésima de milímetro y el desplazamiento máximo es de una décima de milímetro. La evidencia de cálculos y simulaciones se muestra en anexos.

Figura 57

Análisis de desplazamiento en la estructura final



En la figura 58 y 59 se muestra la implementación realizada al equipo con la instalación de los soportes antes mencionados.

Figura 58

Instalación de soportes de refuerzos



Figura 59

Vista de refuerzos aplicados



3.3.2 Recubrimiento superior del tanque

El espesor mínimo que debe tener el tanque es de 0.724 mm, por lo que implementación del recubrimiento superior no producirá inconvenientes debido a que el espesor actual del equipo es de 1.1 mm.

Figura 60

Instalación del recubrimiento superior interno



Tabla 28*Cálculo del espesor del tanque a presión*

Variable	Cantidad	Unidad	Descripción
m_{cacao}	453,59	Kg	Masa de cacao
g	9,81	m/s ²	Gravedad
F_{masa}	4447,72	N	Fuerza ejercida por los granos de cacao
P_{masa}	0,32	psi	Presión del cacao
P_t	16,52	psi	Presión total
R	31	in	Radio interno
S	36 × 10 ³	psi	Esfuerzo máximo admisible del acero inoxidable
E	0,5		Eficiencia de la junta
t	0,724	mm	Espesor mínimo requerido del tanque

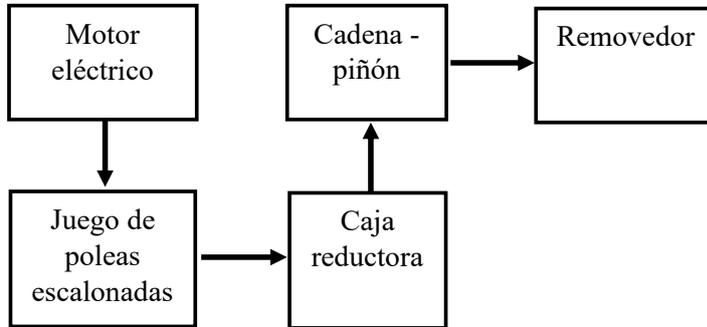
Nota. Cada quintal representa 100 lbm de cacao y se transformaron los 10 qq a unidades de kilogramos.

3.3.3 Sistema de transmisión para el tostado

La velocidad inicial del removedor es bajo si se requiere tostar granos de cacao, pues se recomienda una velocidad entre 5 y 8 rpm. La solución planteada en la figura 61 permite obtener una velocidad de la salida variable de 5.25 rpm para el tostado y 2.25 rpm para el secado (esta última se aumentó), donde la transición requerida será el cambio de bandas en las poleas, ya que el tostado sería una acción secundaria.

Figura 61

Sistema de transmisión mecánico mejorado

**Tabla 29**

Características de las poleas escalonadas

<i>Variable</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Unidad</i>	<i>Descripción</i>
D_{1-1}	50	mm	Diámetro de polea de entrada para secado
D_{1-2}	350	mm	Diámetro de polea de salida para secado
i_1	7:1		Relación de poleas para secado
D_{2-1}	70	mm	Diámetro de polea de entrada para tostado
D_{2-2}	210	mm	Diámetro de polea de salida para tostado
i_2	3:1		Relación de poleas para tostado

Tabla 30

Transmisión mecánica para el tostado

Variable	Cantidad	Unidad	Descripción
n_{motor}	1730	rpm	Velocidad de entrada del motor
$n_{poelas2}$	576	rpm	Velocidad de salida para tostado
$n_{caja\ reductora}$	52	rpm	Velocidad de salida por la caja reductora
n_{cadena}	52	rpm	Velocidad de salida de cadena piñón
$n_{piñón}$	52	rpm	Velocidad de entrada del piñón cónico
n_{final}	5.24	rpm	Velocidad de salida del removedor o corona

3.3.4 Selección de bandas y poleas

Las poleas escalonadas se fabrican de acuerdo con la función del número y tipo de bandas que se requiere para transmitir el adecuado torque del motor. Se comprobó que se puede usar 1 banda de A44 a A47 según el catálogo de bandas Dongil, lo propio para la selección de las poleas en Ecuapolea, con poleas múltiples tipo A de 3" – 4" - 7". Puede revisar todos los cálculos en Apéndice B, sistema de transmisión.

3.3.5 Correcciones en la transmisión del removedor

Adicionalmente se realizó arreglos en el engranaje del sistema removedor, esta incluye el alineamiento de los dientes del piñón y corona para evitar desgastes, fallas o pérdidas de potencia.

Figura 62

Alineación del piñón motriz



Figura 63*Ajuste de pletinas en los piñones***3.3.6 Momentos de inercia del cacao y sistema**

En la tabla 31 se muestra el momento de torsión del sistema removedor.

Tabla 31*Torque del sistema removedor*

Variable	Valor	Unidad	Descripción
m_{cacao}	453,59	kg	Masa de cacao
I_{cacao}	24,19	kg/m ²	Inercia de la masa de cacao
$I_{\text{removedor}}$	12,70	kg/m ²	Inercia del sistema removedor
I_{total}	36,89	kg/m ²	Inercia total por vencer
ω_f	0,52	rad/s	Velocidad angular final
ω_o	0	rad/s	Velocidad angular inicial
T_f	2	s	Tiempo final
T_o	0	s	Tiempo inicial
α	0,26	rad/s ²	Aceleración angular
T_{total}	9,59	Nm	Torque total

Nota. Las unidades de velocidad de salida se transformaron a rad/s.

3.3.7 Torque aplicado sobre los elementos removedores

En la tabla 32 se observa el torque generado por el conjunto de elementos en el sistema removedor mostrados en la figura 64, los removedores inferiores se le instalaron adicionalmente. En apéndice se encuentra detallado el cálculo de estos valores.

Figura 64

Implementación de nuevos removedores



Tabla 32

Torque de los elementos removedores

Variable	Valor	Unidad	Descripción
$T_{pletinas}$	24,77	Nm	Torque debido a las pletinas
T_{remsup}	3,20	Nm	Torque debido a los removedores superiores
T_{reminf}	6,64	Nm	Torque debido a los removedores inferiores
$T_{sujetadores}$	0,51	Nm	Torque debido a los sujetadores

3.3.8 Torque global del sistema

El torque global del sistema incluyó la suma de los torques individuales.

Tabla 33

Torque global del sistema

Variable	Valor	Unidad	Descripción
$T_{removedor}$	9,59	Nm	Torque total del removedor
$T_{elementos}$	35,12	Nm	Torque total de los elementos
T_{global}	44,71	Nm	Torque global del sistema

3.3.9 Efecto de las nuevas paletas removedoras

En la figura 65 se puede observar los nuevos removedores inferiores poseen tacos de madera para seguir el nivel de la plancha con el fin de evitar que el grano se quiebre por la desnivelación en ciertas zonas, que, aunque es mucho menor que antes aún existe.

Figura 65

Vista lateral de los nuevos elementos removedores



En la figura 66 y 67 se aprecia el comportamiento favorable de este nuevo removedor en la operación del equipo; no obstante, aún está sujeta a mejoras como selección de materiales más

resistentes como Nylon o madera más dura, y el aumento del área de contacto entre esta y la plancha perforada debido que algunas se levantaban y no producían en su totalidad el efecto deseado, sin embargo, la cantidad de granos de cacao dañados fue menor como se observa en la figura 68.

Figura 66

Mezcla de granos de cacao con la nueva paleta



Figura 67

Deshidratación de granos de cacao



Figura 68*Granos de cacao triturados*

Nota. Este afrecho de cacao también posee valor comercial.

3.3.10 Dimensionamiento del eje removedor principal

Los parámetros arrojados en la tabla 34 para el diseño del eje determinaron que el diámetro mínimo debe ser de 15 mm, el diámetro actual es de 38 mm por lo que sigue siendo aceptable seguir empleándolo bajo la nueva modificación de paletas y no se requiere de un cambio de eje debido a la baja velocidad en este equipo.

Tabla 34*Parámetros para el diseño del eje principal*

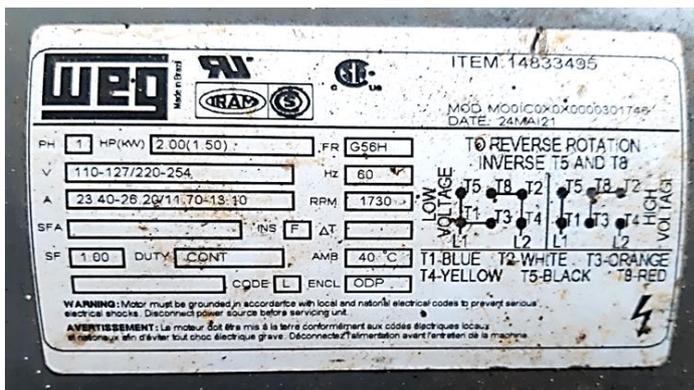
Variable	Cantidad	Unidad	Descripción
T_{global}	44,71	Nm	Torque global del sistema removedor
n	2		Factor de seguridad
S_y	250	MPa	Factor de fluencia del acero SAE 36
d	0,015	m	Diámetro del eje

3.3.11 Selección del motor eléctrico

Con la propuesta dada para el proceso de tostado se obtuvo que la potencia requerida del motor eléctrico debe ser de 0,04 Hp cabe destacar que el equipo actualmente cuenta con un motor de 2 Hp y 1 730 rpm, estas modificaciones adicionales no requieren de un cambio de motor además se comprobó que la corriente suministrada al motor eléctrico estaba por debajo de lo requerido, sin embargo, se observa un aumento del torque a vencer en el sistema debido a las nuevas modificaciones.

Figura 69

Placa del motor eléctrico



Nota. Este motor es el encargado de mover el sistema removedor.

Figura 70

Medición de corriente del motor



Tabla 35*Selección del motor*

Variable	Cantidad	Unidad	Descripción
T_{global}	44,71	Nm	Torque Total
$n_{tostado}$	0,55	rad/s	Velocidad angular para el tostado
$P_{mecánica}$	24,60	W	Potencia mecánica requerida
$P_{eléctrica}$	0,04	Hp	Potencia eléctrica requerida

Nota. La eficiencia para la potencia eléctrica es de 0,85

3.4 Costos para la adaptación del equipo

3.4.1 Costos directos

En la tabla 36 se encuentran los materiales requeridos para la construcción de los elementos para adaptar el equipo en un tostador de granos de cacao.

Tabla 36

Costo de materia prima

Descripción	Cantidad	Medida	Valor unitario	Valor Total
Plancha de acero ASTM A36 1220 mm x 2440 mm x 2 mm	2	Un	\$75,00	\$150,00
Varilla redonda lisa ASTM 36 6000 m x 15 mm	1	Un	\$22,00	\$22,00
Tubo estructural 20 mm x 20 mm x 6000 mm x 2 mm	2	Un	\$16,00	\$32,00
Ángulos 20 x 20 x 6000 mm	2	Un	\$14,00	\$28,00
Tubo galvanizado 1/2"	2	Un	\$10,00	\$20,00
Roscado externo tubo galvanizado	2	Un	\$1,50	\$3,00
Tapón galvanizado de 1/2"	1	Un	\$0,50	\$0,50
Reductor galvanizado 1/2" x 3/8"	1	Un	\$0,55	\$0,55
Poleas múltiples mecanizadas 2" – 3" a 9"- 14"	2	Un	\$85,00	\$170,00
Bandas V	2	Un	\$25,00	\$50,00
Sellador comercial poliuretano	1	Un	\$14,00	\$14,00
Manómetro de compresor 200 psi	1	Un	\$15,00	\$15,00
Lana de roca 1,20 m x 1,00 m x 25 mm	1	Un	\$120,00	\$120,00
Pintura en aerosol	4	Un	\$3,50	
TOTAL				\$639,05

3.4.2 Costos de maquinado y mano de obra

Tabla 37

Costo de mano de obra

Aplicación	Operación	Costo	Tiempo total (horas)	Valor total
Tapa hexagonal	Mecanizado	\$3,90	2,50	\$9,75
	Soldadura	\$3,90	2,00	\$7,80
Tapa circular exterior	Mecanizado	\$3,90	4,00	\$15,60
	Soldadura	\$3,90	2,00	\$7,80
Refuerzo estructural cama	Mecanizado	\$3,90	2,50	\$9,75
	Soldadura	\$3,90	2,00	\$7,80
Quemador	Mecanizado	\$3,90	5,00	\$19,50
	Soldadura	\$3,90	1,00	\$3,90
Aletas	Mecanizado	\$3,90	1,00	\$3,90
	Soldadura	\$3,90	1,00	\$3,90
Paletas removedoras	Mecanizado	\$3,90	6,50	\$25,35
	Soldadura	\$3,90	3,00	\$11,70
Poleas	Torneado	\$9,75	16,00	\$156,00
TOTAL				\$278.85

Nota. En soldadura y mecanizado el tiempo se considera la mano de obra.

Tabla 38

Costo de instalación de mejoras

Descripción	Costo	Tiempo total (horas)	Valor total
Nivelación de piñones	\$3,90	2,50	\$9,75
Alineamiento en la transmisión mecánica	\$3,90	1,50	\$5,85
Instalación de refuerzo estructural	\$3,90	3,50	\$13,65
Instalación de paletas	\$3,90	3,00	\$11,70
Instalación del quemador	\$3,90	5,00	\$19,50
TOTAL			\$60,45

3.5 Costo total del proyecto

El costo total del proyecto es de \$1 271,86 para el funcionamiento del equipo como tostador de granos de cacao, siendo más viable que un tostador nuevo que son de baja capacidad.

Tabla 39

Costo del proyecto final

Componente del costo	Valor
Costo de materiales	\$639,05
Costo de mano obra fabricación	\$278,85
Costo de instalación	\$60,45
Subtotal	\$978,35
Costos de diseño ingenieril (25%)	\$244,59
Imprevistos (5%)	\$48,92
Costo total del proyecto	\$1 271,86

Capítulo 4

4.1 Conclusiones y recomendaciones

4.1.1 Conclusiones

Se diseñó un tostador de granos de cacao basado en el funcionamiento de una máquina secadora rotatoria con el fin de generar valor agregado a este producto. Esta adaptación permitirá tostar cerca de 454 kg de cacao con una inversión cercano a los \$1 300,00 lo que resulta más rentable que adquirir una tostadora convencional con menor capacidad por el mismo precio.

Las propuestas de adaptaciones en la máquina secadora para habilitar el tostado de los granos de cacao se basaron en un análisis de la operación de equipos similares. Estas adaptaciones incluyeron mejoras para aumento de la temperatura en un 39% por debajo de superficie de secado, en el mecanismo de mezcla disminuyendo un 57% los remanentes de cacao y con la utilización de 2 bombonas de gas para todo el proceso, todo esto con el fin de garantizar una distribución homogénea de calor.

Los elementos requeridos para el funcionamiento de tostado de cacao se analizaron mediante el software de diseño CAD a través de simulaciones mecánicas y de transferencia de calor con un error del 14%, obteniendo una invaluable comprensión de los fenómenos involucrados, contribuyendo a al desarrollado de soluciones eficientes y obteniendo resultados consistentes.

Se optimizó las cualidades del procedimiento de secado requeridos para lograr un tostado exitoso obteniendo una mayor eficacia en la operación de la máquina, identificando aspectos claves requeridos para ambos procesos, entre estos se tiene el refuerzo a la estructura de la plancha, cambio de la posición de la termocupla, mejoras en el sistema de transmisión mecánica, sellado de filtraciones de calor y mejora del quemador.

4.1.2 Recomendaciones

Para abordar la condensación generada por los granos de cacao y prevenir posibles retrasos en los ciclos de secado y tostado, se sugiere la implementación de extractores de vapor equipados con sensores de humedad en el interior de la máquina (automatizando la operación de la máquina). Estos extractores desempeñarán un papel fundamental al regular el ambiente interno, optimizando las condiciones de trabajo y asegurando un proceso más eficiente y fluido.

Con el objetivo de mejorar la precisión en la monitorización de las temperaturas internas del equipo, se recomienda la instalación de dos termocuplas adicionales. Estas permitirán al controlador ajustar de manera más efectiva el tiempo de aplicación de la llama, optimizando así el proceso de calentamiento y asegurando resultados más consistentes.

En el contexto del quemador de GLP se podría considerar aumentar la velocidad de entrada de aire del ventilador, a niveles mayores a 10 m/s, mediante una reducción de poleas con el propósito de mejorar la eficiencia del proceso y mezcla de combustible, esto garantizará una distribución uniforme y homogénea.

Se sugiere reemplazar la plancha de acero actual por una de mayor espesor de 1.5mm y con perforaciones de 6 mm de ancho. Esta modificación permitiría incrementar la superficie de contacto entre los granos de cacao y el calor generado, y lograría una mayor eficiencia en la eliminación de la humedad, lo que contribuiría a mejorar el proceso de secado y tostado.

Es recomendable ajustar la distancia de separación entre la tolva y el quemador con respecto a la cámara de secado. Esto es necesario debido a que el quemador modificado genera calor en la zona adyacente lo que podría llevar a mantener a temperaturas superiores a los 100°C en los elementos internos. Al modificar esta distancia se busca mitigar las pérdidas de calor por el calentamiento en la tolva garantizando condiciones operativas más seguras y controladas.

El uso de un variador de frecuencia posibilitaría ajustar la velocidad de mezcla de los granos de cacao con mayor eficiencia teniendo un control preciso y representaría un avance más hacia la automatización de la máquina.

Bibliografía

- Atanacio Andrade, J., Rivera García, J., & Chire Fajardo, G. (2019). Propiedades físicas y químicas de cultivares de cacao (*Theobroma cacao* L.) de Ecuador y Perú. *Enfoque UTE*, 2.
- Atiaga Velastegui, J. A., & Tarco Condor, E. I. (31 de Agosto de 2022). *Análisis de la cinética del secado de cacao nacional ecuatoriano y mejorado*. Obtenido de [Tesis de Grado, Universidad Técnica de Cotopaxi]: <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/9682>
- BURNERS, A. (s.f.). *Argentina Patente n° ISO 9001:2015*. Recuperado el 28 de 07 de 2023, de <https://www.rubcar-borghi.com.ar/assets/catmj3rev01.pdf>
- Caballero Cava, J. A. (Junio de 2015). *Diseño de una secadora de cacao para almacenaje con capacidad de 2 T/Día*. Obtenido de [Tesis de Grado, Pontificia Universidad Católica del Perú]: <http://hdl.handle.net/20.500.12404/6199>
- Cadby, J. (28 de Junio de 2019). *¿Qué Sucede Durante la Fermentación Del Cacao?* Obtenido de perfectdailygrind: <https://perfectdailygrind.com/es/2019/06/28/que-sucede-durante-la-fermentacion-del-cacao/>
- Caranqui, A. J. (2015). *Diseño de un secador rotatorio para granos de cacao con capacidad de 3 toneladas diarias para la producción nacional*. Obtenido de [Tesis de Grado, Escuela Superior Politécnica del Litoral]: <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/35067>
- Carlos, A., & et al. (30 de 12 de 2022). Caracterización morfológica del cacao nacional “*Theobroma cacao* L.” del cantón Naranjal, Ecuador. *Revista Tecnológica ESPOL*. Guayaquil, Ecuador. doi:<https://doi.org/10.37815/rte.v34n4.978>
- Cueva Moreno, O. V., & Saquinha Caiza, L. G. (21 de Noviembre de 2017). *Diseño y construcción de una secadora automática para cacao a base de aire caliente tipo*

- rotatorio para una capacidad de 500 kg*. Obtenido de [Tesis de Grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/8079>
- Delani. (2019). Obtenido de Horno tostador de cacao ROASTY:
<https://delanitradings.com/producto/horno-tostador-de-cacao-roasty/>
- Delgado Plaza, E. (13 de Febrero de 2015). *Diseño, modelo matemático y construcción de un secadero optimizado con energías limpias*. Obtenido de [Tesis de Maestría, Universidade de Santiago de Compostela]: <http://hdl.handle.net/10347/12299>
- Díaz, L., Pinargote, M., & Castillo, P. (2011). Análisis de las características Organolépticas del Chocolate a partir de Cacao CCN51 Tratado Enzimáticamente y Tostado a Diferentes Temperaturas. *ESPOL*, 7.
- ESPAC. (22 de Junio de 2023). *Información Productiva Territorial*. Obtenido de Ministerio de Agricultura y Ganadería: <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/cifras-agroproductivas>
- García-Briones, A., Pico-Pico, B., & Jaimez, R. (2021). La cadena de producción del Cacao en Ecuador: Resiliencia en los diferentes actores de la producción. *Novasinergia*,
<https://doi.org/10.37135/ns.01.08.10>.
- Guitierrez, M. (2021). *TECNOLOGÍA DE TOSTADO DEL GRANO DE CACAO*. Obtenido de
https://www.academia.edu/51229574/TECNOLOG%C3%8DA_DE_TOSTADO_DEL_GRANO_DE_CACAO
- INEC. (Abril de 2021). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua*. Obtenido de ecuadorencifras: https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2021/Principales%20resultados-ESPAC_2021.pdf
- INEN. (Febrero de 2018). *Granos de cacao. Requisitos*. Obtenido de normalizacion:
https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_176-5.pdf

- INIAP. (2022). *Manual del cultivo de cacao sostenible para la amazonía ecuatoriana*. Obtenido de RepositorioIniap: <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5833>
- López Guerrero, A. (29 de Diciembre de 2015). *Producción y comercialización de Cacao Fino de Aroma en el Ecuador*. Obtenido de Superintendencia de Control del Poder de Mercado: <https://www.scpm.gob.ec/sitio/wp-content/uploads/2019/03/ESTUDIO-DEL-CACAO-IZ7-version-publica-ultima.pdf>
- MAGAP. (2021). *Selección del sitio para el cultivo de cacao*. Obtenido de cefaecuador: https://cefaecuador.org/wp-content/uploads/2022/05/Guia_2.pdf
- Mayorga, J., & Soliz, E. (2022). 15 Tesis de Grado UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI EXTENSIÓN LA MANÁ. Obtenido de <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/9529/1/UTC-PIM-000583.pdf>
- MOCCA, P. (2023). *CacaoMóvil*. Obtenido de Lutheran World Relief: <https://cacaomovil.com/>
- Parra Rosero, P. (Diciembre de 2014). *Secado artificial de cacao. Estado del arte*. Obtenido de [Tesis de Grado, Universidad Politécnica Salesiana]: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/10984>
- Parra Rosero, P. (Diciembre de 2017). *Modelación de un proceso de secado de cacao utilizando una cámara rotatoria cilíndrica y flujo de aire caliente*. Obtenido de [Tesis Doctoral, Universidad de Piura]: <https://hdl.handle.net/11042/3488>
- Plúa, J. C., & Cornejo, F. (2013). Diseño de una Línea Procesadora de Pasta de Cacao Artesanal. *ESPOL*, 3.
- Richard G. Budynas, J. K. (2015). *Shigley's Mechanical Engineering Design*. New York: McGraw-Hill.
- ST&T. (2021). *Diagnóstico de la cadena de valor del cacao, y mapeo de los indicadores y sistemas de información existentes*. Ecuador: European Forest Institute. Obtenido de

chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://euredd.efi.int/wp-content/uploads/2022/09/Informe-1_Diagnostico-cadena-Cacao_Ecuador.pdf

VulcanoTEC. (2023). *Tostadora de Cacao y Café*. Obtenido de

<https://vulcanotec.com/maquinaria/tostadora-de-cacao-y-cafe/>

Zhigui Loja, C. A. (27 de Junio de 2021). *Diseño y construcción de un prototipo de sistema de*

bomba de calor para una secadora de cacao rotativa de flujo constante. Obtenido de

[Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]:

<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/14665>

Apéndice

Apéndice A. Intervención

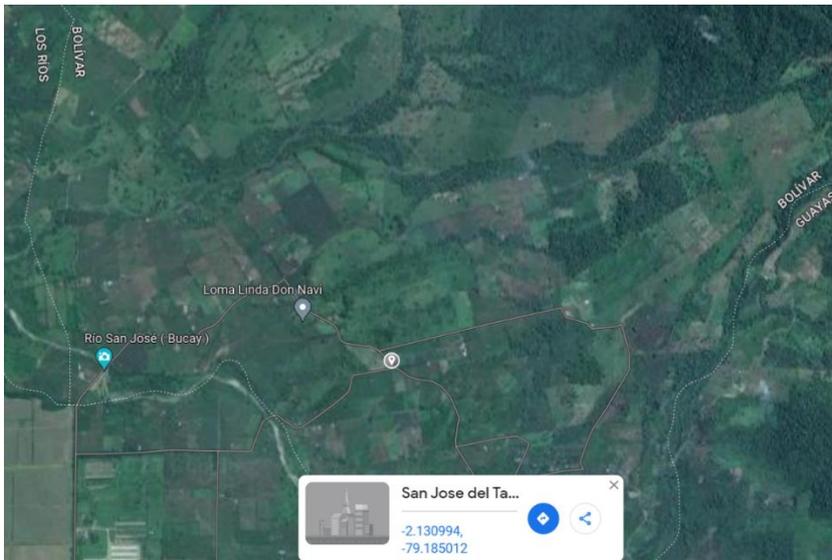
Características de la secadora

La secadora de cacao es una secadora rotativa con un sistema de agitación que permite el secado de 10 qq de granos de cacao mediante el flujo uniforme de aire que ingresa a la cama de secado perforado, construido en acero inoxidable con perforaciones de 5 mm y espesor de 1.1 mm. La materia prima se seca por convección del aire calentado mediante un ventilador.

La ubicación del equipo es en el predio Las Paulinas donde se maneja 4 Ha de cultivos de cacao.

Figura A1

Ubicación del predio “Las Paulinas”



Nota. Se observa que el lugar donde se encuentra la máquina secadora de cacao limita con las provincias de Los Ríos al Oeste y al este con Guayas. Tomado de (Google Maps, 2023)

La secadora de cacao en Las Paulinas es un secador rotatorio con un sistema de agitación que permite el secado por convección de 10 qq (Quintales) de granos de cacao mediante el flujo uniforme de aire caliente y un sistema de movimiento.

Deficiencia observada

En la figura A2 se observa el atascamiento de granos de cacao en las paletas originales debido a la nula nivelación de la plancha, esto provoca la trituración de producto y por ende pérdidas económicas. En la figura A3 y A4 se observa el deficiente soporte estructural y la desnivelación en la cama provocando lo mencionado anteriormente.

Figura A2

Atascamiento de granos de cacao



Figura A3

Desnivel en la cama



Toma de datos

Mediante el uso de instrumentos de medición se registraron temperaturas durante la operación de la máquina.

Figura A4

Toma de temperatura en granos de cacao



Se observa la corriente que demanda el motor en un amperímetro de garra, en este caso tiene una conexión de 220V con una corriente máxima de 11,7 A según la placa del motor.

Figura A5

Medición de corriente del motor eléctrico



Figura A6

Medición de las RPM



Apéndice B. Cálculos

Cálculo del calor requerido en el secado

Los valores de temperatura ambiente y humedad relativa del predio Las paulinas.

$$T_{a1} = 25^{\circ}C$$

$$\phi_{a1} = 85\%$$

La temperatura del aire para secar los granos es de

$$T_{a2} = 44^{\circ}C$$

La presión de saturación del agua a temperatura ambiente

$$P_{sat@25^{\circ}C} = 3,17kPa$$

La presión del vapor

$$P_{v1} = 0,85 * P_{sat@25^{\circ}C}$$

$$P_{v1} = 0,85 * 3,17kPa$$

$$P_{v1} = 2,69 kPa$$

La humedad absoluta al ingreso del quemador

$$w_1 = 0,625 \left(\frac{P_{v1}}{P - P_{v1}} \right)$$

$$w_1 = 0,622 \left(\frac{2,71 kPa}{101,5 kPa - 2,71 kPa} \right)$$

$$w_1 = 0,01693 \frac{kg \text{ agua}}{kg \text{ aire seco}}$$

La humedad a la salida del quemador

$$w_2 = 0,01693 \frac{kg \text{ agua}}{kg \text{ aire seco}}$$

La entalpía del aire a la entrada, en este caso la entalpía del vapor de agua según las tablas es de 2 545,50 kJ/kg.

$$h_{a1} = \left(1,007 \frac{J}{kg K} * 25^{\circ}C \right) + \left(0,01693 \frac{kg \text{ agua}}{kg \text{ aire seco}} * 2 545,50 \frac{kJ}{kg} \right)$$

$$h_{a1} = 68,27 \frac{kJ}{kg}$$

La entalpía a la salida del aire, en este caso la entalpía del vapor de agua según las tablas es de 2 545,50 kJ/kg.

$$h_{a2} = \left(1,007 \frac{J}{kg K} * 45^{\circ}C \right) + \left(0,01693 \frac{kg \text{ agua}}{kg \text{ aire seco}} * 2 582,40 \frac{kJ}{kg} \right)$$

$$h_{a2} = 89,03 \frac{kJ}{kg}$$

Flujo volumétrico del aire:

$$\dot{V}_{aire} = A_{transversal} \times v_{aire}$$

$$\dot{V}_{aire} = \left(\frac{\pi D^2}{4} \right) \times v_{aire}$$

$$\dot{V}_{aire} = \frac{\pi (1,6 m)^2}{4} \times \frac{2m}{s}$$

$$\dot{V}_{aire} = 4,02 \frac{m^3}{s}$$

Flujo másico del aire, para este caso se buscan la densidad del aire caliente a °C en la tabla de propiedades:

$$\dot{m}_{aire} = \rho_{aire} \times \dot{V}_{aire}$$

$$\dot{m}_{aire} = 0,6746 \frac{kg}{m^3} \times 4,02 \frac{m^3}{s}$$

$$\dot{m}_{aire} = 2,71 \frac{kg}{s}$$

Calor requerido para calentar el aire:

$$\dot{Q}_1 = \dot{m}_{aire} (h_{a2} - h_{a1})$$

$$\dot{Q}_1 = 2,71 \frac{kg}{s} \left(89,03 \frac{kJ}{kg} - 68,27 \frac{kJ}{kg} \right)$$

$$\dot{Q}_1 = 56,26 kW$$

Cálculo del coeficiente de convección interno

Para el cálculo de coeficiente de convección fue necesario determinar la temperatura promedio entre la llama y el aire externo con el fin de buscar el valor para cada propiedad mediante interpolación a partir de la tabla Propiedades del Aire.

$$T_f = \frac{T_{sup} + T_{amb}}{2}$$

$$T_f = \frac{800^\circ C + 25^\circ C}{2}$$

$$T_f = 412,50^\circ C$$

Se cálculo el número de Reynolds para determinar el comportamiento del fluido.

$$Re_L = \frac{V L}{\nu}$$

$$Re_L = \frac{\left(8 \frac{m}{s}\right) (1,6m)}{\left(6,41 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s}\right)}$$

$$Re_L = 1,996 \times 10^5$$

El fluido dentro de la cámara del horno tiene un comportamiento teóricamente laminar ya que el número de Reynolds es menor que 5×10^5 , teniendo un fluido con comportamiento laminar.

Se procede a determinar el número de Nusselt para fluidos laminares, con la tabla de propiedades se busca el número de Prandtl.

$$Nu = \frac{hL}{k} = 0,664 Re_L^{0,5} Pr^{1/3}$$

$$Nu = 0,664 (1,996 \times 10^5)^{0,5} (0,6953)^{1/3}$$

$$Nu = 262,78$$

El cálculo del coeficiente de convección interno se obtiene en función del número de Nusselt y conductividad térmica del aire k.

$$h = \frac{Nu \times k}{L}$$

$$h = \frac{(262,78) \times \left(0,05086 \frac{W}{mK}\right)}{(1,60 \text{ m})}$$

$$h = 8,35 \frac{W}{m^2K}$$

Cálculo del coeficiente de convección externo

Se calcula la temperatura media para determinar las propiedades del aire a usar.

$$T_f = \frac{T_{sup} + T_{amb}}{2}$$

$$T_f = \frac{65 \text{ }^\circ\text{C} + 25 \text{ }^\circ\text{C}}{2} = 45 \text{ }^\circ\text{C} = 318 \text{ K}$$

Para calcular el número de Nusselt se calcula primero el número de Rayleigh.

$$Ra_L = \frac{g \beta (T_{sup} - T_{Ext}) L^3}{\nu \alpha}$$

$$Ra_L = \frac{(9,81 \frac{m}{s^2}) \times \frac{1}{318} (338 \text{ K} - 298 \text{ K}) (1,23 \text{ m})^3}{\left(1,71 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s}\right) \left(2,35 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s^2}\right)} = 5,58 \times 10^{10}$$

Una vez determinado dicho valor se procede a calcular el número de Nusselt.

$$Nu = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 (5,58 \times 10^{10})^{1/16}}{[1 + (0,492/0,7255)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2$$

$$Nu = 470,05$$

El valor del coeficiente natural

$$h = \frac{k}{L} Nu$$

$$h = \frac{0,02662 \text{ W/mK}}{1,23 \text{ m}} \times 470,05 = 10,17 \frac{W}{m^2K}$$

Pérdidas de calor sin aislamiento térmico

Para conocer esta pérdida de calor se emplean los coeficientes de convección previamente calculados y los coeficientes de conducción, así como las distancias de los radios para cada capa y temperaturas.

$$\dot{Q}_{perdido} = \frac{T_{ext} - T_{int}}{\frac{1}{h_{conv1} \times 2 \times \pi \times R_1} + \frac{\ln(R_2/R_1)}{2 \times \pi \times L \times k_1} + \frac{1}{h_{conv2} \times 2 \times \pi \times R_2}}$$
$$\dot{Q}_{perdido} = \frac{200 \text{ °C} - 25 \text{ °C}}{\frac{1}{8,35 \times 2 \times \pi \times 0,8m} + \frac{\ln(0,801/0,8)}{2 \times \pi \times 1,23m \times 50 \text{ W/mK}} + \frac{1}{10,17 \times 2 \times \pi \times 0,801}}$$
$$\dot{Q}_{perdido} = -4,037 \text{ kW}$$

Pérdidas de calor con aislamiento térmico

$$\dot{Q}_{perdido} = \frac{T_{ext} - T_{int}}{\frac{1}{h_{conv1} \times 2\pi \times R_1} + \frac{\ln(R_2/R_1)}{2\pi \times L \times k_1} + \frac{\ln(R_3/R_2)}{2\pi \times L \times k_2} + \frac{1}{h_{conv2} \times 2\pi \times R_2}}$$
$$\dot{Q}_{perdido} = \frac{200 \text{ °C} - 25 \text{ °C}}{\frac{1}{8,35 \times 2\pi \times 0,8} + \frac{\ln(0,801/0,8)}{2\pi \times 1,23 \times 50} + \frac{\ln(0,813/0,801)}{2\pi \times 1,23 \times 0,025} + \frac{1}{10,17 \times 2\pi \times 0,801}}$$
$$\dot{Q}_{perdido} = -1,77 \text{ kW}$$

Perdidas de calor por radiación

En este caso el área corresponde al área superficial del tanque que es cilíndrico.

$$A_1 = 2\pi rh + 2\pi r^2$$

$$A_1 = 2\pi(0,8 \text{ m})(1,23 \text{ m}) + 2\pi(0,8 \text{ m})^2$$

$$A_1 = 10,20 \text{ m}^2$$

$$\dot{Q}_{rad} = \varepsilon \times A_1 \times \sigma \times (T_{s4}^4 - T_{sup}^4)$$

$$\dot{Q}_{rad} = 0,15 \times 10,20 \text{ m}^2 \times (5,6703 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4) \times (25^4 - 59,7^4 \text{ °C})$$

$$\dot{Q}_{rad} = -0,32 \text{ kW}$$

Sistema de transmisión

Se muestra los cálculos de las relaciones entre elementos para la selección de la mejor alternativa, que en este caso fueron las poleas escalonadas.

Figura B1

Factor de servicio de bandas

Tabla 17-15

Factores de servicio sugeridos K_S para transmisiones de banda en V

Maquinaria impulsada	Fuente de potencia	
	Características del par de torsión normal	Par de torsión alto o no uniforme
Uniforme	1.0 a 1.2	1.1 a 1.3
Impacto ligero	1.1 a 1.3	1.2 a 1.4
Impacto medio	1.2 a 1.4	1.4 a 1.6
Impacto pesado	1.3 a 1.5	1.5 a 1.8

Figura B2

Potencias nominales de bandas V

Tabla 17-12

Potencias nominales de bandas en V estándar

Sección de la banda	Diámetro de paso de la polea, pulg	Velocidad de la banda, pie/min				
		1 000	2 000	3 000	4 000	5 000
A	2.6	0.47	0.62	0.53	0.15	
	3.0	0.66	1.01	1.12	0.93	0.38
	3.4	0.81	1.31	1.57	1.53	1.12
	3.8	0.93	1.55	1.92	2.00	1.71
	4.2	1.03	1.74	2.20	2.38	2.19
	4.6	1.11	1.89	2.44	2.69	2.58
	5.0 y mayor	1.17	2.03	2.64	2.96	2.89
B	4.2	1.07	1.58	1.68	1.26	0.22
	4.6	1.27	1.99	2.29	2.08	1.24
	5.0	1.44	2.33	2.80	2.76	2.10
	5.4	1.59	2.62	3.24	3.34	2.82
	5.8	1.72	2.87	3.61	3.85	3.45
	6.2	1.82	3.09	3.94	4.28	4.00
	6.6	1.92	3.29	4.23	4.67	4.48

Impacto uniforme $K_S = 1$, con $H_{nominal} = 2hp$ asumiendo un factor de diseño de 1.

Para la H_{tab} se ingresa la velocidad periférica de 1358.7 pies/min, considerando el diámetro de polea de 3 pulgadas (que es la menor tabulada) o con el de mayor diámetro en este caso de 7 pulgadas, interpolando tenemos una potencia de 1.25 hp y 4.58 hp respectivamente. Además, se debe de cumplir la relación entre diámetros y la distancia entre centros $d < C < 3 * (D + d)$.

(Richard G. Budynas, 2015)

Para el secado:

$$d < C < 3 * (D + d)$$

$$3 < C < 3 * (7 + 3)$$

$$3 < C < 30 \text{ asumir que } C = 14.6$$

$$L_p = 2 * C + \frac{\pi(D + d)}{2} + \frac{(D - d)^2}{4C} = 2 * 14.6'' + \frac{\pi(14'' + 2'')}{2} + \frac{(14'' - 2'')^2}{4 * 14.6''} = 45.2''$$

$$C = 0.25 * \left\{ \left[L_p - \frac{\pi(D + d)}{2} \right] + \sqrt{\left[L_p - \frac{\pi(D + d)}{2} \right]^2 - 2 * (D - d)^2} \right\} = 14.6''$$

Figura B3

Factor de corrección de ángulo de contacto

Tabla 17-13

Factor de corrección del ángulo de contacto K_1 para transmisiones de banda plana VV* y en V

$\frac{D-d}{C}$	θ , grados	VV	K_1	Plana en V
0.00	180	1.00		0.75
0.10	174.3	0.99		0.76
0.20	166.5	0.97		0.78
0.30	162.7	0.96		0.79
0.40	156.9	0.94		0.80
0.50	151.0	0.93		0.81
0.60	145.1	0.91		0.83
0.70	139.0	0.89		0.84
0.80	132.8	0.87		0.85
0.90	126.5	0.85		0.85
1.00	120.0	0.82		0.82

Figura B4

Factor de corrección de longitud de banda K_2

Tabla 17-14

Factor de corrección de longitud de banda K_2^*

Factor de longitud	Longitud nominal de la banda, pulg				
	Bandas A	Bandas B	Bandas C	Bandas D	Bandas E
0.85	Hasta 35	Hasta 46	Hasta 75	Hasta 128	
0.90	38-46	48-60	81-96	144-162	Hasta 195
0.95	48-55	62-75	105-120	173-210	210-240
1.00	60-75	78-97	128-158	240	270-300

Para el secado con $\theta = 178.9 \rightarrow K_1 = 1$, para bandas en V. Como la banda es tipo A y

$L_c = 1.3$ lo que resulta 58.1 para el valor de $K_2 = 1$.

Con 3 pulgadas.

$$n_{bandas} = \frac{H_{diseño}}{H_{admitida}} = \frac{H_{nominal} * K_s * n_d}{K_1 * K_2 * H_{tab}} = \frac{2hp * (1) * 1}{1 * 1 * 1.25hp} = 1.6$$

Con 7 pulgadas. Con impacto medio para bandas tipo A.

$$n_{bandas} = \frac{H_{diseño}}{H_{admitida}} = \frac{H_{nominal} * K_s * n_d}{K_1 * K_2 * H_{tab}} = \frac{2hp * (1) * 1}{1 * 1 * 2.03hp} = 0.98$$

Lo que refleja en 1 banda.

Para el tostado, se procede a realizar el mismo procedimiento ya que los diámetros son menores que en el secado por lo tanto también se cumple en tostado.

Se comprueba que se puede usar 1 banda A44 a A47 según el catálogo de bandas Dongil, lo propio para la selección de las poleas en Ecuapolea, con poleas múltiples tipo A de 3" – 4" - 7".

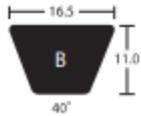
Figura B5

Catálogo de bandas

Belt No.	List Price	Wt.(Approx)kg	Outside Length(mm)
A 128	9.39	0.448	3279
A 136	9.96	0.476	3483
A 144	10.52	0.504	3686

Belt No.	List Price	Wt.(Approx)kg	Outside Length(mm)
A 158	11.51	0.553	4041
A 173	12.56	0.605	4422
A 180	13.04	0.630	4600

Nominal Dimension



B Section

Belt No.	List Price	Wt.(Approx)kg	Outside Length(mm)
B 28(inch)	2.22	0.132	746
B 32	2.65	0.151	847
B 34	2.87	0.160	898
B 35	2.98	0.165	924
B 36	3.09	0.170	949
B 37	3.19	0.175	974
B 38	3.30	0.179	1000
B 40	3.52	0.189	1051
B 41	3.63	0.194	1076
B 42	3.73	0.198	1101
B 43	3.84	0.203	1127
B 44	3.95	0.208	1152
B 45	4.06	0.212	1178
B 46	4.16	0.217	1203
B 47	4.27	0.222	1228
B 48	4.38	0.227	1254
B 49	4.48	0.231	1279
B 50	4.59	0.236	1305
B 51	4.70	0.241	1330
B 52	4.81	0.245	1355

Belt No.	List Price	Wt.(Approx)kg	Outside Length(mm)
B 66	6.30	0.312	1711
B 67	6.40	0.316	1736
B 68	6.51	0.321	1762
B 69	6.61	0.326	1787
B 70	6.72	0.330	1813
B 71	6.83	0.335	1838
B 72	6.93	0.340	1863
B 73	7.04	0.345	1889
B 74	7.14	0.349	1914
B 75	7.25	0.354	1940
B 76	7.35	0.359	1965
B 77	7.46	0.363	1990
B 78	7.56	0.368	2016
B 79	7.67	0.373	2041
B 80	7.77	0.378	2067
B 81	7.88	0.382	2092
B 82	7.99	0.387	2117
B 83	8.09	0.392	2143
B 84	8.19	0.396	2168
B 85	8.30	0.401	2194

Figura B6

Cotización de poleas

$$T_{total} = I_{total} \times \alpha = 4855 \frac{kg}{m^2} \times 5 \frac{rad}{s^2} = 1000 Nm$$

Fuerza de contacto sobre la platina

Para el cálculo de esta fuerza se considera para una sola pletina.

$$F_1 = \rho_{cacao} \times g \times \frac{h_1}{2} \times (L_1 \times h_1)$$

Por lo que la fuerza en un solo elemento sería.

$$F_1 = 775 \frac{kg}{m^3} \times 9,81 \frac{m}{s^2} \times \frac{0,60 m}{2} \times (0,006 m * 0,60) = 8,21 N$$

Tabla B1

Torque debido a pletinas

Elemento	Fuerza (N)	Distancia desde el eje motriz (m)	Torque (Nm)
Pletina #1	8,21	0,630	5,17
Pletina #2	8,21	0,428	3,51
Pletina #3	8,21	0,232	1,90
Pletina #4	8,21	0,133	1,09
Pletina #5	8,21	0,323	2,65
Pletina #6	8,21	0,524	4,30
Pletina #7	8,21	0,747	6,13
TOTAL			24,77

Nota. La primera pletina empieza desde el extremo del lado que contiene tres y termina hasta el otro extremo que contiene cuatro.

Fuerza de contacto sobre la paleta removedora superior

Para cálculo de esta fuerza se considera una sola paleta.

$$F_2 = \rho_{cacao} \times g \times \frac{h}{2} \times (L_2 \times h_2)$$

Reemplazando valores la fuerza aplica sobre un solo elemento es

$$F_2 = 775 \frac{kg}{m^3} \times 9,81 \frac{m}{s^2} \times \frac{0,038 m}{2} \times (0,141 m \times 0,052 m) = 1,06 N$$

Tabla B2*Torque debido a removedor superior*

Elemento	Fuerza (N)	Distancia desde el eje motriz (m)	Torque (Nm)
Removedor #1	1,06	0,630	0,67
Removedor #2	1,06	0,428	0,45
Removedor #3	1,06	0,232	0,25
Removedor #4	1,06	0,133	0,14
Removedor #5	1,06	0,323	0,34
Removedor #6	1,06	0,524	0,56
Removedor #7	1,06	0,747	0,79
TOTAL			3,20

Nota. El primer removedor empieza desde el extremo del lado que contiene tres y termina hasta el otro extremo que contiene cuatro.

Fuerza de contacto sobre la paleta removedora inferior

Para este caso se considera la longitud adicional del taco de madera.

$$F_2 = \rho_{cacao} \times g \times \frac{h}{2} \times (L_2 \times h_2)$$

Reemplazando valores la fuerza aplica sobre un solo elemento es

$$F_2 = 775 \frac{kg}{m^3} \times 9,81 \frac{m}{s^2} \times \frac{0,038 m}{2} \times (0,141 m \times 0,108 m) = 2,20 N$$

Tabla B3*Torque debido a removedor inferior*

Elemento	Fuerza (N)	Distancia desde el eje motriz (m)	Torque (Nm)
Removedor #1	2,20	0,630	1,39
Removedor #2	2,20	0,428	0,94
Removedor #3	2,20	0,232	0,51
Removedor #4	2,20	0,133	0,29
Removedor #5	2,20	0,323	0,71
Removedor #6	2,20	0,524	1,15
Removedor #7	2,20	0,747	1,64
TOTAL			6,64

Nota. El primer removedor empieza desde el extremo del lado que contiene tres y termina hasta el otro extremo que contiene cuatro.

Fuerza de contacto sobre el sujetador

$$F_3 = \rho_{cacao} \times g \times \frac{h_3}{2} \times (L_3 \times h_3)$$

Reemplazando valores la fuerza aplica sobre un solo elemento se tiene que

$$F_3 = 775 \frac{kg}{m^3} \times 9,81 \frac{m}{s^2} \times \frac{0,018 m}{2} \times (0,196 m \times 0,018 m) = 0,24 N$$

Sin embargo, cada sujetador tiene una distancia distinta por lo que.

$$F_{3,2} = 775 \frac{kg}{m^3} \times 9,81 \frac{m}{s^2} \times \frac{0,018 m}{2} \times (0,190 m \times 0,018 m) = 0,23 N$$

$$F_{3,3} = 775 \frac{kg}{m^3} \times 9,81 \frac{m}{s^2} \times \frac{0,018 m}{2} \times (0,184 m \times 0,018 m) = 0,23 N$$

$$F_{3,4} = 775 \frac{kg}{m^3} \times 9,81 \frac{m}{s^2} \times \frac{0,018 m}{2} \times (0,195 m \times 0,018 m) = 0,24 N$$

$$F_{3,5} = 775 \frac{kg}{m^3} \times 9,81 \frac{m}{s^2} \times \frac{0,018 m}{2} \times (0,198 m \times 0,018 m) = 0,24 N$$

Tabla B5*Torque debido a sujetador*

Elemento	Fuerza (N)	Distancia desde el eje motriz (m)	Torque (Nm)
Sujetador #1	0,24	0,529	0,13
Sujetador #2	0,23	0,330	0,08
Sujetador #3	0,23	0,228	0,05
Sujetador #4	0,24	0,424	0,10
Sujetador #5	0,24	0,626	0,15
TOTAL			0,51

Nota. El primer sujetador empieza desde el extremo del lado que contiene tres pletinas y termina hasta el otro extremo que contiene cuatro pletinas.

Dimensión del eje

En el dimensionamiento del eje se reemplazan los valores previos en la ecuación

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

$$e = \left(\frac{32 \times 2}{\pi} \sqrt{\frac{3}{4} \left(\frac{44,71 Nm}{250 MPa} \right)^2} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$De = 0,015 m = 15 mm$$

Espesor mínimo del tanque

Para este caso se trabajó con lo máximo del equipo que es de 10 quintales, donde cada quintal equivale a 100 libras. Por lo que en este caso sería de 1000 libras o 453,59 kg.

$$F_{masa} = m_{cacao} \times g$$

$$F_{masa} = 453,59 kg \times 9,81 m/s^2$$

$$F_{masa} = 4449,72 N$$

Se calcula el valor de la presión y se transforma la unidad de pascales a psi para hacer uso de la ecuación según ASME VIII.

$$P_{masa} = \frac{F_{masa}}{A_{fondo}}$$

$$P_{masa} = \frac{4449,72 N}{\pi(0,8m)^2}$$

$$P_{masa} = \frac{4449,72 N}{\pi(0,8m)^2}$$

$$P_{masa} = 2213,11 Pa = 0,32 psi$$

La presión total será la suma del valor hallado más la presión atmosférica.

$$P_t = P_{atm} + P_{masa}$$

$$P_t = 14,7 psi + 0,32 psi = 15,02 psi$$

Se añade un 10% adicional al valor obtenido de la presión.

$$P_t = 16,52 psi$$

Se procede a calcular el valor del espesor mínimo requerido en el tanque.

$$t = \frac{PR}{SE - 0,6P}$$

$$t = \frac{(16,52 psi)(31 in)}{(36 \times 10^3 psi)(0,50) - 0,6(16,52 psi)}$$

$$t = 0,0285 in = 0,724 mm$$

Potencia mecánica requerida

La potencia mecánica del motor requerida es

$$P_{mecánica} = 44,71 Nm \times 0,55 rad/s$$

$$P_{mecánica} = 24,60 W$$

Potencia eléctrica requerida

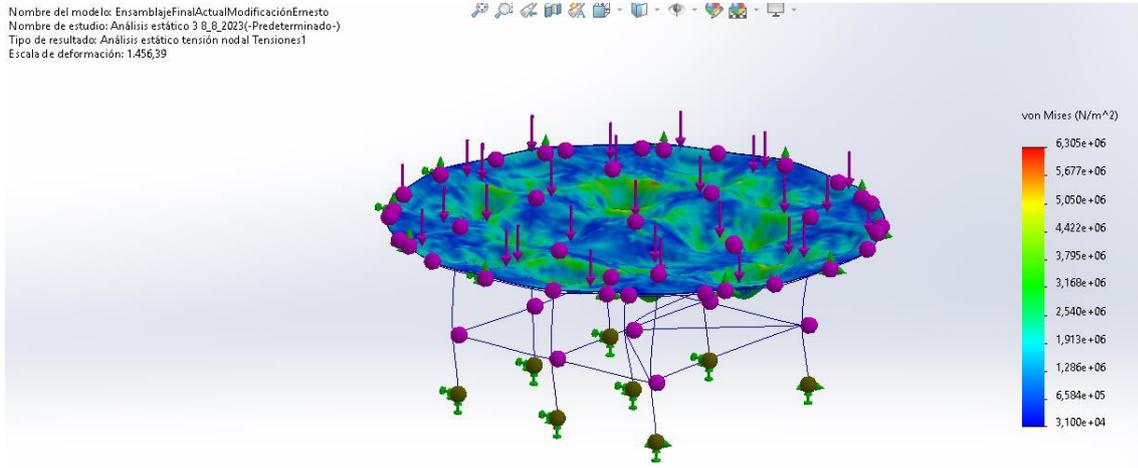
La potencia eléctrica se obtiene al dividir la potencia anterior por una eficiencia.

$$P_{eléctrica} = \frac{P_{mecánica}}{\eta} = \frac{24,60 W}{0,85} = 28,94 W \approx 0,04 Hp$$

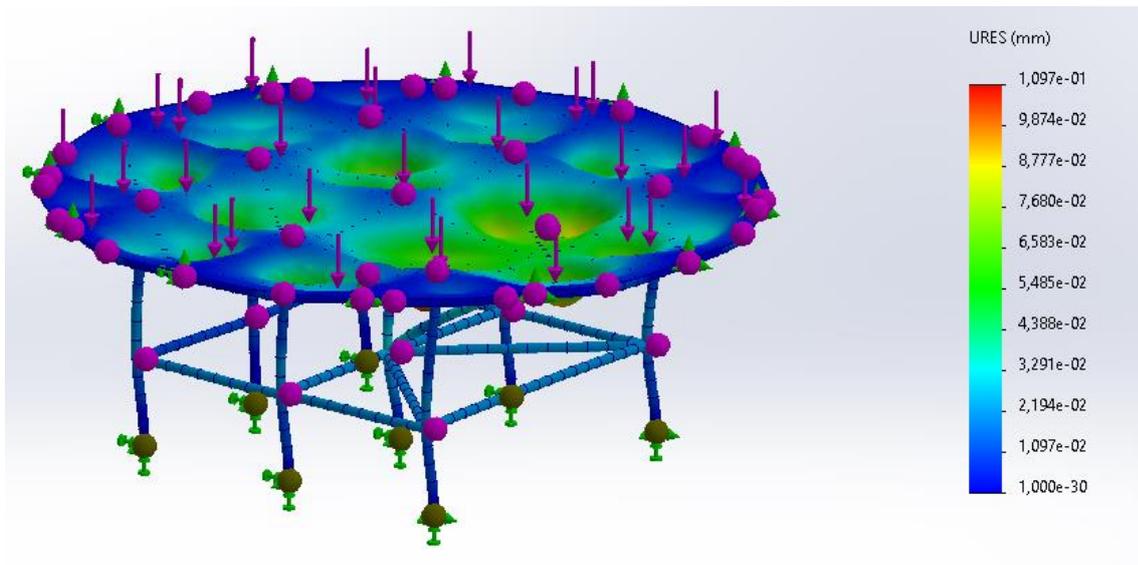
Apéndice C. Simulación

Figura C1

Esfuerzos de von mises en estructura de cama

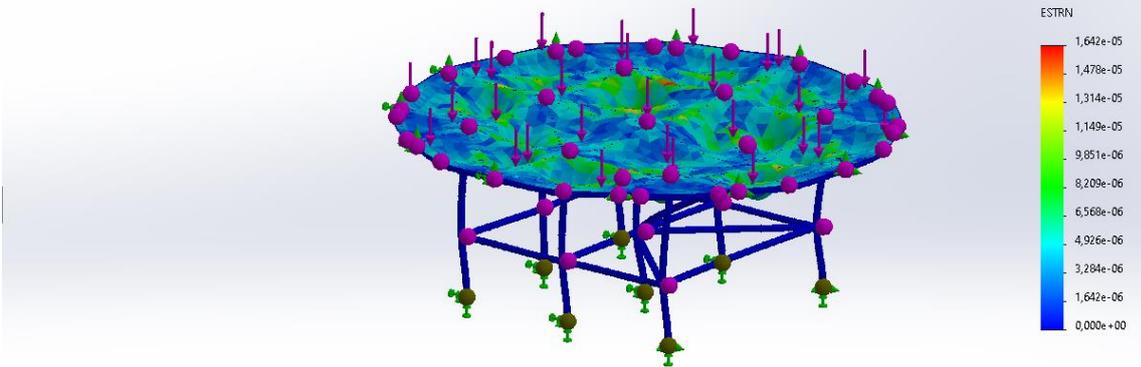


Desplazamientos de la estructura



Deformaciones de la cama.

Nombre del modelo: EnsamblajeFinalActualModificaciónErnesto
Nombre de estudio: Análisis estático 3_8_8_2023(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
Escala de deformación: 1.456,39



Factor de seguridad de la estructura de cama

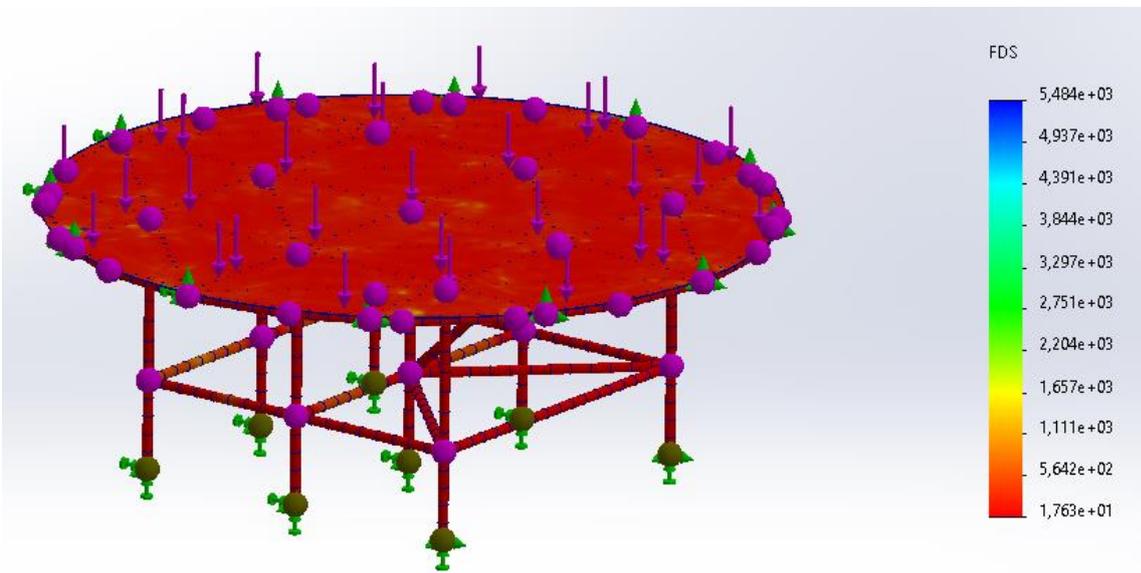


Diagrama de cortantes

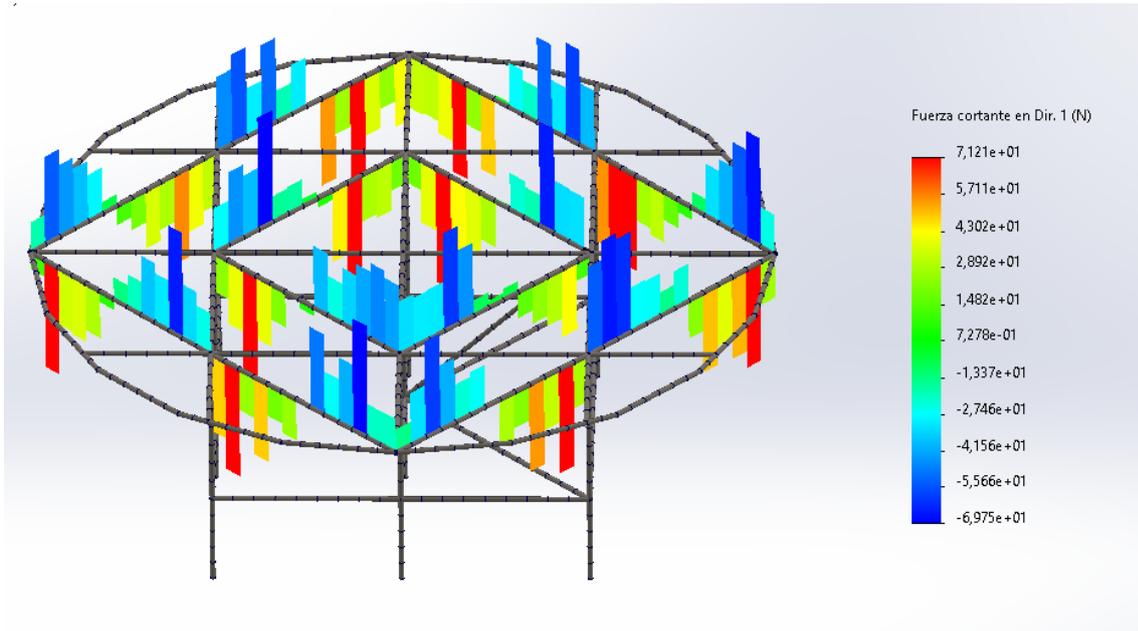
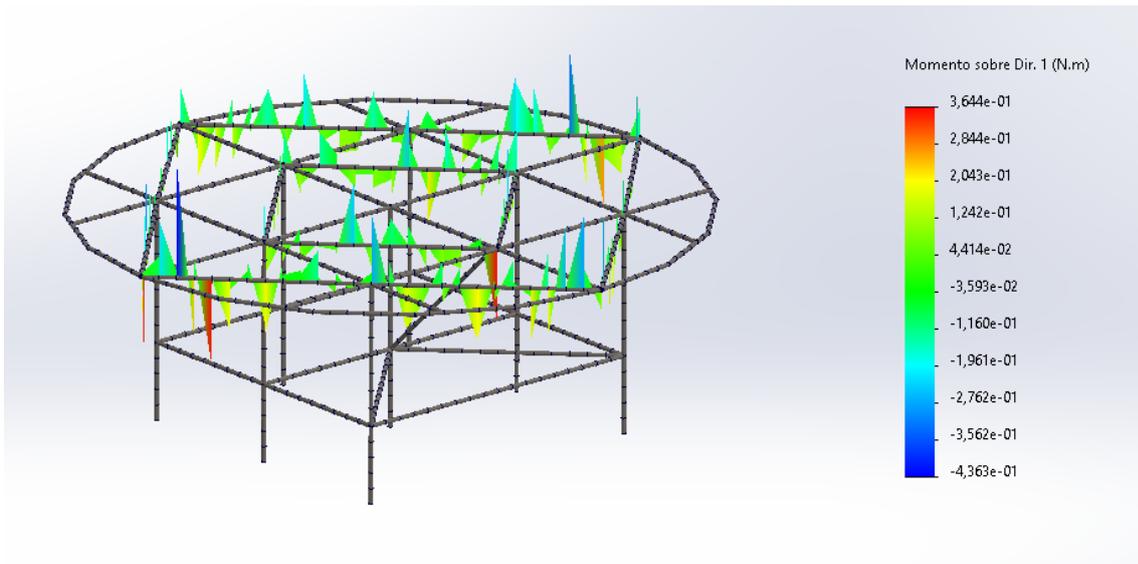


Diagrama de momento flector.



Dilatación de la plancha de acero con 100°C 1.1 espesor

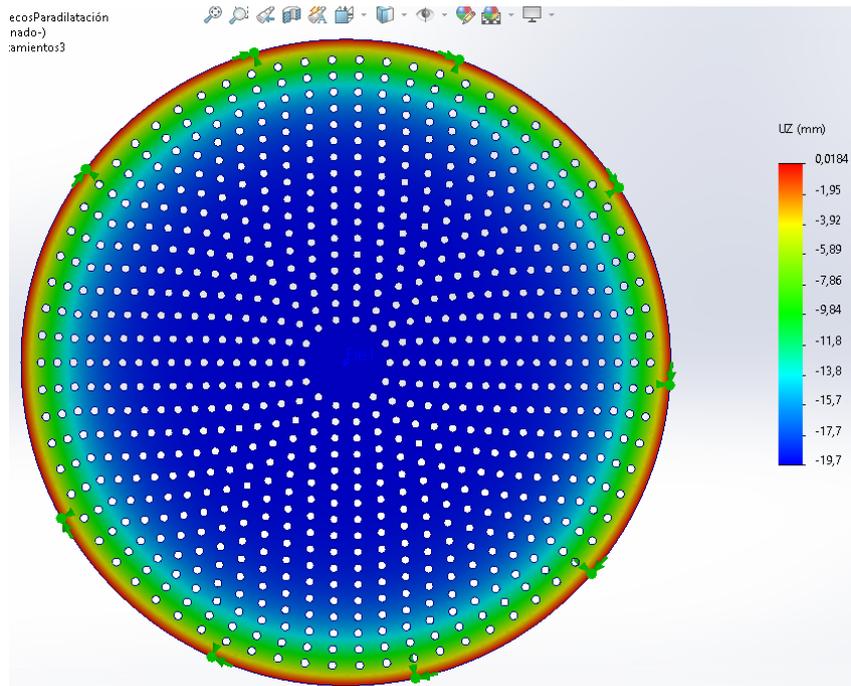


Figura C2

Dilatación de la plancha de acero perforada 100°C con 1.5 mm

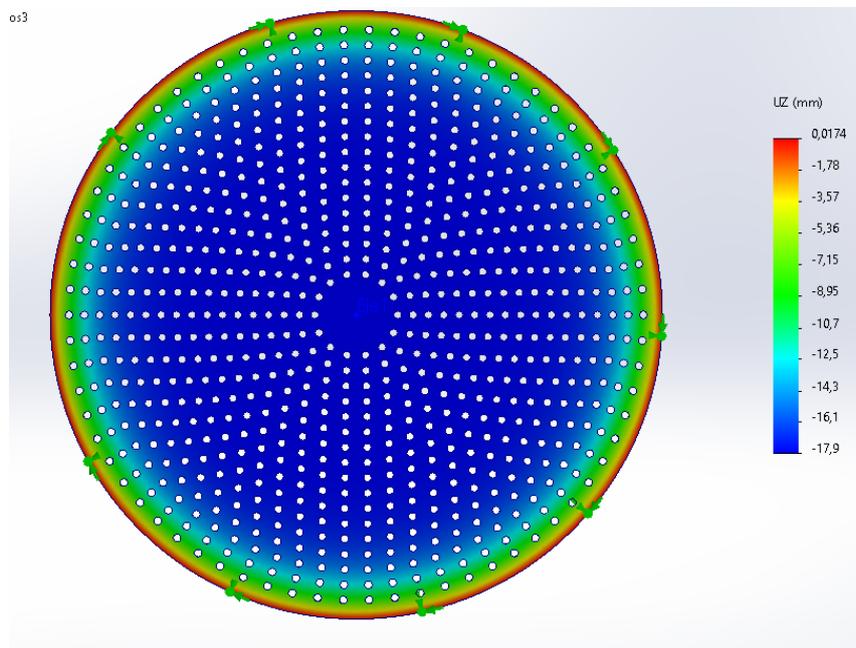


Figura C3

Propiedades del aire a 25°C

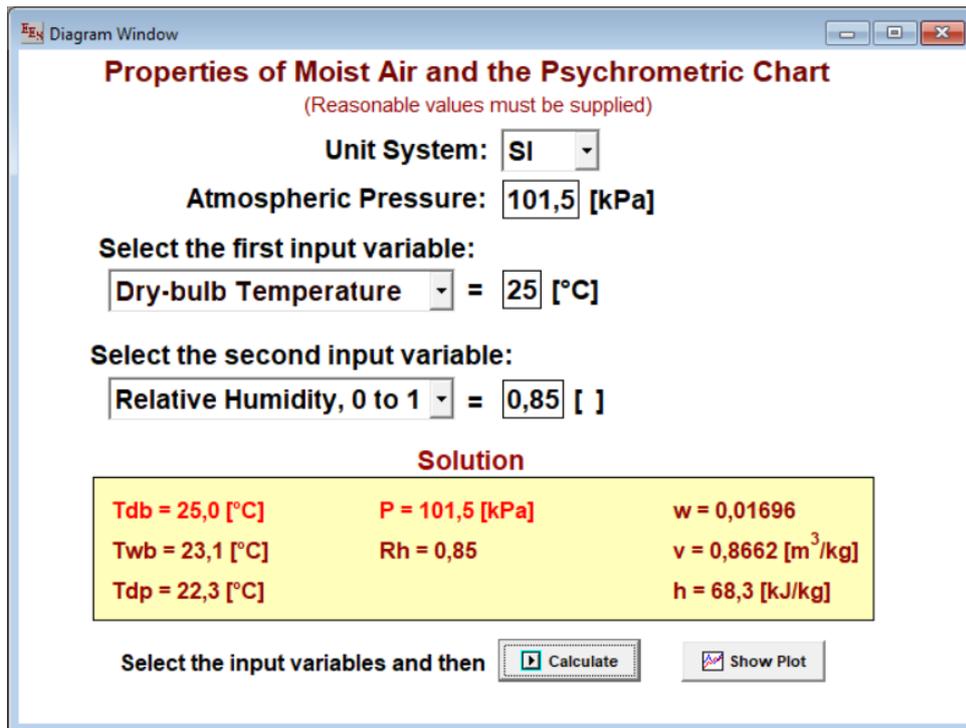


Figura C4

Carta psicométrica del aire al ingreso del quemador

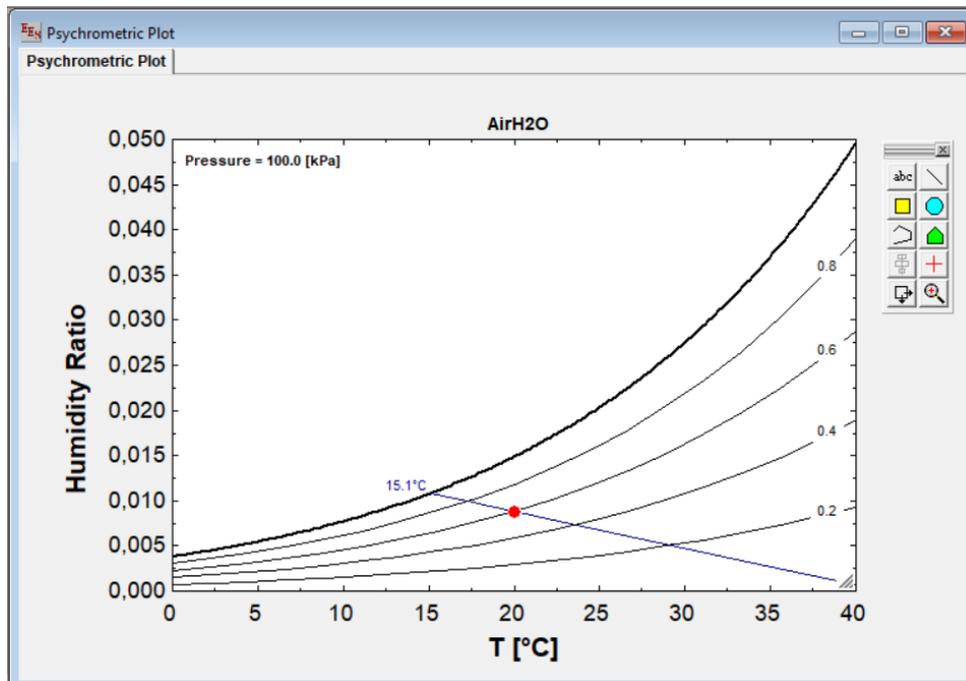


Figura C5

Propiedades del aire a 45°C

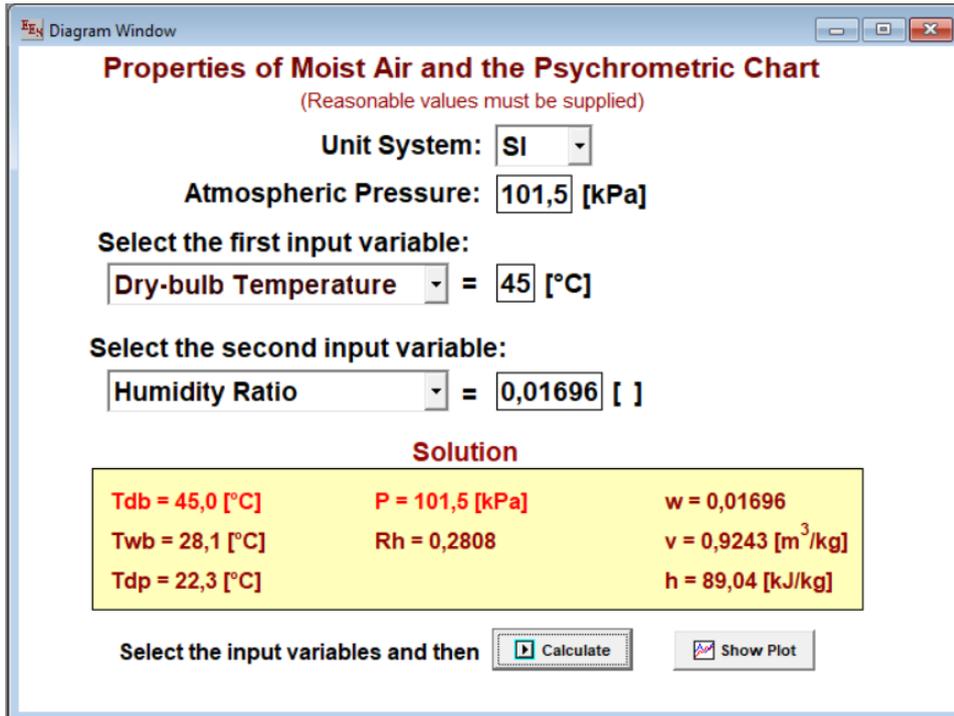
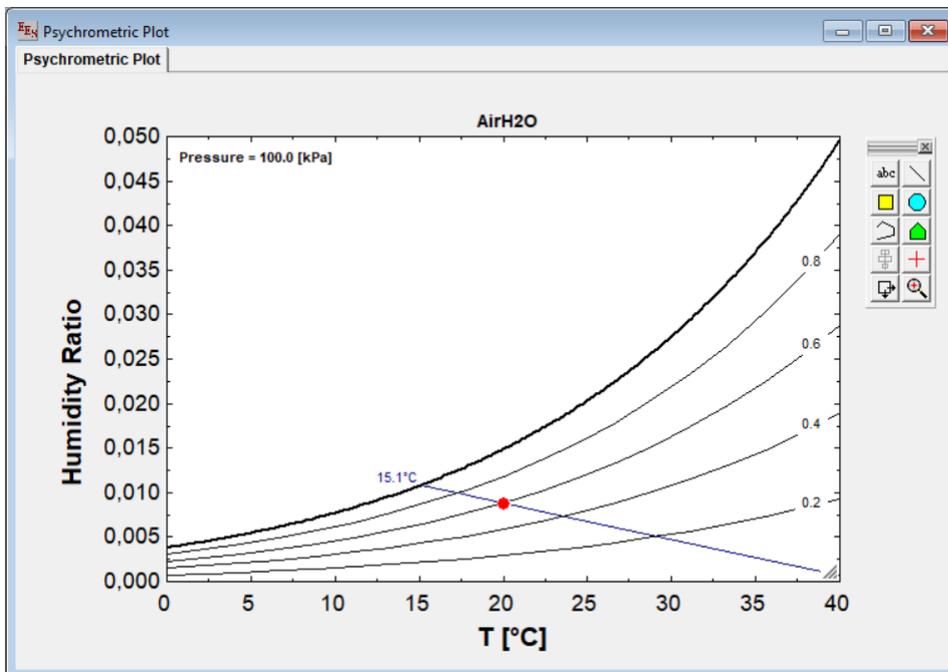


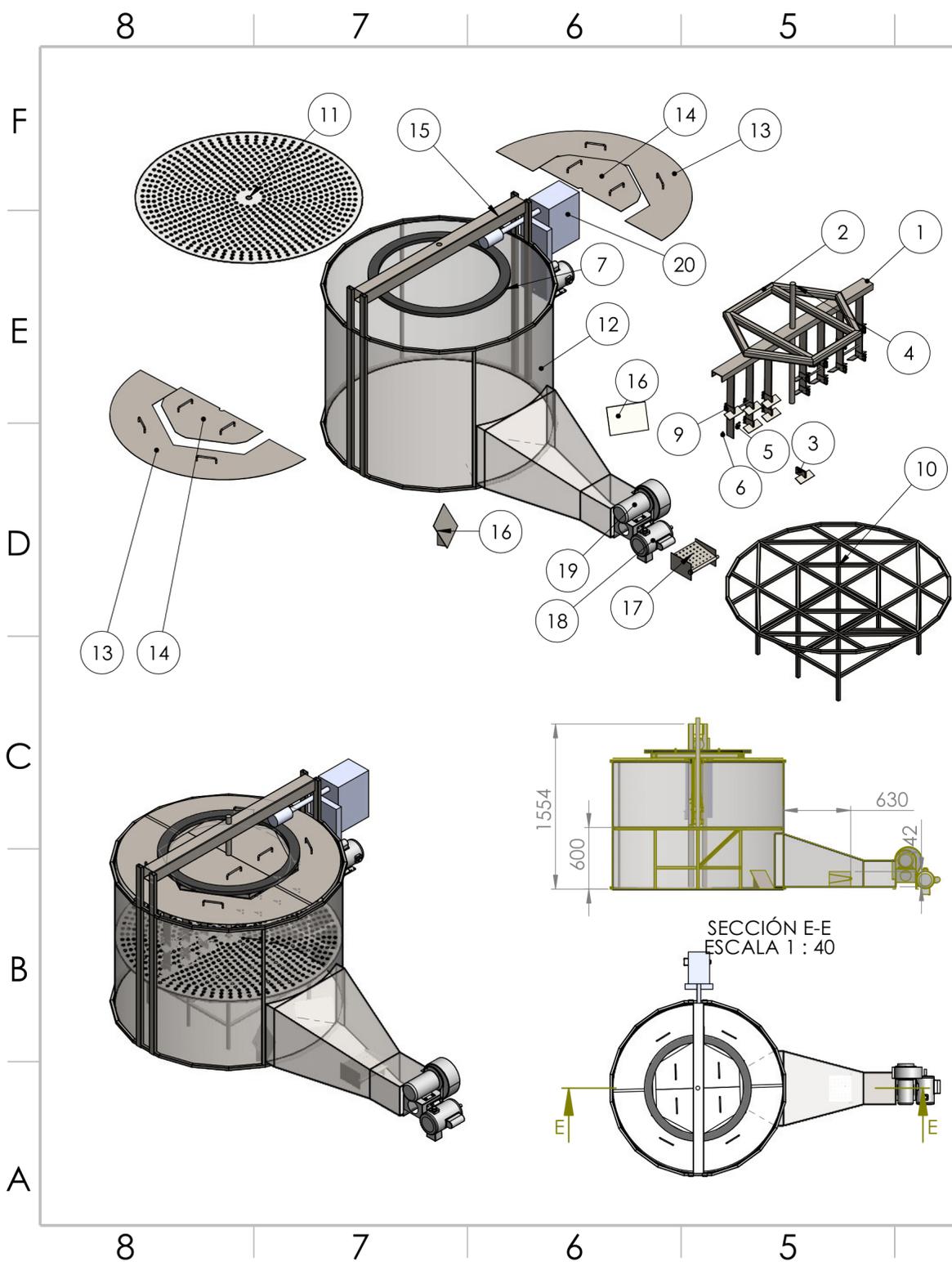
Figura C6

Carta psicométrica del aire a la salida del quemador



Apéndice D. Planos

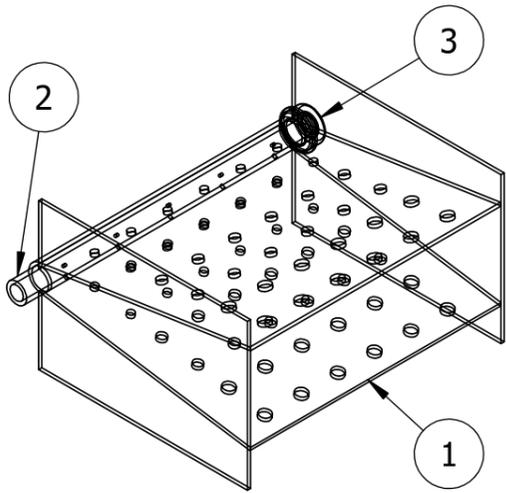
En esta sección se muestran los planos de los elementos requeridos para su construcción.



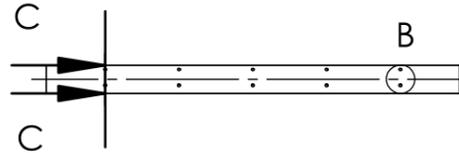
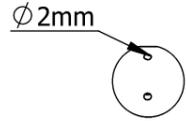
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Ensamblaje Eje mezclador		1
2	Cuadrante Eje mezclador		1
3	Paletas mezcladoras	Ver plano	14
4	EjeRemovedor	Ver plano	1
5	ISO 4018 - M6 x 30- WN		14
6	ISO - 4161 - M6 - N		14
7	Corona de dientes cónicos		1
8	ISO 4018 - M6 x 30- WN		14
9	ISO - 4161 - M6 - N		14
10	cama estructural solución alternativa estudio deformación	Ver plano	1
11	Camaperforadac on pocoshuecos	Ver plano	1
12	MaquinaSecadora UnaSolaPieza	Ver plano	1
13	Tapa externa rodete secador	Ver plano	2
14	Tapa interna de rodete del secador	Ver plano	2
15	Tanque de secador	Ver plano	1
16	Aletas de calor para cama 60°	Ver plano	2
17	Ensamblaje Quemador Creador en Taller	Ver plano	1
18	5990K109	Base-Mount AC Motor	2
19	1963K13	Blower	1
20	Sistema Transmisión		1

DISEÑADO POR:	CRISTHIAN MACAY		
DIBUJADO POR:	EDGAR VERA		
APROBADO POR:	ING. ERNESTO MARTINEZ		
	MATERIAL:	Título:	
		TOSTADOR/SECADOR	A3
	MAZA: 400 kg	ESCALA: 1:100	HOJA 1 DE 1

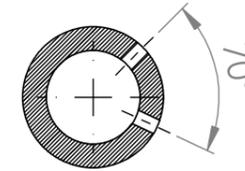
espol Escuela Superior Politécnica del Litoral



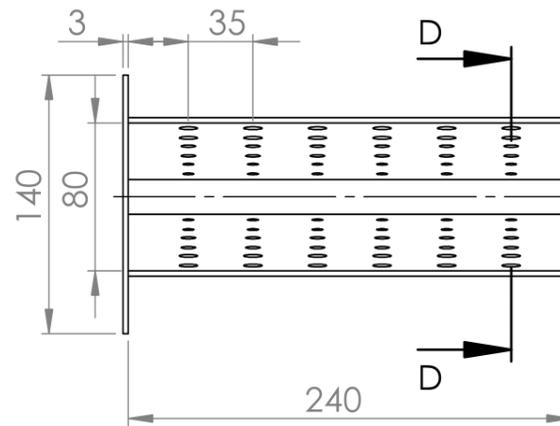
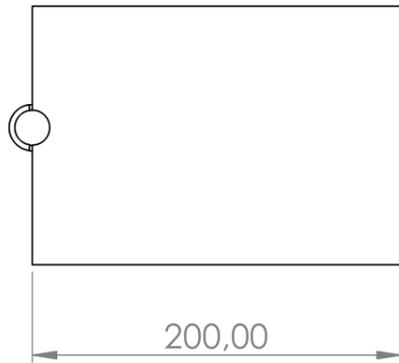
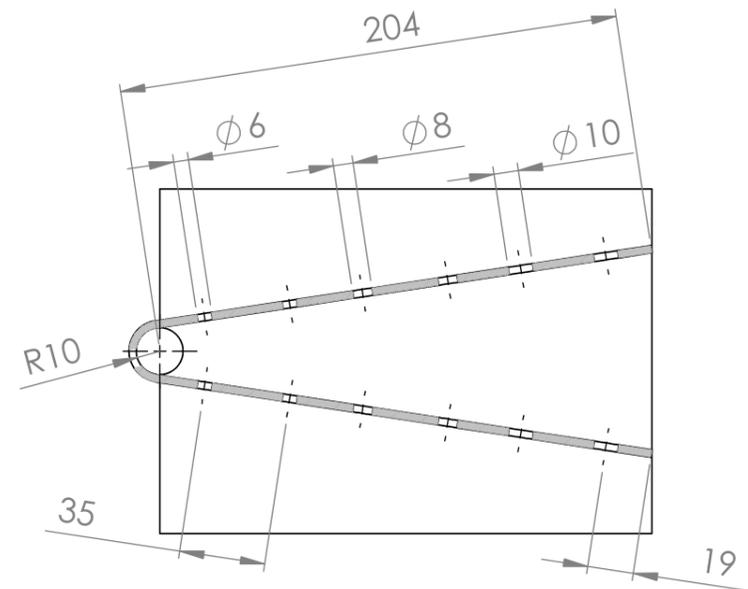
DETALLE B
ESCALA 1 : 2



SECCIÓN C-C
ESCALA 1 : 1



SECCIÓN D-D
ESCALA 1 : 3



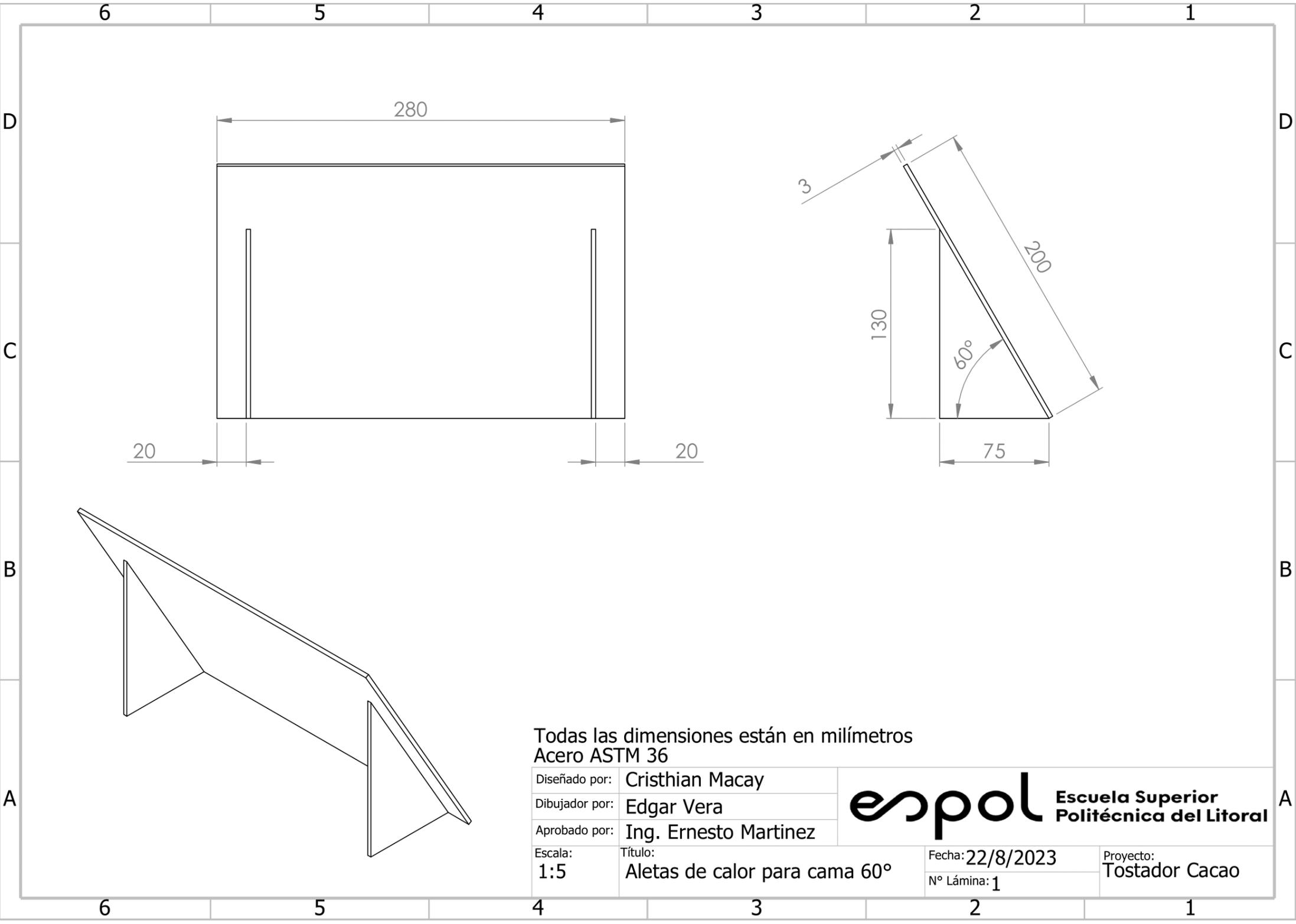
N.º	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Cubrimento del quemador	ACERO ASTM A36	1
2	Tubo galvanizado interior	1/2" Roscado en extremos	1
3	Tapon de quemador	1/2"	1

Diseñado por:	Cristhian Macay
Dibujador por:	Edgar Vera
Aprobado por:	Ing. Ernesto Martinez
Escala:	Título: Quemador

espol Escuela Superior
Politécnica del Litoral

Fecha: 20/08/2023
Nº Lámina: 3

Proyecto:
Tostador / Secador

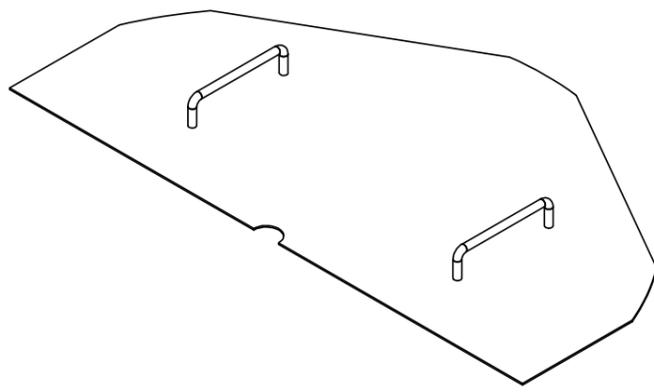
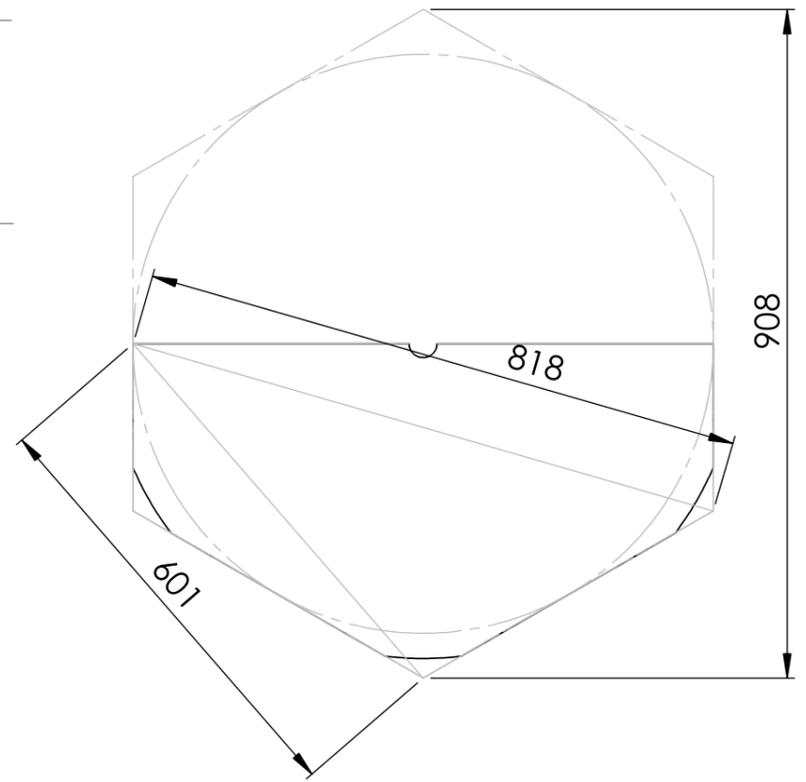
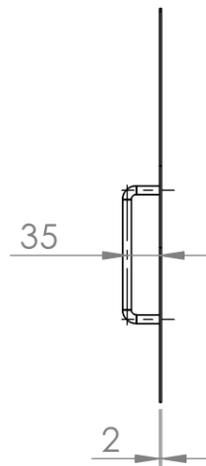
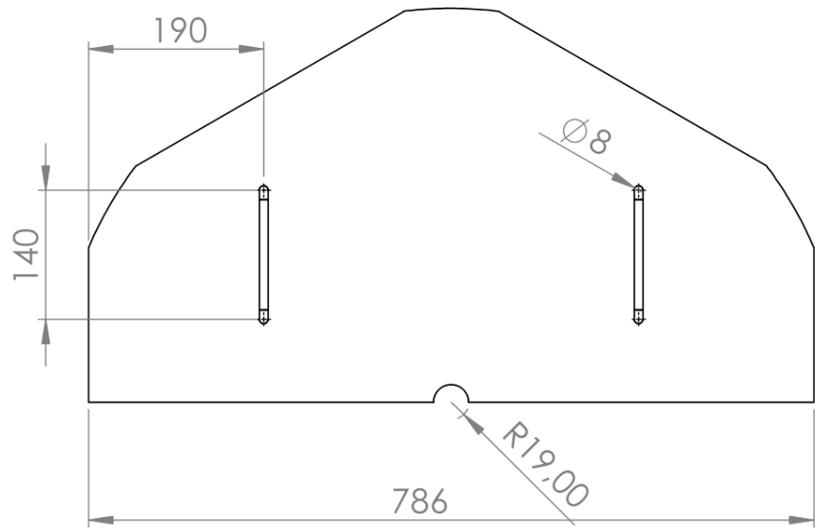


Todas las dimensiones están en milímetros
 Acero ASTM 36

Diseñado por:	Cristhian Macay
Dibujador por:	Edgar Vera
Aprobado por:	Ing. Ernesto Martinez



Escala: 1:5	Título: Aletas de calor para cama 60°	Fecha: 22/8/2023	Proyecto: Tostador Cacao
		N° Lámina: 1	



Todas las dimensiones estan en mm

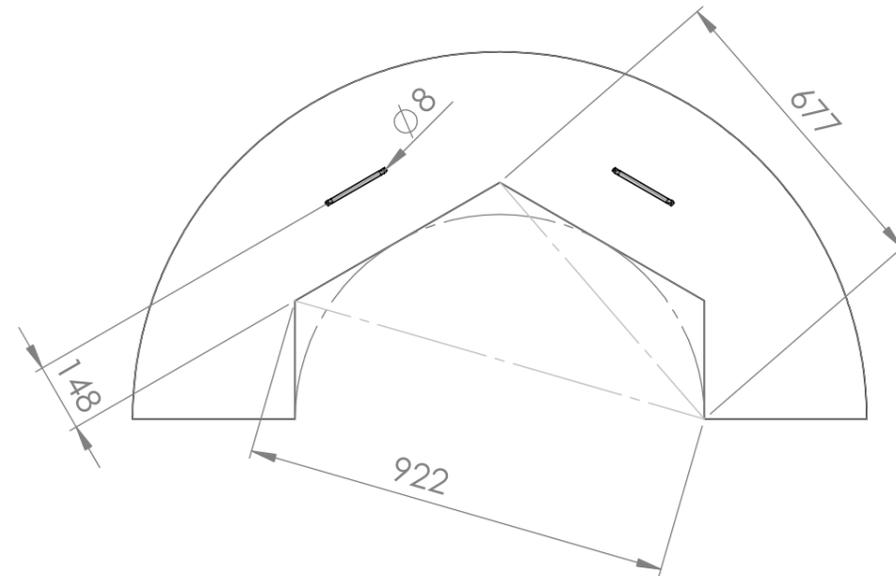
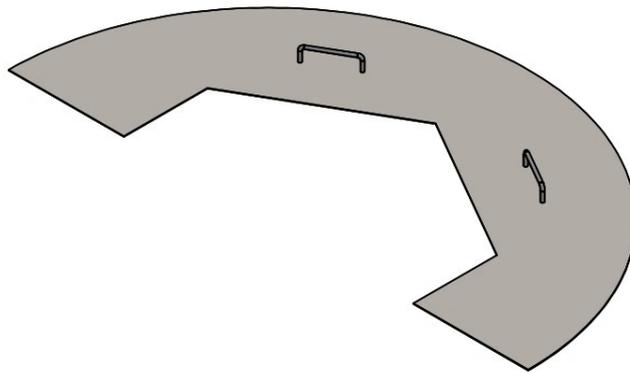
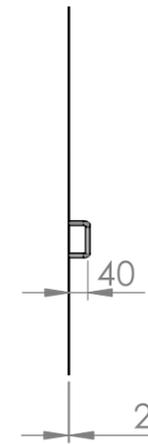
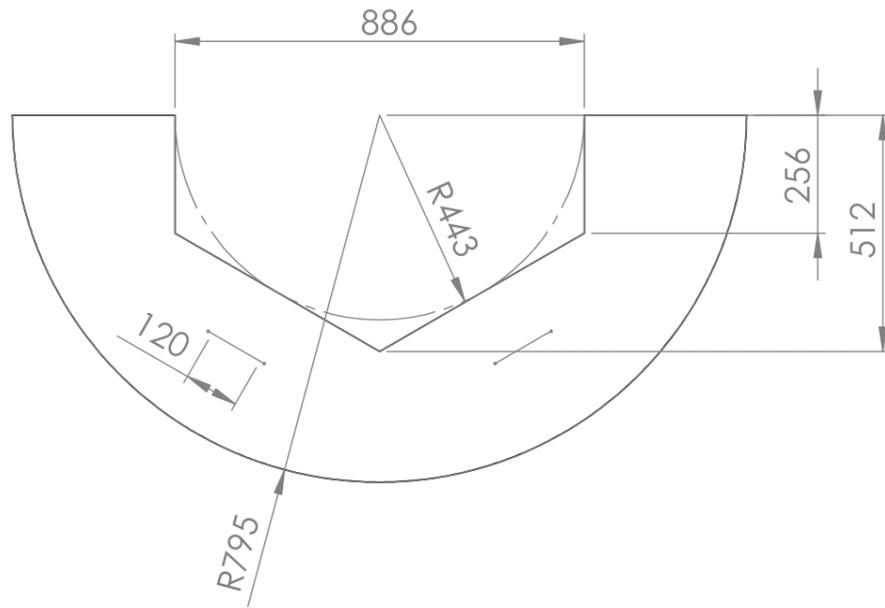
Diseñado por:	Cristhian Macay
Dibujador por:	Edgar Vera
Aprobado por:	Ing. Ernesto Martinez
Escala:	Título:
1:8	Tapa Superior interna

espol Escuela Superior
Politécnica del Litoral

Material: ACERO ASTM A36

Proyecto:
Tostador/Secador

N° Lámina: 2



Diseñado por:	Cristhian Macay
Dibujador por:	Edgar Vera
Aprobado por:	Ing. Ernesto Martinez
Escala:	Título:
1:16	Tapa superior externa

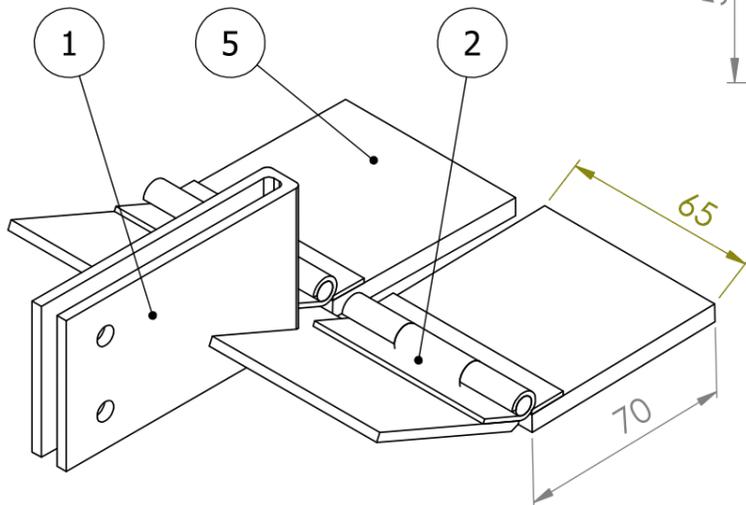
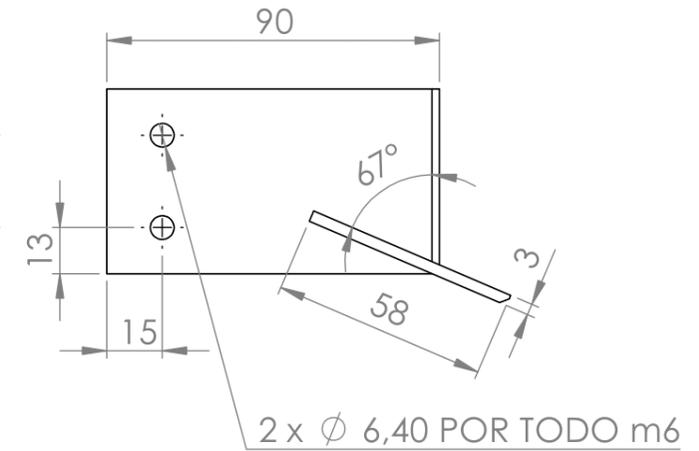
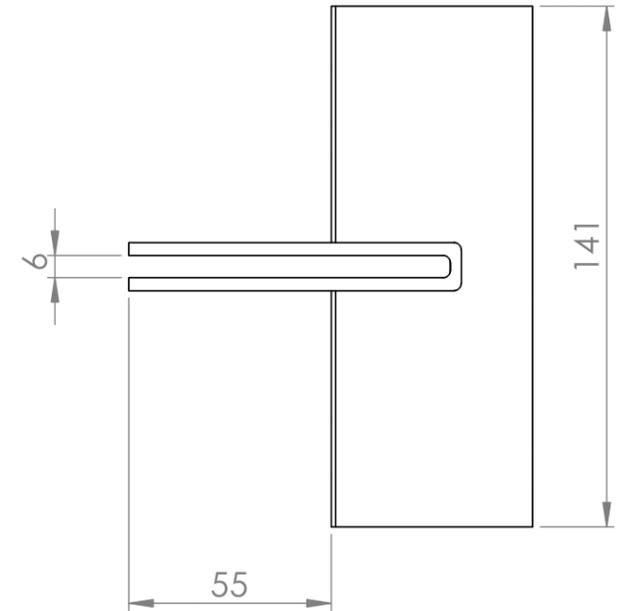
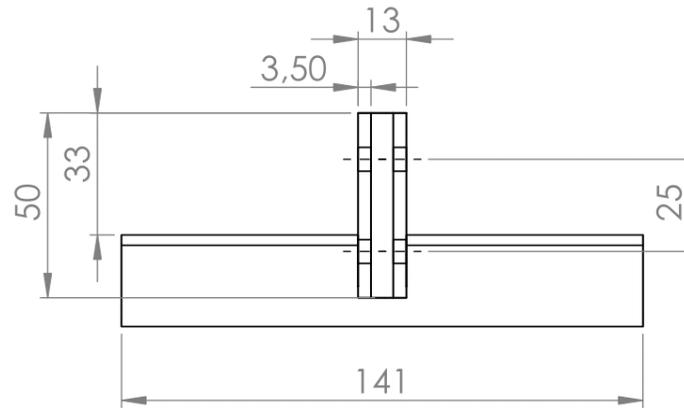
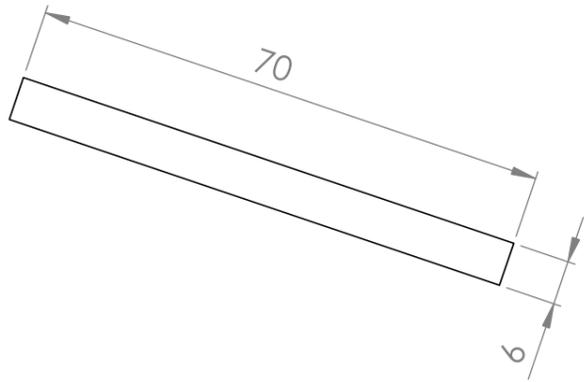
espol Escuela Superior
Politécnica del Litoral

Material: ACERO ASTM A 36
N° Lámina: 3

Proyecto:
Tostador/Secador

Todas las dimensiones estan en mm

N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	PaletasRemovedoras	Ver plano	1
2	Bisagras	65 X 15 X 1.5	2
5	Cuña para paleta	Material blando	2



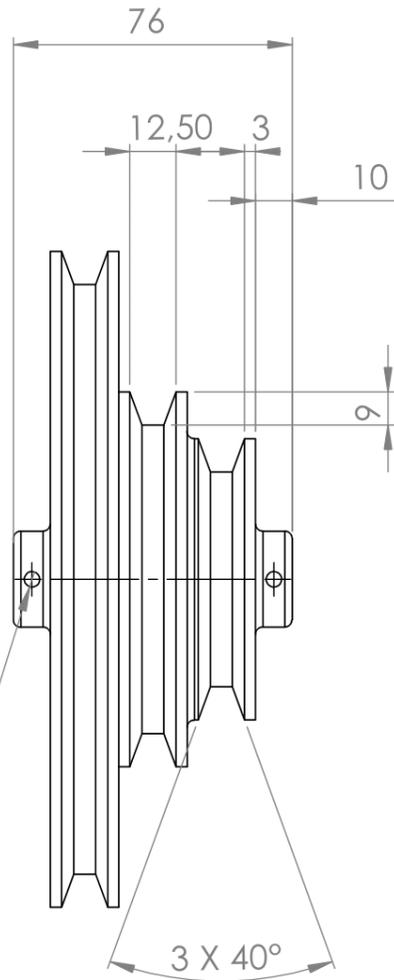
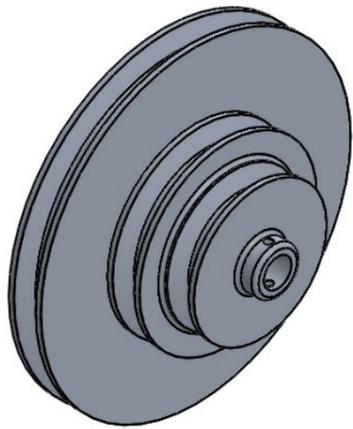
Todas las dimensiones están en mm

Diseñado por:	Cristhian Macay
Dibujador por:	Edgar Vera
Aprobado por:	Ing. Ernesto Martinez
Escala:	Título:
1:2	Paletas removedoras

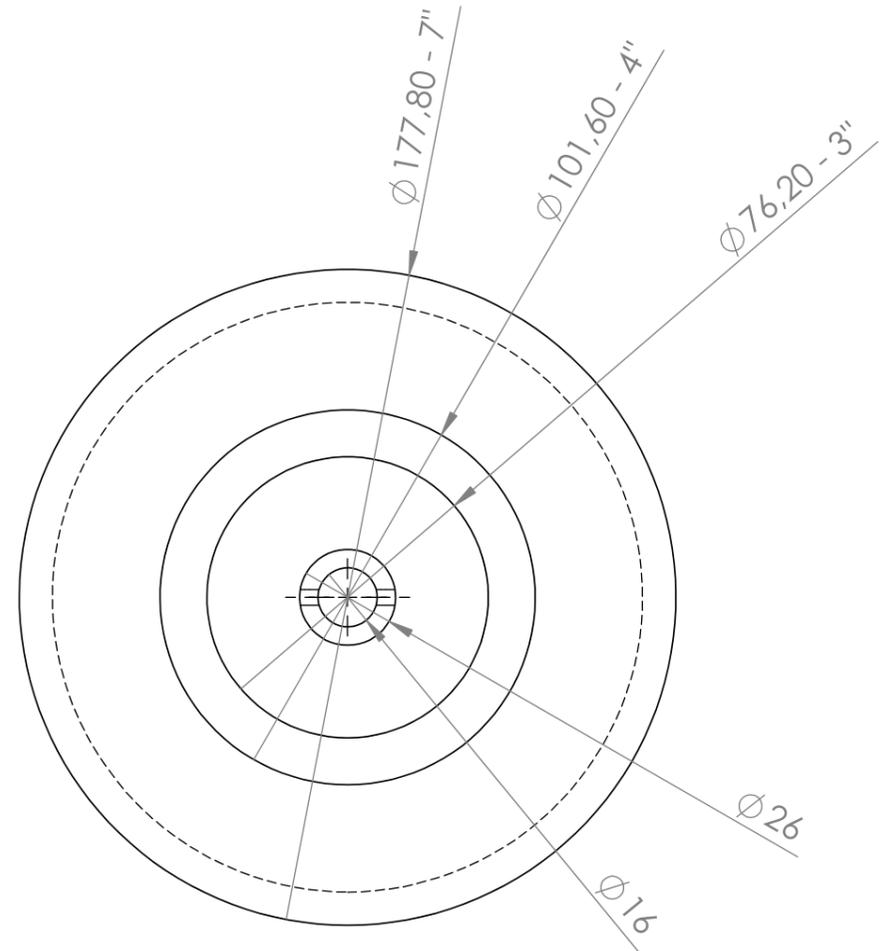
espol Escuela Superior
Politécnica del Litoral

Material: ACERO ASTM A36
Nº Lámina: 4

Proyecto:
Tostador/Secador



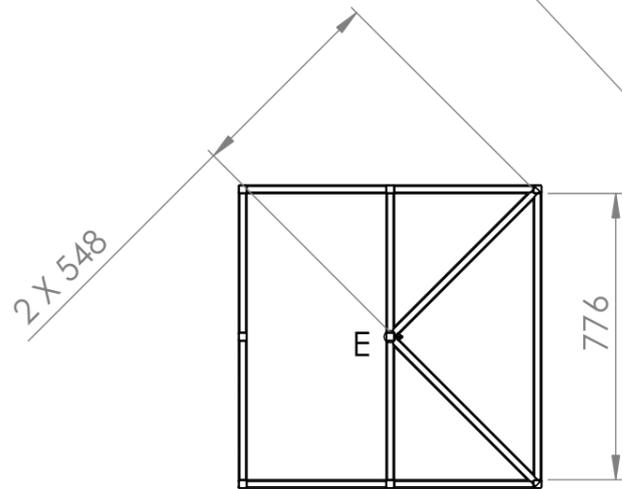
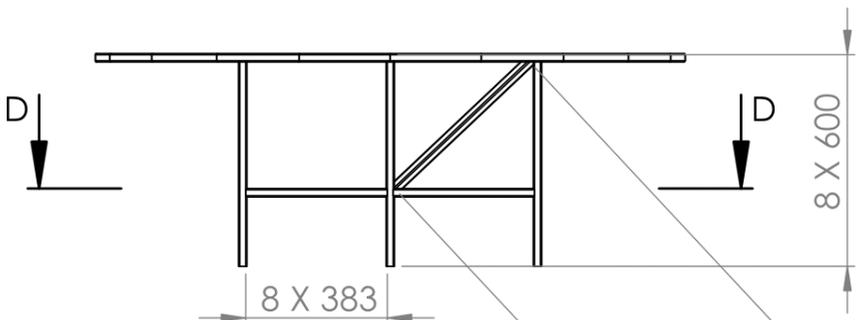
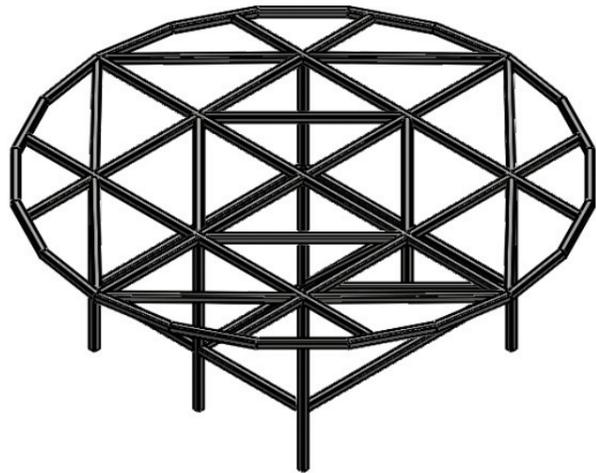
4 x \varnothing 4,20 POR TODO M5



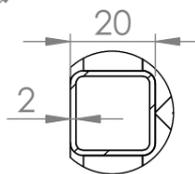
Diseñado por:	Cristhian Macay
Dibujador por:	Edgar Vera
Aprobado por:	Ing. Ernesto Martinez
Escala:	Título:
1:2	Polea múltiple 3" - 4" - 7"

espol Escuela Superior
Politécnica del Litoral

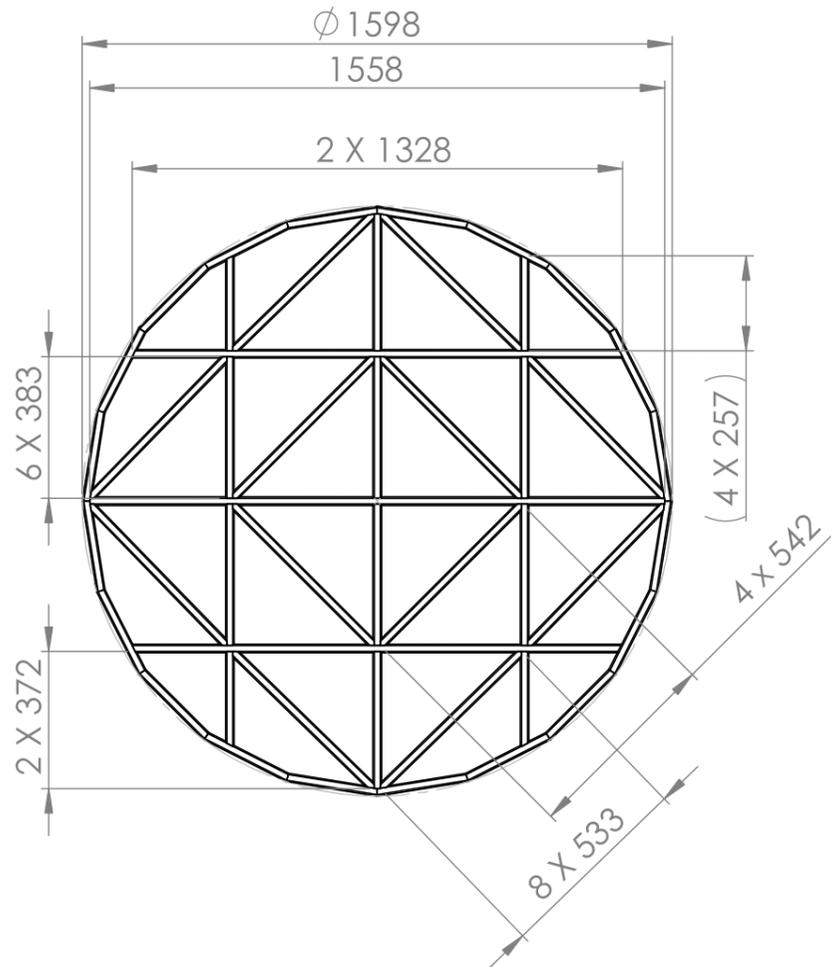
Material: Aluminio 1060	Proyecto:
Nº Lámina: 5	Tostador/Secador



SECCIÓN D-D



DETALLE E
ESCALA 1 : 2



Longitud total corresponde a 29.9 metros, se necesitan aproximadamente 5 tubos estructurales de 20 X 20 X 2.

Diseñado por:	Cristhian Macay
Dibujador por:	Edgar Vera
Aprobado por:	Ing. Ernesto Martinez
Escala:	Título:
1:20	Estructura de soporte de cama

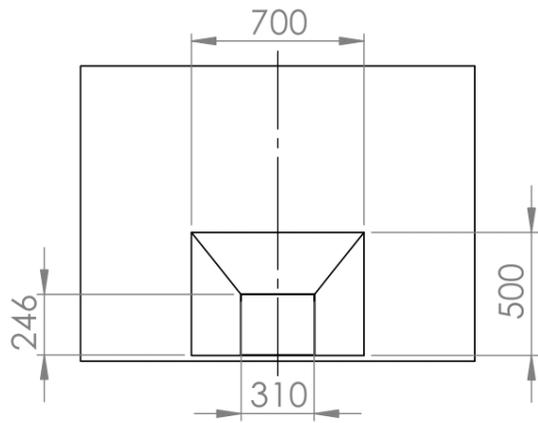
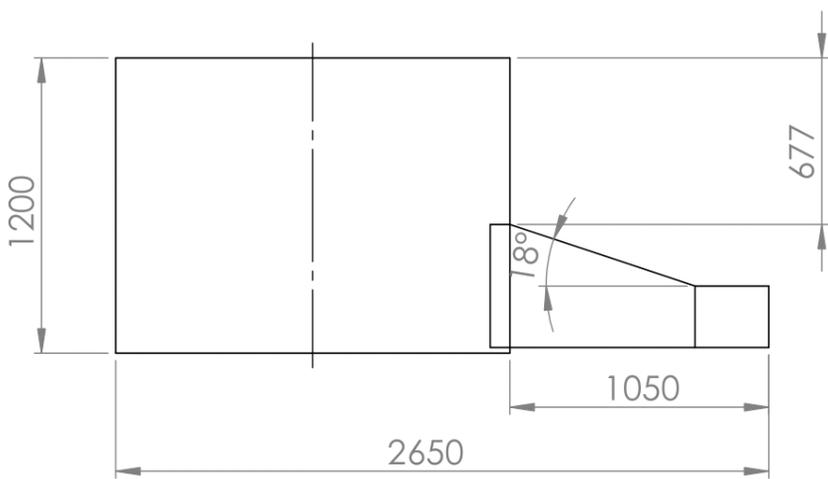
espol Escuela Superior
Politécnica del Litoral

Material: Acero ASTM A36	Proyecto: Tostador/Secador
Nº Lámina: 7	

6 5 4 3 2 1

D

D

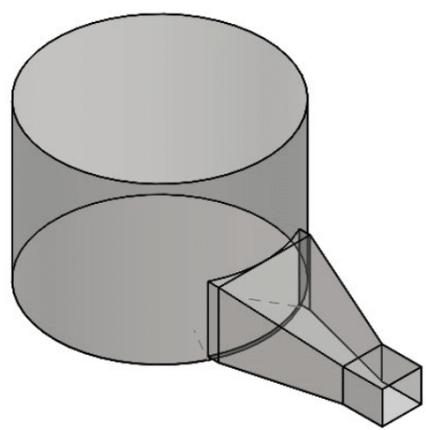
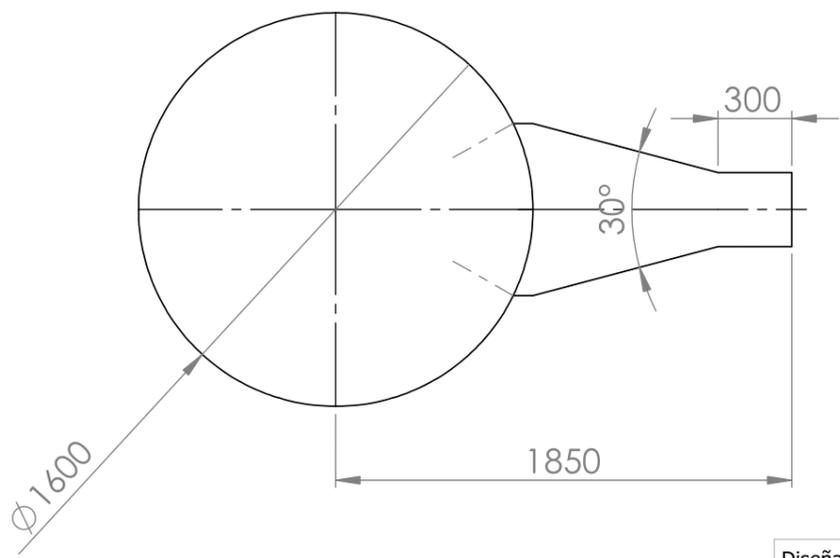


C

C

B

B



A

A

Diseñado por: Cristhian Macay
 Dibujador por: Edgar Vera
 Aprobado por: Ing. Ernesto Martinez

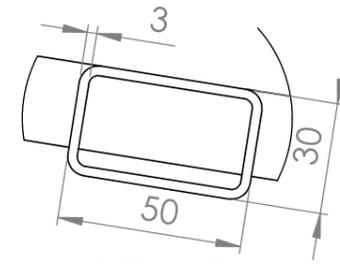
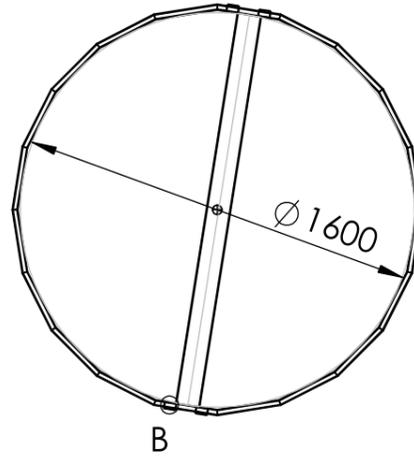
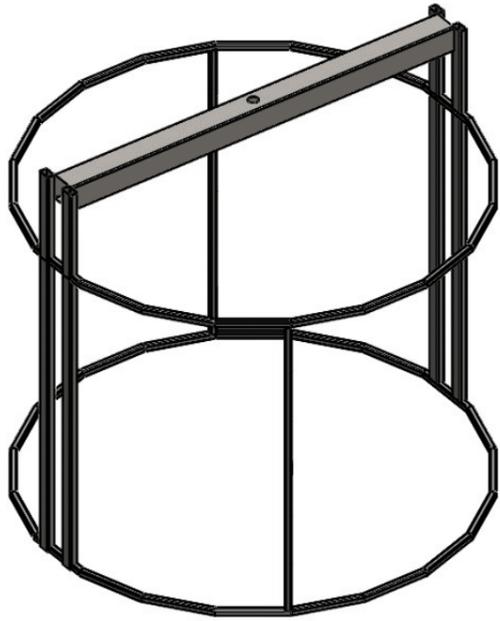
Escala: 1:30
 Título: Tanque y tolva de quemador

espol Escuela Superior
 Politécnica del Litoral

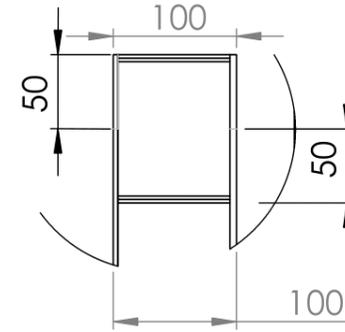
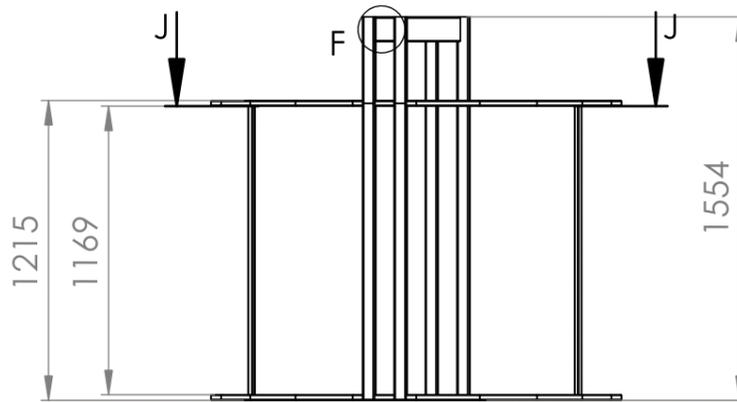
Material: Acero Inox 304
 Acero ASTM A36 PLANCHA
 N° Lámina: 5

Proyecto: Tostador/Secador

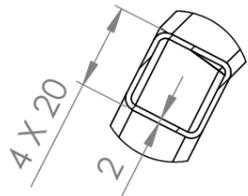
6 5 4 3 2 1



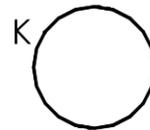
DETALLE B
ESCALA 1 : 2



DETALLE F
ESCALA 1 : 5



DETALLE K
ESCALA 1 : 2



SECCIÓN J-J
ESCALA 1 : 100

Diseñado por:	Cristhian Macay
Dibujador por:	Edgar Vera
Aprobado por:	Ing. Ernesto Martinez
Escala:	Título:
1:30	Tanque y tolva de quemador

espol Escuela Superior
Politécnica del Litoral

Material: Acero ASTM A 36	Proyecto:
N° Lámina: 8	Tostador/Secador