



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MECÁNICA

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA TOSTADORA
DE CAFÉ CON CAPACIDAD DE 3 KG UTILIZANDO UNA
FUENTE ENERGÉTICA DE BIOMASA (PELLETS)**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO MECÁNICO

AUTOR:

VÍCTOR MANUEL COELLO OCHOA

Riobamba – Ecuador

2023



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MECÁNICA

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA TOSTADORA
DE CAFÉ CON CAPACIDAD DE 3 KG UTILIZANDO UNA
FUENTE ENERGÉTICA DE BIOMASA (PELLETS)**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO MECÁNICO

AUTOR: VÍCTOR MANUEL COELLO OCHOA

DIRECTOR: Ing. FERNANDO MAURICIO TELLO OQUENDO, PhD

Riobamba – Ecuador

2023

© 2023, Víctor Manuel Coello Ochoa

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho del Autor.

Yo, VÍCTOR MANUEL COELLO OCHOA, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 15 de junio de 2023

A handwritten signature in blue ink. The name 'VICTOR' is written in all caps above a horizontal line, and 'ocho' is written below it. A large, stylized flourish or scribble is drawn over the signature.

Víctor Manuel Coello Ochoa

070564258-5

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MECÁNICA

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto Técnico, **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA TOSTADORA DE CAFÉ CON CAPACIDAD DE 3 KG UTILIZANDO UNA FUENTE ENERGÉTICA DE BIOMASA (PELLETS)**, realizado por: **VÍCTOR MANUEL COELLO OCHOA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Edwin Fernando Viteri Núñez PhD. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2023-06-15
Ing. Fernando Mauricio Tello Oquendo PhD. DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-06-15
Ing. Sócrates Miguel Aquino Arroba MSc. ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-06-15

DEDICATORIA

Dedicado a mis padres Wilfrido y Milena quienes han sido mis pilares fundamentales para seguir adelante en mi formación académica, con su sano concejo me apoyaron a lograr mis metas. A mis hermanos por estar presentes durante todo este proceso. De igual manera a mis amigos que han estado presentes dando consejo para continuar forjando mi proyecto Técnico.

Víctor

AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento a mí querida familia que siempre me ofrecieron su apoyo durante todo este proceso, a mis amigos por los momentos compartidos durante la formación en tan prestigiosa carrera, a mi tutor y asesor por su ayuda durante el transcurso de la culminación de mi proyecto de titulación, y finalmente a la ESPOCH que permitió mi desarrollo profesional y ético.

Víctor

INDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xiii
ÍNDICE DE ECUACIONES	xv
ÍNDICE DE ANEXOS	xvii
RESUMEN.....	vi
SUMMARY	vii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	2
1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA	2
1.1. Antecedentes	2
1.2. Formulación del problema	3
1.3. Justificación	3
1.3.1. <i>Justificación teórica</i>	3
1.3.2. <i>Justificación metodológica</i>	3
1.3.3. <i>Justificación económica</i>	3
1.3.4. <i>Justificación social</i>	4
1.4. Objetivo	4
1.4.1. <i>Objetivo general</i>	4
1.4.2. <i>Objetivos específicos</i>	4
CAPÍTULO II	5
2. MARCO TEÓRICO	5
2.1. Tostado de café	5
2.2. Importancia del tostado del café	5
2.3. Máquina tostadora de café	5
2.3.1. <i>Tipos de máquinas de tostado café</i>	6
2.4. Tipos de café	7
2.4.1. <i>Café robusto</i>	7
2.4.2. <i>Café arábico</i>	8
2.5. Propiedades de tostado	8
2.5.1. <i>Color agron</i>	8
2.5.2. <i>Temperatura de tostado</i>	9

2.5.3.	<i>Tiempo de tostado</i>	10
2.5.4.	<i>Humedad de café</i>	10
2.6.	Estadísticas del café en Ecuador	10
2.7.	Transferencia de calor	11
2.7.1.	<i>Conducción</i>	12
2.7.2.	<i>Convección</i>	12
2.8.	Combustibles	12
2.8.1.	<i>Combustible GLP</i>	12
2.8.2.	<i>Combustible pellets</i>	13
CAPÍTULO III		16
3.	MARCO METODOLÓGICO	16
3.1.	Definición del producto	16
3.2.	Metodología del diseño	16
3.3.	Casa de la calidad Q.F.D	17
3.3.1.	<i>Requerimientos del usuario</i>	17
3.3.2.	<i>Requerimientos técnicos</i>	18
3.3.3.	<i>Análisis de competitividad</i>	19
3.3.4.	<i>Evaluación Técnica</i>	20
3.3.5.	<i>Compromisos técnicos</i>	21
3.3.6.	<i>Análisis de competencias</i>	21
3.3.7.	<i>Despliegue de la función de calidad (QFD)</i>	23
3.3.8.	<i>Evaluación de la estructura funcional</i>	24
3.3.9.	<i>Definición de módulos</i>	25
3.3.10.	<i>Matriz morfológica</i>	26
3.3.11.	<i>Método ordinal corregido de criterios ponderados</i>	28
3.4.	Diseño de materialización	31
3.4.1.	<i>Selección de las características de pellets</i>	32
3.4.2.	<i>Diseño de la cámara de cocción</i>	32
3.4.3.	<i>Analizar la transferencia de calor en la cámara de cocción</i>	36
3.4.4.	<i>Diseño de la cámara de combustión</i>	40
3.4.5.	<i>Diseño de elementos de máquina</i>	44
3.4.6.	<i>Selección de rodamientos</i>	48
3.5.	Instrumentos de medición de temperatura (termocuplas)	49
3.6.	Sistema de control	50

3.6.1.	<i>Controlador de temperatura</i>	50
3.6.2.	<i>Contactador 110 V</i>	51
3.6.3.	<i>Fuente de voltaje</i>	51
3.6.4.	<i>Temporizador</i>	51
3.7.	Construcción del prototipo	51
3.7.1.	<i>Equipos y herramientas</i>	51
3.8.	Pruebas de validación del tostado de café	52
CAPÍTULO IV		54
4.	RESULTADOS	54
4.1.	Selección de las características de pellets	54
4.2.	Diseño térmico para el tostado de café	54
4.2.1.	<i>Diseño de la cámara de cocción</i>	54
4.2.2.	<i>Diseño de la cámara de combustión</i>	64
4.3.	Diseño de elementos de máquina	68
4.3.1.	<i>Cálculo de la potencia de motor</i>	68
4.3.2.	<i>Dimensionamiento del eje del cilindro de tostado</i>	68
4.3.3.	<i>Diseño de árboles y ejes según el ASME B106,1M</i>	70
4.3.4.	<i>Selección de rodamiento (chumaceras)</i>	73
4.3.5.	<i>Selección del motor</i>	74
4.4.	Diseño estructural de soporte de máquina	74
4.4.1.	<i>Simulación de estructura</i>	74
4.5.	Selección de termocuplas	76
4.6.	Sistema de control del prototipo	78
4.6.1.	<i>Resistencia eléctricas</i>	78
4.6.2.	<i>Motor de alimentación de pellets</i>	79
4.6.3.	<i>Motor de ventilación:</i>	80
4.6.4.	<i>Motor del tambor:</i>	81
4.6.5.	<i>Instrumentos controladores de temperatura</i>	81
4.7.	Construcción del prototipo	84
4.7.1.	<i>Ensamblaje</i>	84
4.7.2.	<i>Pruebas preliminares</i>	85
4.8.	Ensayos de tostado	88
4.8.1.	<i>Ensayo 1</i>	88
4.8.2.	<i>Ensayo 2</i>	90

4.8.3.	<i>Ensayo 3</i>	93
4.8.4.	<i>Ensayo 4</i>	95
4.9.	Análisis de costos	98
4.9.1.	<i>Costos directos</i>	98
4.9.2.	<i>Costos indirectos</i>	98
4.9.3.	<i>Costos de la máquina tostadora de café</i>	99
4.9.4.	<i>Análisis de tasa interna de retorno TIR</i>	99
4.10.	Propuesta de mejora	101
	CONCLUSIONES	103
	RECOMENDACIONES	104
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1–2:	Tipos de tostado	9
Tabla 2–2:	Propiedades del pellet de pino	13
Tabla 1–3:	Requerimientos del usuario	18
Tabla 2–3:	Requerimientos técnicos	18
Tabla 3–3:	Características de máquina tostadora de café (KUBAN).....	22
Tabla 4–3:	Características de máquina tostadora de café (DINATEK)	22
Tabla 5–3:	Evaluación del peso específico de cada criterio.....	29
Tabla 6–3:	Evaluación del peso específico del criterio de eficiencia	29
Tabla 7–3:	Evaluación del peso específico del criterio de temperatura.....	30
Tabla 8–3:	Evaluación del peso específico del criterio de dimensiones	30
Tabla 9–3:	Evaluación del peso específico del criterio de operación	30
Tabla 10–3:	Evaluación de la prioridad de las alternativas.....	31
Tabla 11–3:	Densidades del café	32
Tabla 12–3:	Coeficientes de conductividad térmica	36
Tabla 13–3:	Partes constitutivas del quemador de pellets	41
Tabla 14–3:	Límites de deformación permisible	48
Tabla 15–3:	Requerimientos del usuario	48
Tabla 16–3:	Características de termopares (Norma IEC-584-1982).....	50
Tabla 17–3:	Máquinas utilizadas en taller	51
Tabla 18–3:	Requerimientos del usuario	51
Tabla 19–3:	Parámetros de tostado ensayo 1	52
Tabla 20–3:	Parámetros de tostado ensayo 2	52
Tabla 21–3:	Parámetros de tostado ensayo 3	52
Tabla 22–3:	Parámetros de tostado ensayo 4	53
Tabla 1–4:	Dimensiones de tambor	55
Tabla 2–4:	Datos para el análisis de transferencia de calor	57
Tabla 3–4:	Propiedades del aire en el interior del tambor (800 °C).....	58
Tabla 4–4:	Propiedades del aire en el interior del tambor (200 °C).....	58
Tabla 5–4:	Propiedades del aire en el interior del tambor (700 °C).....	60
Tabla 6–4:	Características de coeficientes de conducción y convección.....	64
Tabla 7–4:	Calor en el sistema de tostado.....	64
Tabla 8–4:	Propiedades Mecánicas.....	71
Tabla 9–4:	Termocupla tipo J.	77
Tabla 10–4:	Elementos constitutivos de la máquina.....	84

Tabla 11-4: Proceso de torrefacción (min).....	88
Tabla 12-4: Nivel de tueste	89
Tabla 13-4: Proceso de torrefacción (min).....	90
Tabla 14-4: Nivel de tueste	91
Tabla 15-4: Proceso de torrefacción (min).....	93
Tabla 16-4: Nivel de tueste	94
Tabla 17-4: Proceso de torrefacción (min).....	95
Tabla 18-4: Nivel de tueste	96
Tabla 19-4: Costos directos.....	98
Tabla 20-4: Costos indirectos.....	98
Tabla 21-4: Costo total.....	99
Tabla 22-4: Costos fijos	99
Tabla 23-4: Costos variables	99
Tabla 24-4: Costos e ingresos	100

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-2:	Máquina tostadora de café.....	5
Ilustración 2-2:	Máquina tostadora de tambor sólido.....	6
Ilustración 3-2:	Máquina tostadora de lecho fluido.....	7
Ilustración 4-2:	Escala de agtron.....	8
Ilustración 5-2:	Temperatura vs tiempo de tueste.....	9
Ilustración 1-3:	Metodología de diseño de una máquina tostadora de café.....	17
Ilustración 2-3:	Factor de incidencia.....	19
Ilustración 3-3:	Análisis de competitividad.....	19
Ilustración 4-3:	Incidencia del factor de venta.....	20
Ilustración 5-3:	Evaluación Técnica.....	20
Ilustración 6-3:	Incidencia de los compromisos técnicos.....	21
Ilustración 7-3:	Despliegue de la función de calidad.....	23
Ilustración 8-3:	Nivel 0, máquina de tostar café.....	24
Ilustración 9-3:	Máquina tostadora de café.....	24
Ilustración 10-3:	Módulos, máquina tostadora de café.....	26
Ilustración 11-3:	Matriz morfológica.....	27
Ilustración 12-3:	Alternativa ganadora máquina tostadora de café.....	31
Ilustración 13-3:	Vista frontal de tambor de cocción.....	34
Ilustración 14-3:	Vista frontal de máquina tostadora de café.....	37
Ilustración 15-3:	Vista de las temperaturas de tostado.....	37
Ilustración 16-3:	Quemador de pellets.....	41
Ilustración 17-3:	Sección transversal del tambor de cocción.....	45
Ilustración 18-3:	Diagrama de cuerpo libre.....	46
Ilustración 1-4:	Lamina perforada R2 T3.5.....	59
Ilustración 2-4:	Circuito térmico de calor aprovechado.....	62
Ilustración 3-4:	Circuito térmico de calor perdido al ambiente.....	63
Ilustración 4-4:	Quemador de pellets.....	65
Ilustración 5-4:	Cargas sobre el Eje del tambor.....	69
Ilustración 6-4:	Diagrama de cuerpo libre plano x-y.....	70
Ilustración 7-4:	Diagrama de momento flector.....	70
Ilustración 8-4:	Dimensiones del diseño del Eje.....	72
Ilustración 9-4:	Análisis de elementos finitos del Eje.....	73
Ilustración 10-4:	Análisis estructural del soporte de la máquina.....	75
Ilustración 11-4:	Diagrama de desplazamiento, momento flector y cortante.....	75

Ilustración 12-4: Esfuerzos.....	76
Ilustración 13-4: Sensor Tipo K.....	77
Ilustración 14-4: Máquina tostadora de café.....	77
Ilustración 15-4: Conexión de sistema de control resistencias eléctricas.....	78
Ilustración 16-4: Conexión de sistema de control para motor de alimentación.....	79
Ilustración 17-4: Contactor de encendido de ventilador.....	80
Ilustración 18-4: Contactor de encendido de motor.....	81
Ilustración 19-4: Potenciómetro.....	81
Ilustración 20-4: Controladores de temperatura.....	82
Ilustración 21-4: Diagrama de potencia.....	83
Ilustración 22-4: Diagrama de control.....	83
Ilustración 23-4: Alimentación del Pellets.....	85
Ilustración 24-4: Alimentación de pellets.....	86
Ilustración 25-4: Alojamiento de la resistencia.....	86
Ilustración 26-4: Cámara de combustión de Pellets (sección circular).....	87
Ilustración 27-4: Cámara de combustión de Pellets (sección rectangular).....	87
Ilustración 28-4: Grafica del comportamiento del tostado temperatura vs tiempo (3 kg).....	89
Ilustración 29-4: Cambio relativo de la masa (%) vs tiempo de tueste (min) respecto 3kg del grano.....	90
Ilustración 30-4: Grafica del comportamiento del tostado temperatura vs tiempo (2kg).....	91
Ilustración 31-4: Grafica cambio relativo de la masa (%) vs tiempo de tueste (min) respecto 2kg del grano.....	92
Ilustración 32-4: Grafica del comportamiento del tostado temperatura vs tiempo (1kg).....	93
Ilustración 33-4: Grafica cambio relativo de la masa (%) vs tiempo de tueste (min) respecto 1kg del grano.....	95
Ilustración 34-4: Grafica del comportamiento del tostado temperatura vs tiempo (2kg).....	96
Ilustración 35-4: Grafica cambio relativo de la masa (%) vs tiempo de tueste (min) respecto 0.5kg del grano.....	97
Ilustración 36-4: Punto de equilibrio.....	100
Ilustración 37-4: Circuito térmico de calor perdido al ambiente considerando aislante (lana de vidrio).....	102

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-2:	Formula empirica de los pellets	13
Ecuación 1-3:	Importancia del criterio evaluado	20
Ecuación 2-3:	Volumen de café tostado	33
Ecuación 3-3:	Volumen del café natural.....	33
Ecuación 4-3:	Longitud de tambor de tostado	33
Ecuación 5-3:	Fuerza centrifuga	33
Ecuación 6-3:	Aceleracion centrifuga.....	33
Ecuación 7-3:	Velocidad angular.....	34
Ecuación 8-3:	Área	34
Ecuación 9-3:	Área del segmento circular	34
Ecuación 10-3:	Área triangular	35
Ecuación 11-3:	Cateto X.....	35
Ecuación 12-3:	Cateto Y	35
Ecuación 13-3:	Presión	35
Ecuación 14-3:	Espesor.....	36
Ecuación 15-3:	Espesor.....	36
Ecuación 16-3:	Resistencia térmica por convección.....	38
Ecuación 17-3:	Resistencia térmica por conducción	38
Ecuación 18-3:	Flujo de calor	38
Ecuación 19-3:	Flujo másico.....	39
Ecuación 20-3:	Flujo de calor aprovechado.....	39
Ecuación 21-3:	Calor específico del café.....	39
Ecuación 22-3:	Energía total.....	39
Ecuación 23-3:	Número de Reynolds	39
Ecuación 24-3:	Número de Prandtl.....	40
Ecuación 25-3:	Nusselt considerando temperatura constante	40
Ecuación 26-3:	Nusselt	40
Ecuación 27-3:	Flujo másico del combustible	42
Ecuación 28-3:	Área transversal de la cabina	42
Ecuación 29-3:	Diametro de la cabina	42
Ecuación 30-3:	Longitud de la cabina.....	43
Ecuación 31-3:	Reacción de combustión de la celulosa	43
Ecuación 32-3:	Relación de aire-combustible.....	43
Ecuación 33-3:	Caudal de aire	43

Ecuación 34-3: Potencia del motor	44
Ecuación 35-3: Momento.....	44
Ecuación 36-3: Fuerza por masa de café y tambor	44
Ecuación 37-3: Masa del tambor	45
Ecuación 38-3: Distancia “X” del centroide	45
Ecuación 39-3: Momento requerido	45
Ecuación 40-3: Carga distribuida.....	46
Ecuación 41-3: Momento amplitud respecto a la flexión	47
Ecuación 42-3: Momento medio respecto a la flexión.....	47
Ecuación 43-3: Momento amplitud respecto a torsión	47
Ecuación 44-3: Momento medio respecto a torsión.....	47
Ecuación 45-3: Duración en horas de servicio con 90% de fiabilidad.....	48
Ecuación 46-3: Duración nominal en hora de servicio del rodamiento	49
Ecuación 47-3: Vida nominal del rodamiento	49
Ecuación 48-3: Selección del motor	49

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: PROPIEDADES DEL AIRE A LA PRESION DE 1ATM

ANEXO B: TIPOS Y ESPECIFICACIONES DE LAMINAS PERFORADAS REDONDAS

ANEXO C: SELECCIÓN DE CHUMACERAS SEGÚN CATALOGO SKF

ANEXO D: SELECCIÓN DE MOTOR SESAME

ANEXO E: (TCMS) MINERAL ISOLATED BAYONET SONDA TYPE “K”

ANEXO F: MANUAL DE OPERACIÓN MÁQUINA TOSTADORA DE CAFÉ

RESUMEN

El presente trabajo de titulación tuvo como objetivo diseñar un prototipo para el tostado de café, utilizando una fuente de combustible de biomasa, con el propósito de observar el resultado de la cocción del café al utilizar un combustible alternativo (Pellets). Inicialmente, utilizando la metodología del QFD y matriz morfológica se selecciona la mejor alternativa para el diseño, así se obtuvieron los parámetros iniciales para el prototipo, entre ellos, la capacidad de 3kg de café. Este trabajo consta de un diseño mecánico y térmico, además, de considerar la selección del material y el control. El diseño de la estructura de soporte del prototipo se validó mediante el método de elemento finito, aplicando las cargas de 34.26 N correspondientes a las reacciones del peso en las chumaceras. En cuanto a la selección del material se seleccionó el AISI 304 para garantizar la calidad alimentaria y evitar la corrosión. Se obtuvo un nivel de tueste de café oscuro y medio con valores en la escala de Agtron de 55-25, esto demostró que el prototipo ha logrado cumplir el objetivo de obtener un tueste adecuado con un tiempo de 55 minutos para una capacidad de 3 kg del café, utilizando 1.5 kg de Pellets, alcanzando la temperatura de 200 °C en el tambor de cocción del grano. Por lo tanto, se concluye que es factible utilizar la biomasa como fuente de energía para tostadoras de café y de esta manera obtener el tueste característico para aprovechar sus propiedades organolépticas del grano. Se recomienda plantear investigaciones en el tueste de granos utilizando el Pellet y analizar la factibilidad de utilizar un combustible ecológico.

Palabra clave: <PROTOTIPO>, <TOSTADORA>, <BIOMASA>, <CAFÉ>, <ESCALA DE AGTRON>, <PELLET>.

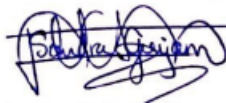
1370-DBRA-UPT-2023



SUMMARY

This graduation project aimed to design a prototype for coffee roasting using a biomass fuel source, specifically to observe the roasting results when using an alternative fuel (pellets). First, employing the QFD methodology and morphological matrix, the best design alternative was selected, determining the initial parameters for the prototype, including a capacity of 3 kg of coffee. This work encompasses mechanical and thermal design considerations, material selection, and control aspects. The design of the prototype's support structure was validated using finite element analysis, applying loads of 34.26 N corresponding to the weight reactions on the bearings. The AISI 304 stainless steel was chosen to ensure food quality and prevent corrosion. The prototype achieved a medium to dark roast level, with Agtron scale values of 55-25, demonstrating that the objective of obtaining an appropriate roast was accomplished within 55 minutes for a 3 kg coffee capacity, using 1.5 kg of pellets and reaching a temperature of 200 °C in the roasting drum. Therefore, it is concluded that using biomass as an energy source for coffee roasters is feasible, allowing for the characteristic roast that enhances the coffee's organoleptic properties. Further research is recommended for grain roasting using pellets and analyzing the feasibility of utilizing an ecological fuel.

Keywords: <PROTOTYPE>, < ROASTER >, <BIOMASS>, < COFFEE>, <AGTRON SCALE>, <PELLET>.



Lic. Sandra Leticia Guijarro Paguay

C.I.: 0603366113

INTRODUCCIÓN

La ingeniería se ve en la obligación de crear e innovar nueva maquinaria en el mercado con el propósito de facilitar los procesos productivos, puesto que la producción agrícola pretende desarrollar mayor tecnología que apoye al consumidor a crecer en los niveles de productividad y producción (Olarde, 2016, p. 1).

Los emprendedores juegan un papel fundamental en el sector económico ecuatoriano, ya que tienen una actividad dinámica en el mercado, lo que permite aumentar la productividad y generar la mayor parte de los empleos (Alonso y Galve, 2011 pp. 7 - 8.).

El diseño y construcción de una máquina tostadora de café debe considerar tres partes fundamentales: diseño de elementos de máquina, diseño térmico y el control de la misma, ya que ninguno de ellos puede trabajar solo. La utilización de biomasa (pellets) como fuente energética es una alternativa más ecológica que permitirá abordar la problemática mundial de contaminación ambiental y que conlleva ciertos beneficios, así, por ejemplo: producen menor emisión de CO₂, presenta un alto poder calorífico, su transporte y almacenaje es más fácil y son más económicos en comparación con el gas natural o el petróleo.

En defecto, el diseño y construcción de una máquina tostadora de café utilizando como fuente energética biomasa (pellets) contribuirá a un mayor desarrollo económico para los emprendedores caficultores ecuatorianos y para obtener un producto de mayor calidad. El grado de tueste se comparará con la escala Agtron, por lo cual se podrá valorar el nivel de tueste (claro, medio y oscuro).

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes

La torrefacción es un proceso esencial en la producción del café a nivel industrial, en la cual los granos son tostados, lo que permite liberar y desarrollar sus distintos aromas en tiempos determinados. El método mayormente utilizado para este proceso se efectúa con un tostador cilíndrico que rota durante un tiempo específico hasta que los granos alcancen su nivel de tostado deseado (Contreras et al., 2008, p. 12).

La Asociación de Cafés Especiales de América (SCAA) ha desarrollado un sistema de puntos que clasifica la intensidad del color de los diferentes tipos de tueste. El color se determina midiendo el reflejo de la luz mediante una inspección visual, donde un maestro tostador compara el grado de tueste con una muestra de color específica. La escala va desde el 95 que representa el tueste más claro hasta el 15 que representa el tueste más oscuro (Saballos, 2018, p. 21).

En todo el mundo, los empresarios de Huelva apuestan por la eficiencia energética, de manera específica en el sector de panificación. Una empresa local llamada Almasol Energía ha instalado con éxito un quemador de biomasa en un horno de carro rotativo en Rechi-Pan, transformándose en el primero de su tipo en la provincia de Huelva. El quemador utiliza pellets, los cuales son cilindros hechos de aserrín deshidratado y comprimido, obtenidos principalmente de pino, pero también pueden ser de castaño o de poda de olivo. Así mismo, también se puede usar huesos de aceituna, cáscaras de almendra u otras formas de biomasa (Lojo, 2013, p. 1).

Rincones (2017, pp. 1 - 2) en su investigación “Diseño de prototipo a escala de tostadora de café” abordó el desafío del tostado del mismo, y determinó que cuando el producto se vende en verde se transforma en ganancias reducidas, ya que es un proceso complejo, razón por la cual planteó el diseño y construcción de un prototipo para automatizar el proceso de tostado y lograr una homogeneidad en el tueste de los granos, lo que permite obtener mayores beneficios económicos en la industria cafetera colombiana.

De acuerdo con Palacios (2016, p. 66) en su investigación “Diseño de un tostador de café mediante flujo de aire caliente para la empresa Indera” planteó un diseño de un tostador de café por medio

de aire caliente, a fin de conseguir un tueste uniforme, una mayor calidad del producto y cumplir con las necesidades de la empresa.

1.2. Formulación del problema

La provincia de El Oro, de manera especial el Cantón Zaruma, es conocida por su producción de café. A pesar de ello, para aumentar la rentabilidad económica de la provincia y aprovechar al máximo el producto, es necesario implementar un proceso de tostado del grano de café verde con una fuente de energía alternativa. Hasta la fecha, en la región no se ha utilizado una máquina tostadora de café con un quemador de biomasa (pellets). El tostado de café con GLP o a través de métodos tradicionales con leña resulta en un aroma y sabor característicos. Por esta razón, se plantea el diseño y construcción de un prototipo de máquina tostadora de café que use energía alternativa, específicamente, biomasa en forma de pellets, con el objetivo de abordar la problemática mundial actual de los combustibles fósiles y la alta contaminación ambiental.

1.3. Justificación

1.3.1. Justificación teórica

El estudio se justifica teóricamente debido a que el diseño se aplicara fundamentos de diseño para cálculo estructural y partes constitutivas del prototipo, además el diseño considerará la transferencia de calor que se producirá desde la fuente de calor hacia la cámara de tostado y grano, conocidos los cálculos permitirá elegir los materiales adecuados para resistencia y rigidez por calor, la cámara de combustión también tiene su estudio en la energía de combustión, cada uno de estos parámetros se plasmarán en cada uno de las variables y planos, permitiendo ser replicado o utilizado para proyectos posteriores.

1.3.2. Justificación metodológica

Desde el punto de vista metodológico, es necesario construir la máquina de tueste para validar el diseño mecánico y verificar la implementación del quemador de biomasa. El objetivo es obtener un prototipo de máquina que tenga un impacto positivo en el proceso habitual de tostado de café.

1.3.3. Justificación económica

Desde un punto de vista económico, este proyecto busca disminuir costos al diseñar una máquina que optimice el proceso de tostado de café, lo cual aumentará la vida útil de la máquina y

aprovechará la capacidad energética que presentan los pellets de biomasa como una opción más económica en comparación con el uso de GLP como combustible fósil contaminante.

1.3.4. Justificación social

En el Cantón El Oro se realiza la venta del café tostado y molido, por lo cual el trabajo de tesis se encuentra dirigido principalmente a los emprendedores que se dedican a la venta al por mayor y menor, para lo cual se realiza el proceso de tostado del café con ayuda de equipos mecánicos usando como fuente de energía GLP, por esta razón se propone implementar un quemador de biomasa y sustituir la energía proveniente de combustibles fósiles para obtener un producto de mayor calidad y aportar de manera positiva a la Caficultura Ecuatoriana.

1.4. Objetivo

1.4.1. Objetivo general

Diseñar y construir una máquina tostadora de café con capacidad de 3 kg utilizando una fuente energética de biomasa (pellets).

1.4.2. Objetivos específicos

- Seleccionar pellets cuyas características garanticen un poder calorífico para un adecuado tostado de café.
- Analizar la transferencia de calor desde la cámara de combustión hacia la cámara de cocción para asegurar el tostado de café.
- Diseñar una máquina tostadora de café considerando la temperatura de la cámara de cocción.
- Construir el prototipo de la máquina tostadora de café para 3 kg de capacidad.
- Validar experimentalmente el tiempo de tostado mediante los resultados obtenidos comparando con la escala Agtron.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Tostado de café

Araúz et al. (2019, p. 21) mencionan que el tostado de café es la transformación por el cual los granos verdes crudos son sometidos al calor para transformarlos en granos tostados, listos para ser aprovechados en preparaciones de bebidas de café. A lo largo del proceso de tostado los granos presentan cambios químicos, físicos y sensoriales.

2.2. Importancia del tostado del café

El tostado del café es crucial para que el grano presente su sabor característico y a su vez presente distintas características organolépticas y es un punto crítico en la producción del mismo, ya que tiene un gran impacto en la calidad de la bebida final. Así mismo el proceso de tostado afecta el contenido de cafeína, la acidez y el cuerpo del café (Araúz et al. 2019, p. 22).

2.3. Máquina tostadora de café

Mora y Delgado (2020, pp. 1 - 3) mencionan que una tostadora de café es una máquina que tiene como fin cocer los granos verdes y que a través de un proceso de torrefacción alcance la deshidratación del grano, que puede presentarse en tueste oscuro, medio y claro. El proceso se lleva a cabo con el grano dando vueltas en un tambor, el cual consiente la transferencia de calor hacia al grano. Para el diseño de un prototipo se debe considerar las condiciones de operación necesarias para obtener un tueste adecuado del grano.

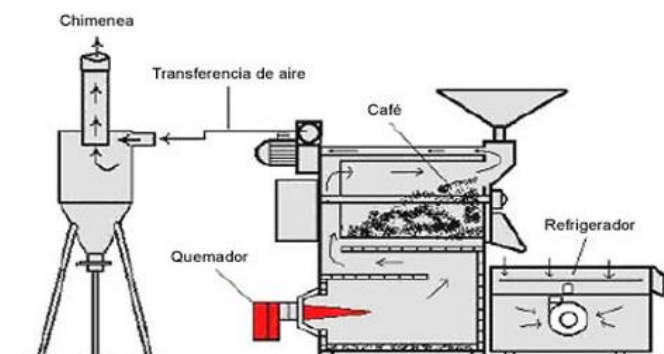


Ilustración 1-2: Máquina tostadora de café.

Fuente: (Busco Café, 2020).

2.3.1. Tipos de máquinas de tostado café

Para la selección de la máquina de tostar de acuerdo con las necesidades y los beneficios se menciona los siguientes tipos más conocidos.

2.3.1.1. Tostadoras de tambor sólido

Rincones (2017, p. 5) menciona que las tostadoras de tambor sólido tuestan los granos de café calentando un tambor giratorio donde reciben transferencia de calor mediante la conducción en la superficie del cilindro y la convección del aire circundante. El diseño del rallador de barril es ideal para procesos manuales y automatizados flexibles.



Ilustración 2-2: Máquina tostadora de tambor sólido

Fuente: (Baker Group, 2012).

2.3.1.2. Tostadoras de tambor perforado

Castelán, Ferrerira y Santana (2016, pp. 13 - 14) mencionan que todos los sistemas industriales de tueste de café utilizan barriles perforados en lugar de utilizar el calor conductivo de las paredes internas del tambor, lo que permite una mayor transferencia de calor por convección durante el tueste, dando paso a que el tueste sea más uniforme y con mayor flexibilidad en términos de tamaño de lote y que son las máquinas mayormente establecidas en el mercado cafetero.

2.3.1.3. Tostadoras de lecho fluido

Rinza (2020, p. 29) menciona que las tostadoras de lecho fluido son conocidas por presentar mayor consistencia, menor impacto ambiental ya que usan menos energía que los tostadores de tambor y mayor retención de sabor. Los tostadores de lecho fluido son una combinación entre el sistema de convección y de tambor que usan para tostar los granos: el aire se precalienta y luego se dirige a través de una serie de granos. Este flujo de aire hace que los granos de café se muevan en suspensión.



Ilustración 3-2: Máquina tostadora de lecho fluido

Fuente: (Primero Café, 2020)

Conocidas las diferentes máquinas disponibles para el tostado de café, se revisa las propiedades del tostado.

2.4. Tipos de café

2.4.1. *Café robusto*

Teka (2022, p. 1) menciona que el café robusto posee un sabor doblemente fuerte y amargo en comparación con la variedad arábica. Es un cultivo muy resistente a sequías y enfermedades y es una de las variedades más cultivadas alrededor del mundo.

2.4.2. *Café arábico*

Teka (2022, p. 1) menciona que la variedad arábica es originaria de Etiopía y considerado como especialidad gourmet. Es cultivada en un 60% alrededor del mundo y presenta la peculiaridad de medir hasta 8 metros de altura, es resistente a plagas y enfermedades. Entre sus requerimientos edafoclimáticos más importantes es que debe cultivarse por encima de los 1000 msnm.

2.5. **Propiedades de tostado**

Araúz et al. (2019, pp. 21 - 22) menciona que el tostado del café ocasiona una serie de propiedades en el grano; cambio de sabor, aroma distintivo, disminución del contenido de cafeína, disminución de la acidez (más digerible y menos amargo) y mayor vida útil en comparación con los granos de café sin tostar que van a depender de la temperatura y duración del mismo. De igual manera provoca cambios en la densidad que puede influir en la forma en la que se prepara y se sirve.

2.5.1. *Color agtron*

La Asociación Americana de Cafés especiales (SCCA), para facilitar el proceso de tostado del grano se ha preparado un sistema de puntos según el grado de color.

Saballos (2018, p. 21) menciona que para conocer los distintos grados de tostado en granos de café la industria cafetera suele utilizar el procedimiento de análisis de color. Al efectuar el tueste del grano se puede identificar la variación de color claro con una escala que va de 95 a 75, el tostado medio que va de 65 a 55 y el tostado más oscuro de 45 a 25 en la parte externa del grano, el color se establece mediante la inspección visual o a través de la medición de reflexión de la luz.



Ilustración 4-2: Escala de agtron

Fuente: (Ministerio de Industrias y Productividad, 2016, p. 18).

El tostado de café es influenciado directamente por la humedad, temperatura y tiempo del grano

Tabla 1–2: Tipos de tostado

Tipo	Característica	Tiempo	Temperatura
Tostado oscuro	Tostado homogéneo con color Café oscuro	15 min	216°C
Tostado medio	Tostado homogéneo con color Pardo oscuro	12 min	202°C
Tostado ligero	Tostado homogéneo con color Amarillo-castaño	45 min	190°C

Fuente: (Mora y Delgado, 2020)

Realizado por: Coello, Víctor 2023.

2.5.2. Temperatura de tostado

Virgen et al. (2016, pp. 513 - 514) mencionan que en la temperatura de tostado intervienen 2 etapas: la fase de secado, es decir la temperatura inicial se encuentra por debajo de los 160 °C donde existe una pérdida de humedad. Cuando la temperatura está por encima de los 190 °C es la fase de tostado donde comienzan las reacciones de pirolisis que ocasionan cambios físicos en el grano (color, volumen y densidad), así como las pérdidas de humedad.

Puerta y Echeverri (2019, pp. 67 - 69) mencionan que el color del café tostado es la variable que permite evidenciar el punto final para el proceso de torrefacción del café. Es de vital importancia tener claro las temperaturas iniciales y finales de tostado, ya que permiten controlar y finalizar el proceso.

Bernabé y Rivera (2018, p. 22) mencionan que la máquina tostadora de café debe contar con termómetros que permitan tomar la medición de la temperatura del tambor y del aire para desarrollar un proceso estable y de calidad.

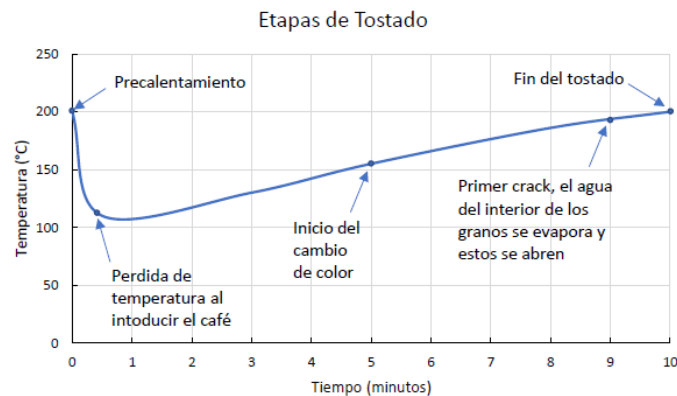


Ilustración 5-2: Temperatura vs tiempo de tueste

Fuente: (Gómez, 2021)

La temperatura del tueste va a influir directamente con el tiempo requerido para obtener una torrefacción adecuada, lo cual dependerá del especialista tostador.

2.5.3. *Tiempo de tostado*

De La Cruz (2018, p. 22) menciona que los tostadores artesanos consideran que alrededor de 12 a 20 minutos de tueste es el tiempo adecuado en conjunto con una temperatura que oscila entre 204 °C y 218 °C para lograr un color uniforme en el grano de café.

Giner (2013, p. 12) menciona que en el ámbito industrial se requiere un proceso de tostado rápido que puede durar alrededor de 3 a 6 minutos. El grano resultado del tueste aumenta su volumen, contenido graso, ácidos, extractos y la humedad puede incrementarse si se destina a la producción de café soluble.

2.5.4. *Humedad de café*

Gamboa et al. (2008, p. 15) mencionan que el contenido de humedad del grano es un valor expresado en porcentaje de la masa de agua en relación con la masa total, la misma que es la suma de los componentes sólidos y el agua. De acuerdo con la norma ICONTEC 3534, cuando los granos ingresan al tanque de tostado, el contenido de humedad de los granos fluctúa alrededor del 12% dependiendo de las características del café, y después del proceso de tostado puede variar del 2% al 5%.

Durante el proceso de tostado, cada grano libera calor al aire circundante. Inicialmente, la humedad en la superficie de los granos se transfiere fácilmente al aire. A medida que avanza el horneado, la humedad comienza a migrar desde el interior para reemplazar la que se pierde en la superficie. Como consecuencia del aumento de la temperatura, aumenta la presión del vapor de agua, que se elimina por succión (Gamboa et al., 2008, p. 15).

2.6. Estadísticas del café en Ecuador

- **Producción de café en el Ecuador**

Venegas, Orellana y Pérez (2018, p. 75) mencionan que el café es un producto de importancia en el ámbito económico, social, ambiental y salud humana. Desde la perspectiva económica el café

es una fuente especial de ingresos, tanto para el país, como para los productores y otros actores de la cadena productiva.

Según estadísticas del Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca del Ecuador, en el año 2015 el café tuvo un ingreso de USD 145.354.370,31. El cultivo de café tiene un impacto ambiental positivo, ya que su producción contribuye a la conservación de la biodiversidad. En el ámbito salubre el consumo moderado de café puede tener beneficios para la salud humana (Piloza et al., 2022, p. 118).

Fernández (2017, p. 3) menciona que la producción de café en Ecuador se lleva a cabo en las 24 provincias del país, con mayor presencia en la región costera debido a las condiciones agroclimáticas favorables de la zona. La variedad arábica se cosecha principalmente en las localidades costeras, mientras que la variedad robusta tiene una mayor presencia en las provincias del oriente y en algunas partes de la sierra ecuatoriana.

- **Zonas cafeteras del Ecuador**

El café es un cultivo agrícola que se adapta a los diferentes ecosistemas presentes en las cuatro regiones del país. El cultivo prospera con una mayor incidencia en algunas provincias en comparación con otras, debido a la historia productiva de cada localidad y las condiciones agroclimáticas favorables que se presentan (Venegas, Orellana y Pérez, 2018, p. 76).

Manabí es la principal provincia productora de café en Ecuador, ya que cuenta con la mayor cantidad de superficie cosechada. En el año 2019, Manabí alcanzó las 10.000 hectáreas aproximadamente, es decir un 30,06% de la superficie global, seguida de la provincia de Sucumbíos, con 8.973 hectáreas cosechadas de café, lo que representa un 24,89% de la distribución. Orellana ocupa el tercer lugar con 7.441 hectáreas, es decir un 20,64% de la participación. En menor escala, se encuentran las provincias de Bolívar, Santo Domingo de los Tsáchilas, Loja y Los Ríos (Tovar y Macías, 2020, p. 26).

2.7. Transferencia de calor

La transferencia de calor se transmite por varios medios de propagación.

2.7.1. Conducción

Cengel (2007, p. 1) menciona que la conducción es la transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia hacia las adyacentes menos energéticas, como resultado de interacciones entre esas partículas. La conducción se ve presente en el tambor de cocción al transferir el calor desde la fuente de aire caliente hasta el grano en el interior del tambor.

2.7.2. Convección

La convección es una manera de transferencia de energía que se manifiesta entre una superficie sólida y un líquido o gas en movimiento. El proceso combina los efectos de la conducción de calor a través del sólido y el movimiento del fluido, ya sea líquido o gas, que actúa como medio de transporte del calor. La convección se ve presente en el interior del tambor de cocción donde el aire caliente transmite el calor al grano (Cengel, 2007, p. 1).

2.8. Combustibles

2.8.1. Combustible GLP

Gas País (2020, p. 1) menciona que el combustible GLP es utilizado por los caficultores, aportando al proceso un tostado de café adecuado que brinda funciones similares en comparación con los procesos de tostado convencionales, donde destacan ciertas características: encendido rápido, no tiene dependencia con la energía eléctrica, portable y permite un buen manejo de temperatura.

2.8.1.1. Huella de carbono generada por el gas convencional en quemadores

Gasco Educa (2019, p. 1) menciona que la huella de carbono originada por el gas convencional en quemadores puede cambiar dependiendo de ciertos factores, como: la composición del gas utilizado, la eficiencia del quemador y la duración del tiempo de combustión. No obstante, se estima que el gas convencional produce aproximadamente 0,2 kilogramos de dióxido de carbono por kilovatio-hora ($\text{kg CO}_2/\text{kWh}$) cuando se quema en un quemador convencional.

Gas País (2022, p. 1) menciona que alrededor del mundo el gas convencional es particularmente conocido por presentar bajas emisiones de carbono (CO) y menor contaminación al compararlo con otros hidrocarburos más pesados (petróleo, carbón o leña). Tanto el gas licuado de petróleo

(GLP) como el natural (GN) producen menor contaminación por unidad de energía y menor huella de carbono.

Entre las fuentes de combustible con menores emisiones en distintas regiones del mundo se encuentra el gas licuado de petróleo (GLP). c (GEI) en comparación a las cocinas eléctricas, un 50% menos en comparación a cocinas que usan biomasa, y un 19% menos en comparación a cocinas que usan queroseno (Gasco Educa, 2019, p. 3).

2.8.2. Combustible pellets

La quema de pellets comienza con el encendido del quemador específicamente en la cámara de combustión, y cuando la resistencia alcanza la temperatura correcta, el flujo de aire en la cámara de combustión es el responsable de producir una llama que quema los pellets de biomasa (Ecomind, 2022, p. 1).

Tabla 2–2: Propiedades del pellet de pino

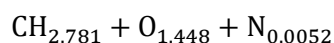
Análisis próximo	Valor	Unidad
Poder calorífico	2768.58	cal/gr
Carbón fijo	3.6	% de la masa
Humedad	36.66	% de la masa
Ceniza	0.18	% de la masa
Material volátil	59.56	% de la masa

Fuente: (Fajardo, 2012, p. 15)

Realizado por: Coello, Víctor 2023.

2.8.2.1. Fórmula empírica de los pellets

Fajardo (2012, p. 16) menciona que utilizando los porcentajes de cada elemento que componen la biomasa de astillas de pino y los porcentajes de humedad y cenizas, se podría desarrollar una fórmula empírica que describa la composición química de la biomasa.



Ecuación 1-2

2.8.2.2. Características de los pellets

Vignote (2016, p. 33) menciona que los pellets son pequeños cilindros fabricados con material comprimido, generalmente de madera, a partir de subproductos de su primera transformación, como aserrín, leña, virutas, etc.

García et al. (2013, pp. 2 - 9) mencionan entre algunas características de los pellets, las siguientes:

- **Bajo contenido de humedad:** Los pellets presentan una humedad que varía entre el 8% al 10%, lo que les permite ser más eficientes para quemar en comparación a la madera en su forma convencional y tener un mayor tiempo de almacenaje, ya que no se deterioran, ni se pudren.
- **Densidad:** Los pellets presentan una mayor densidad en comparación con la madera sin procesar, ya que ocupa menos espacio y presenta una mayor capacidad calorífica. El rendimiento de los pellets oscila entre el 95%, razón por la cual son considerados sumamente eficientes.
- **Uniformidad:** Los pellets presentan el mismo tamaño, forma y densidad ya que se fabrican en una máquina que comprime el material a una densidad y tamaño uniformes, lo que los hace fáciles de almacenar y quemar.
- **Bajo contenido de cenizas:** Los pellets presentan un menor impacto ambiental, son más fáciles de mantener y limpiar, ya que producen menos cenizas en comparación a la madera en su forma natural.
- **Combustión limpia:** El uso de pellets son más adecuados para áreas urbanas y suburbanas, ya que producen menos olores, menos humo y menos emisiones nocivas que otros combustibles como el carbón o el petróleo.

2.8.2.3. Beneficios de usar pellets en quemadores

Proinco (2016, p. 1) menciona que los pellets son piezas pequeñas de madera comprimida que son usados como combustible en quemadores especialmente diseñados para ellos y que entre sus principales beneficios se incluyen:

- **Menor emisión de gases de efecto invernadero:** los pellets son considerados como una opción más ecológica con relación a otros combustibles fósiles, ya que emiten menos gases de efecto invernadero.
- **Eficiencia energética:** los pellets producen una gran cantidad de calor con muy poco desperdicio ya que posee un alto poder calorífico y se queman de manera eficiente. Como

consecuencia de su capacidad de calentar rápidamente superficies extensas son considerados como un combustible perfecto para la calefacción de viviendas.

- Versatilidad: los pellets pueden ser utilizados se pueden utilizar en una amplia variedad de quemadores, desde estufas y calderas residenciales hasta grandes plantas industriales.
- Fácil almacenamiento: Debido a que los pellets son compactos y pequeños permite que su almacenaje y transporte sea fácil. Igualmente, no producen polvo ni residuos, lo que facilita su manejo.
- Ahorro económico: los pellets son más económicos en comparación con otros combustibles fósiles como el gas natural o el petróleo, lo que puede contribuir a reducir los costos de energía y calefacción entre un 30 y 50% en comparación a otros sistemas de calefacción.

Así mismo Bertoglio et al. (2022) menciona que la reducción de la dependencia de los combustibles fósiles y la protección del medio ambiente se pueden lograr mediante el uso de pellets en los quemadores.

2.8.2.4. *Huella de carbono de los pellets.*

Bertoglio et al. (2022) menciona que la huella de carbono de los pellets depende de una serie de factores, que incluyen como se producen, la materia prima utilizada para fabricarlos y la distancia que deben recorrer desde el sitio de producción hasta su destino final.

Díaz (2022, p. 2) cita que los pellets de madera tienen una huella de carbono baja en comparación con otros combustibles fósiles. A largo plazo, la madera se considera neutral en cuanto a emisiones de carbono porque es una fuente de energía renovable. Science (2016) menciona que la producción de pellets de madera emite menos gases de efecto invernadero que la producción de combustibles fósiles. Por lo tanto, la reducción de las emisiones de carbono y la reducción del cambio climático se pueden lograr sustituyendo los combustibles fósiles por pellets de madera.

Science (2016, p. 1) cita que de acuerdo con un estudio publicado en la revista "Environmental Science and Technology" en 2009, sustituir el 100% del carbón utilizado en instalaciones industriales por pellets de madera puede llevar a una reducción del 91% en las emisiones de carbono. Asimismo, sustituir el carbón con una combinación de gas natural y pellets puede dar lugar a una reducción del 78% en las emisiones de carbono. De acuerdo con ConsumerReports.com, las emisiones de los pellets de madera son tan bajas que no están reguladas por la Agencia de Protección Ambiental (EPA), como sí lo están las estufas de leña.

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

El marco metodológico desglosa las técnicas y operaciones aplicadas para resolver los problemas y ejecutar investigaciones. Este capítulo es el más importante, debido a que aquí se explica cómo se ejecutó el presente proyecto, utilizando los recursos, herramientas y esfuerzos requeridos para su elaboración (Azuero, 2019).

Se analizan los parámetros necesarios para desarrollar el cálculo de los elementos constitutivos de la máquina, entre ellos: selección de materiales y utilización de catálogos. Así como la validación del prototipo con pruebas necesarias para un correcto tostado del café. El presente trabajo de titulación es de carácter técnico, donde se aplican los conocimientos adquiridos en las diferentes cátedras, así como también es de carácter experimental, debido a que se efectuará un análisis utilizando la simulación, lo que permitirá comparar los resultados obtenidos bajo las condiciones de diseño propuestas. El alcance es explicativo, porque se plantea el proceso de diseño desde el inicio reflejando la matriz QFD que permitirá seleccionar la mejor alternativa, aplicando los conceptos apropiados que se ajusten a los parámetros requeridos. La validación del prototipo se llevará a cabo comprobando el correcto funcionamiento y se finalizará con los resultados que abarquen los objetivos planteados.

3.1. Definición del producto

Se analizó material bibliográfico en el capítulo II, donde se revisó diferentes tipos de máquinas para el tostado de café. Se utiliza la información como pilas para el presente trabajo de titulación que permitirá realizar el diseño y la validación de la misma.

Para el presente capítulo, se enseña la metodología a seguir de manera planificada y metódica para desarrollar un prototipo que cumpla los parámetros pertinentes rigiéndose en todas sus especificaciones técnicas y características.

3.2. Metodología del diseño

El diseño conceptual para el desarrollo de la máquina tostadora de café se muestra en el siguiente diagrama de bloques de acuerdo con la ilustración 1-3:

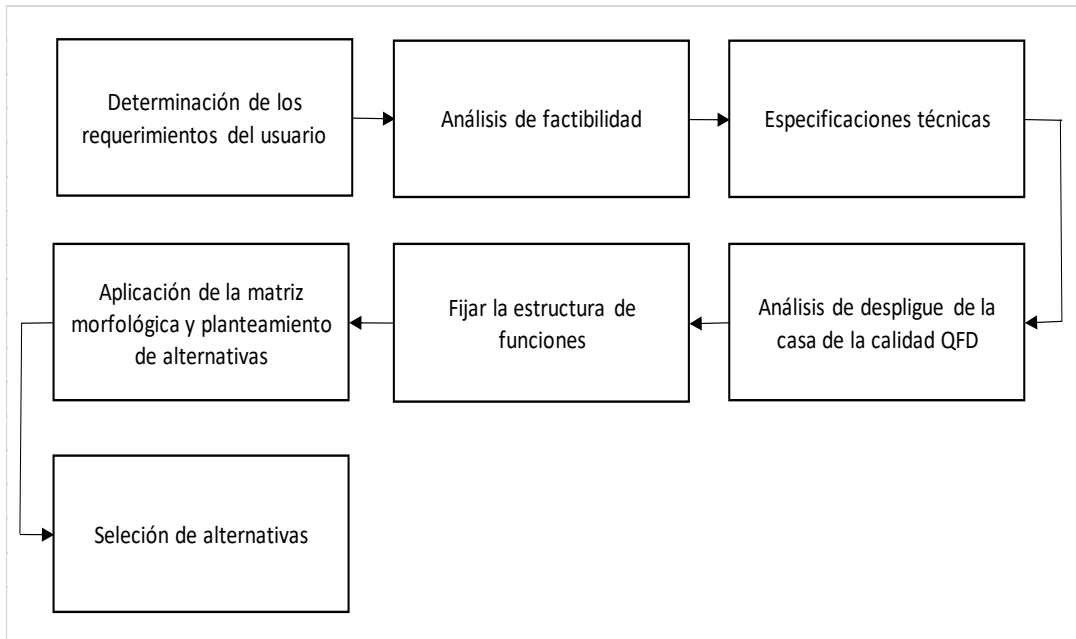


Ilustración 1-3: Metodología de diseño de una máquina tostadora de café.

Realizado por: Coello, Víctor 2023.

La metodología de diseño se fundamenta en los requerimientos para dar solución a un problema, esto se aborda con una secuencia de acciones y pasos. Para iniciar el diseño de máquina tostadora de café, se requiere cumplir con los objetivos del trabajo de integración curricular, para lo cual se aplica la metodología QFD, para un mejor análisis se implementan varias etapas y, finalmente, se aplica la matriz morfológica y se selecciona la alternativa con mayor ponderación.

3.3. Casa de la calidad Q.F.D

El progreso de la casa de la calidad permite crear una interacción entre el consumidor y el ingeniero, de esta manera se evalúa las necesidades del cliente permitiendo traducir a lenguaje ingenieril, proporcionando una solución al cliente.

3.3.1. *Requerimientos del usuario*

3.3.1.1. *Voz del usuario*

Para establecer las exigencias del usuario se debe realizar una entrevista dirigida a las personas que se dedican directamente al procesado del café, con lo cual se pudo manifestar las necesidades del cliente, de acuerdo a la tabla 1-3.

Tabla 1–3: Requerimientos del usuario

Requerimientos del cliente	Tipo de demanda
Diseño adecuado	B
Sea durable	B
Fácil montaje	B
Fácil movilidad	B
Fácil de usar	B
Fácil mantenimiento	O
Capacidad	O
Economía	E
Confiable	E

Realizado por: Coello, Víctor 2023.

Nota: Tipo de demanda se clasifica en tres donde B=Básico, O=Unidimensional y E=Estimulante

3.3.2. *Requerimientos técnicos*

3.3.2.1. *Voz del ingeniero*

Iniciando con las condiciones solicitadas por el usuario, se establece las especificaciones de ingeniería para el tostado del café: tiempo, temperatura, humedad, combustible, material y capacidad.

Tabla 2–3: Requerimientos técnicos

Requerimientos técnicos	
Selección de combustible	1
Temperatura de tostado	2
Tiempo de tostado	3
Capacidad de máquina	4
Velocidad de tambor	5
Selección de materiales	6
Sensores de temperatura	7
Costo de la Máquina	8

Realizado por: Coello, Víctor 2023.

3.3.2.2. *Correlaciones*

En este apartado se establece la relación de los requerimientos establecidos por el usuario con las exigencias técnicas. Tiene el propósito de establecer el cumplimiento de la demanda con las exigencias técnicas predeterminadas.

Para llevar esta medición se han establecido 4 niveles de relación: fuerte, mediano y débil, a continuación, se muestra en la Ilustración 2-3. De ser el caso que no haya relación se deja el espacio en blanco.

Factor de incidencia	
●	Fuerte =9
○	Medio =3
▽	Bajo =1

Ilustración 2-3: Factor de incidencia

Realizado por: Coello, Víctor 2023.

3.3.3. *Análisis de competitividad*

En este apartado se abarca el nivel de satisfacción de la demanda de los productos ofertados analizados por el usuario donde se debe cubrir los siguientes puntos para el análisis:

- La importancia de cubrir la demanda
- El grado de cumplimiento de los productos demandados
- El valor de cumplimiento del producto que se espera obtener.

Estos niveles tienen una valoración de 1 a 5 como se muestra en la Ilustración 3-3

Análisis de compatibilidad								
A	B	C	D	E	F	G	H	I
Proyecto	Competencia 1	Competencia 2	Objetivos	Índice de mejora	Factor de venta	Importancia	Ponderación	Ponderación en %
4	4	4	4	1	●	5	7.5	13.51
4	4	3	5	1.3	●	4	6.24	11.24
5	3	4	4	0.8		4	3.2	5.76
5	4	4	4	0.8	●	4	3.84	6.91
4	4	4	4	1	●	4	6	10.8
4	4	4	4	1	●	4	6	10.8
5	5	5	5	1		5	5	9
3	4	4	5	1.7	●	5	12.75	22.96
4	3	3	4	1		5	5	9
							55.53	100

Ilustración 3-3: Análisis de competitividad

Realizado por: Coello, Víctor 2023.

La ponderación se obtiene aplicando el índice de mejora, importancia y factor de venta. Estos factores de incidencia son fuerte, posible y ninguna como se muestra en la Ilustración 4-3.

Factor de incidencia	
●	Fuerte =1.5
•	Posible =1.2
	Ninguna =1

Ilustración 4-3: Incidencia del factor de venta

Realizado por: Coello, Víctor 2023.

3.3.4. Evaluación Técnica

Tiene un enfoque principal en la incidencia de las especificaciones técnicas (Ilustración 5-3). La ecuación 1-3 se utiliza para obtener la importancia de la especificación técnica.

$$Imp = \sum Id \cdot S_{dt}$$

Ecuación 1-3

Donde:

Imp: Importancia del criterio evaluado

Id: Incidencia de la característica técnica

Sdt: Valor de ponderación

Proyecto	5	4	4	4	5	5	5	4	
Competencia 1	4	4	4	4	4	5	4	5	
Competencia 2	4	4	4	4	3	5	4	4	
Incidencia	184.5	183.6	164.9	175.4	27.5	179.4	123.7	132.1	1171.26
Incidencia %	15.79	15.68	14.08	14.97	2.34	15.31	10.56	11.28	100
Especificaciones	GLP y Pellets	200°C	12-15 min	3 Kg	30-40 RPM	A acero Inoxidable 304	Termo par y termocupla J	USD 1 500	

Ilustración 5-3: Evaluación Técnica

Realizado por: Coello, Víctor 2023.

3.3.5. *Compromisos técnicos*

Los compromisos técnicos se encargan de determinar la correlación con las especificaciones técnica, se explican en tres casos que se muestran a continuación:

- Positiva: indica que si se mejora una característica también se verá influenciada a mejorar la otra.
- Negativa: indica que si se mejora una característica la otra se verá afectada
- Sin correlación: no existe relación en las características técnicas.

Se tiene 4 niveles para describir la incidencia de los compromisos técnicos como se muestra en la Ilustración 6-3.

Muy positiva	●
Positiva	○
Negativa	+
Muy negativa	×

Ilustración 6-3: Incidencia de los compromisos técnicos

Realizado por: Coello, Víctor 2023.

3.3.6. *Análisis de competencias*

La construcción de máquinas tostadoras de café se oferta en varias empresas, a continuación, se muestra las características de las máquinas.

3.3.6.1. Competencia 1

Nombre: KUBAN

Producto: Máquina tostadora de café

Tabla 3–3: Características de máquina tostadora de café (KUBAN)

Peso (Kg)	330
Capacidad	5 KG
Dimensión (W-H-D) CM	90x165x155
Fuente de calor	GLP - Gas natural - LNG
Sistema de calefacción	Transferencia térmica
Frecuencia	50 - 60 HZ
Voltaje	110 – 220 – 230 – 380
Consumo de energía	1.84 KW
Cantidad de motor	4
Consumo de gas - GLP	2.52 m ³
Potencia inflamable (kW/h)	35 kW
Conector de gas	1/2
Consumo de gas - gas natural	3.64 m ³

Fuente: (KUBAN, 2019, p. 1)

Realizado por: Coello, Víctor 2023.

3.3.6.2. Competencia 2

Nombre: DINATEK

Producto: Máquina tostadora de café

Tabla 4–3: Características de máquina tostadora de café (DINATEK)

Capacidad	5 Kg
Tipo de gas	Natural o propano líquido
Potencia	2.5 HP
Tiempo de tuesta	12-18 min
Panel de control	Control de velocidad
Sistema de calefacción	Transferencia térmica
Fabricado	Acero inoxidable

Fuente: (Dinateck, 2020, p. 1)

Realizado por: Coello, Víctor 2023.

3.3.7. Despliegue de la función de calidad (QFD)

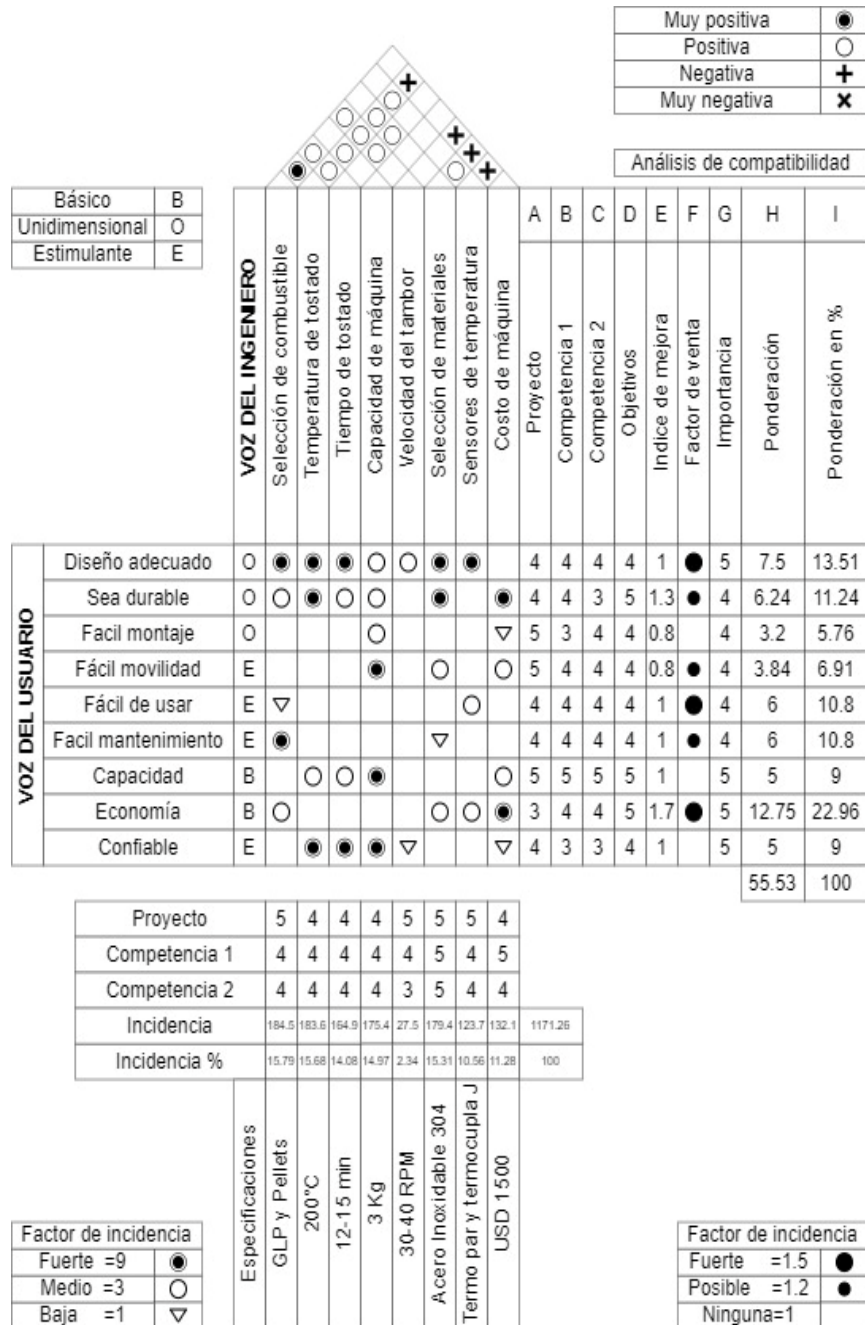


Ilustración 7-3: Despliegue de la función de calidad

Realizado por: Coello, Víctor 2023.

3.3.8. Evaluación de la estructura funcional

Realizando la evaluación de estructura funcional de la máquina se tiene una idea básica y general para el diseño del prototipo, es necesario evaluar los flujos de entrada y salida del proceso, a continuación, se mostrará la estructura funcional del nivel 0 y 1 en las Ilustraciones.

3.3.8.1. Nivel 0

El nivel 0 describe en general el proceso de funcionamiento de la máquina tostadora de café, empezando por el ingreso del producto del grano de café y la salida se obtendrá el producto tostado, como se muestra en la ilustración 8-3.

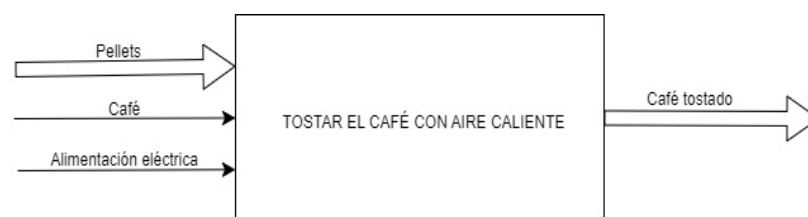


Ilustración 8-3: Nivel 0, máquina de tostar café

Realizado por: Coello, Víctor 2023.

3.3.8.2. Nivel 1

En el nivel 1 se explica más detalladamente las especificaciones de cada parte, como se muestra en la ilustración 9-3.

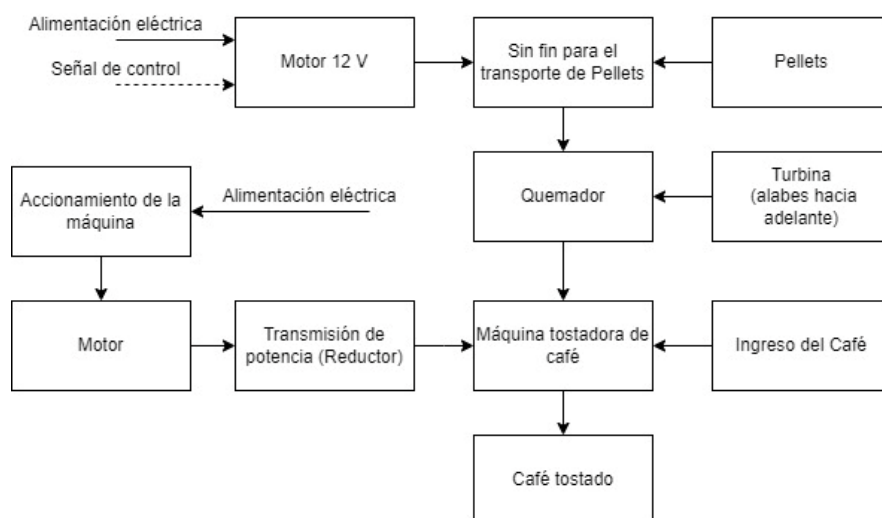


Ilustración 9-3: Máquina tostadora de café

Realizado por: Coello, Víctor 2023.

3.3.9. Definición de módulos

Los módulos permiten agrupar los procesos necesarios para el funcionamiento de la máquina, agrupándolas para explicar y obtener un análisis apropiado, como se muestra en la Ilustración 10-3.

3.3.9.1. Módulo 1

- Puesto en marcha
- Encendido de motor
- Transmisión
- Motor

3.3.9.2. Módulo 2

- Señal de control
- Motor sin fin
- Turbina
- Quemador

3.3.9.3. Módulo 3

- Ingreso de café
- Tambor de cocción

3.3.9.4. Módulo 4

- Café tostado

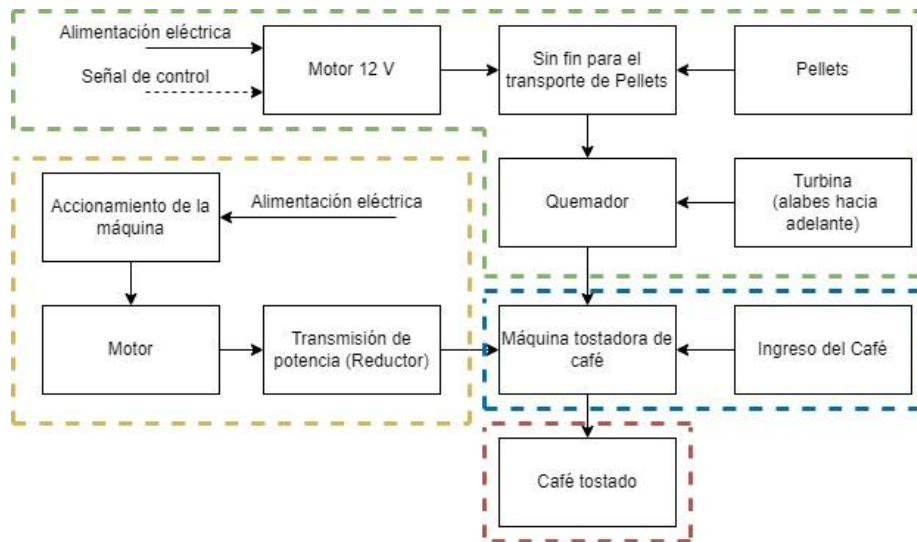









Ilustración 10-3: Módulos, máquina tostadora de café

Realizado por: Coello, Víctor 2023.

3.3.10. Matriz morfológica

Con el análisis de la matriz morfológica se descompone el sistema constituyente de la máquina tostadora de café en sus partes principales como se muestra en la ilustración 10-4.

Función	Componente		
Combustible	 Pellets		 GLP
Ventilador centrifugo	 Alabes hacia adelante	 Alabes hacia atrás	 Alabes radiales
Quemador			

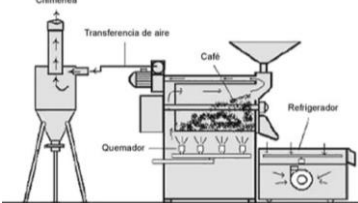
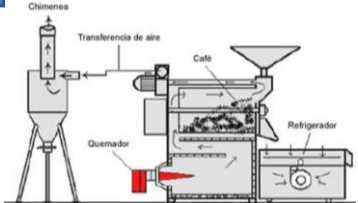
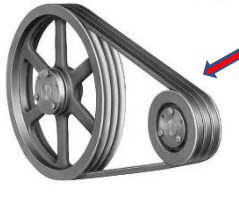


	Quemador de pellets	Quemador de GLP	
Cocción			
	Transferencia Termal	Aire Caliente	
Transmisión			
	Correas	Cadena	Caja reductora

Ilustración 11-3: Matriz morfológica

Realizado por: Coello, Víctor 2023.

Nota: Primera alternativa: color azul, segunda alternativa: color verde, tercera alternativa: color rojo.

Realizando la matriz morfológica se obtuvo tres alternativas en estas se consideró las partes constitutivas utilizadas para la construcción de tostadoras de café y quemadores de Pellets de esta manera se menciona el combustible, partes constitutivas del quemador, la cocción del grano y la transmisión para el movimiento del tambor, donde cada una se une con líneas de colores de acuerdo con la combinación, la ruta de color azul se considera como la primera alternativa, la ruta de color verde la segunda alternativa y la última alternativa de color rojo, cada una de estas alternativas permiten el proceso del tostado de café.

3.3.10.1. Alternativa 1

Esta alternativa para el tostado del café presenta un combustible alternativo a base de biomasa (pellets). Para el ingreso de oxígeno a la combustión se utiliza una turbina con álabes hacia adelante, el cual se instalará en un quemador de pellets, la cocción del grano se obtiene por aire caliente, el cual se transfiere hacia el tambor y parte de él hacia el ambiente convectivo y la acción de giro se transmite por caja reductora de engranajes para obtener las RPM necesaria para el giro del tambor de cocción.

3.3.10.2. Alternativa 2

Esta alternativa para el tostado del café presenta un combustible de origen fósil GLP. Para el ingreso de oxígeno a la combustión se utiliza una turbina con álabes hacia adelante el cual se instalará en un quemador de GLP. La cocción del grano se obtiene por transferencia de calor donde la flama tiene contacto directo con el tambor y de esta forma transfiere el calor hacia el mismo. La acción de giro se transmite por catalina y cadena para obtener las RPM necesaria para el giro del tambor de cocción.

3.3.10.3. Alternativa 3

Esta alternativa para el tostado del café presenta un combustible de origen fósil GLP. Para el ingreso de oxígeno a la combustión se utiliza una turbina con álabes hacia atrás el cual se instalará en un quemador de GLP. La cocción del grano se obtiene por transferencia de calor donde la flama tiene contacto directo con el tambor, de esta forma transfiere el calor hacia el mismo. La acción de giro se transmite por poleas y correas para obtener las RPM necesaria para el giro del tambor de cocción.

3.3.11. Método ordinal corregido de criterios ponderados

Una vez encontradas las alternativas se ejecuta una evaluación y comparación para elegir la alternativa correcta, esto es posible por la aplicación del método ordinal corregido de criterios ponderados para el cual se determina un valor de 1 si el criterio de las filas es superior que el de las columnas, 0.5 si el criterio de las filas es semejante al de las columnas y 0 si el criterio de las filas es inferior al de las columnas.

3.3.11.1. Criterios de evaluación de alternativas

Para las alternativas de solución determinadas, se traza su respectiva evaluación tomando en cuenta los siguientes parámetros:

- Eficiente: el proceso de tostado debe tener una eficiencia alta, para poder aprovechar la fuente de energía alternativa.
- Temperatura: el equipo debe trabajar a la temperatura requerida en la cámara de cocción.
- Tiempo: el equipo debe ser capaz de trabajar permitiendo el proceso de tostado en un tiempo adecuado.

- Costo: el precio debe ser moderado para garantizar el tostado de café por aire caliente y que se ajuste a lo establecido en el proceso de diseño.

3.3.11.2. Evaluación de los pesos específicos de las alternativas

Los criterios considerados en el apartado 3.3.11.1 se formularon en el orden de importancia de la siguiente manera:

Eficiente>Temperatura=Tiempo>costo

Tabla 5–3: Evaluación del peso específico de cada criterio

Criterio	Eficiente	Temperatura	Tiempo	Costo	Sumatoria	Ponderación
Eficiente		1	1	1	4	0,40
Temperatura	0		0,5	0	1,5	0,15
Tiempo	0	0,5		0	1,5	0,15
Costo	0	1	1		3	0,3
					8,5	1

Realizado por: Coello, Víctor 2023

Analizando el criterio de “eficiente” se tiene la siguiente disposición de importancia en las alternativas:

Alternativa 1>Alternativa 2> Alternativa 3

Tabla 6–3: Evaluación del peso específico del criterio de eficiencia

Eficiente	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Sumatoria	Ponderación
Alternativa 1		1	1	3	0,5
Alternativa 2	0		1	2	0,33
Alternativa 3	0	0		1	0,16
				6	1

Realizado por: Coello, Víctor 2023

Analizando el criterio de “temperatura” se tiene la siguiente disposición de importancia en las alternativas:

Alternativa 1>Alternativa 2> Alternativa 3

Tabla 7–3: Evaluación del peso específico del criterio de temperatura

Temperatura	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Sumatoria	Ponderación
Alternativa 1		1	1	3	0,5
Alternativa 2	0		1	2	0,33
Alternativa 3	0	0		1	0,16
				6	1

Realizado por: Coello, Víctor 2023

Analizando el criterio de “tiempo” se tiene la siguiente disposición de importancia en las alternativas:

Alternativa 1>Alternativa 2> Alternativa 3

Tabla 8–3: Evaluación del peso específico del criterio de dimensiones

Tiempo	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Sumatoria	Ponderación
Alternativa 1		1	1	3	0,5
Alternativa 2	0		1	2	0,33
Alternativa 3	0	0		1	0,16
				6	1

Realizado por: Coello, Víctor 2023

Analizando el criterio de “costo” se tiene la siguiente disposición de importancia en las alternativas:

Alternativa 3>Alternativa 2> Alternativa 1

Tabla 9–3: Evaluación del peso específico del criterio de operación

Costo	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Sumatoria	Ponderación
Alternativa 1		0	0	1	0,16
Alternativa 2	1		0	2	0,33
Alternativa 3	1	1		3	0,5
				6	1

Realizado por: Coello, Víctor 2023

La tabla de conclusiones permite evaluar la alternativa ganadora de la matriz morfológica y una vez realizadas las ponderaciones de las alternativas se presenta los resultados:

Tabla 10-3: Evaluación de la prioridad de las alternativas

Criterio	Eficiente	Temperatura	Tiempo	Costo	Ponderación	Prioridad
Alternativa 1	(0,5). (0,4)	(0,5). (0,15)	(0,5). (0,15)	(0,16). (0,3)	0.398	1
Alternativa 2	(0,33). (0,4)	(0,33). (0,15)	(0,33).(0,15)	(0,33). (0,3)	0.33	2
Alternativa 3	(0,16). (0,4)	(0,16). (0,15)	(0,16).(0,15)	(0,5). (0,3)	0.262	3

Realizado por: Coello, Víctor 2023

3.4. Diseño de materialización

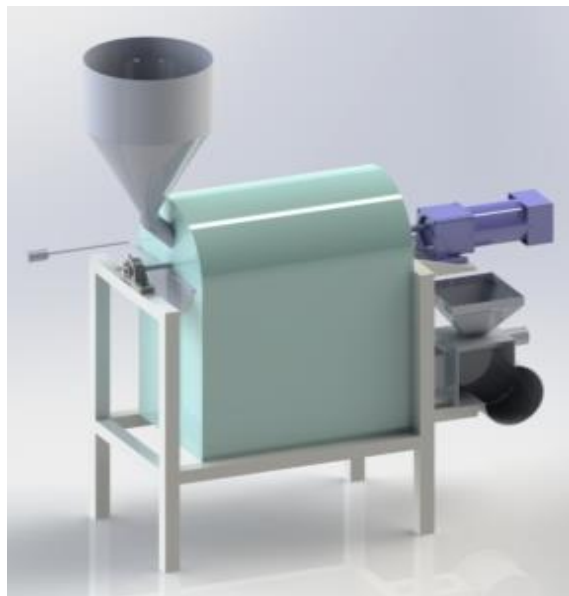


Ilustración 12-3: Alternativa ganadora máquina tostadora de café

Realizado por: Coello, Víctor 2023

Conocida la mejor alternativa para la máquina tostadora de café se procede al diseño de las partes: quemador de pellets, cámara de cocción, diseño de ejes y la estructura de la máquina, la cual tendrá su respectiva verificación en el software ANSYS, lo que permitirá calcular las geometrías, considerando los parámetros y materiales adecuados para la construcción del prototipo. De la misma manera se tomará en cuenta la selección del motor y chumaceras.

Para centrarse en el diseño es importante obtener los parámetros adecuados de tiempo, temperatura y humedad del grano para obtener los cálculos pertinentes para el tueste del fruto del café. Se empezará por la selección de pellets de acuerdo a la disponibilidad.

3.4.1. Selección de las características de pellets

Para la selección del combustible alternativo a base de pellets se consideró el poder calorífico, disponibilidad y composición química, para de esta manera cumplir con el objetivo planteado que es seleccionar pellets cuyas características garanticen un poder calorífico para un adecuado tostado de café.

Los pellets se componen de madera y otros residuos de biomasa como la cascarilla de arroz, de esta forma se procede a seleccionar la mejor opción. A continuación, se estructura los cálculos necesarios para el diseño de la cámara de cocción.

3.4.2. Diseño de la cámara de cocción

El tostador de café debe tener temperaturas de tostado sobre los 180 °C hasta los 200 °C. Para dimensionar el tamaño de la máquina, debe determinarse la cantidad de café tostado que desea.

3.4.2.1. Diseño del tambor de tostado

A continuación, se muestra la densidad estándar de los dos estados del café. El café seco son los granos obtenidos después del tostado, mientras que el café natural son los granos verdes obtenidos antes de la cosecha (Gómez, 2021, p. 18).

Tabla 11–3: Densidades del café

Densidades (kg/m³)	
Café seco	450
Café natural	620

Fuente: (Gómez, 2021, p. 18)

Realizado por: Coello, Víctor 2023

Conocida la densidad del café y la capacidad de 3 kilogramos se calcula el volumen ocupado por el café en la cámara de cocción, con las siguientes ecuaciones.

$$\text{vol. de cafe tost. [m}^3] = \frac{\text{gr. de - cafe tost. [gr]}}{\text{den. de cafe seco } \left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right]} \quad \text{Ecuación 2-3}$$

$$\text{vol. de cafe natural. [m}^3] = \frac{\text{gr. de cafe natural. [gr]}}{\text{den. de cafe natural } \left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right]} \quad \text{Ecuación 3-3}$$

Calculado el volumen se define el porcentaje que llena el tambor para obtener sus dimensiones. Se recomienda llenar el tambor de tueste hasta el 40% del volumen, si se llena más del 80% del volumen no se obtiene una mezcla de café homogénea durante el tueste, por lo que se decidió contar con la mitad de su volumen (Gómez, 2021, p. 19).

Para el cálculo de la longitud de tostado como se muestra en la ecuación 4-3, se asume el 40% del llenado del tambor y, además, se considera un diámetro adecuado para el diseño.

$$\text{long. tambor de tostado} = \frac{\text{vol. tambor de tost. [m}^3]}{\pi \cdot \text{radio tambor de tost}^2 [\text{mm}^2]} \quad \text{Ecuación 4-3}$$

3.4.2.2. *Cálculo del espesor de la plancha para el tambor*

Para el cálculo del espesor se requiere la fuerza centrífuga, para iniciar se calcula la aceleración centrífuga y la masa es dato conocido por ser la capacidad del prototipo. A continuación, se muestra la ecuación 5-3.

$$F_c = m \cdot \alpha \quad \text{Ecuación 5-3}$$

Donde:

F_c: Fuerza centrífuga

m: Masa

α: Aceleración centrífuga

Se conoce la masa del café y la incógnita es la aceleración centrífuga α, para esto primero se debe calcular la velocidad angular como se muestra en la ecuación 7-3 para luego reemplazar en la ecuación 6-3.

$$\alpha = \omega^2 \cdot r \quad \text{Ecuación 6-3}$$

Donde:

α : Aceleración centrífuga

w: Velocidad angular

r: Radio

$$w = \frac{n \cdot \pi}{30}$$

Ecuación 7-3

Ahora se calcula el área ocupada por el café considerando un llenado de 40%, como se muestra en la siguiente ecuación 8-3.

$$A = \pi \cdot r^2 \cdot 0.4$$

Ecuación 8-3

Ahora se analiza el área que ocupa el café en la sección transversal del tambor, realizando el siguiente procedimiento.

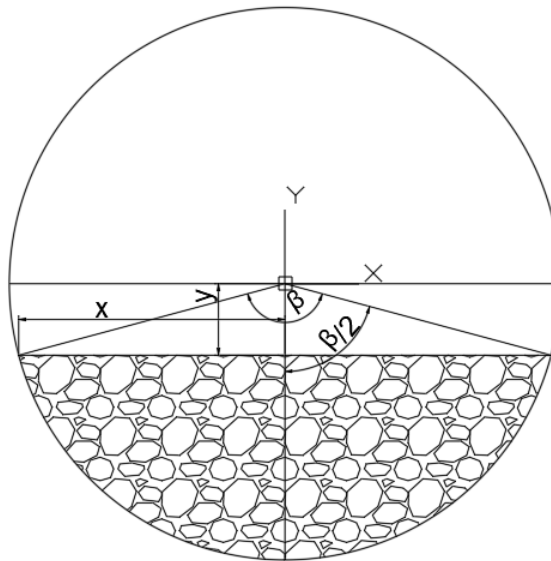


Ilustración 13-3: Vista frontal de tambor de cocción

Realizado por: Coello, Víctor 2023

Se calcula el área del segmento circular, como se muestra en la siguiente ecuación 9-3.

$$A_{seg} = \frac{\beta}{2} \cdot r^2$$

Ecuación 9-3

Observando la ilustración 11-3 el área triangular se encuentra, como se muestra en la siguiente ecuación 10-3

$$A_{\Delta} = x \cdot y \quad \text{Ecuación 10-3}$$

Para conocer el valor de “x” y “y” se aplica el teorema de Pitágoras.

$$x = r \cdot \sin\left(\frac{\beta}{2}\right) \quad \text{Ecuación 11-3}$$

$$y = r \cdot \cos\left(\frac{\beta}{2}\right) \quad \text{Ecuación 12-3}$$

Se reemplaza las ecuaciones 11-3, 12-3 en la ecuación 10-3.

$$A_{\Delta} = \frac{r^2 \cdot \sin(\beta)}{2}$$

Para el cálculo del área ocupada por el café se calcula con la diferencia del área del segmento circular y el área del triángulo.

$$A_{\text{café}} = A_{\text{seg}} - A_{\Delta}$$

La presión sobre el tambor de tostado ejercido por el café se calcula aplicando la siguiente ecuación 13-3.

$$P = \frac{F_c}{\text{area}} \quad \text{Ecuación 13-3}$$

Donde:

P: Presión

Conociendo la presión ejercida entre la pared del tambor de cocción, se calculó el espesor tomando en cuenta el cilindro de pared delgada, el esfuerzo tangencial se muestra en la ecuación 14-3 y el esfuerzo longitudinal se muestra en la ecuación 15.3.

$$e = \frac{P \cdot r}{\sigma}$$

Ecuación 14-3

$$e = \frac{P \cdot r}{2 \cdot \sigma}$$

Ecuación 15-3

Donde:

e: Espesor (mm)

σ : Esfuerzo admisible

3.4.3. *Analizar la transferencia de calor en la cámara de cocción*

Las ecuaciones que permiten analizar la cámara de cocción es la transferencia por conducción y convección, también se requiere conocer el coeficiente de conductividad térmica del acero AISI 304.

Tabla 12–3: Coeficientes de conductividad térmica

Coeficientes	
k acero AISI 304 (W/m. ° K) a 500°C	21,5
k café (W/m. ° K)	0.607

Fuente: (Gómez, 2021)

Realizado por: Coello, Víctor 2023

Para el sistema de tostado se requiere calcular las resistencias térmicas, considerando el calor aprovechado en el tambor de cocción y el flujo perdido hacia el exterior, lo cual permitirá sumar ambos flujos de calor que será necesario para asegurar la cocción del grano de café.

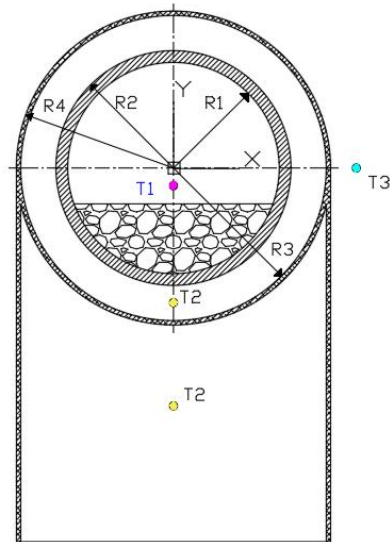


Ilustración 14-3: Vista frontal de máquina tostadora de café.

Realizado por: Coello, Víctor 2023.

A continuación, se muestra un corte transversal de la máquina tostadora de café, en el cual se muestra los diferentes parámetros que se han considerado para el cálculo de la transferencia de calor, entre los puntos más importantes están: temperatura, radios, coeficientes convectivos y conductivos.

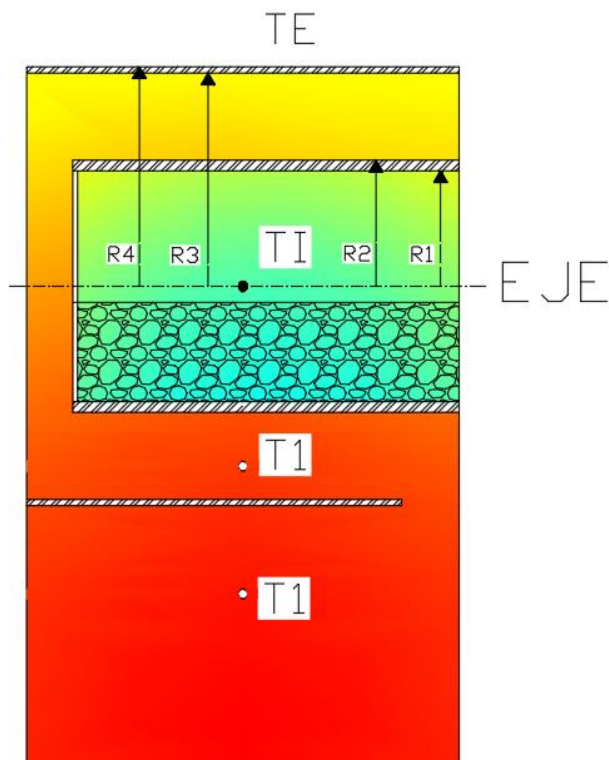


Ilustración 15-3: Vista de las temperaturas de tostado

Realizado por: Coello, Víctor 2023.

Cálculo de la resistencia térmica por convección, como se muestra en la ecuación 16-3.

$$R_{con} = \frac{1}{h \cdot A} \quad \text{Ecuación 16-3}$$

Donde:

Rcon: Resistencia térmica por convección

h: Coeficiente convectivo

A: Área

Cálculo de la resistencia térmica por conducción, como se muestra la ecuación 17-3.

$$R_{cond} = \frac{\ln\left(\frac{r_{ext}}{r_{int}}\right)}{2 \cdot \pi \cdot l \cdot k} \quad \text{Ecuación 17-3}$$

Donde:

Rcond: Resistencia térmica por conducción

l: longitud (m)

k: Constante de conductividad térmica

r ext: radio exterior

r int: radio interior

Cálculo del flujo necesario se aplica la siguiente ecuación 18-3.

$$Q = \frac{\Delta T}{R_{ter}} \quad \text{Ecuación 18-3}$$

Donde:

Q: flujo de calor

ΔT : variación de calor

R_{ter} : resistencia térmica

Cálculo del flujo másico del café, considerando la masa de café y el tiempo necesario para obtener el tostado adecuado como se muestra en la ecuación 19-3.

$$\dot{m} = \frac{m}{\Delta t}$$

Ecuación 19-3

Donde:

\dot{m} : flujo másico

m: masa

Δt : variación de tiempo

Cálculo del flujo aprovechado para obtener la cocción del café

$$Q_{aprov} = \dot{m} \cdot C_p \cdot (T_f - T_i)$$

Ecuación 20-3

Cálculo del calor específico del grano de café considerando su humedad, como se muestra en la ecuación 21-3, respecto a investigaciones por el Ingeniero Montoya se utilizó un método de mezclas para lograr calcular el calor específico del café, además la humedad CH_{DS} se compara respecto al contenido agua de la masa seca del grano (Montoya, Oliveros y Roa, 1990, p. 30).

$$C_p = 1.3556 + 5.7859 \cdot M$$

Ecuación 21-3

Se tomará de referencia lo mencionado por Arciniega (2016, pp. 10 - 20) donde considera un nivel de humedad 10%, al ser este un parámetro que sobre guarda al grano de café impidiendo de ataques de insectos y hongos, esto hace referencia al café seco antes del tueste.

El cálculo de la energía total necesario para la cocción es la suma del calor aprovechado más el calor perdido, como se muestra en la ecuación 22-3.

$$Q_{total} = Q_{aprov} + Q_{perd}$$

Ecuación 22-3

El cálculo necesario para encontrar el “h” convectivo en el interior del cilindro de tostado, se estima como flujo laminar en tubos.

El número de Reynolds se calcula como se muestra en la ecuación 23-3.

$$Re = \frac{\rho \cdot Dh \cdot v}{\mu}$$

Ecuación 23-3

Donde:

Re: Reynolds

ρ : Densidad de aire

Dh: Diámetro hidráulico

v: velocidad de fluido

μ : Viscosidad dinámica

El número Prandtl se calcula con la ecuación 24-3

$$Pr = \frac{\mu \cdot Cp}{k} \quad \text{Ecuación 24-3}$$

Donde:

Pr: Prandtl

Cp: Calor específico

k: Conductividad térmica

Para el cálculo de Nusselt se considera un tubo circular de longitud L, considerando también que la temperatura superficial es constante, como se muestra en la ecuación

$$Nu = 3.66 + \frac{0.065 \cdot \left(\frac{D}{L}\right) \cdot Re \cdot Pr}{1 + 0.04 \cdot \left(\left(\frac{D}{L}\right) \cdot Re \cdot Pr\right)^{\frac{2}{3}}} \quad \text{Ecuación 25-3}$$

Donde:

Nu: Nusselt

El número de Nusselt se calcula con la siguiente ecuación 25-3 de la cual se despeja el h convectivo.

$$Nu = \frac{h \cdot Dh}{k} \quad \text{Ecuación 26-3}$$

3.4.4. *Diseño de la cámara de combustión*

Para el análisis de la transferencia de calor de la cámara de combustión se revisa al quemador de pellets donde se genera la energía en forma de calor para transferirse a la cámara de cocción, a continuación, se desglosa las partes constitutivas del quemador de pellets.

- Quemador de pellets

El quemador se constituye por un sistema de alimentación, una cámara de combustión, donde ocurre la quema del combustible, también se necesita un inyector de aire y pellets.

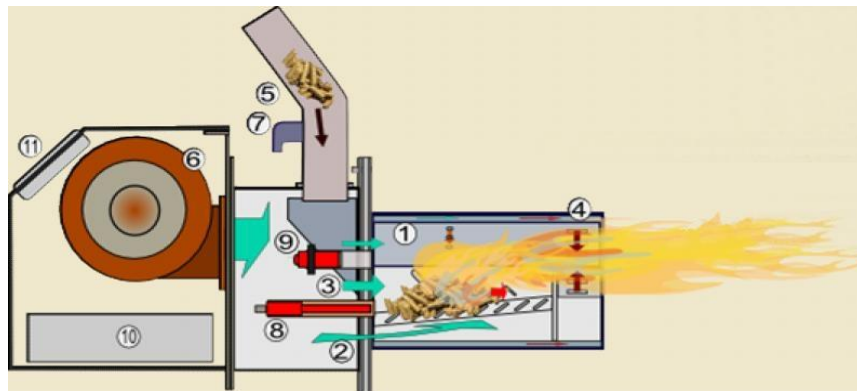


Ilustración 16-3: Quemador de pellets

Fuente: (La tienda del gas, s.f.)

A continuación, se muestra en la tabla 13-3 las partes constitutivas del quemador de pellets.

Tabla 13-3: Partes constitutivas del quemador de pellets

Quemador de pellets	
Cámara de combustión	1
Entrada de aire primario	2
Entrada de aire secundario	3
Entrada de aire terciario	4
Alimentación de Pellet	5
Ventilador centrífugo	6
Termostato de seguridad	7
Resistencia de encendido alta temperatura	8
Fotocélula	9

Fuente: (La tienda del gas, s.f.)

Realizado por: Coello, Víctor 2023.

Se empezará por analizar la cámara de combustión de pellets.

3.4.4.1. Cámara de combustión de pellets

La combustión de la materia orgánica se inicia con liberación de energía, la cual se transforma en calor y otros productos, entre ellos el dióxido de carbono, agua en estado de vapor y sales minerales contenidas en el pellet utilizado, entre otros, resultado de la combustión incompleta de la biomasa (Candela y Lozano, 2022, p. 24).

Tomando en cuenta los conocimientos de Alexis T. Belonio especializado en diseño de quemadores de cascarillas de arroz, se sigue las siguientes fórmulas para el diseño de la cámara de combustión.

$$\dot{m}_c = \frac{P_g}{P \cdot \eta_t} \quad \text{Ecuación 27-3}$$

Donde:

\dot{m}_c : Flujo masico del combustible (kg/h)

P_g : Potencia requerida (kcal/h)

P : Poder calorífico inferior del combustible (kcal/kg)

η_t : Eficiencia térmica

Con el cálculo del flujo másico del combustible, se calculó el área transversal con la ecuación 28-3.

$$A_t = \frac{\dot{m}_c}{R} \quad \text{Ecuación 28-3}$$

Donde:

A_t : Área transversal de la cabina (m²)

R : Relación específica de gasificación (kg/h. m²)

Con el área necesaria se calculó el diámetro de la cabina de combustión.

$$D_t = \left(\frac{4 \cdot A_t}{\pi} \right)^{0.5} \quad \text{Ecuación 29-3}$$

Donde:

Dt: Diámetro de la cabina (m)

Con la dimensión del diámetro de la cabina de combustión se requiere calcular longitud de la cabina considerando un tiempo de operación de 90 minutos.

$$Lq = \frac{R \cdot \text{top}}{\rho} \quad \text{Ecuación 30-3}$$

Donde:

Lq: Longitud de la cabina (m)

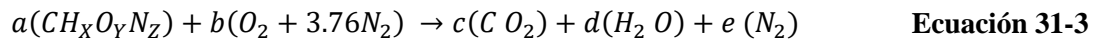
Top: tiempo de operación

ρ : Densidad del combustible (kg/m^3)

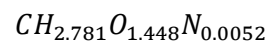
3.4.4.2. Ventilador centrífugo

La selección del ventilador centrífugo requiere tomar en cuenta la porción de reactivos de la combustión para calcular el caudal requerido de aire. Para realizar el cálculo se considera una cantidad de 100 kg de combustible, esto permitirá calcular la relación aire combustible respecto de la relación estequiométrica requerida para la reacción química (Lizana, 2020, pp. 61 - 62).

Para el cálculo de la masa de aire se considera la reacción de la celulosa con aire teórico



Conociendo la formula empírica del aserrín de pino es la siguiente:



Conociendo la masa de combustible y la masa de aire se calcula relaciona aire-combustible como se muestra en la ecuación 32-3.

$$R_{a-c} = \frac{\text{masa de aire}}{\text{masa de combustible}} \quad \text{Ecuación 32-3}$$

El cálculo del caudal del aire se muestra a continuación:

$$\dot{V}_a = \frac{\varepsilon \cdot m_c \cdot R_{a-c}}{\rho_a} \quad \text{Ecuación 33-3}$$

Va: Caudal del aire (m³/h)
ε: Porcentaje del aire estequiométrico
mc: Flujo masico del combustible (kg/h)
Ra-c: Relación aire-combustible
ρa: Densidad del aire (kg/m³)

3.4.5. *Diseño de elementos de máquina*

Una vez realizado el diseño considerando la parte térmica de la máquina, se requiere realizar los cálculos pertinentes del eje del tambor, el sistema de transmisión y la estructura.

3.4.5.1. *Cálculo de la potencia de motor*

La potencia del motor es calculada con la siguiente ecuación 34-3:

$$P = w \cdot M \quad \text{Ecuación 34-3}$$

Donde:

P: Potencia (W)
w: Velocidad angular (rad/s)
M: Momento (N.m)

Para el cálculo del momento se requiere la fuerza y la distancia de giro.

$$M = F \cdot d \quad \text{Ecuación 35-3}$$

El cálculo de la fuerza estará influenciado directamente por la masa del café y el tambor de cocción.

$$F = (m_1 + m_2) \cdot g \quad \text{Ecuación 36-3}$$

Considerando el material del tambor se aplica las siguientes formula.

$$m_1 = (\rho \cdot L_t \cdot p \cdot e)$$

Ecuación 37-3

Donde

ρ : Densidad del acero inoxidable AISI 304 (kg/m^3)

L_t : Longitud del cilindro (m)

p : Perímetro de circunferencia (m)

m_1 : masa del tambor (gr)

m_2 : masa del café (gr)

e : Espesor de la plancha (m)

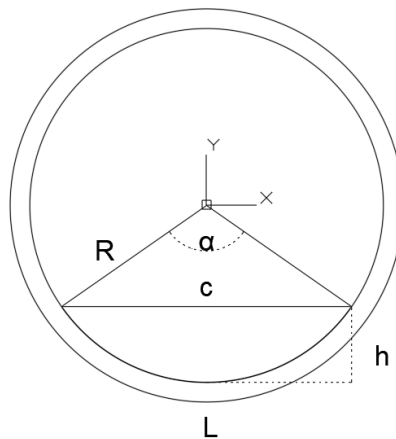


Ilustración 17-3: Sección transversal del tambor de cocción

Realizado por: Coello, Víctor 2023.

A continuación, se calcula la distancia del centroide con la siguiente formula

$$\bar{x} = \frac{4 \cdot R^2}{3} \cdot \left(\frac{(\text{sen}(\beta))^3}{2 \cdot \beta - \text{sen}(2 \cdot \beta)} \right)$$

Ecuación 38-3

Encontrada la distancia se puede calcular el momento requerido

$$M = F \cdot \bar{x}$$

Ecuación 39-3

Obtenidos los datos pertinentes se aplica la siguiente fórmula para el cálculo de la potencia requerida para el motor.

3.4.5.2. Dimensionamiento del eje del cilindro de tostado

Para el dimensionamiento se toma en cuenta que está influenciado por el momento torsor y flexión junto a la fuerza distribuida por el café y las reacciones en las chumaceras. A continuación, se muestra un diagrama de cuerpo libre en la ilustración 15-3.

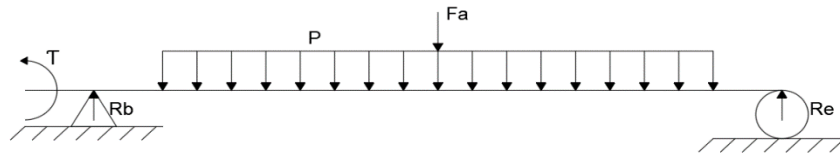


Ilustración 18-3: Diagrama de cuerpo libre

Realizado por: Coello, Víctor 2023.

Donde:

Fa: Peso (N)

Rb: Reacción en chumacera (N)

Re: Reacción en chumacera (N)

P: Carga distribuida (N/m)

τ : Momento torsor (N.m)

La carga distribuida se obtiene con el cálculo de la ecuación 40-3

$$P = \frac{m}{l} \cdot g$$

Ecuación 40-3

Donde:

P: Carga distribuida

g: Gravedad

m: Masa del café

l: Longitud del cilindro

3.4.5.3. Diseño de árboles y ejes según el ASME B106,1M

Los ejes y árboles son elementos mecánicos, generalmente de sección circular, utilizados para soportar piezas que se unen o giran alrededor de ellas. Algunos de los elementos montados en el árbol y el eje son engranajes, poleas, embragues y rotores.

$$= \left\{ \frac{16 \cdot n}{\pi} \cdot \left[4 \cdot \left(\frac{kf \cdot Ma}{Se} \right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{kfs \cdot Ta}{Se} \right)^2 + 4 \cdot \left(\frac{kf \cdot Mm}{Sy} \right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{kf \cdot Tm}{Sy} \right)^2 \right]^{1/2} \right\}^{1/3}$$

$$\frac{1}{n} = \frac{16}{\pi \cdot d^3} \cdot \left[4 \cdot \left(\frac{kf \cdot Ma}{Se} \right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{kfs \cdot Ta}{Se} \right)^2 + 4 \cdot \left(\frac{kf \cdot Mm}{Sy} \right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{kf \cdot Tm}{Sy} \right)^2 \right]^{1/2}$$

Las etapas del diseño de arboles

- Selección del material

La selección del material se adecua considerando que el eje estará en contacto con alimento por lo cual se selecciona el material abarcando estos parámetros.

- Verificación de la resistencia

La resistencia del material se calcula respecto a las cargas presentes en el eje, por lo cual se requiere calcular los momentos amplitud y medio.

Momento amplitud y medio respecto a la flexión se indica en la siguiente ecuación 41-3 y 42-3.

$$M_a = \frac{M_{f \max} - (M_{f \min})}{2} \quad \text{Ecuación 41-3}$$

$$M_m = \frac{M_{f \max} + (M_{f \min})}{2} \quad \text{Ecuación 42-3}$$

Momento amplitud y medio respecto al par torsor se indica en la siguiente ecuación 43-3 y 44-3.

$$T_a = \frac{T_{\max} - (T_{\min})}{2} \quad \text{Ecuación 43-3}$$

$$T_m = \frac{T_{\max} + (T_{\min})}{2} \quad \text{Ecuación 44-3}$$

Conocidos los momentos amplitud y medio respectivamente se aplica la ecuación según el ASME B106,1M para encontrar el diámetro adecuado para el eje.

- Verificación de la rigidez del árbol

Respecto a las cargas del peso del tambor y el café el eje estará sometido a flexión por esta razón se calcula la deflexión máxima del mismo, considerando la longitud L entre los apoyos, de esta manera se compara la deflexión máxima respecto a la deformación permisible mostrada en la tabla 14-3.

Tabla 14-3: Límites de deformación permisible

Deformación	Aplicación	Deformación permisible
Deflexión (flexión)	Deflexión máxima en árboles que soportan ruedas dentadas.	$y = (0.0002 - 0.003) L$, donde L es la distancia entre apoyos.
	En el sitio de asiento de ruedas dentadas cilíndricas.	$y = (0.01 - 0.3) m$, donde m es el módulo de transmisión.
	En el sitio de asiento de ruedas dentadas cónicas o hipoidales.	$y = (0.005 - 0.007) m$, donde m es el módulo de transmisión.
	Deflexión máxima en los árboles de los motores asíncronos.	$y = (0.1) h$, donde h es la holgura entre el rotor y estator.
	Deflexión máxima en arboles de ventiladores	$y = (0.0003 - 0.005) D$, donde D es el diámetro del rotor.

Fuente: (Vanegas Useche, 2018)

Realizado por: Coello, Víctor 2023.

3.4.6. Selección de rodamientos

Los valores de referencia de la vida nominal básica requerida para rodamientos.

Tabla 15-3: Requerimientos del usuario

Máquinas utilizadas por períodos cortos o intermitentemente	
Equipo de transporte agrícola y auxiliar	1000-2000
Otros equipos agrícolas	4000-8000

Fuente: (SKF, 2022, p. 1).

Realizado por: Coello, Víctor 2023.

Para el cálculo de la vida nominal se calcula la capacidad de carga dinámica del rodamiento aplicando la ecuación 45-3

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p \quad \text{Ecuación 45-3}$$

Donde:

L_{10} : Duración en horas de servicio con un 90% de fiabilidad.

P: Carga radial aplicada en la chumacera

C: Capacidad de carga dinámica

p: Exponente para rodamientos de bolas

La vida se calcula en horas de funcionamiento por esta razón se despeja para el cálculo de la duración nominal en horas de servicio respecto a la ecuación 46-3.

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 \cdot n} \cdot L_{10} \quad \text{Ecuación 46-3}$$

Despejando la vida nominal

$$L_{10} = \frac{L_{10h} \cdot 60 \cdot n}{10^6} \quad \text{Ecuación 47-3}$$

Para la selección del motor se requiere considerar un factor por lo cual el motor no podrá trabajar al 100% de su capacidad.

$$N_{motor} = \frac{P}{n} \quad \text{Ecuación 48-3}$$

3.5. Instrumentos de medición de temperatura (termocuplas)

Se requiere instalar termocuplas en la máquina para tener un sondeo de las temperaturas en la cámara de cocción y combustión. Estos instrumentos de medida de la variación de la temperatura aplicando el efecto Seebeck mediante la diferencia de tensión eléctrica muestra una diferencia de temperatura. Está compuesto por dos metales distintos que se unen a un termopar. De acuerdo con la temperatura que se desea medir se tiene una gran variedad de termocuplas como se indica en la siguiente Tabla 14-3.

Tabla 16–3: Características de termopares (Norma IEC-584-1982)

TIPO	TERMOPAR	INTERVALO DE MEDIDA	ERROR MAX. (clase 1)	ERROR MAX. (clase 2)	ERROR MAX. (clase 3)	RANGO DE USO
B	Platino 30% Rodio (+) Platino 6% Rodio (-)	600 ... 1700 °C	-----	± 1,5°C ± 0,25%	± 4 °C ± 0,5%	1.370 °C 1.700 °C
E	Cromel (NiCr) (+) Constantan (-)	-40 ... 800 °C	± 1,5 °C ± 0,4 %	± 2,5°C ± 0,75%	± 2,5°C ± 0,75%	95 °C 900 °C
J	Hierro (+) Constantan (-)	-40 ... 750 °C	± 1,5 °C ± 0,4 %	± 2,5°C ± 0,75 %	-----	95 °C 760 °C
K	Cromel (NiCr) (+) Alumel (Ni) (-)	-40 ... 1.200 °C	± 1,5 °C ± 0,4 %	± 2,5°C ± 0,75 %	± 2,5°C ± 1,5 %	95 °C 1.260 °C
R	Platino 13% Rodio (+) Platino (-)	0 ... 1.600 °C	± 1 °C	± 1,5 °C ± 0,25 %	-----	870 °C 1.450 °C
S	Platino 10% Rodio (+) Platino (-)	0 ... 1.600 °C	± 1 °C	± 1,5 °C ± 0,25 %	-----	980 °C 1.450 °C
T	Cobre (+) Constantan (-)	-200 ...350 °C	± 0,5 °C ± 0,4 %	± 1 °C ± 0,75 %	± 1 °C ± 1,5 %	-200 °C 350 °C

Fuente: (Motorlan, 2017, p. 2)

3.6. Sistema de control

Los componentes electrónicos que permiten el control de los motores, instrumentos de medición de temperatura y resistencias eléctricas son los siguientes:

- Controlador de temperatura 120v
- Contactor 110 v
- Fuente de voltaje 110 vac-12 vdc
- Temporizador 110 vac

3.6.1. Controlador de temperatura

Se requiere instalar controladores de temperatura para visualizar los datos recopilados por las termocuplas, por lo cual permiten un control de las temperaturas en la cámara de combustión y cocción del grano, existen 3 tipos de controladores más conocidos:

- ✓ Encendido y apagado (ON-OFF)
- ✓ Controladores proporcionales
- ✓ Controladores PID

3.6.2. *Contactador 110 V*

Los contactores permiten cerrar y abrir circuitos, por lo cual ayudará en la instalación de encendido de motores y resistencias eléctricas.

3.6.3. *Fuente de voltaje*

La instalación de la fuente de voltaje servirá para transformar un voltaje de corriente alterna a corriente continua.

3.6.4. *Temporizador*

La instalación del temporizador permite tener un control al abrir y cerrar un circuito de manera automática de acuerdo con el tiempo que se asignó, estos timer ayudaran dentro del sistema de control ajustar los tiempos de alimentación del Pellets y encendido de resistencias eléctricas.

3.7. **Construcción del prototipo**

3.7.1. *Equipos y herramientas*

Para la construcción del prototipo se requiere máquinas y herramientas, como se indicia en las tablas 17-3 y 18-3

Tabla 17-3: Máquinas utilizadas en taller

Máquinas	Ítem
Soldadora	1
Torno	2
Taladro de banco	3
Esmeril de mano	4
Limadora	5

Realizado por: Coello, Víctor 2023.

Tabla 18-3: Requerimientos del usuario

Herramientas	Ítem
Flexómetro	1
Cierra de mano	2

Calibrador	3
Escuadra	4
Nivel	5
Hexagonales	6
Brocas	7
Cuchillas (HSS)	8
Playo de presión	9
Cizalla	10

Realizado por: Coello, Víctor 2023.

3.8. Pruebas de validación del tostado de café

Las pruebas se realizaron considerando los siguientes parámetros el tipo de café utilizado es arábigo, se va a considerar una masa de (3 kg, 2kg, 1 kg y 0.5 kg), para observar los resultados respecto al color y uniformidad de tueste.

Tabla 19–3: Parámetros de tostado ensayo 1

Parámetros (3 kg)		
Muestra de café	Temperatura (°C)	Tiempo (min)
1	200	55
2	200	57.5
3	200	60

Realizado por: Coello, Víctor 2023

Tabla 20–3: Parámetros de tostado ensayo 2

Parámetros (2 kg)		
Muestra de café	Temperatura (°C)	Tiempo (min)
1	200	40
2	200	42.5
3	200	45

Realizado por: Coello, Víctor 2023.

Tabla 21–3: Parámetros de tostado ensayo 3

Parámetros (1 kg)		
Muestra de café	Temperatura (°C)	Tiempo (min)
1	200	30
2	200	27.5
3	200	25

Realizado por: Coello, Víctor 2023.

Tabla 22-3: Parámetros de tostado ensayo 4

Parámetros (0.5 kg)		
Muestra de café	Temperatura (°C)	Tiempo (min)
1	200	15
2	200	14
3	200	13

Realizado por: Coello, Víctor 2023.

Con las siguientes tandas se procede a realizar el tostado de café respetando los parámetros establecidos, con café del Cantón Zaruma provincia de El Oro con medidas exactas de café para observar las variaciones entre el peso final y el peso inicial revisando la escala agron.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

4.1. Selección de las características de pellets

Los pellets son un producto completamente de origen natural, ya que están compuestos por pequeños cilindros fabricados a partir de serrín natural seco lo cual les da una gran ventaja que es su alto poder calorífico.

Para la selección del combustible alternativo se consideraron los siguientes criterios, el poder calorífico, disponibilidad y composición química, donde se tuvo en cuenta que la biomasa garantice aquellas características para un adecuado tostado de café. Las cuales se resumen a continuación.

- Manipulación y almacenamiento sencillo.
- Eficiencia energética.
- Costo competitivo con otros tipos de combustibles.
- Durabilidad
- Bajas emisiones de CO₂
- Inocuidad
- Seguro

El pellet utilizado es reconocido en la ciudad de baños como Pellets Gamboa el cual se seleccionó por la fácil disponibilidad, el producto no cuenta con ficha técnica por lo cual el poder calorífico y la composición química se analizaron de forma ideal para los posteriores cálculos.

4.2. Diseño térmico para el tostado de café

4.2.1. *Diseño de la cámara de cocción*

Para el diseño de la cámara de combustión se empieza diseñando el tambor de tostado, considerando los parámetros adecuados para obtener las dimensiones y seguir con el diseño térmico.

4.2.1.1. Diseño del tambor de tostado

Cálculo del volumen de café conociendo la capacidad de 3kg para el prototipo de máquina tostadora de café, donde se aplica la ecuación 2-3, 3-3.

$$\text{vol. de cafe tost. [m}^3] = \frac{3 \text{ kg}}{450 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0.0066\text{m}^3$$
$$\text{vol. de cafe natural. [m}^3] = \frac{3 \text{ kg}}{620 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0.0048\text{m}^3$$

Obtenido el volumen del café seco se calcula considerando el 40% de llenado del tambor de cocción para conocer las dimensiones del mismo.

$$V_{\text{total}} = \frac{0.0048 \cdot 100\%}{40\%} = 0.012\text{m}^3$$

Conociendo el volumen total de acuerdo con la capacidad de 3 kg, a continuación, se aplica la ecuación 4-3 para el cálculo de la longitud del tambor, se requiere un diámetro adecuado de 20 cm para el prototipo obteniendo la siguiente longitud del tambor.

$$\text{long. tambor de tostado} = \frac{0.012 \text{ m}^3}{\pi \cdot (0.1 \text{ m})^2} = 0.38 \text{ m}$$

Tabla 1–4: Dimensiones de tambor

Dimensiones del tambor de cocción	
Volumen (m3)	0.012
Radio (mm)	100
Longitud (mm)	400

Realizado por: Coello, Víctor 2023.

4.2.1.2. Cálculo del espesor de la plancha para el tambor

Para el cálculo del espesor se consideró una velocidad angular de 56 rpm, aplicando la ecuación 7-3 para obtener la velocidad angular en radianes sobre segundo.

$$w = \frac{56 \text{ rpm} \cdot \pi}{30} = 5.864 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

La aceleración centrífuga se calcula con la ecuación 6-3.

$$\alpha = \left(4.189 \frac{\text{rad}}{\text{s}}\right)^2 \cdot 0.1 \text{ m} = 3.439 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Conociendo la aceleración centrífuga y la masa, se calculó la fuerza centrífuga aplicando la ecuación 5-3.

$$F_c = 3 \text{ kg} \cdot 1.755 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 10.317 \text{ N}$$

Ahora se calcula el área ocupada por el café considerando un llenado de 40%, aplicando la ecuación 8-3.

$$A = \pi \cdot (0.1)^2 \cdot 0.4 = 0.013 \text{ m}^2$$

Reemplazando los valores se encuentra el ángulo beta.

$$A_{\text{café}} = \left(\frac{\beta}{2} \cdot r^2\right) - \frac{r^2 \cdot \sin(\beta)}{2}$$
$$0.013 \text{ m}^2 = \left(\frac{\beta}{2} \cdot 0.1^2\right) - \frac{0.1^2 \cdot \sin(\beta)}{2}$$
$$\beta = 2.869 \text{ rad} = 164.38^\circ$$

Se calcula la longitud “x” y “y”, aplicando la ecuación 11-3 y 12-3.

$$x = 0.1 \cdot \sin\left(\frac{164.38^\circ}{2}\right) = 0.09907 \text{ m} = 99.07 \text{ mm}$$
$$y = 0.1 \cdot \cos\left(\frac{164.38^\circ}{2}\right) = 0.01359 \text{ m} = 13.59 \text{ mm}$$

El área sobre la cual ejerce la presión sobre el tambor es la siguiente:

$$\text{area} = 2 \cdot x \cdot L = 2 \cdot 0.09907 \cdot 0.4 = 0.079 \text{ m}^2$$

La presión sobre el tambor de tostado ejercido por el café se calcula aplicando la ecuación 13-3.

$$P = \frac{10.317 \text{ N}}{0.079 \text{ m}^2} = 130.17 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

El espesor calculado respecto del esfuerzo tangencial aplicando la ecuación 14-3.

$$e = \frac{130.17 \frac{N}{m^2} \cdot 0.1m}{234.7 \times 10^6 \frac{N}{m^2}} = 5.546 \times 10^{-5} \text{ mm}$$

El espesor calculado respecto del esfuerzo longitudinal aplicando la ecuación 15-3.

$$e = \frac{130.17 \frac{N}{m^2} \cdot 0.1m}{2 \cdot 234.7 \times 10^6 \frac{N}{m^2}} = 2.773 \times 10^{-5} \text{ mm}$$

4.2.1.3. Selección del espesor del tambor de tostado

Respecto a los valores obtenidos de espesor considerando el esfuerzo tangencial y longitudinal se obtiene un espesor de lámina sumamente bajo para las que se dispone en el mercado, por esta razón se tomará un espesor de 2mm considerando deformaciones y posibles desgastes en el material; además, se debe recordar que se requiere soldar por lo cual es un grosor recomendable.

Obtenidas las dimensiones del tambor para la geometría de gran interés para el cálculo de las temperaturas de la cámara de cocción para asegurar 200 °C en el grano de café.

4.2.1.4. Análisis de la transferencia de calor en la cámara de cocción

Para empezar el análisis de transferencia de calor en la cámara de cocción se calcula el coeficiente convectivo “h” en el interior del cilindro de tostado.

Tabla 2–4: Datos para el análisis de transferencia de calor

Datos	
Diámetro exterior (mm)	300
Diámetro interior (mm)	200
Espesor (mm)	2
Longitud (mm)	400
T interior (°C)	200
T exterior (°C)	700
T quemador (°C)	800

Realizado por: Coello, Víctor 2023.

Se requiere calcular el número de Reynolds. Las propiedades del aire se muestran en el (Anexo A)

Tabla 3-4: Propiedades del aire en el interior del tambor (800 °C)

Datos	
Densidad del aire (kg/m ³)	0.3289
Viscosidad dinámica (kg/m.s)	4.362x10 ⁻⁵
Calor específico (J/kg.K)	1153
Conductividad térmica (W/m.K)	0.07037

Realizado por: Coello, Víctor 2023.

Conociendo la velocidad del aire a la salida del quemador mediante el uso de un instrumento de medición (Anemómetro) la cual es de 4.5 m/s que nos dio como resultado en un prediseño del quemador, dado que la literatura investigada no permitía conocer la velocidad necesaria para la combustión del quemador, se calcula el flujo másico de aire que sale del quemador conociendo la temperatura de combustión de los pellets 800°C.

$$caudal = 4.5 \frac{m}{s} \cdot (0.046 m)^2 = 34.279 \frac{m^3}{hr}$$

$$\dot{m} = 0.3289 \frac{kg}{m^3} \cdot 34.279 \frac{m^3}{hr} = 0.003 \frac{kg}{s}$$

Conociendo el flujo másico que será constante en todo el sistema de análisis, se calcula la velocidad a la cual estará circulando en el interior del tambor de cocción, considerando que por donde atraviesa el aire es una plancha perforada (ver Anexo B).

Tabla 4-4: Propiedades del aire en el interior del tambor (200 °C)

Datos	
Densidad del aire (kg/m ³)	0.7459
Viscosidad dinámica (kg/m.s)	2.577x10 ⁻⁵
Calor específico (J/kg.K)	1023
Conductividad térmica (W/m.K)	0.03779

Fuente: (Gómez, 2021)

Realizado por: Coello, Víctor 2023.

El tambor tiene un diámetro de 200 mm, a continuación, se muestra la ilustración que indica la lámina perforada, la misma que tiene un 30 % de área abierta; esta consideración se tomará en cuenta en el cálculo del área.

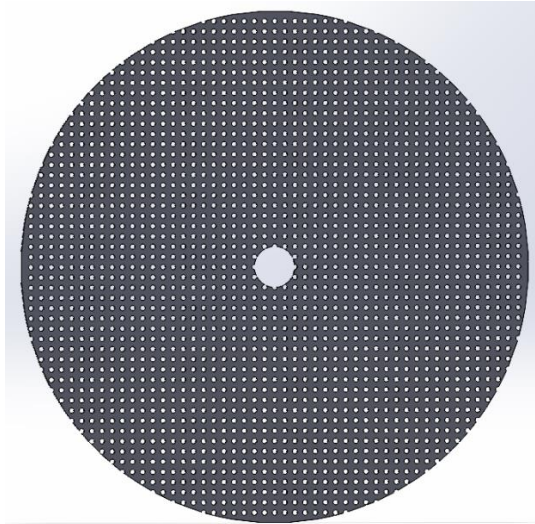


Ilustración 1-4: Lámina perforada R2 T3.5.

Realizado por: Coello, Víctor 2023.

$$v = \frac{0.003 \frac{kg}{s}}{0.7459 \frac{kg}{m^3} \cdot \pi \cdot (0.1 m)^2 \cdot 0.3} = 0.445 \frac{m}{s}$$

El número de Reynolds se calcula según la ecuación 23-3.

$$Re = \frac{0.7459 \frac{kg}{m^3} \cdot 0.2 m \cdot 0.445 \frac{m}{s}}{2.577 \times 10^{-5} \frac{kg}{m \cdot s}} = 2578.91$$

Al obtener un número de Reynolds menor o igual 2300 se considera flujo laminar o flujo turbulento al superar Reynolds $Re < 4000$, pero se obtuvo un valor de número de Reynolds intermedio por lo cual se lo considero como flujo transitorio para los posteriores cálculos de número de Prandtl y Nusselt.

El número Prandtl se calcula con la ecuación 24-3

$$Pr = \frac{2.577 \times 10^{-5} \frac{kg}{m \cdot s} \cdot 1023 \frac{J}{kg \cdot ^\circ K}}{0.03779 \frac{W}{m \cdot ^\circ K}} = 0.698$$

Para el cálculo de Nusselt se considera un tubo circular de longitud L, considerando también que la temperatura superficial es constante, como se muestra en la ecuación 25-3

$$Nu = 3.66 + \frac{0.065 \cdot \left(\frac{0.2}{0.4}\right) \cdot 2578.91 \cdot 0.698}{1 + 0.04 \cdot \left(\left(\frac{0.2}{0.4}\right) \cdot 2578.91 \cdot 0.698\right)^{\frac{2}{3}}} = 16.028$$

El número de Nusselt se calcula con la ecuación 25-3, de la cual se despeja el h convectivo.

$$h = \frac{16.028 \cdot 0.03779 \frac{W}{m \cdot ^\circ K}}{0.2 m} = 3.029 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$$

Para empezar el análisis de transferencia de calor en la cámara de cocción se calcula el “h” convectivo en el exterior del cilindro de tostado.

Se requiere calcular el número de Reynolds, las propiedades del aire se muestran en el (Anexo A)

Tabla 5-4: Propiedades del aire en el interior del tambor (700 °C)

Datos	
Densidad del aire (kg/m ³)	0.3627
Viscosidad dinámica (kg/m.s)	4.111x10 ⁻⁵
Calor específico (J/kg.K)	1135
Conductividad térmica (W/m.K)	0.06581

Realizado por: Coello, Víctor 2023.

$$v = \frac{0.003 \frac{kg}{s}}{0.3627 \frac{kg}{m^3} \cdot \pi \cdot ((0.15 m)^2 - (0.1 m)^2)} = 0.22 \frac{m}{s}$$

Para el cálculo se requiere calcular el diámetro hidráulico

$$d = 300 mm - 200 mm = 100 mm$$

El número de Reynolds se calcula como se muestra en la ecuación 23-3.

$$Re = \frac{0.3627 \frac{kg}{m^3} \cdot 0.1 m \cdot 0.22 \frac{m}{s}}{4.111 \times 10^{-5} \frac{kg}{m \cdot s}} = 193.992$$

Al obtener un número de Reynolds menor o igual 2300 se considera flujo laminar para el cálculo del número de Nusselt.

El número Prandtl se calcula con la ecuación 24-3

$$Pr = \frac{4.111 \times 10^{-5} \frac{kg}{m \cdot s} \cdot 1135 \frac{J}{kg \cdot ^\circ K}}{0.06581 \frac{W}{m \cdot ^\circ K}} = 0.709$$

Para el cálculo del número de Nusselt se considera un tubo circular de longitud L, considerando también que la temperatura superficial es constante, como se muestra en la ecuación 25-3:

$$Nu = 3.66 + \frac{0.065 \cdot \left(\frac{0.1}{0.4}\right) \cdot 193.992 \cdot 0.709}{1 + 0.04 \cdot \left(\left(\frac{0.1}{0.4}\right) \cdot 193.992 \cdot 0.709\right)^{\frac{2}{3}}} = 5.231$$

El número de Nusselt se calcula con la siguiente ecuación 25-3, de la cual se despeja el h convectivo.

$$h = \frac{5.231 \cdot 0.06581 \frac{W}{m \cdot ^\circ K}}{0.1 m} = 3.442 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$$

Se calcula el flujo de calor aprovechado para lo cual se calcula las resistencias térmicas por convección y conducción aplicando la ecuación 32-3 y 33-3, respectivamente.

$$A_1 = 2 \cdot \pi \cdot 0.1 m \cdot 0.4 m = 0.251 m^2$$

$$R_{con1} = \frac{1}{3.029 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \cdot 0.251 m^2} = 1.3136 \frac{^\circ K}{W}$$

$$A_2 = 2 \cdot \pi \cdot 0.102 m \cdot 0.4 m = 0.256 m^2$$

$$R_{con2} = \frac{1}{3.442 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \cdot 0.256 m^2} = 1.133 \frac{^\circ K}{W}$$

$$R_{cond1} = \frac{\ln\left(\frac{102}{100}\right)}{2 \cdot \pi \cdot 0.4 m \cdot 21.5 \frac{W}{m \cdot ^\circ K}} = 3.6647 \times 10^{-4} \frac{^\circ K}{W}$$

La resistencia de aprovechamiento es la suma de las resistencias.

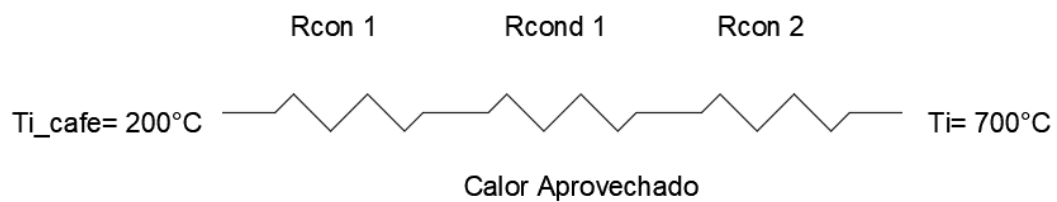


Ilustración 2-4: Circuito térmico de calor aprovechado

Realizado por: Coello, Víctor 2023.

$$R_{apro} = 1.3136 \frac{^\circ K}{W} + 1.1333 \frac{^\circ K}{W} + 3.6647 \times 10^{-4} \frac{^\circ K}{W} = 2.447 \frac{^\circ K}{W}$$

Cálculo del flujo masivo del café considerando un tiempo de 60 minutos para la cocción.

$$\dot{m} = \frac{3 kg}{60 min} = 0.00083 \frac{kg}{s}$$

Cálculo del calor específico del grano de café considerando una humedad de 10% (Arciniega, 2016).

$$C_p = (1.3556 + 5.7859 \cdot 0.10) \cdot 1000 = 1934.19 \frac{J}{kg \cdot ^\circ C}$$

Cálculo del flujo aprovechado para obtener la cocción del café.

$$Q_{aprov} = 0.00083 \frac{kg}{s} \cdot 1934.19 \frac{J}{kg \cdot ^\circ C} \cdot (200^\circ C - 18^\circ C) = 293.352 W$$

Se calcula el flujo de calor perdido para lo cual se estiman las resistencias térmicas por convección y conducción aplicando las ecuaciones 32-3 y 33-3, respectivamente.

$$A_1 = 2 \cdot \pi \cdot 0.15 \text{ m} \cdot 0.45 \text{ m} = 0.424 \text{ m}^2$$

$$R_{con3} = \frac{1}{3.442 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \cdot 0.424 \text{ m}^2} = 0.685 \frac{^\circ K}{W}$$

$$A_2 = 2 \cdot \pi \cdot 0.151 \text{ m} \cdot 0.45 \text{ m} = 0.427 \text{ m}^2$$

$$R_{con4} = \frac{1}{5 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \cdot 0.427 \text{ m}^2} = 0.4684 \frac{^\circ K}{W}$$

$$R_{cond2} = \frac{\ln\left(\frac{151}{150}\right)}{2 \cdot \pi \cdot 0.45 \text{ m} \cdot 21.5 \frac{W}{m \cdot ^\circ K}} = 1.093 \times 10^{-4} \frac{^\circ K}{W}$$

La resistencia de pérdida es la suma de las resistencias.

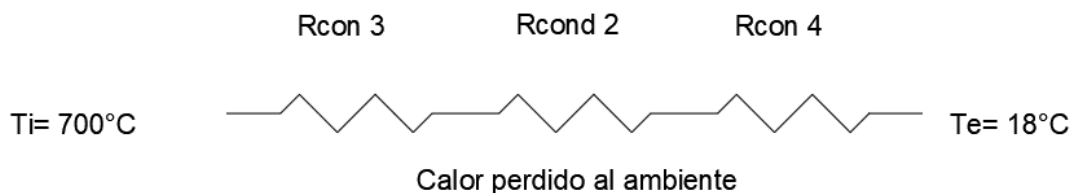


Ilustración 3-4: Circuito térmico de calor perdido al ambiente

Realizado por: Coello, Víctor 2023.

$$R_{perd} = 0.685 \frac{^\circ K}{W} + 0.4684 \frac{^\circ K}{W} + 1.093 \times 10^{-4} \frac{^\circ K}{W} = 1.154 \frac{^\circ K}{W}$$

$$Q_{Perd} = \frac{(700^\circ C - 18^\circ C)}{1.154 \frac{^\circ K}{W}} = 591.203 \text{ W}$$

$$\text{Calor total} = 293.352 \text{ W} + 591.203 \text{ W} = 884.555 \text{ W}$$

A continuación, se resumió que los cálculos térmicos para el diseño de la tostadora primero se muestran los coeficientes de conducción y convección en la tabla 6-4.

Tabla 6-4: Características de coeficientes de conducción y convección.

Coeficientes de conducción y convección		
Conductividad térmica para acero AISI 304	$21.5 \frac{W}{m \cdot K}$	k acero
Conductividad térmica para lana de vidrio	$0.03 \frac{W}{m \cdot K}$	k aislante
Coefficiente de convección del aire a temperatura ambiente	$5 \frac{W}{m^2 \cdot K}$	h
Coefficiente de convección del aire en exterior del tambor	$3.442 \frac{W}{m^2 \cdot K}$	h _e
Coefficiente de convección del aire en el interior del tambor	$3.029 \frac{W}{m^2 \cdot K}$	h _i

Realizado por: Coello, Víctor 2023.

En la tabla 7-4 se resumió el calor aprovechado por el café y perdido al ambiente para de esta manera conocer el calor total para obtener el tueste adecuado.

Tabla 7-4: Calor en el sistema de tostado

Calores calculados	
Calor aprovechado por el café	293.352 W
Calor perdido al ambiente	591.203 W
Calor total	884.555 W

Realizado por: Coello, Víctor 2023.

4.2.2. *Diseño de la cámara de combustión*

Para el análisis de la transferencia de calor de la cámara de combustión se revisa al quemador de pellets donde se genera la energía en forma de calor para transferirse a la cámara de cocción. A continuación, se desglosa las partes constitutivas del quemador de pellets.

4.2.2.1. *Quemador de pellets*

El quemador se constituye por un sistema de alimentación, una cámara de combustión donde ocurre la quema del combustible, un inyector de aire y pellets.

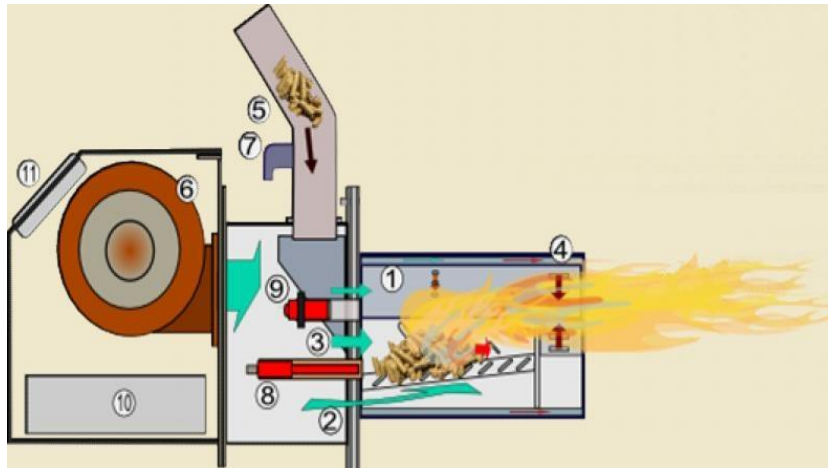


Ilustración 4-4: Quemador de pellets.

Fuente: (La tienda del gas, s.f.).

4.2.2.2. Cámara de combustión de pellets

Conociendo la potencia requerida para el tostado del café de 884.555 W, se calculó el flujo másico requerido en el quemador de pellets aplicando la ecuación 27-3.

$$\dot{m}_{ic} = \frac{760.58 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}}{4180 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \cdot 0.8} = 0.227 \frac{\text{kg}}{\text{hr}}$$

Con el cálculo del flujo másico del combustible, se calculó el área transversal con la ecuación 28-3.

$$A_t = \frac{0.227 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{100 \frac{\text{kg}}{\text{h} \cdot \text{m}^2}} = 0.00227 \text{ m}^2$$

Con el área necesaria se calculó el diámetro de la cabina de combustión aplicando la ecuación 29-3.

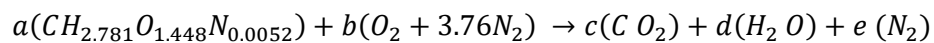
$$D_t = (0.00227)^{0.5} = 47.691 \text{ mm}$$

Con la dimensión del diámetro de la cabina de combustión, se requiere calcular longitud de la cabina, considerando un tiempo de operación de 90 minutos, con la ecuación 30-3.

$$Lq = \frac{100 \frac{kg}{h \cdot m^2} \cdot 90 \text{ min}}{678 \frac{kg}{m^3}} = 221.239 \text{ mm}$$

4.2.2.3. Ventilador centrífugo

Ahora se requiere igualar la ecuación para encontrar la masa de aire y de combustible en la reacción esto se consigue al reemplazar la fórmula empírica de composición del pellet en la ecuación 31-3.



- 1) $C \rightarrow a = c$
- 2) $H \rightarrow 2.781 a = 2 d$
- 3) $O \rightarrow 1.448 a + 2 b = 2 c + d$
- 4) $N \rightarrow 0.0052 a + 7.52 b = 2 e$

Despejando la ecuación 2 respecto de “d” de la siguiente manera:

$$d = \frac{2.781}{2} a = 1.3905 a$$

Despejando la ecuación 3 respecto de “b” de la siguiente manera:

$$b = \frac{2 a + 1.3905 a - 1.448 a}{2} = 0.97125 a$$

Despejando la ecuación 4 respecto de “e” de la siguiente manera:

$$e = \frac{0.0052 a + 7.52 (0.97125 a)}{2} = 3.6545 a$$

Suponiendo que a=1 reemplazamos en las ecuaciones

$$a = 1$$

$$b = 0.97125$$

$$c = 1$$

$$d = 1.3905$$

$$e = 3.6545$$

A continuación, se calcularon las masas moleculares de la celulosa y el aire:

$$\begin{aligned} C &= 12 \\ H &= 2.781 \\ O &= 16 \cdot 1.448 = 23.168 \\ N &= 14 \cdot 0.0052 = 0.0728 \\ \text{Celulosa} &= 38.0218 \frac{\text{gr}}{\text{mol}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} O &= 16 \cdot 2 = 32 \\ N &= 14 \cdot 7.52 = 105.28 \\ \text{Aire} &= 137.28 \frac{\text{gr}}{\text{mol}} \end{aligned}$$

Considerando una masa de 100 kg de combustible se calculó la masa de aire necesaria para la reacción:

$$\begin{aligned} &100000 \text{ gr } (CH_{2.781}O_{1.448}N_{0.0052}) \times \frac{1 \text{ mol } (CH_{2.781}O_{1.448}N_{0.0052})}{38.0218 \text{ gr } (CH_{2.781}O_{1.448}N_{0.0052})} \\ &\times \frac{0.97125 \text{ mol } (O_2 + 3.76N_2)}{1 \text{ mol } (CH_{2.781}O_{1.448}N_{0.0052})} \times \frac{137.28 (O_2 + 3.76N_2)}{1 \text{ mol } (O_2 + 3.76N_2)} = 350675.665 \text{ gr } (O_2 + 3.76N_2) \end{aligned}$$

Conociendo la masa de combustible y la masa de aire se aplica la ecuación 32-3.

$$Ra - c = \frac{350.675 \text{ kg } (O_2 + 3.76N_2)}{100 \text{ kg } (CH_{2.781}O_{1.448}N_{0.0052})} = 3.51 \frac{\text{kg aire}}{\text{kg combustible}}$$

El cálculo del caudal del aire se realiza aplicando la ecuación 33-3.

$$\dot{V}_a = \frac{0.4 \cdot 0.227 \frac{\text{kg}}{\text{hr}} \cdot 3.51}{0.32 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 3.4858 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}}$$

4.3. Diseño de elementos de máquina

Una vez realizado el diseño considerando la parte térmica de la máquina, se requiere realizar los cálculos pertinentes del eje del tambor, el sistema de transmisión y la estructura.

4.3.1. Cálculo de la potencia de motor

Para el cálculo de la potencia del motor primero analizamos la fuerza ejercida por el café y el tambor, la masa m_1 representa al tambor aplicando la siguiente ecuación 37-3.

$$m_1 = \left(7930 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0.4\text{m} \cdot 2 \cdot \pi \cdot 0.1\text{m} \cdot 0.002\text{m} \right) = 3.986 \text{ kg}$$

El cálculo de la fuerza se aplica la ecuación 36-3.

$$F = (3 \text{ kg} + 3.986 \text{ kg}) \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 68.51 \text{ N}$$

La distancia se calcula considerando el centroide del segmento circular aplicando la ecuación 38-3.

$$\bar{x} = \frac{4 \cdot 0.1^2}{3} \cdot \left(\frac{\left(\sin\left(\frac{164.38^\circ}{2}\right)\right)^3}{2.869 - \sin(164.38^\circ)} \right) = 49.873 \text{ mm}$$

Encontrada la distancia se puede calcular el momento requerido aplicando la ecuación 39-3.

$$M = 68.51 \text{ N} \cdot 0.049 \text{ m} = 3.417 \text{ J}$$

La potencia necesaria se calcula a continuación aplicando la ecuación 34-3.

$$P = 4.189 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \cdot 3.417 \text{ J} = 0.019 \text{ hp}$$

4.3.2. Dimensionamiento del eje del cilindro de tostado

Para el cálculo del diámetro del eje se requiere calcular el peso del tambor y la carga distribuida del grano de café para encontrar las reacciones en los soportes.

La carga distribuida se obtiene con el cálculo de la ecuación 40-3.

$$P = \frac{3 \text{ kg}}{0.4 \text{ m}} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 73.57 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

La carga puntual del peso del tambor se calcula a continuación.

$$F_a = 3.986 \text{ kg} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 39.1 \text{ N}$$

A continuación, se muestra en la ilustración 5-4 la aplicación de las cargas para encontrar las reacciones en las chumaceras.

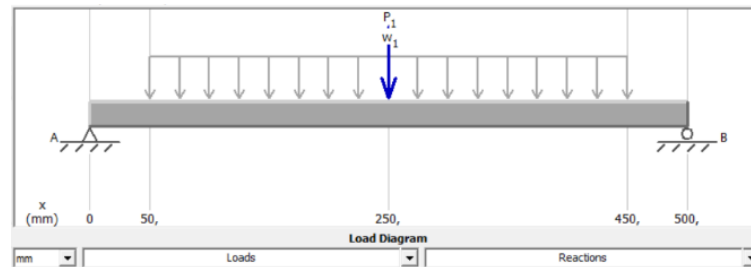


Ilustración 5-4: Cargas sobre el Eje del tambor

Realizado por: Coello, Víctor 2023.

De la Ilustración 5-4 Se procede a encontrar las reacciones en los puntos correspondientes realizando la sumatoria de fuerzas y sumatoria de momentos.

$$\sum F_y = 0$$

$$-F_A + R_B + R_E - P = 0$$

$$-39.1 + R_B + R_E - \left(73.57 \frac{\text{N}}{\text{m}} \cdot 0.4 \text{ m}\right) = 0$$

$$\sum M_B = 0$$

$$\left(0.25 \text{ m} \cdot 73.57 \frac{\text{N}}{\text{m}} \cdot 0.4 \text{ m}\right) + (0.25 \text{ m} \cdot 39.1 \text{ N}) - (R_E \cdot 0.5 \text{ m}) = 0$$

$$R_E = 34.264 \text{ N}$$

$$-39.1 + R_B + 34.264 \text{ N} - \left(73.57 \frac{\text{N}}{\text{m}} \cdot 0.4 \text{ m}\right) = 0$$

$$R_B = 34.264 \text{ N}$$

4.3.2.1. Cálculo de diagrama de cortante

El diagrama de cortante, como se observa en la siguiente ilustración 6-4.

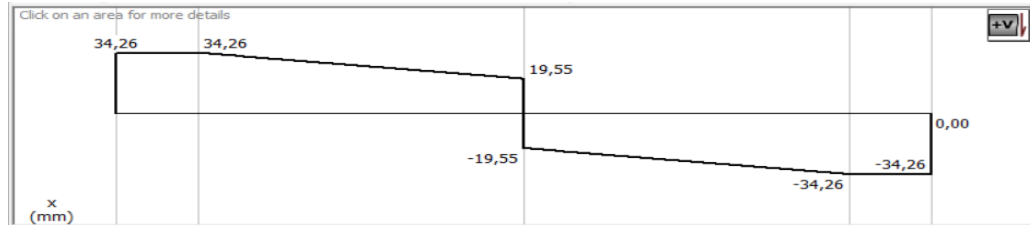


Ilustración 6-4: Diagrama de cuerpo libre plano x-y

Realizado por: Coello, Víctor 2023.

4.3.2.2. Cálculo de momento flector

Diagrama de momento flector se observa en la Ilustración 7-4, para elegir el momento máximo para el diseño del eje.

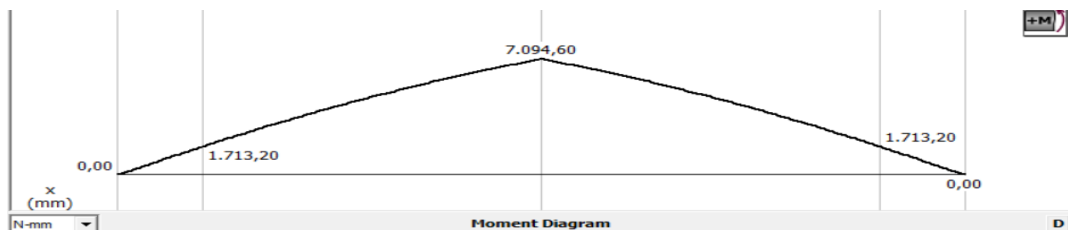


Ilustración 7-4: Diagrama de momento flector

Realizado por: Coello, Víctor 2023.

$$M_f = 7094.6 \text{ N mm}$$

4.3.3. Diseño de árboles y ejes según el ASME B106,1M

Las etapas del diseño de árboles

- Selección del material

El material seleccionado para el eje del tambor es AISI 304, por estar en contacto con el grano de café.

Tabla 8-4: Propiedades Mecánicas

Propiedades mecánicas	
Resistencia Mecánica (N/mm ²)	520
Punto de Fluencia (N/mm ²)	220

Fuente: (Dipac, 2023, p. 1).

Realizado por: Coello, Víctor 2023.

- Verificación de la resistencia

A continuación, se calcula el momento amplitud y medio para aplicar en la ecuación 41-3, 42-3, 43-3 y 44-3.

$$M_a = \frac{7094.6 \text{ N.mm} - (-7094.6 \text{ N.mm})}{2} = 7094.6 \text{ N.mm}$$

$$M_m = \frac{7094.6 \text{ N.mm} + (-7094.6 \text{ N.mm})}{2} = 0 \text{ N.mm}$$

$$T_a = \frac{3417 \text{ N.mm} - (0 \text{ N.mm})}{2} = 1708.5 \text{ N.mm}$$

$$T_m = \frac{3417 \text{ N.mm} + (0 \text{ N.mm})}{2} = 1708.5 \text{ N.mm}$$

Recomendaciones de valores a asumir

Asumir los valores de concentradores de esfuerzo por flexión y torsión

$$kf = 1.6$$

$$kfs = 1.4$$

Calculando el límite de fatiga asumiendo el factor de Marín de $k=0.6$ y además el límite para fatiga a flexión pura.

$$S_e = k \cdot S_e'$$

$$S_e' = 0.5 \cdot S_{ut}$$

$$S_e = 0.6 \cdot 0.5 \cdot 520 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 156 \text{ MPa}$$

Asumiendo un factor de seguridad de 2, y aplicando la ecuación dispuesta por ASME B106,1M se calcula el diámetro del eje.

$$d = \left\{ \frac{16 \cdot 2}{\pi} \cdot \left[4 \cdot \left(\frac{1.6 \cdot 7094.6 \text{ N} \cdot \text{mm}}{156 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} \right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{1.4 \cdot 1708.5 \text{ N} \cdot \text{mm}}{156 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} \right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{1.4 \cdot 1708.5 \text{ N} \cdot \text{mm}}{156 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} \right)^2 \right]^{1/2} \right\}^{1/3}$$

$$d = 11.495 \text{ mm}$$

Para el diseño de este eje se trabaja con un diámetro de 12 mm, cumplimiento los requerimientos adecuados se muestra las dimensiones del eje en mm para una mejor interacción, como se muestra en la ilustración 8-4.

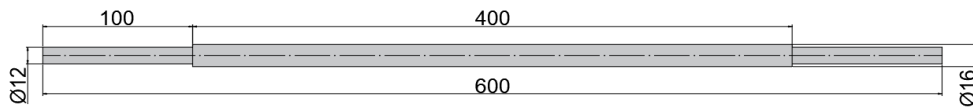


Ilustración 8-4: Dimensiones del diseño del Eje.

Realizado por: Coello, Víctor 2023.

- Verificación de la rigidez del árbol

La deformación permisible se calcula de acuerdo con los límites permisibles de la tabla 14-3, aplicando la ecuación para deformación permisible considerando una distancia L entre apoyos, se obtuvo la siguiente deformación permisible

$$L_{perm} = 0.0002 \cdot 0.6m = 0.12 \text{ mm}$$

$$0.12 \text{ mm} > 0.11 \text{ mm}$$

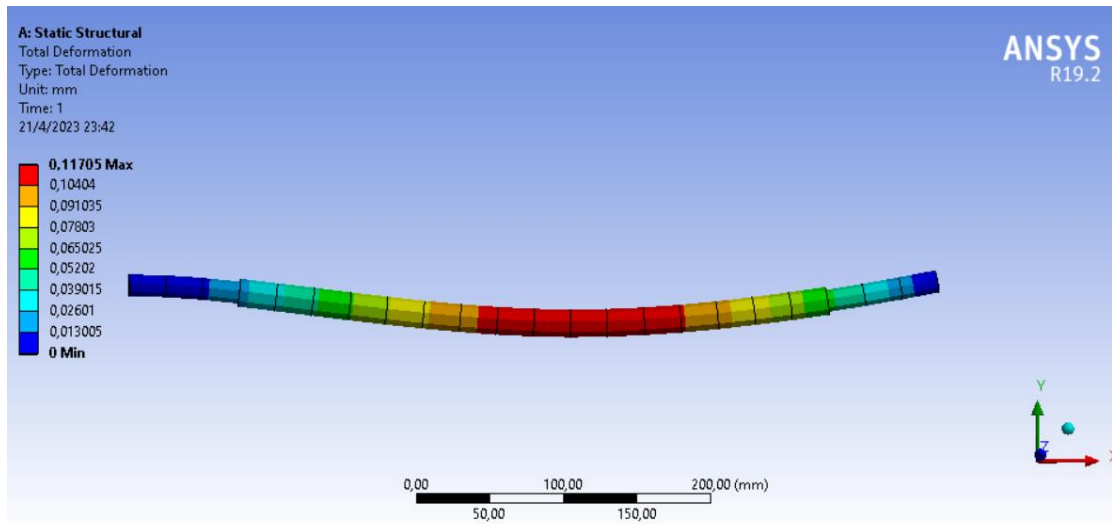


Ilustración 9-4: Análisis de elementos finitos del Eje.

Realizado por: Coello, Víctor 2023

Como se observa en la ilustración 9-4, respecto al análisis de la deformación se obtuvo un valor máximo de 11 mm el cual es menor a la deflexión permisible calculada, cumpliendo con la verificación de rigidez.

4.3.4. Selección de rodamiento (*chumaceras*)

La vida nominal de un rodamiento se considera la vida nominal en hora según el catálogo SKF.

$$L_{10h} = 8000$$

Despejando la vida nominal según la ecuación 47-3.

$$L_{10} = \frac{8000 \cdot 60 \cdot 56}{10^6} = 26.88$$

Para el cálculo de la vida nominal se calcula la capacidad de carga dinámica del rodamiento aplicando la ecuación 45-3.

$$C = (26.88)^{\frac{1}{3}} \cdot 34.26 N = 102.62 N$$

De acuerdo con el cálculo de carga dinámica se obtiene un valor inferior a los que dispone el catálogo SKF. También considerando el diámetro del eje según el diseño.

Por esta razón se selecciona una chumacera (SY 12 TF), las dimensiones son de un diámetro $d=12$ mm y una capacidad de dinámica de 9.56 kN (Anexo B).

4.3.5. Selección del motor

La selección del motor se realiza conociendo la potencia necesaria para mover el tambor de cocción, las cuales se calcularon previamente. Con el valor calculado se selecciona el motor eléctrico que presente las características cercanas a las requeridas y se seleccionó un motor SESAME M590-601 (Anexo C). Para ello se requiere calcular la potencia de salida aplicando la siguiente ecuación 48-3.

$$N_{motor} = \frac{0.019}{0.9} = 0.02 \text{ hp}$$

4.4. Diseño estructural de soporte de máquina

4.4.1. Simulación de estructura

Para el análisis estático de la estructura que sostiene al tambor de cocción se consideró los siguientes parámetros

- Material: acero AISI 304
- Soportes: soporte de la base
- Carga muerta: componentes del prototipo

4.4.1.1. Desplazamiento

Es de suma importancia el análisis estructural para evaluar la deformación del soporte de la máquina por lo cual se considera las cargas del tambor y la capacidad de café para lo cual se diseñó el prototipo de tostadora, aplicando las respectivas cargas se obtuvo una deformación 2×10^{-3} mm, de esta manera se evaluó que el resultado obtenido está dentro de un rango admisible y aceptable, por lo que esta deformación no provocara un daño en el soporte de la máquina.

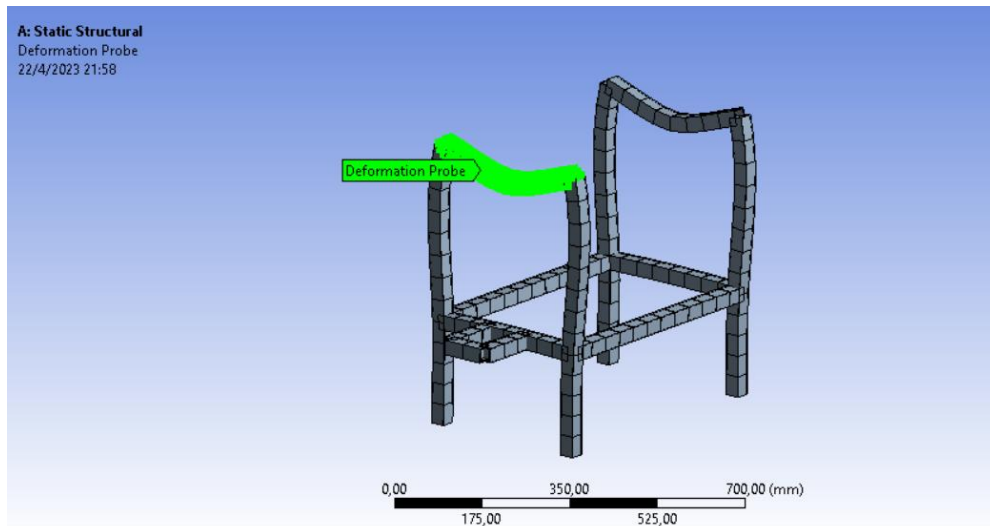


Ilustración 10-4: Análisis estructural del soporte de la máquina.

Realizado por: Coello, Víctor 2023.

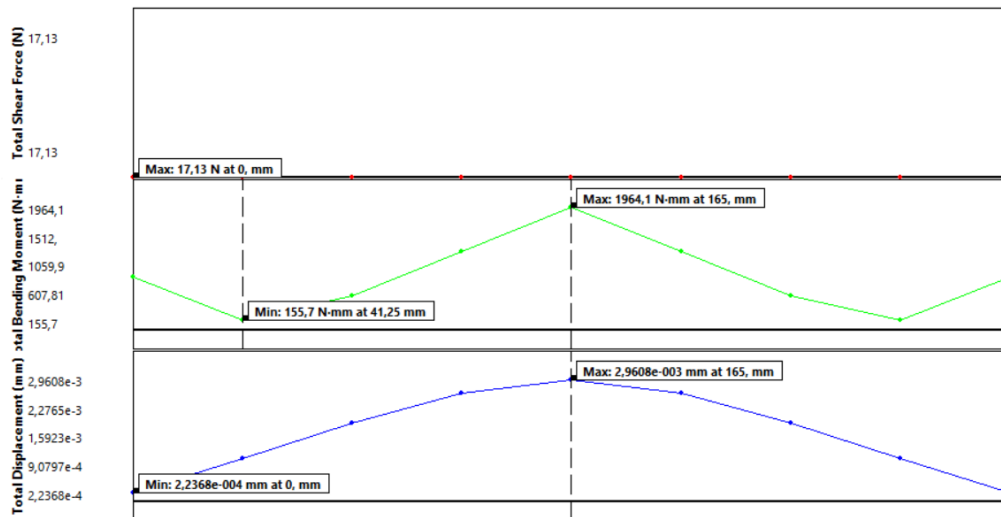


Ilustración 11-4: Diagrama de desplazamiento, momento flector y cortante.

Realizado por: Coello, Víctor 2023.

Analizado los desplazamientos también es importante revisar los esfuerzos presentes en la estructura como se muestra en la ilustración 12-4.

4.4.1.2. Esfuerzos

Los esfuerzos obtenidos de la simulación se reflejan en valores bajos de 0.98 Mpa, el cual se produce donde se colocaron los soportes de la chumacera, al observar el esfuerzo admisible del material se analizó que el esfuerzo presente en la estructura está por debajo del valor admisible de esta manera se concluye que el perfil seleccionado y espesor son los correctos.

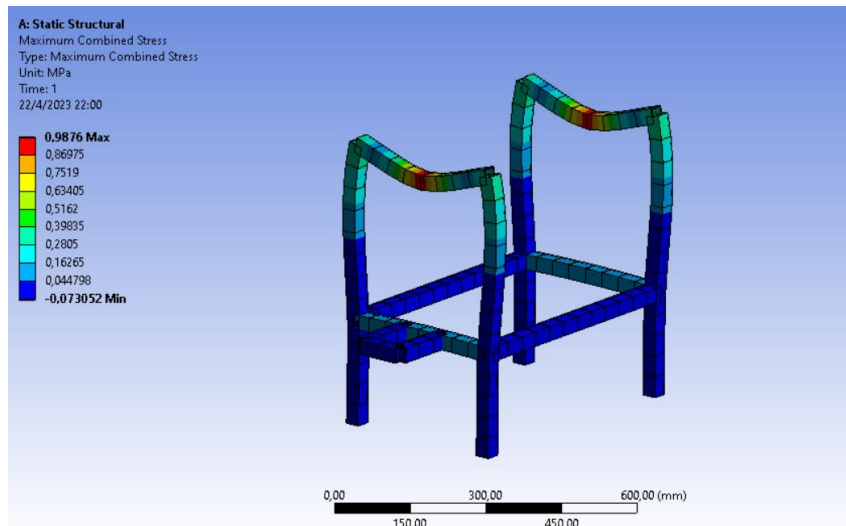


Ilustración 12-4: Esfuerzos

Realizado por: Coello, Víctor 2023.

4.4.1.3. Factor de seguridad

El factor de seguridad se calculó considerando el $S_y=220$ MPa del material AISI 304, por esta razón se asegura que el material no sufra daños al estar dentro de la zona elástica, el cálculo del factor demuestra que esta sobredimensionado, se justifica que la selección del perfil 30x30x2 mm es por la razón de facilitar soldar y además obtuvo una adecuada estética en el prototipo.

$$n = \frac{520}{0.98} = 224.48$$

4.5. Selección de termocuplas

Las termocuplas seleccionadas son la Tipo J y Tipo K, por la razón que se requiere tomar las medidas de temperatura de la cámara de cocción que alcanza una temperatura de 200°C a 220°C y la cámara de combustión alcanza unas temperaturas entre 550°C a 700 °C. Los siguientes equipos seleccionados están dentro de estos rangos de temperatura para obtener un control adecuado de la temperatura de tostado del café.

Las características de la termocupla Tipo K se muestra en el Anexo E: (TCMS) MINERAL ISOLATED BAYONET SONDA TYPE “K”, en la siguiente ilustración 13-4 se muestra el sensor utilizado.

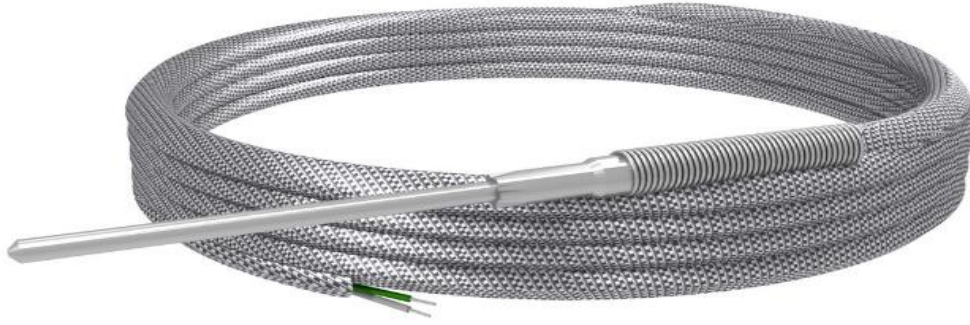


Ilustración 13-4: Sensor Tipo K

Fuente: (Busco/Café, 2020)

Las características de la termocupla Tipo J se muestra en la tabla 9-4 y en la siguiente ilustración 14-4 se muestra el sensor utilizado.

Tabla 9-4: Termocupla tipo J.

TERMOCUPLA	
Type	Termocupla tipo J
Dimensiones	Bulbo de 4 pulg largo x 3/16 pulg
Temperatura °C	450
Cable	2 mts de cable enmallado

Fuente: (Maz, 2023)

Realizado por: Coello, Víctor 2023.



Ilustración 14-4: Máquina tostadora de café.

Fuente: (Maz, 2023)

4.6. Sistema de control del prototipo

4.6.1. Resistencia eléctricas

El control de las resistencias se lo realiza mediante un control On-OFF, el cual consta de dos temporizadores analógicos, y de un contactor, como se puede apreciar en la Ilustración 15-4.

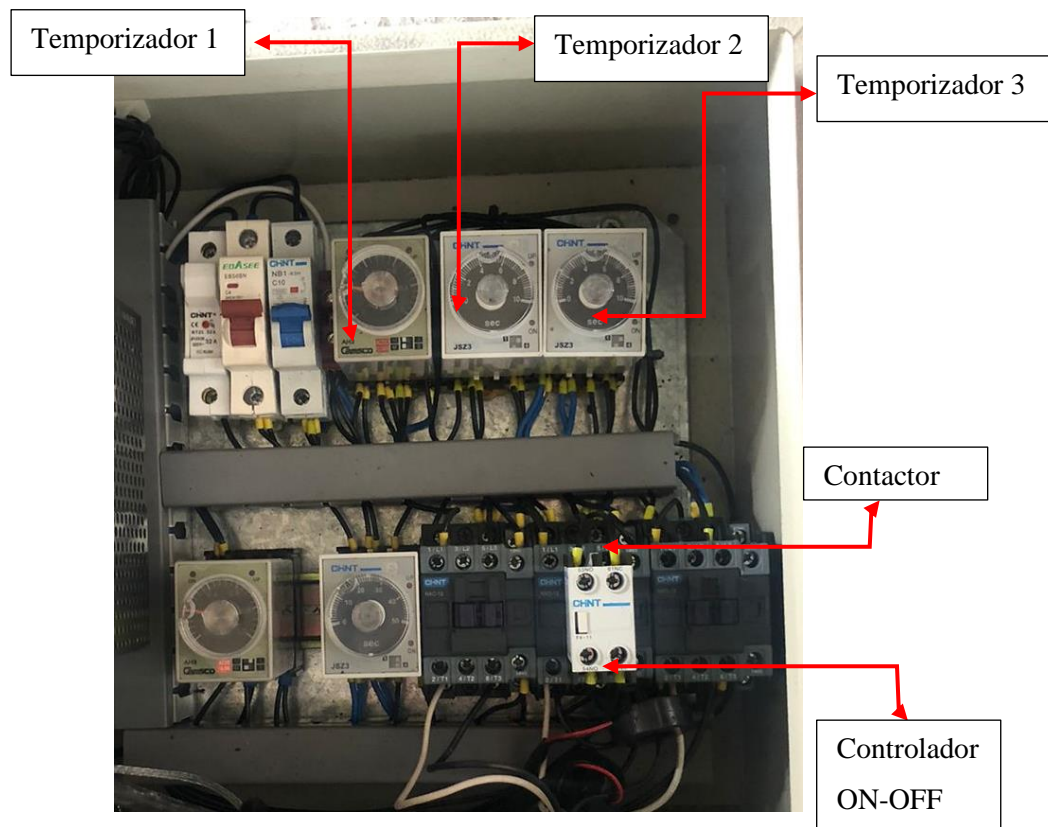


Ilustración 15-4: Conexión de sistema de control resistencias eléctricas

Realizado por: Coello, Víctor 2023.

A continuación, se describirá cada uno de los instrumentos usados en el control de las resistencias eléctricas.

- Controlador ON-OFF: El controlador On-Off tiene dos estados: encendido y apagado. Cuando una resistencia alcanza un valor predeterminado en este caso 20 segundos, el controlador mediante el contactor enciende la otra resistencia por lo que este proceso se repite continuamente para mantener un calor en la cámara de cocción del pellet todo esto hasta que culmine el proceso de tostado del café.

- Temporizador 1: Este instrumento está programado durante 10 minutos, en los cuales el sistema se encenderá y es el tiempo estimado para que se calienten las resistencias y la cámara de cocción del pellet.
- Temporizador 2: La función de este instrumento es controlar el tiempo de encendido de la resistencia 1, cabe recalcar que se están usando dos resistencias para el encendido del pellet. Por lo cual este temporizador tendrá encendida la resistencia por 20 segundos.
- Temporizador 3: La función de este instrumento es controlar el tiempo de encendido de la resistencia 2, durante 20 segundos.

4.6.2. Motor de alimentación de pellets

Para el control de este motor DC se utilizará un temporizador análogo, un contactor y una fuente de energía de 12 voltios, el funcionamiento de este motor se controlará mediante los instrumentos antes mencionados y funcionará de la siguiente manera. El motor se mantendrá encendido 2 segundos y apagado 20 segundos, así de esta manera alimentará de pellets a la cámara de cocción. Como se puede ver en la figura.

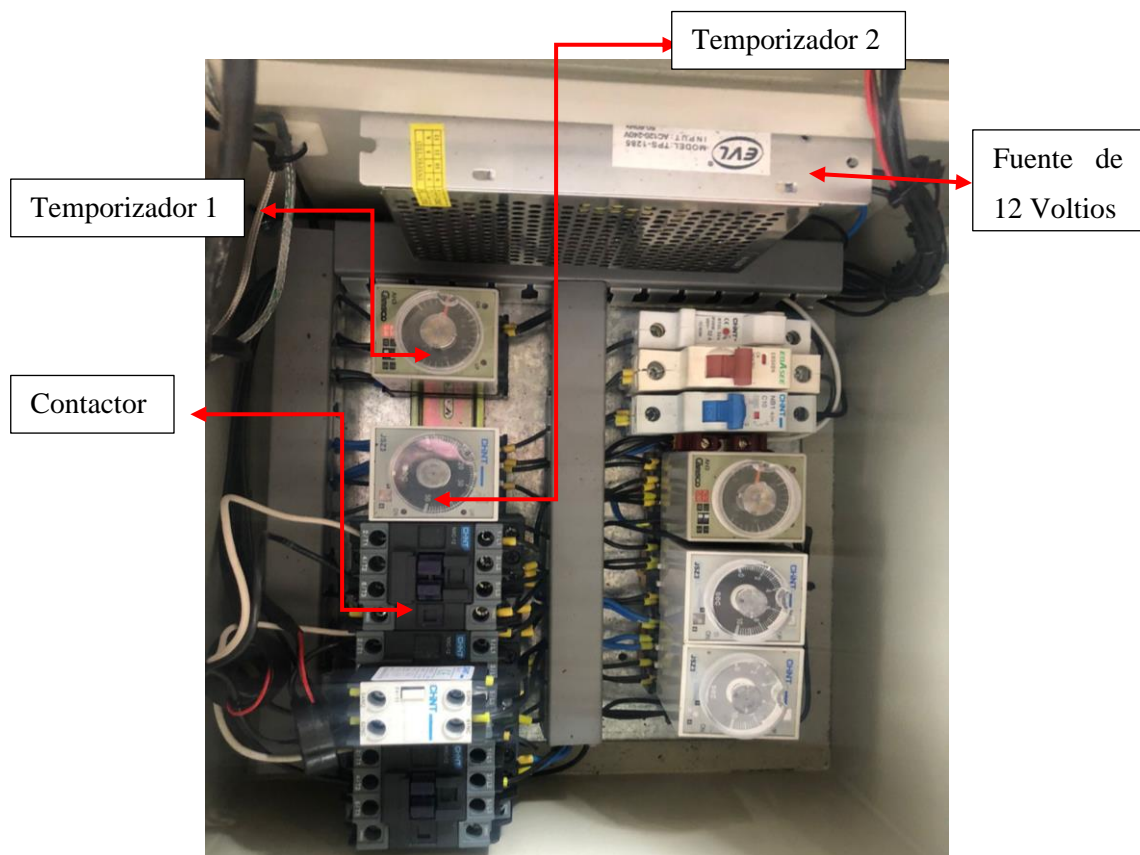


Ilustración 16-4: Conexión de sistema de control para motor de alimentación.

Realizado por: Coello, Víctor 2023.

En las siguientes líneas se detallará los dispositivos empleados para el control del motor de alimentación de pellets.

- Temporizador 1: Este instrumento está programado para que durante 2 segundos mantenga encendido el motor DC, tiempo en el que este alimentará de pelles hacia la cámara de cocción.
- Temporizador 2: Este instrumento está programado para que durante 20 segundos mantenga apagado el motor DC, tiempo en el que este se quema el pellet y la cámara de cocción queda libre para poder ser alimentada por el motor, ya que si se tiene encendido el motor durante todo el proceso la cámara de cocción colapsa de pellets y no se produce la combustión.
- Contactor: Utilizando los temporizadores previamente mencionados, este dispositivo posibilitara encender y apagar el motor en el intervalo de tiempo establecido por el usuario.
- Fuente de 12 voltios: Este dispositivo permite el encendido del motor DC y se encarga de dar el voltaje requerido para el funcionamiento de este motor.

4.6.3. Motor de ventilación:

El dispositivo que se usa para controlar este motor es un contactor el cual se enciende al momento de que el sistema empieza a funcionar, no se necesita de algo adicional ya que el motor del ventilador del quemador funciona con velocidad constante.

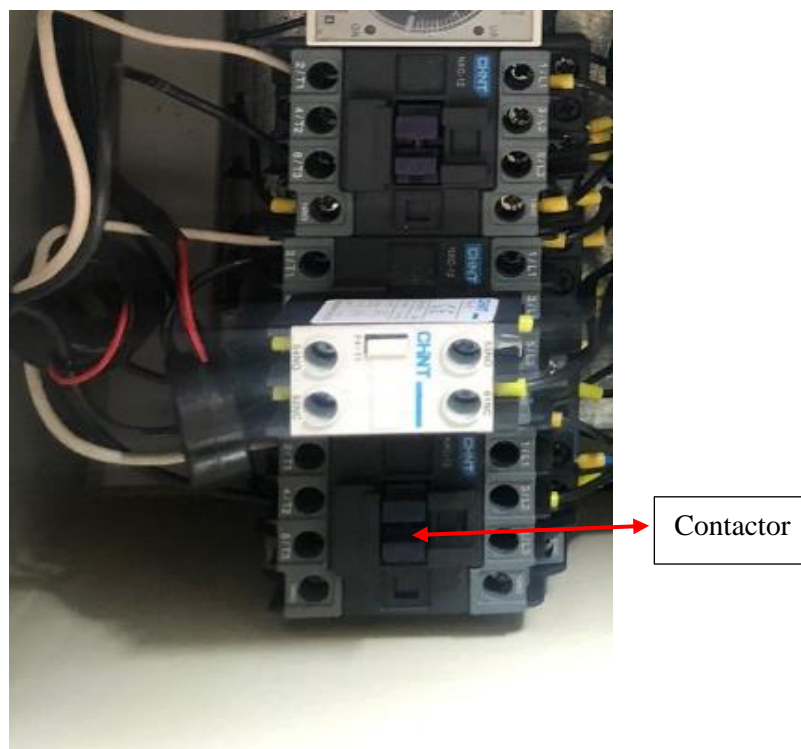


Ilustración 17-4: Contactor de encendido de ventilador

Realizado por: Coello, Víctor 2023.

4.6.4. Motor del tambor:

El dispositivo de control que se ha usado para el control de este motor es un contactor, ya que el motor controla su velocidad a través de un potenciómetro. En las siguientes figuras se pueden ver los instrumentos usados.



Ilustración 18-4: Contactor de encendido de motor

Realizado por: Coello, Víctor 2023.



Ilustración 19-4: Potenciómetro

Realizado por: Coello, Víctor 2023.

4.6.5. Instrumentos controladores de temperatura

Los instrumentos de control de temperatura están programados para medir y ajustar la temperatura en las termocuplas instaladas en el sistema de tostado. Como se puede ver en la figura.



Ilustración 20-4: Controladores de temperatura

Realizado por: Coello, Víctor 2023.

- Controlador 1: Este dispositivo se encarga de controlar la temperatura que se encuentra en el tambor de tostado, la cual, al llegar a los 200 grados, envía una señal al contactor que se encarga de alimentar la cámara de cocción de pellets y este se detiene, por ende, la temperatura empieza a disminuir tratando de mantener en el tambor una temperatura de 200°C.
- Controlador 2: este dispositivo en este caso en específico está funcionando como un indicador de temperatura, es decir que nos muestra la temperatura que detecta la termocupla que se encuentra cerca de la cámara de combustión.

A continuación, se presenta el diagrama de control y de potencia utilizado para el funcionamiento del prototipo.

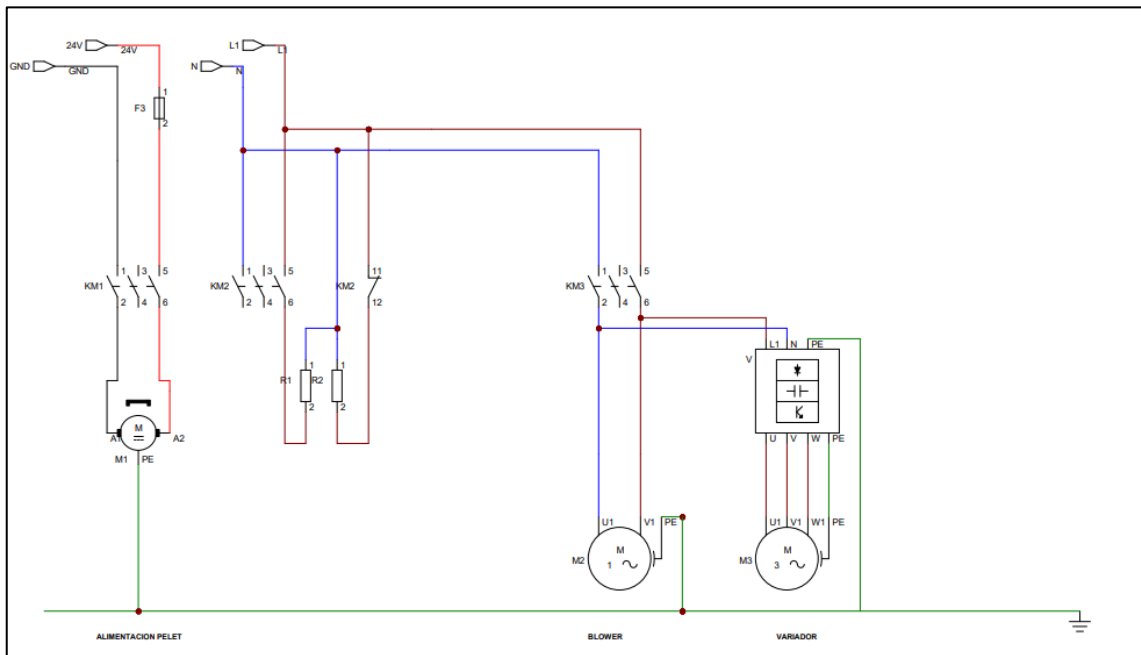


Ilustración 21-4: Diagrama de potencia

Realizado por: Coello, Víctor 2023

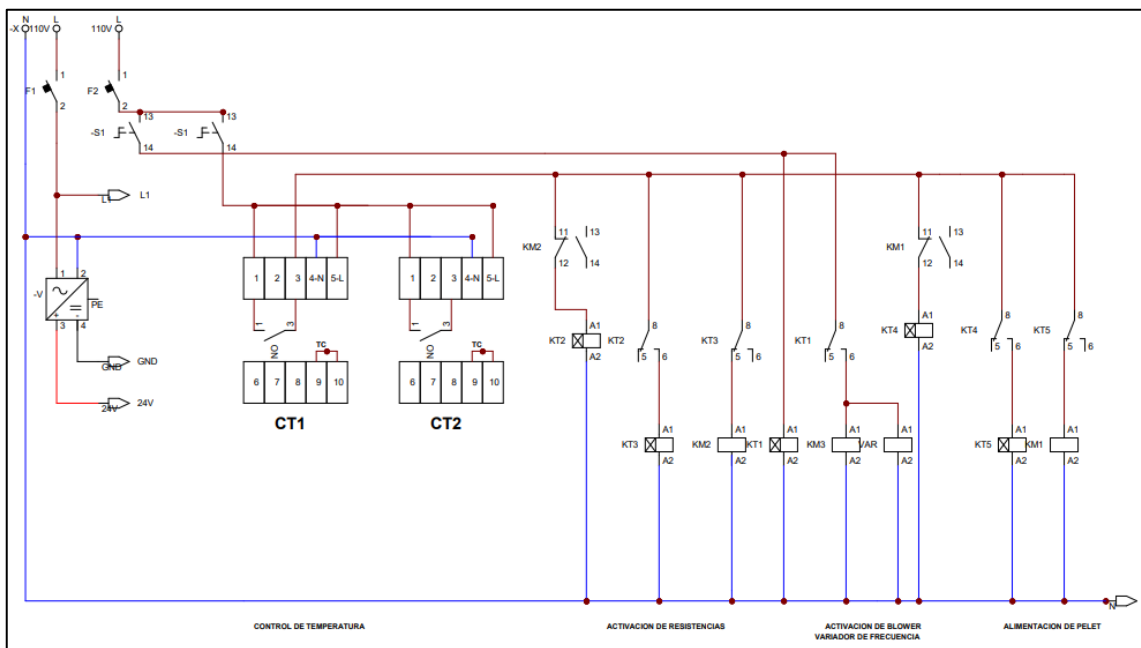


Ilustración 22-4: Diagrama de control

Realizado por: Coello, Víctor 2023.

4.7. Construcción del prototipo

Una vez mostrado las máquinas y herramientas requeridas para la construcción, a continuación, se establece los elementos constitutivos de la máquina.

Tabla 10-4: Elementos constitutivos de la máquina

Subsistema	Elemento	Cantidad	Material
Quemador	Motor Beckett 1/7 hp	1	Catálogo
	Motor reductor (12 V)	1	Catálogo
	Ventilador Beckett 4 1/4" x 3 7/16" x 1/2"	1	Catálogo
	Resistencias 200Watts (120V)	2	Catálogo
Estructura general	Perfil rectangular 30x30x2mm	1	AISI 304
	Placa de 6 mm soporte de motor	1	AISI 304
Cámara de cocción	Eje 5/8"	1	AISI 304
	Platina 1/2"	1	AISI 304
	Plancha espesor 2mm	1	AISI 304
Recubrimiento del tambor de cocción	Plancha espesor 1mm	2	AISI 304
Tolvas	Plancha espesor 1mm	1	AISI 304
	Plancha espesor 1mm	1	Acero Galvanizado
Sistema de transmisión	Acople	1	AISI 1018
	Motor y caja reductora 1/8 hp	1	Catálogo
	Chumacera Árbol excéntrico	2	Catálogo
Termocuplas	Tipo J	1	Catálogo
	Tipo K	1	Catálogo
Gabinete de control	Controlador de temperatura 120V	1	Catálogo
	Fuente de voltaje 110 vac-12vdc	1	Catálogo
	Temporizador 110 vac	1	Catálogo
	Contactador 110 vac-12amp	1	Catálogo
	Breraker 1p-10amp	1	Catálogo

Realizado por: Coello, Víctor 2023.

4.7.1. Ensamblaje

Para definir de forma clara y concisa el procedimiento de ensamblaje seguido, se desarrolla el siguiente diagrama, donde las flechas indican la dirección del ensamblaje.

Obteniendo así el siguiente diagrama:

4.7.2. *Pruebas preliminares*

Al momento de realizar las pruebas del quemador se tuvieron algunos problemas los cuales se detallarán a continuación:

4.7.2.1. *Alimentación de pellets*

Al realizar las pruebas de alimentación, el diseño no dio el mejor resultado por problemas de obstaculización en los pellets al no ingresar directamente en la cámara de combustión como se muestra en la siguiente ilustración 23-4. El sin fin se ubicó en el tubo inclinado para de esta manera mover el combustible a ser quemado no se obtuvo un resultado favorable al tener inconvenientes de atascamiento del Pellets debido a sus dimensiones geométricas de diámetro y largo con medidas de 8 mm y 20 mm respectivamente.



Ilustración 23-4: Alimentación del Pellets

Realizado por: Coello, Víctor 2023.

Por lo cual la solución fue rediseñar la alimentación del quemador para obtener una mejor combustión y evitar que se obstaculice el combustible de los pellets, como se indica en la ilustración 24-4.



Ilustración 24-4: Alimentación de pellets

Realizado por: Coello, Víctor 2023

4.7.2.2. Resistencias eléctricas

Las dificultades que se presentaron al realizar las primeras pruebas con la resistencia eléctrica (Resistencia Cartucho 1/2 100mm 450w 220v Acero Inoxidable) dio como resultado que al utilizar una sola unidad y no tener un control adecuado del encendido, la resistencia eléctrica se quemó al cabo de 20 minutos, por lo que se aconseja que la resistencia se encuentre dentro de un cartucho en el cual ingrese con una holgura de 0.5 mm, ya que esto permite que la deformación no sea excesiva al estar sometida a grandes temperaturas evitando que se averíe. Se muestra en la ilustración 25-4 la instalación de la misma.



Ilustración 25-4: Alojamiento de la resistencia.

Realizado por: Coello, Víctor 2023.

Esta dificultad se solucionó aplicando un control On-Off, el cual permite controlar 2 resistencias (Resistencia Cartucho 3/8 190mm 200w 120v Acero Inoxidable) mediante el uso de 2

temporizadores los cuales prenden y apagan las resistencias sucesivamente, evitando así que se quemem.

4.7.2.3. *Cabina de combustión*

El problema que se presentó en la cámara de combustión fue que al tener una sección circular la distribución del pellet no era la correcta, ya que este espacio era muy reducido, por ende, la combustión no era la esperada, como se muestra en la siguiente ilustración 26-4.



Ilustración 26-4: Cámara de combustión de Pellets
(sección circular)

Realizado por: Coello, Víctor 2023.

La solución que se presentó ante esta problemática fue el rediseño de este espacio, cambiando la sección circular por una sección rectangular, obteniendo así una mejor distribución del pellet y de la misma manera la combustión fue la adecuada, como se muestra en la siguiente ilustración 27-4.



Ilustración 27-4: Cámara de combustión de
Pellets (sección rectangular)

Realizado por: Coello, Víctor 2023.

4.8. Ensayos de tostado

Se diseñó el prototipo de tostadora de café con una capacidad de 3 kg, a continuación, se muestran los ensayos realizados para verificar el funcionamiento de la máquina mediante pruebas visuales observando el color y de esta manera comparo el nivel obtenido del tostado con la escala de Agrtron también se aprecia la uniformidad en el color del grano. También se han realizado ensayos con masas inferiores a la capacidad de diseño con este propósito se obtuvieron tiempos de tostado, nivel de tueste y uniformidad del grano de café tostado.

4.8.1. Ensayo 1

Se tomaron tandas de 3 kg de café, considerando 3 tiempos para ver los resultados en el color del grano respecto al nivel del tueste.

Tabla 11-4: Proceso de torrefacción (min)

Tipo de café	Tiempo (min)
Arábigo	60
	57.5
	55

Realizado por: Coello, Víctor 2023.

De la tabla 11-4 se refleja una variación de la propiedad física del color del café en función del tiempo, para determinar el nivel de tueste del grano.

Se observó el comportamiento de la temperatura vs tiempo al tener 3kg de café en el tambor de cocción se nota un comportamiento lento del incremento de la temperatura, como se muestra en la ilustración 28-4.

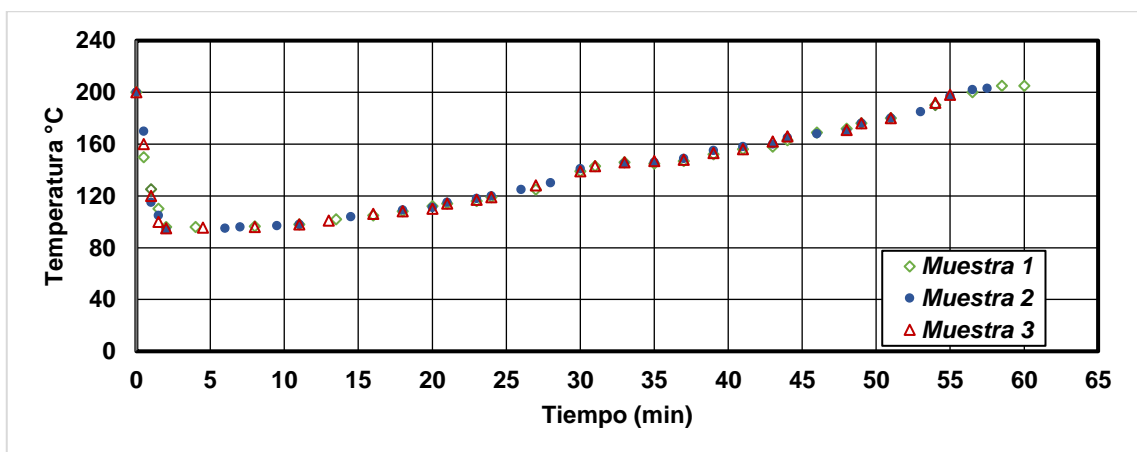


Ilustración 28-4: Grafica del comportamiento del tostado temperatura vs tiempo (3 kg)

Realizado por: Coello, Víctor 2023

Comparación del grano obtenido respecto al tiempo de cocción, en la tabla 12-4 se aprecia el color del grano y el nivel alcanzado en la escala de Agtron. También se observó que el grano se tornó sensible en el cambio del color al estar en un tiempo de tueste de 55 minutos en el cual se alcanzó la temperatura de 200°C y durante el lazo de 5 minutos hasta alcanzar los 60 minutos se obtuvo un nivel de tueste oscuro y medio, no se obtuvo una uniformidad en el color del grano esto se apreció al tener granos que no alcanzaron el mismo color al culminar el tueste.

Tabla 12-4: Nivel de tueste

Claro 95 a 75			Medio 65 a 55		Oscuro 45 a 25		
							
95	85	75	65	55	45	35	25

<p>Muestra 1 (60 min)</p> <p>Se obtuvo un nivel de tueste oscuro, en la escala de Agtron se aprecia un grado de 25</p>	
<p>Muestra 2 (57.5 min)</p> <p>Se obtuvo un nivel de tueste oscuro, en la escala de Agtron se aprecia un grado de 35</p>	
<p>Muestra 3 (55 min)</p> <p>Se obtuvo un nivel de tueste medio, en la escala de Agtron se aprecia un grado de 55</p>	

Realizado por: Coello, Víctor 2023.

Se realizó una regresión lineal para ajustar los datos del cambio relativo de la masa vs el tiempo de tueste el cual se refleja en la línea de tendencia respecto a la masa 3kg, obtenida la ecuación permite conocer la pérdida de la masa reemplazando la variable independiente (Tiempo de tueste), también se calculó el coeficiente de determinación para asegurar que el ajuste sea el más acertado se obtuvo un valor de $R^2 = 0,9994$ de esta manera se evidenció que la correlación lineal es aceptable, como se muestra en la ilustración 29-4.

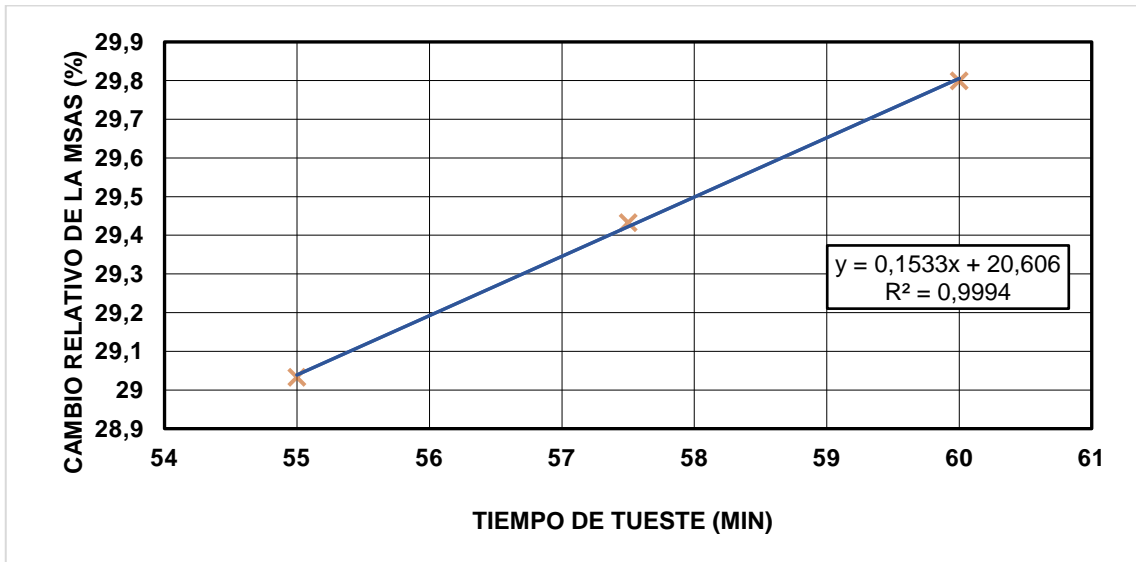


Ilustración 29-4: Cambio relativo de la masa (%) vs tiempo de tueste (min) respecto 3kg del grano.

Realizado por: Coello, Víctor 2023.

4.8.2. Ensayo 2

Se tomaron tandas de 2 kg de café, considerando 3 tiempos para ver los resultados en el color del grano respecto al nivel del tueste.

Tabla 13-4: Proceso de torrefacción (min)

Tipo de café	Tiempo (min)
Arábigo	45
	42.5
	40

Realizado por: Coello, Víctor 2023.

De la tabla 13-4 se refleja la variación de la propiedad física del color del café en función del tiempo, para determinar el nivel de tueste del grano.

Se observó el comportamiento de la temperatura vs tiempo al tener 2 kg de café en el tambor de cocción se nota un comportamiento de incremento de la temperatura respecto al tueste de 3 kg, además la caída de temperatura al ingreso del grano se obtuvo un valor de 115 °C, como se muestra en la ilustración 30-4.

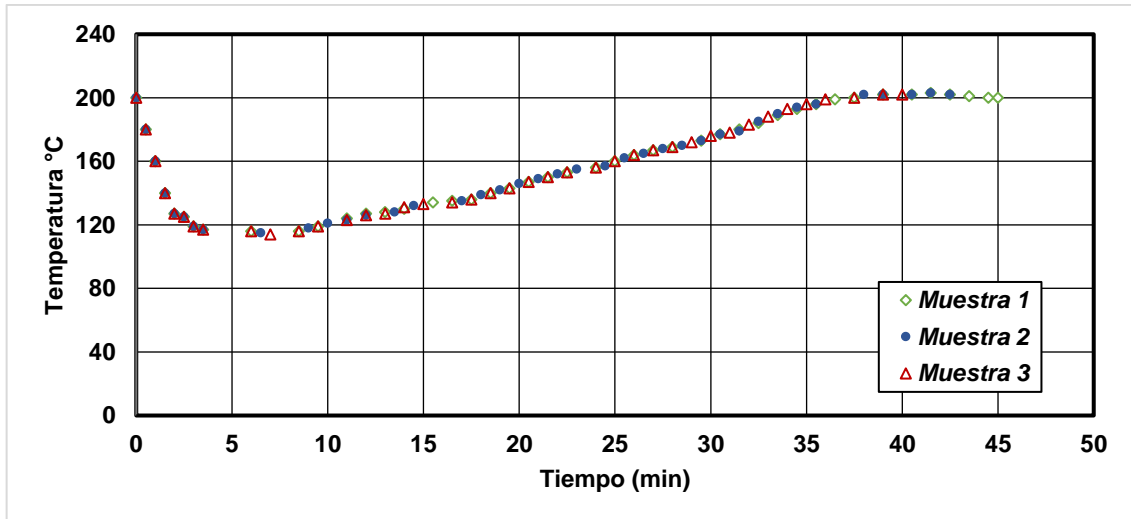
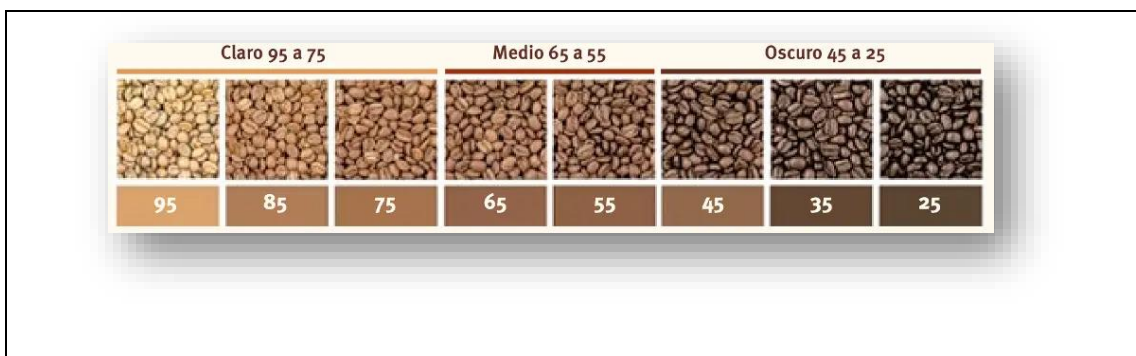





Ilustración 30-4: Grafica del comportamiento del tostado temperatura vs tiempo (2kg)

Realizado por: Coello, Víctor 2023.

Comparación del grano obtenido respecto al tiempo de cocción, en la tabla 14-4 se aprecia el color del grano y el nivel alcanzado en la escala de Agtron. También se observó que el grano se tornó sensible en el cambio del color al estar en un tiempo de tueste de 40 minutos en el cual se alcanzó la temperatura de 200°C y durante el lazo de 5 minutos hasta alcanzar los 45 minutos se obtuvo un nivel de tueste oscuro, la uniformidad mejoro en comparación con el ensayo 1 en el color del grano esto se apreció al tener granos que no alcanzaron el mismo color al culminar el tueste.

Tabla 14-4: Nivel de tueste



<p>Muestra 1 (45 min)</p> <p>Se obtuvo un nivel de tueste oscuro, en la escala de Agtron se aprecia un grado de 25</p>	
<p>Muestra 2 (42.5 min)</p> <p>Se obtuvo un nivel de tueste oscuro, en la escala de Agtron se aprecia un grado de 35</p>	
<p>Muestra 3 (40 min)</p> <p>Se obtuvo un nivel de tueste oscuro, en la escala de Agtron se aprecia un grado de 45</p>	

Realizado por: Coello, Víctor 2023.

Se realizó una regresión lineal para ajustar los datos del cambio relativo de la masa vs el tiempo de tueste el cual se refleja en la línea de tendencia respecto a la masa 2kg, obtenida la ecuación permite conocer la pérdida de la masa reemplazando la variable independiente (Tiempo de tueste), también se calculó el coeficiente de determinación para asegurar que el ajuste sea el más acertado se obtuvo un valor de $R^2 = 0,9948$ de esta manera se evidencio que la correlación lineal es aceptable, como se muestra en la ilustración 31-4.

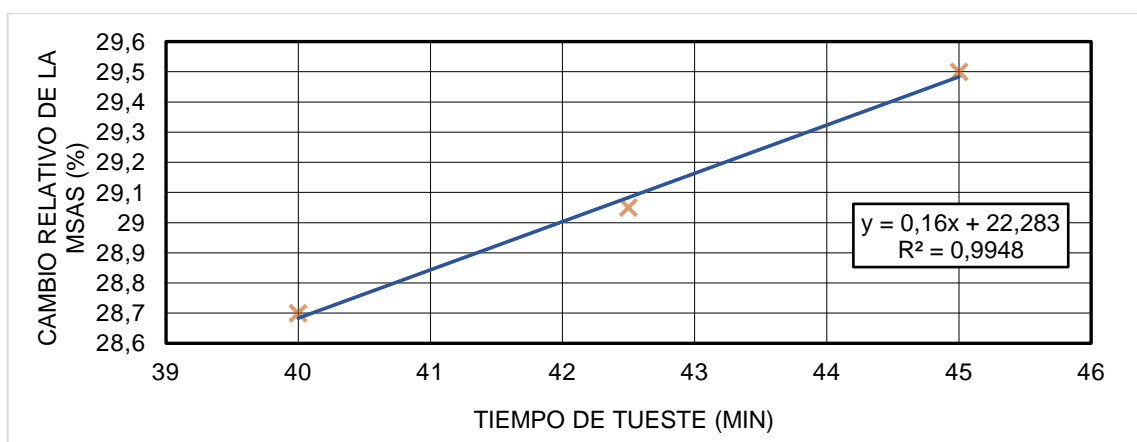


Ilustración 31-4: Grafica cambio relativo de la masa (%) vs tiempo de tueste (min) respecto 2kg del grano.

Realizado por: Coello, Víctor 2023.

4.8.3. Ensayo 3

Se tomaron tandas de 1 kg de café, considerando 3 tiempos para ver los resultados en el color del grano respecto al nivel del tueste.

Tabla 15-4: Proceso de torrefacción (min)

Tipo de café	Tiempo (min)
Arábigo	30
	27.5
	25

Realizado por: Coello, Víctor 2023.

De la tabla 15-4 se refleja la variación de la propiedad física del color del café en función del tiempo, para determinar el nivel de tueste del grano.

Se observó el comportamiento de la temperatura vs tiempo al tener 1kg de café en el tambor de cocción, se notó un comportamiento en el incremento de la temperatura al tener una menor masa se obtuvo el tueste en menor tiempo, la caída de la temperatura al ingresar el grano fue de 135°C, además se observó un incremento de 4 grados por cada minuto hasta que se obtuvo el tueste adecuado, como se muestra en la ilustración 32-4.

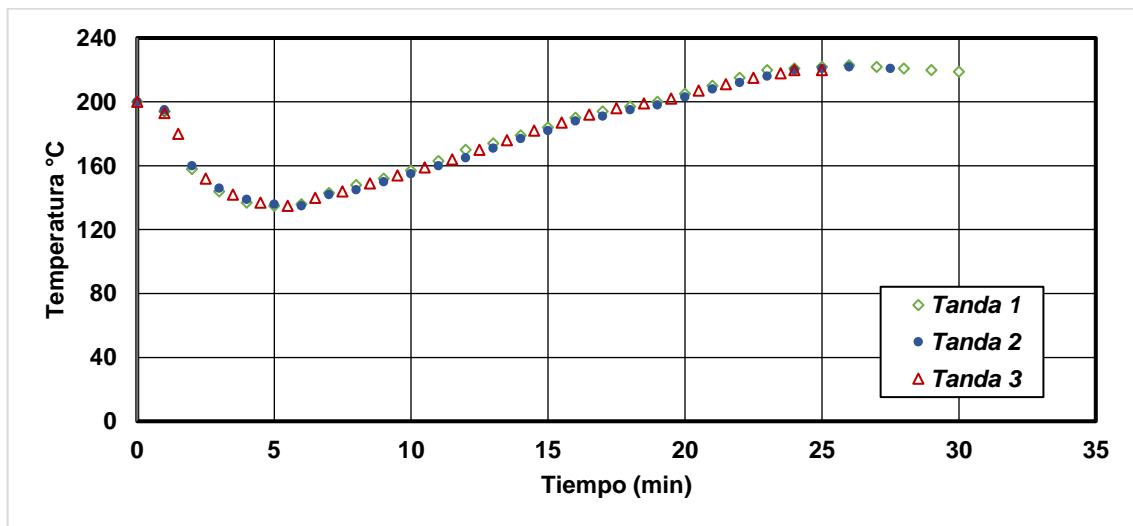


Ilustración 32-4: Grafica del comportamiento del tostado temperatura vs tiempo (1kg)

Realizado por: Coello, Víctor 2023.

Comparación del grano obtenido respecto al tiempo de cocción, en la tabla 16-4 se aprecia el color del grano y el nivel alcanzado en la escala de Agtron. También se observó que el grano se tornó sensible en el cambio del color al estar en un tiempo de tueste de 25 minutos en el cual se

alcanzó la temperatura de 205°C y durante el lazo de 5 minutos hasta alcanzar los 30 minutos se obtuvo un nivel de tueste oscuro, la uniformidad mejoro en comparación con el ensayo 1 y 2 en el color del grano esto se apreció al tener granos más uniformes al terminar el tueste.

Tabla 16-4: Nivel de tueste

Claro 95 a 75			Medio 65 a 55		Oscuro 45 a 25		
95	85	75	65	55	45	35	25

<p>Muestra 1 (30 min)</p> <p>Se obtuvo un nivel de tueste oscuro, en la escala de Agtron se aprecia un grado de 25</p>	
<p>Muestra 2 (27.5 min)</p> <p>Se obtuvo un nivel de tueste oscuro, en la escala de Agtron se aprecia un grado de 35</p>	
<p>Muestra 3 (25 min)</p> <p>Se obtuvo un nivel de tueste oscuro, en la escala de Agtron se aprecia un grado de 45</p>	

Realizado por: Coello, Víctor 2023.

Se realizo una regresión lineal para ajustar los datos del cambio relativo de la masa vs el tiempo de tueste el cual se refleja en la línea de tendencia respecto a la masa 1 kg, obtenida la ecuación permite conocer la pérdida de la masa al reemplazando la variable independiente (Tiempo de tueste), también se calculó el coeficiente de determinación para asegurar que el ajuste sea el más acertado se obtuvo un valor de $R^2 = 1$ de esta manera se evidencio que la correlación lineal es aceptable, como se muestra en la ilustración 33-4.

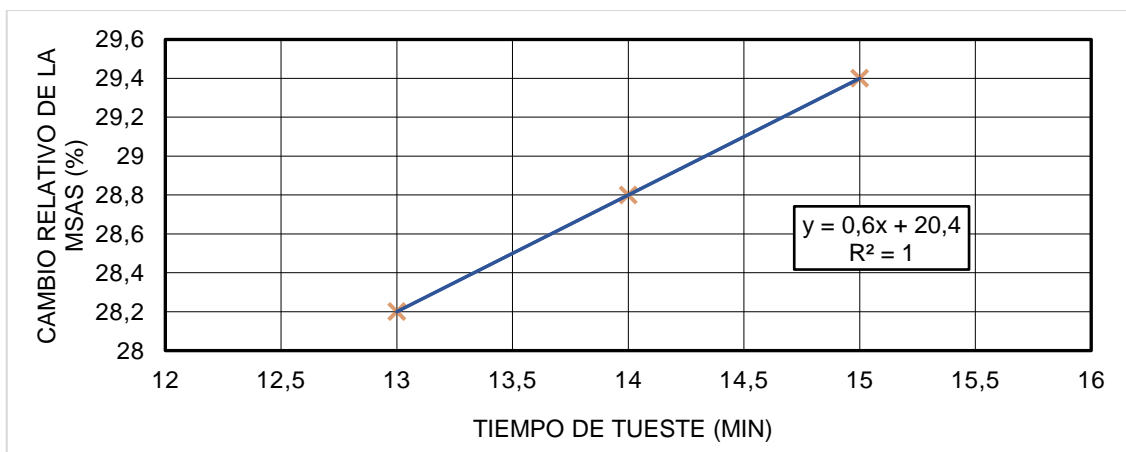


Ilustración 33-4: Grafica cambio relativo de la masa (%) vs tiempo de tueste (min) respecto 1kg del grano.

Realizado por: Coello, Víctor 2023.

4.8.4. Ensayo 4

Se tomaron tandas de 0.5 kg de café, considerando 3 tiempos para ver los resultados en el color del grano respecto al nivel del tueste.

Tabla 17-4: Proceso de torrefacción (min)

Tipo de café	Tiempo (min)
Arábigo	15
	14
	13

Realizado por: Coello, Víctor 2023.

De la tabla 17-4 se refleja una variación en el tiempo de esto se obtuvo resultados en el tueste de café respecto a la propiedad física del color.

Se observó el comportamiento de la temperatura vs tiempo al tener 0.5 kg de café en el tambor de cocción se obtuvo un comportamiento acelerado en la variación de la temperatura, la caída de la misma al ingresar el grano fue de 148°C, además se observó un incremento de 5 grados por cada minuto hasta que se obtuvo el tueste adecuado, como se muestra en la ilustración 34-4.

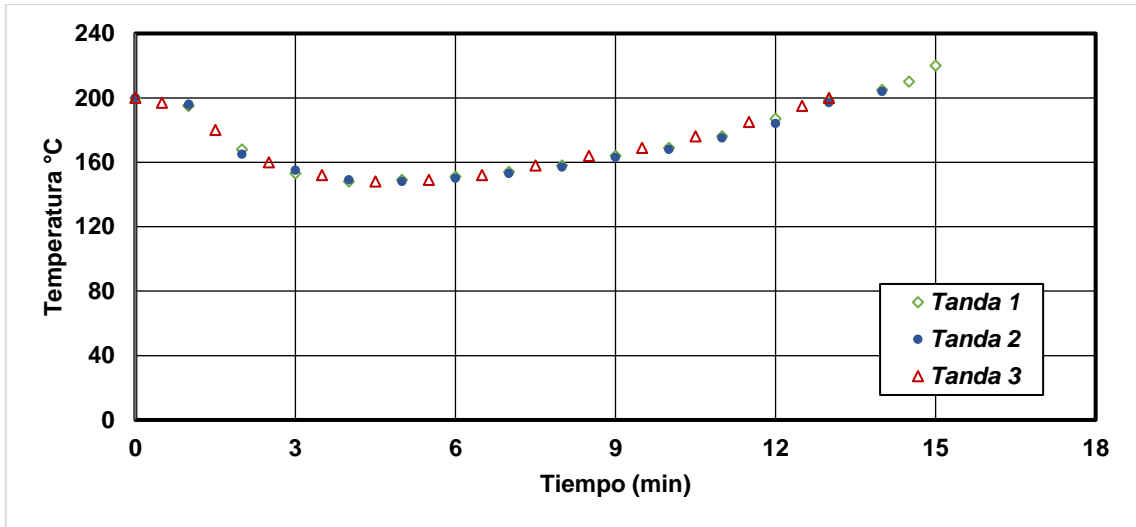


Ilustración 34-4: Grafica del comportamiento del tostado temperatura vs tiempo (2kg)



Realizado por: Coello, Víctor 2023.

Comparación del grano obtenido respecto al tiempo de cocción, en la tabla 18-4 se aprecia el color del grano y el nivel alcanzado en la escala de Agtron. También se observó que el grano se tornó sensible en el cambio del color al estar en un tiempo de tueste de 13 minutos en el cual se alcanzó la temperatura de 200°C y durante el lazo de 15 minutos hasta alcanzar los 45 minutos se obtuvo un nivel de tueste oscuro, la uniformidad mejoro en comparación con el ensayo 1,2 y 3 respecto al color del grano esto se apreció al tener granos semejantes al terminar el tueste al cual fue el más aceptable al obtener una cocción uniforme del café.

Tabla 18-4: Nivel de tueste

Claro 95 a 75			Medio 65 a 55		Oscuro 45 a 25		
95	85	75	65	55	45	35	25

<p>Muestra 1 (15 min)</p> <p>Se obtuvo un nivel de tueste oscuro, en la escala de Agtron se aprecia un grado de 25</p>	
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

<p>Muestra 2 (14 min)</p> <p>Se obtuvo un nivel de tueste oscuro, en la escala de Agtron se aprecia un grado de 35</p>	
<p>Muestra 3 (13 min)</p> <p>Se obtuvo un nivel de tueste oscuro, en la escala de Agtron se aprecia un grado de 45</p>	

Realizado por: Coello, Víctor 2023.

Se realizó una regresión lineal para ajustar los datos del cambio relativo de la masa vs el tiempo de tueste el cual se refleja en la línea de tendencia respecto a la masa 0.5 kg, obtenida la ecuación permite conocer la pérdida de la masa al reemplazando la variable independiente (Tiempo de tueste), también se calculó el coeficiente de determinación para asegurar que el ajuste sea el más acertado se obtuvo un valor de $R^2 = 1$ de esta manera se evidenció que la correlación lineal es aceptable, como se muestra en la ilustración 35-4.

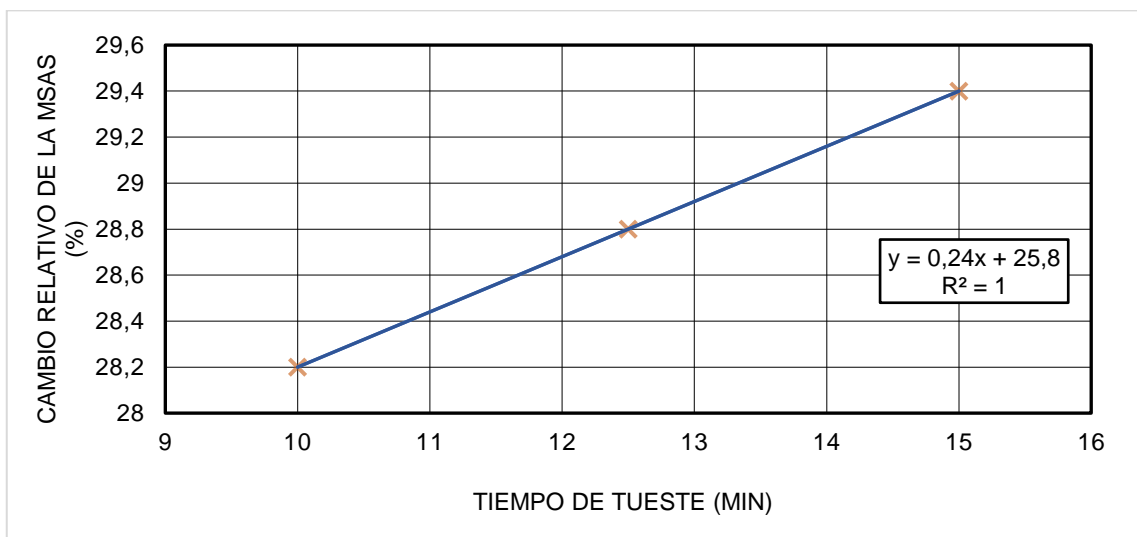


Ilustración 35-4: Grafica cambio relativo de la masa (%) vs tiempo de tueste (min) respecto 0.5kg del grano.

Realizado por: Coello, Víctor 2023.

La influencia de la masa de café en los diferentes ensayos fue notoria al obtener diferentes tiempos de tueste, además la uniformidad del grano mejoro con los ensayos de menor masa al observar que el color fue uniforme.

4.9. Análisis de costos

Es importante mostrar el análisis de costos, para construir la máquina tostadora de café respecto a los costos directos y los costos indirectos.

4.9.1. Costos directos

A continuación, se detalla los costos representativos de los materiales, motores, sensores, equipos a utilizar y mano de obra, como se muestra la tabla 19-4.

Tabla 19-4: Costos directos

Costos directos	
Descripción	Valor total
Sistema de transmisión	\$ 365.45
Material AISI 304	\$ 355.89
Mecanizado y soldadura	\$ 450.56
Gabinete de control	\$ 710.59
Sensores	\$ 297.50
Total	\$ 2,179.99

Realizado por: Coello, Víctor 2023

4.9.2. Costos indirectos

Estos costos no se consideran en la fabricación de la tostadora café, están relaciones de forma indirecta respecto a alimentación, transporte entre otros, como se muestra en la tabla 20-4.

Tabla 20-4: Costos indirectos

Costos indirectos	
Descripción	Valor
Varios suministros y gastos indirectos	\$ 100.00
Total	\$ 100.00

Realizado por: Coello, Víctor 2023.

4.9.3. Costos de la máquina tostadora de café

El costo total de la máquina tostadora de café es el resultado de considerar los gastos directos e indirectos como se muestra en la tabla 21-4.

Tabla 21-4: Costo total

Costo total	
Descripción	Valor total
Costos directos	\$ 2,179.99
Costos indirectos	\$ 100.00
Total	\$ 2,279.99

Realizado por: Coello, Víctor 2023.

4.9.4. Análisis de tasa interna de retorno TIR

4.9.4.1. Costos fijos

Tabla 22-4: Costos fijos

Costos fijos	
Arriendo	\$ 100.00
Servicios básicos	\$ 40.00
Sueldo	\$ 450.00
Amortización	\$ 69.44
Total	\$ 659.44

Realizado por: Coello, Víctor 2023.

4.9.4.2. Costos variables

Tabla 23-4: Costos variables

Costos variables	
100 libras de café	\$ 100.00
Combustible Pellets	\$ 17.00
Total	\$ 117.00

Realizado por: Coello, Víctor 2023.

Se realizó un análisis de punto de equilibrio para conocer cuántos sacos de 100 libras requiere tostar del grano mensualmente.

Tabla 24-4: Costos e ingresos

Demanda	Costo fijo	Costo variable	Costo total	Ingresos
0	\$ 659.44	\$ 0.00	\$ 659.44	\$ 0.00
0,5	\$ 659.44	\$ 58.50	\$ 717.94	\$ 175.00
1	\$ 659.44	\$ 117.00	\$ 776.44	\$ 350.00
1,5	\$ 659.44	\$ 175.50	\$ 834.94	\$ 525.00
2	\$ 659.44	\$ 234.00	\$ 893.44	\$ 700.00
2,5	\$ 659.44	\$ 292.50	\$ 951.94	\$ 875.00
3	\$ 659.44	\$ 351.00	\$ 1,010.44	\$ 1,050.00
3,5	\$ 659.44	\$ 409.50	\$ 1,068.94	\$ 1,225.00
4	\$ 659.44	\$ 468.00	\$ 1,127.44	\$ 1,400.00

Realizado por: Coello, Víctor 2023.

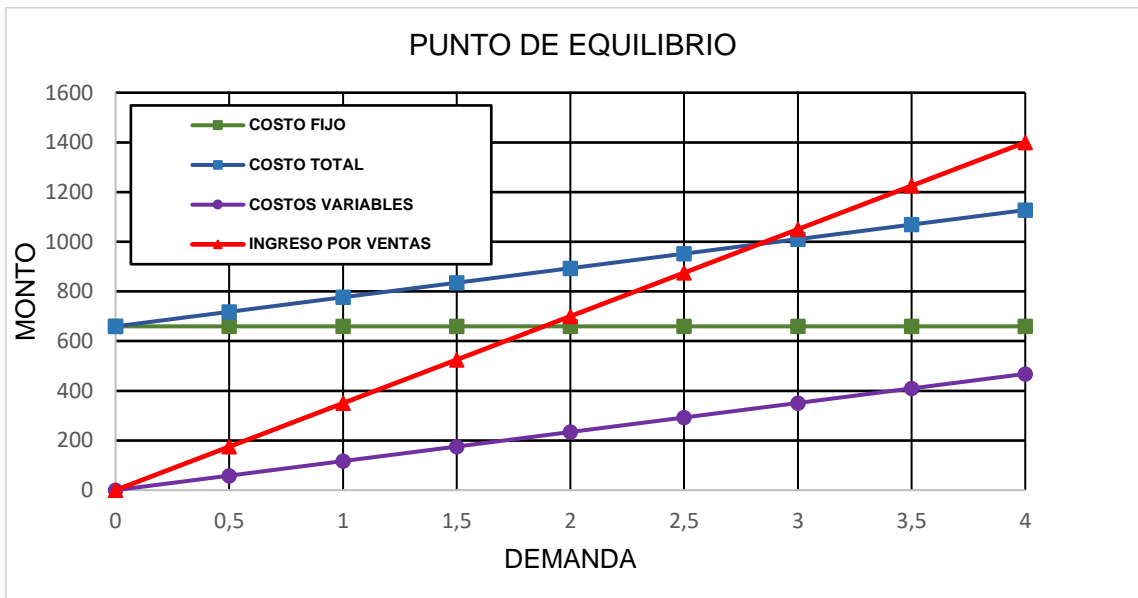


Ilustración 36-4: Punto de equilibrio

Realizado por: Coello, Víctor 2023.

$$0 = -2279.99 - 1068.94 \cdot \left(\frac{(1+i)^{36} - 1}{i \cdot (1+i)^{36}} \right) - 69.44 \cdot \left(\frac{(1+i)^{36} - 1}{i \cdot (1+i)^{36}} \right) + 1225 \cdot \left(\frac{(1+i)^{36} - 1}{i \cdot (1+i)^{36}} \right)$$

$$TIR = 0.01801 = 1.8\%$$

Se obtuvo una tasa interna de retorno 1.8% al considerar que es mensual obteniendo un resultado anual de 21.6%, se consiguió una tasa mayor al TMAR conocida también como costo de oportunidad.

4.10. Propuesta de mejora

Se calculó el calor perdido considerando aislante de lana de vidrio para de esta manera asegurar que la pérdida de energía sea menor y con ello el consumo de pellets reduzca, además de asegurar una reducción en el tiempo de cocción al llegar a la temperatura de 200°C y obtener una cocción del grano con menos biomasa. Por esta razón se propone que para futuras investigación se considere aislar el contorno de la máquina tostadora de café y de esta manera tener una mayor eficiencia energética.

Se calculó el circuito térmico de calor perdido al ambiente considerando un aislante de lana de vidrio para una propuesta de mejor y conocer de esta manera el calor total requerido por parte del quemador de pellets.

Se calcula el flujo de calor perdido hacia el ambiente para lo cual se estiman las resistencias térmicas por convección y conducción aplicando las ecuaciones 32-3 y 33-3, respectivamente.

$$A_1 = 2 \cdot \pi \cdot 0.15 \text{ m} \cdot 0.45 \text{ m} = 0.424 \text{ m}^2$$

$$R_{con5} = \frac{1}{3.442 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \cdot 0.424 \text{ m}^2} = 0.685 \frac{^\circ K}{W}$$

$$A_2 = 2 \cdot \pi \cdot 0.18 \text{ m} \cdot 0.45 \text{ m} = 0.512 \text{ m}^2$$

$$R_{con6} = \frac{1}{5 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \cdot 0.509 \text{ m}^2} = 0.3908 \frac{^\circ K}{W}$$

$$R_{cond3} = \frac{\ln\left(\frac{151}{150}\right)}{2 \cdot \pi \cdot 0.45 \text{ m} \cdot 21.5 \frac{W}{m \cdot ^\circ K}} = 1.093 \times 10^{-4} \frac{^\circ K}{W}$$

$$R_{cond4} = \frac{\ln\left(\frac{180}{151}\right)}{2 \cdot \pi \cdot 0.45 \text{ m} \cdot 0.03 \frac{W}{m \cdot ^\circ K}} = 2.0711 \frac{^\circ K}{W}$$

$$R_{cond3} = \frac{\ln\left(\frac{181}{180}\right)}{2 \cdot \pi \cdot 0.45 \text{ m} \cdot 21.5 \frac{W}{m \cdot ^\circ K}} = 9.1136 \times 10^{-5} \frac{^\circ K}{W}$$

La resistencia de pérdida es la suma de las resistencias.

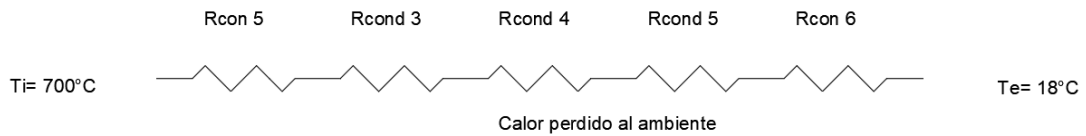


Ilustración 37-4: Circuito térmico de calor perdido al ambiente considerando aislante (lana de vidrio)

Realizado por: Coello, Víctor 2023.

$$R_{perd} = 0.685 \frac{^{\circ}K}{W} + 0.3908 \frac{^{\circ}K}{W} + 1.093 \times 10^{-4} \frac{^{\circ}K}{W} + 2.0711 \frac{^{\circ}K}{W} + 9.1136 \times 10^{-5} \frac{^{\circ}K}{W}$$

$$R_{perd} = 3.147 \frac{^{\circ}K}{W}$$

$$Q_{Perd} = \frac{(700^{\circ}C - 18^{\circ}C)}{3.147 \frac{^{\circ}K}{W}} = 216.705 W$$

$$\text{Calor total} = 293.352 W + 216.705 W = 510.058 W$$

Se obtuvo un calor de total de 510.058 W lo que involucra una reducción en el consumo de pellets y también tendrá una afectación en el tiempo de tueste al aprovechar de mejor manera el calor dentro del tambor, evitando se disipe hacia el exterior por la utilización del aislante (lana de vidrio).

Conociendo la potencia requerida para el tostado del café de 510.058 W, se calculó el flujo másico requerido en el quemador de pellets aplicando la ecuación 27-3, de esta manera se refleja la reducción en el consumo de Pellet, comparando sin aislante se requiere 0.227 kg/h y utilizando el aislante se requiere 0.131 kg/h.

$$m_{ic} = \frac{438.571 \frac{kcal}{h}}{4180 \frac{kcal}{kg} \cdot 0.8} = 0.131 \frac{kg}{hr}$$

CONCLUSIONES

- Se concluye que el pellet que se seleccionó satisface con las condiciones propuestas en el objetivo de la investigación, ya que como se puede evidenciar, el pellet tiene el poder calorífico necesario para el funcionamiento, adicionalmente, esta selección se basó en la disponibilidad del mismo, esto implicó la cercanía del producto, por lo cual el PELLET DE MADERA fue el adecuado.
- En conclusión, el análisis que se realizó para poder asegurar un correcto tostado de café se basó en calcular los datos de la capacidad de la cámara de cocción, mediante un análisis térmico de convección y conducción se obtuvo el calor aprovechado por el café y el calor perdido hacia el ambiente, cabe mencionar que la suma de estos dos es el calor que tiene que ser proporcionado por la cámara de combustión.
- Con ayuda del análisis térmico y considerándose los parámetros de la cocción del café, se realizó el diseño mecánico de las distintas partes constitutivas del prototipo y mediante análisis de elemento finito se pudo validar las partes mecánicas de la máquina, además, el material seleccionado AISI 304 es el adecuado para la industria alimenticia.
- Se construyó el prototipo de tostadora de café con capacidad de 3kg, mediante diseño mecánico y análisis térmico.
- Se logró validar experimentalmente el tipo de tostado obtenido con ayuda de la escala Agtron, con lo cual pudimos determinar los tiempos en lo que se llegó obtener un nivel de tostado medio y oscuro los cuales se asemejan a los valores entre 55 y 25 en dicha escala.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar un rediseño a las aspas del tambor para obtener un mejor mezclado del grano y de esta manera obtener una uniformidad en la cocción del grano.
- Se recomienda realizar un análisis al consumo energético de las resistencias eléctricas y de esta manera justificar se puede utilizar una resistencia para el encendido o es justificable utilizar 2 resistencias para tener un mayor control.
- Se recomienda tener cuidado con la alimentación del pellet si no se tiene un control en la alimentación la combustión se torna difícil de controlar.
- Es recomendable realizar estudios en el tueste del cacao, maní, entre otros granos que son cocidos para de esta manera implementar maquinas que su fuente calórica sea la biomasa Pellets con el fin de tener procesos ecológicos y amigables con el ambiente.

BIBLIOGRAFÍA

- ALONSO, M., & GALVE, C.** "El emprendedor y la empresa: una revisión teórica de los determinantes a su constitución". *Acciones e Investigaciones Sociales* [en línea], 2008 (España), p. 5. [Consulta: 8 abril 2023]. ISSN 2340-4507. Disponible en: https://doi.org/10.26754/ojs_ais/ais.200826332
- ARAÚZ, L; et al.** "Efecto de la temperatura en la rapidez del tostado de café". *Tecnología en Marcha* [en línea], 2019 (España), 32(8), pp. 22. [Consulta: 2 abril 2023]. Disponible en: <file:///C:/Users/Dell/Downloads/Dialnet-EfectoDeLaTemperaturaEnLaRapidezDelTostadoDeCafe-7446679.pdf>.
- ARCINIEGA, J.** Diseño, simulación y propuesta de automatización de una máquina de café con capacidad de 25 lb, para tostado - enfriado, dirigida a la producción cafetera (Trabajo de titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2016. pp. 10-20. [Consulta: 2 de abril 2023]. Disponible en: <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/17577/1/Arciniega%20Cuenca%2c%20Juan%20Jos%c3%a9.pdf>.
- AZUERO, Á.** "Significatividad del marco metodológico en el desarrollo de proyectos de investigación". *Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía* [en línea], 2019, (Ecuador) 4(8), pp. 110-127. [Consulta: 2 abril 2023]. ISSN 2542-3088. Disponible en <file:///C:/Users/Dell/Downloads/Dialnet-SignificatividadDelMarcoMetodologicoEnElDesarrollo-7062667.pdf>
- BERNABÉ, L., & RIVERA, C.** Diseño de una máquina tostadora de café mediante flujo del aire caliente en lecho fluidizado para una capacidad de una tonelada [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad Señor de Sipán, Perú. 2018. p. 22. [Consulta: 2 abril 2023]. Disponible en: <https://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12802/6790/Bernab%c3%a9%20D%c3%a1vila%2c%20Luis%20%26%20Rivera%20Calongos%20Carlos.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- BUSCO CAFÉ.** *Tostadora de café de 120 kilos por ciclo (bachth)*. [blog]. [Consulta: 2 abril 2023]. Disponible en: https://buscocafe.com/articulo/tostadora_de_cafe_tkmx-120_891.php.

- CANDELA, J., & LOZANO, L.** Caracterización de un sistema de combustión a base de pellets de borra de café para la operación de la caldera pirotubular didáctica de la Fundación Universidad de América [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad de América, Bogotá, Colombia. 2022. p. 24. [Consulta: 2 abril 2023]. Disponible en: <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/8858/1/210112-2022-1-IM.pdf>.
- CASTELÁN, G; et al.** Propuesta de automatización del proceso para la obtención del café tostado y molido [En línea] (Trabajo de titulación). Instituto Politécnico Nacional, México. 2016, pp. 13 - 14. [Consulta: 2 abril 2023]. Disponible en: https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/21721/TESIS_FSR.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- CENGEL, Y.** 2007. *Transferencia de calor y masa* [en línea]. Tercera edición. 2007. [Consulta: 2 abril 2023]. S.l.: McGraw-Hill Interamericana. Disponible en: <https://pavisva.files.wordpress.com/2016/01/transferencia-de-calor-y-masa-yunus-cengel.pdf>
- DE LA CRUZ, R.** Influencia del tipo de perfil de tostado del café en la calidad en taza para una tostadora de 2 KG [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú. 2018. pp. 22. [Consulta: 2 abril 2023]. Disponible en: https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/4977/T010_20018944_M.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- DÍAZ, Á.** "Boom de los pellets de madera tras encarecerse los combustibles fósiles". El Mundo [en línea], 2022, (España), p. 2. [Consulta: 2 abril 2023]. Disponible en: <https://www.elmundo.es/ciencia-y-salud/medio-ambiente/2021/11/04/6183dfc121efa0c5078b46ab.html>
- DINATECK.** *Tostadoras de Café y Cacao* [blog]. [Consulta: 3 de abril 2023]. Disponible en: <https://dinatek.ec/producto/tostadoras-de-cafe-y-cacao/>.
- DIPAC.** *Ejes AISI 304 (Inoxidable)* [blog]. [Consulta: 3 de abril 2023]. Disponible en: <https://dipacmanta.com/producto/ejes/aisi-304-inoxidable/ejes-aisi-304-inoxidable/>.
- ECOMIND.** *¿Cómo debe ser una óptima combustión del pellet en tu estufa?* [blog]. [Consulta: 3 de abril]. Disponible en: <https://ecomindpellets.com/como-debe-ser-una-optima-combustion-del-pellet-en-tu-estufa/>.

- FAJARDO, J.** 2012. Caracterización del aserrín del pino caribe como biomasa para el proceso de gasificación adiabática [En línea] (Trabajo de titulación). Uniandes, Bogotá, Colombia. 2012. [Consulta: 3 de abril]. Disponible en: <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/14953/u615445.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- FERNÁNDEZ, F.** *Guía para facilitar el aprendizaje en el manejo del cultivo de café robusta (Coffea canephora P.)* [en línea]. S.l.: Orellana - Ecuador: Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, 2017. [Consulta: 3 de abril]. Disponible en: <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/4788/7/iniapecaga008.pdf>.
- GAMBOA, W; et al.** 2008. "Diseño y construcción de un prototipo automatizado para la torrefacción de café". Revista Matices Tecnológicos [en línea], 2008, (Colombia), 1, pp. 12-19. [Consulta: 3 de abril]. ISSN 2027-4408. Disponible en: <http://ojs.unisangil.edu.co/index.php/revistamaticestecnologicos/article/view/98/89>.
- GAS PAÍS.** *GLP en la Industria Cafetera, Ventajas y Usos - Gas País Colombia* [blog]. [Consulta: 3 de abril] Disponible en: <https://gaspais.com.co/glp-en-la-industriacafetera/>.
- GAS PAÍS.** *Impacto del gas licuado de petróleo en el ambiente* [blog]. [Consulta: 3 de abril] Disponible en: <https://gaspais.com.co/impacto-del-glp-en-el-ambiente/#:~:text=La huella de carbono que,menos que la del carbón.>
- GINER, J.** *¿Porqué se tuesta el café?* [blog]. [Consulta: 3 de abril]. Disponible en: https://www.forumdelcafe.com/sites/default/files/biblioteca/f-37_tueste_de_cafe.pdf
- GÓMEZ, J.** 2021. Máquina de tostar café para uso doméstico [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad Politécnica de Catalunya, España. 2021. [Consulta: 3 de abril]. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/359076/MÁQUINA DE TOSTAR CAFÉ PARA USO DOMÉSTICO.pdf?sequence=1>.
- GROUP, B.** 2012. *Los métodos y modos de tostar granos de cacao* [blog]. [Consulta: 3 de abril]. Disponible en: <https://es.baker-group.net/confectionery-formulations-technology-raw-materials-and-ingredients/production-of-chocolate-and-cocoa/methods-and-modes-of-roasting-cocoa-beans.html>.

KUBAN. *Tostadora de Café Con Capacidad de 5 kg* [blog]. [Consulta: 3 de abril]. Disponible en: https://kubancoffeeroasters.com/es_detail/tostadores-de-caf-5-kg.

LA TIENDA DEL GAS. *Precio quemador de Biomasa llama horizontal Tubocás TCB 36 KW* [blog]. [Consulta: 3 de abril]. Disponible en: <https://latiendadelgas.com/tubocas/520-venta-quemador-de-biomasa-llama-horizontal-tubocas-tcb-25-kw.html>.

LIZANA, J. 2020. Diseño de un quemador de combustibles sólidos para estudios físicos y térmicos en la escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad Señor de Sipán, Pimentel, Perú. 2020. [Consulta: 3 de abril]. . Disponible en: https://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12802/7800/Lizana_Fernandez_Jesus_%26_Velasco_Rivera_Erick.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

LOJO, T. 2013. *Pan horneado con biomasa* [blog]. [Consulta: 3 de abril]. Disponible en: https://www.huelvainformacion.es/huelva/Pan-horneado-biomasa_0_677332742.html

MAZ. *Termocupla K de bulbo largo* [blog]. [Consulta: 3 de abril]. Disponible en: <https://mazcr.com/sensores-de-temperatura-y-rtds/104025-termocupla-k-de-bulbo-largo.html>.

MONTOYA, E; et al. "Optimización operacional del secador intermitente de flujos concurrentes para café pergamino". *Cenicafé* [en línea], 1990, (Colombia), 4(1), pp. 19-33. [Consulta: 3 de abril]. Disponible en: <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/939/1/Arc041%2801%2919-33.pdf>

MORA, D., & DELGADO, C. "Diseño y construcción de un prototipo de máquina tostadora de café portable en el municipio de los Andes, Sotomayor, Nariño" [en línea], 2020, (Colombia). [Consulta: 2 abril 2023]. Disponible en: <http://repositorio.aunar.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/20.500.12276/860/Art.IM124.pdf?sequence=4&isAllowed=y>.

MOTORLAN. *Sondas térmicas en motores eléctricos: PTC, NTC, RTD... ¿Qué las diferencia?* [blog]. [Consulta: 3 de abril]. Disponible en: <https://www.motorlan.es/es/sondas-termicas-motores-electricos-ptc-ntc-rtd-las-diferencia/>.

OLARTE, A. Diseño y construcción de una despulpadora de café para el recinto estero del plátano, parroquia Galera, Cantón Muisne, Provincia Esmeraldas [En línea] (Trabajo de

titulación). Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador. 2016. [Consulta: 3 de abril]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/11996/3/UPS-KT01228.pdf>

PALACIOS, G. Diseño de un tostador de café mediante flujo de aire caliente para la empresa café Indera. [en línea] (Trabajo de titulación). Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador. 2016. Disponible en: [https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/18545/1/PalaciosArias%2C Guillermo Xavier.pdf](https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/18545/1/PalaciosArias%2C%20Guillermo%20Xavier.pdf).

PILOZO, W; et al. 2022. "Principales enfermedades causantes de la pérdida de rendimientos de los cultivos de café arábigo (*Coffea arabica* L.) en la zona sur de Manabí, Ecuador". Revista Científica Multidisciplinaria [en línea], 2022, (Ecuador) 6(2), pp. 117-134. [Consulta: 3 de abril]. Disponible en: <https://revistas.unesum.edu.ec/index.php/unesumciencias/article/view/632/532>.

PRIMERO CAFÉ. Tipos de tostadores para café [blog]. [Consulta: 3 de abril]. Disponible en: <https://primerocafe.com.mx/mundo-barista/tipos-tostadores-cafe/>.

MIPRO. "Manual básico de buenas prácticas para el tostado del café". SwissContact [en línea], 2016, (Ecuador), p. 18. [Consulta: 3 de abril]. Disponible en: <http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2017/06/ManualTuesteCafe.pdf>.

PUERTA, G., & ECHEVERRI, L. "Relaciones entre las concentraciones de compuestos químicos del café y las temperaturas de torrefacción". Cenicafé [en línea], 2019, (Colombia) 70(2), pp. 67-80. Disponible en: <https://www.cenicafe.org/es/publications/arc070%2802%29067-080.pdf>.

RINCONES, C. Diseño de prototipo a escala de tostadora de café (Trabajo de titulación) (Tercer Nivel). Universidad de los Andes. 2017. pp. [Consulta: 3 de abril]. Disponible en: <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/61957/13146.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

RINZA, W. 2020. Mejoras del sistema de control automático procesos de tostado y enfriado, de café, para mejora de calidad - Empresa Altomayo - Perú [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad César Vallejo, Perú. 2020. [Consulta: 2 abril 2023] Disponible en: https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/69994/Rinza_DLCW-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

SABALLOS, W. Propuesta de extracción de aceite, de café (*Coffea arabica*), a escala laboratorio de la asociación Nacional del café (Anacafé) [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. 2018 [Consulta: 2 abril 2023]. Disponible en: [http://www.repositorio.usac.edu.gt/11549/1/William Manuel Saballos Morales.pdf](http://www.repositorio.usac.edu.gt/11549/1/William_Manuel_Saballos_Morales.pdf).

SCIENCE. *Huella de carbono Pellets de madera vs. madera* [blog]. [Consulta: 2 abril 2023]. Disponible en: <http://es.scienceaq.com/Nature/100308870.html>

SKF. *Máquinas utilizadas por períodos cortos o intermitentemente* [blog]. [Consulta: 3 de abril]. Disponible en: https://www.skf.com/co/search-results?q=RODAMIENTOS&searcher=all&site=334&language=es&tridion_target=live&tridion_version=3&language_preset=Español.

TEKA. *¿Cuántas variedades de café podemos encontrar?* [blog]. [Consulta: 3 de abril]. Disponible en: <https://www.teka.com/es-ec/inspiracion/receta-y-gastronomia/curiosidades/cuantas-variedades-de-cafe-podemos-encontrar/>.

TOVAR, L., & MACÍAS, M. 2020. La producción de café en Manabí y la demanda industrial insatisfecha: caso cantón Jipijapa. Periodo 2014-2019 [en línea] (Trabajo de titulación). Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador. 2020. [Consulta: 3 de abril]. Disponible en: [http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/61830/1/MACIAS PEÑAFIEL Y TOVAR MERELO.pdf](http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/61830/1/MACIAS_PENAFIEL_Y_TOVAR_MERELO.pdf).

VENEGAS, S; et al. *La realidad Ecuatoriana en la producción de café* [blog]. Ecuador. [Consulta: 3 de abril]. Disponible en: <https://www.recimundo.com/index.php/es/article/view/218/pdf>.

VIRGEN, L; et al. "Estimación del coeficiente de difusividad durante el tostado de café en un lecho fuente utilizando un modelo difuso". *Revista Mexicana de Ingeniería Química* [en línea], 2016, (México), 15 (2), pp. 513-524. [Consulta: 3 de abril]. ISSN 1665-2738. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/620/62046829018.pdf>

ANEXOS

ANEXO A: PROPIEDADES DEL AIRE A LA PRESION DE 1ATM

TABLA A-151

Propiedades del aire a la presión de 1 atm

Temp., T, °F	Densidad, ρ , lbm/ft ³	Calor específico, c_p , Btu/lbm · R	Conductividad térmica, k, Btu/h · ft · R	Difusividad térmica, α , ft ² /h	Viscosidad dinámica, μ , lbm/ft · h	Viscosidad cinemática, ν , ft ² /h	Número de Prandtl, Pr
-300	0.24844	0.5072	0.00508	0.0403	0.01454	0.0585	1.4501
-200	0.15276	0.2247	0.00778	0.2266	0.02438	0.1596	0.7042
-100	0.11029	0.2360	0.01037	0.3985	0.03255	0.2951	0.7404
-50	0.09683	0.2389	0.01164	0.5029	0.03623	0.3741	0.7439
0	0.08630	0.2401	0.01288	0.6215	0.03970	0.4601	0.7403
10	0.08446	0.2402	0.01312	0.6468	0.04038	0.4781	0.7391
20	0.08270	0.2403	0.01336	0.6726	0.04104	0.4963	0.7378
30	0.08101	0.2403	0.01361	0.6990	0.04170	0.5148	0.7365
40	0.07939	0.2404	0.01385	0.7259	0.04236	0.5335	0.7350
50	0.07783	0.2404	0.01409	0.7532	0.04300	0.5525	0.7336
60	0.07633	0.2404	0.01433	0.7810	0.04365	0.5718	0.7321
70	0.07489	0.2404	0.01457	0.8093	0.04428	0.5913	0.7306
80	0.07350	0.2404	0.01481	0.8381	0.04491	0.6110	0.7290
90	0.07217	0.2404	0.01505	0.8673	0.04554	0.6310	0.7275
100	0.07088	0.2405	0.01529	0.8969	0.04615	0.6512	0.7260
110	0.06963	0.2405	0.01552	0.9270	0.04677	0.6716	0.7245
120	0.06843	0.2405	0.01576	0.9575	0.04738	0.6923	0.7230
130	0.06727	0.2405	0.01599	0.9884	0.04798	0.7132	0.7216
140	0.06615	0.2406	0.01623	1.0198	0.04858	0.7344	0.7202
150	0.06507	0.2406	0.01646	1.0515	0.04917	0.7558	0.7188
160	0.06402	0.2406	0.01669	1.0836	0.04976	0.7774	0.7174
170	0.06300	0.2407	0.01692	1.1160	0.05035	0.7992	0.7161
180	0.06201	0.2408	0.01715	1.1489	0.05093	0.8213	0.7148
190	0.06106	0.2408	0.01738	1.1821	0.05151	0.8435	0.7136
200	0.06013	0.2409	0.01761	1.2156	0.05208	0.8660	0.7124
250	0.05590	0.2415	0.01874	1.3884	0.05488	0.9818	0.7071
300	0.05222	0.2423	0.01985	1.5690	0.05758	1.1027	0.7028
350	0.04899	0.2433	0.02094	1.7566	0.06020	1.2288	0.6995
400	0.04614	0.2445	0.02200	1.9507	0.06274	1.3598	0.6971
450	0.04361	0.2458	0.02305	2.1508	0.06522	1.4955	0.6953
500	0.04134	0.2472	0.02408	2.3565	0.06762	1.6359	0.6942
600	0.03743	0.2503	0.02608	2.7834	0.07225	1.9300	0.6934
700	0.03421	0.2535	0.02800	3.2292	0.07666	2.2411	0.6940
800	0.03149	0.2568	0.02986	3.6925	0.08088	2.5684	0.6956
900	0.02917	0.2599	0.03164	4.1721	0.08494	2.9112	0.6978
1 000	0.02718	0.2630	0.03336	4.6671	0.08883	3.2688	0.7004
1 500	0.02024	0.2761	0.04106	7.3465	0.10644	5.2584	0.7158
2 000	0.01613	0.2855	0.04752	10.3200	0.12163	7.5418	0.7308
2 500	0.01340	0.2922	0.05309	13.5532	0.13501	10.0733	0.7432
3 000	0.01147	0.2972	0.05811	17.0526	0.14696	12.8170	0.7516
3 500	0.01002	0.3010	0.06293	20.8709	0.15771	15.7428	0.7543
4 000	0.00889	0.3040	0.06789	25.1094	0.16745	18.8252	0.7497

Nota: Para los gases ideales, las propiedades c_p , k , μ y Pr son independientes de la presión. Las propiedades ρ , ν y α a una presión P (en atm) diferente de 1 atm se determinan al multiplicar los valores de ρ , a la temperatura dada por P y al dividir ν y α entre P .

Fuente: Datos generados basándose en el software EES desarrollado por S. A. Klein y F. L. Alvarado. Fuentes originales: Keenan, Chao, Keyes, Gas Tables, Wiley, 198, y *Thermophysical Properties of Matter*, Vol. 3: *Thermal Conductivity*, Y. S. Touloukian, P. E. Liley, S. C. Saxena, Vol. 11: *Viscosity*, Y. S. Touloukian, S. C. Saxena y P. Hestermans, IFI/Plenum, NY, 1970, ISBN 0-306067020-8.

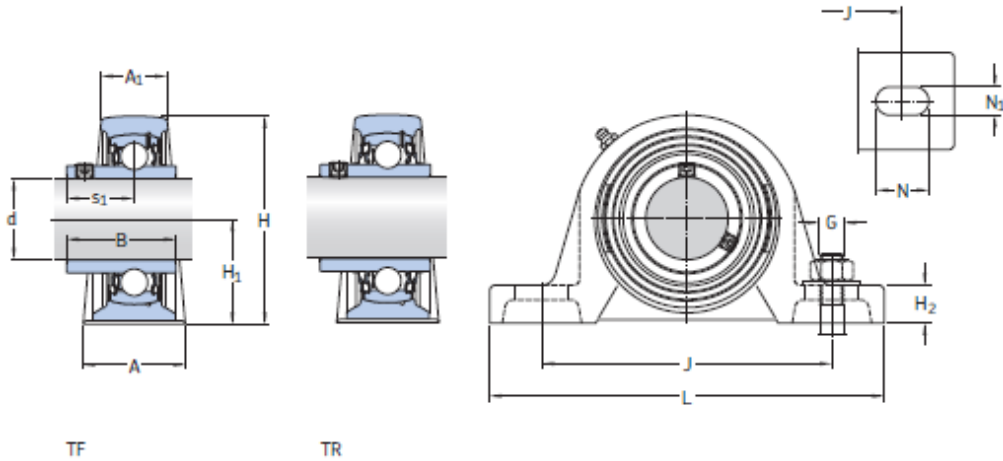
ANEXO B: TIPOS Y ESPECIFICACIONES DE LAMINAS PERFORADAS REDONDAS

Tipos y especificaciones de Láminas Perforadas Redondas

R	T	%	Esp. 0.5	Esp. 0.8	Esp. 1	Esp. 1.5	Esp. 2	Esp. 2.5	Esp. 3	Esp. 4	Esp. 5	Esp. 6	Esp. 8	Esp. 10
0.05	1.09	14.5	*											
0.8	1.5	22.5		*										
1	2	23			*									
1.2	2.25	14.5			*									
1.5	3	23			*	*								
2	3.5	30			*	*	*							
2.5	4	35			*	*		*						
3	5	33		*	*	*	*							
3	6	23							*					
4	6	40			*	*	*		*					
4	7	30								*				
5	7	46			*	*	*	*						
5	8	35							*		*			
5	12	90			*									
6	8.5	44			*	*	*							

ANEXO C: SELECCIÓN DE CHUMACERAS SEGÚN CATALOGO SKF

Y-bearing plummer block units with a cast housing and grub screws, metric shafts
d 12 – 60 mm



Dimensions														Basic load ratings dynamic C	static C ₀	Fatigue load limit P _u	Limiting speed with shaft tolerance h6	Designation Bearing unit
d	A	A ₁	B	H	H ₁	H ₂	J	L	N	N ₁	G	s ₁						
mm														kN	kN	kN	r/min	-
12	32	18	27,4	57	30,2	14	97	127	20,5	11,5	10	15,9	9,56	4,75	0,2	9 500	SY 12 TF	
15	32	18	27,4	57	30,2	14	97	127	20,5	11,5	10	15,9	9,56	4,75	0,2	9 500	SY 15 TF	
17	32	18	27,4	57	30,2	14	97	127	20,5	11,5	10	15,9	9,56	4,75	0,2	9 500	SY 17 TF	
20	32	21	31	65	33,3	14	97	127	20,5	11,5	10	18,3	12,7	6,55	0,28	8 500	SY 20 TF	
	34	23	31	65	33,3	14	97	127	20,7	13	10	18,3	12,7	6,55	0,28	8 500	SYJ 20 TF	
25	32	21	31	65	33,3	14	97	127	20,5	11,5	10	18,3	12,7	6,55	0,28	5 000	SY 20 TR	
	36	22	34,1	70,5	36,5	16	102	130	19,5	11,5	10	19,8	14	7,8	0,335	7 000	SY 25 TF	
30	38	24	34,1	70,5	36,5	16	102,5	140	21,5	13	10	19,8	14	7,8	0,335	7 000	SYJ 25 TF	
	36	22	34,1	70,5	36,5	16	102	130	19,5	11,5	10	19,8	14	7,8	0,335	4 300	SY 25 TR	
35	40	25	38,1	82,5	42,9	17	117,5	152	23,5	14	12	22,2	19,5	11,2	0,475	6 300	SY 30 TF	
	42	27	38,1	82,5	42,9	16	118	165	24	17	14	22,2	19,5	11,2	0,475	6 300	SYJ 30 TF	
	40	25	38,1	82,5	42,9	17	117,5	152	23,5	14	12	22,2	19,5	11,2	0,475	3 800	SY 30 TR	
40	45	27	42,9	93	47,6	19	126	160	21	14	12	25,4	25,5	15,3	0,655	5 300	SY 35 TF	
	46	28	42,9	93	47,6	17	129	167	24	17	14	25,4	25,5	15,3	0,655	5 300	SYJ 35 TF	
	45	27	42,9	93	47,6	19	126	160	21	14	12	25,4	25,5	15,3	0,655	3 200	SY 35 TR	
45	48	30	49,2	99	49,2	19	135,5	175	24,5	14	12	30,2	30,7	19	0,8	4 800	SY 40 TF	
	49	31	49,2	99	49,2	18	136,5	184	25,5	17	14	30,2	30,7	19	0,8	4 800	SYJ 40 TF	
	48	30	49,2	99	49,2	19	135,5	175	24,5	14	12	30,2	30,7	19	0,8	2 800	SY 40 TR	
50	48	32	49,2	107,5	54	21	143,5	187	22,5	14	12	30,2	33,2	21,6	0,915	4 300	SY 45 TF	
	52	36	49,2	107,5	54	20	143,5	190	23,5	17	14	30,2	33,2	21,6	0,915	4 300	SYJ 45 TF	
	48	32	49,2	107,5	54	21	143,5	187	22,5	14	12	30,2	33,2	21,6	0,915	2 400	SY 45 TR	
55	54	34	51,6	114,5	57,2	22	157	203	26	18	16	32,6	35,1	23,2	0,98	4 000	SY 50 TF	
	58	38	51,6	114,5	57,2	22	157,5	206	26,5	20	16	32,6	35,1	23,2	0,98	4 000	SYJ 50 TF	
	54	34	51,6	114,5	57,2	22	157	203	26	18	16	32,6	35,1	23,2	0,98	2 200	SY 50 TR	
60	60	40	55,6	126	63,5	24	171,5	219	27,5	18	16	33,4	43,6	29	1,25	3 600	SY 55 TF	
	60	40	55,6	126	63,5	24	171,5	219	27,5	20	16	33,4	43,6	29	1,25	3 600	SYJ 55 TF	
	60	40	55,6	126	63,5	24	171,5	219	27,5	18	16	33,4	43,6	29	1,25	1 900	SY 55 TR	
60	60	42	65,1	138	69,8	26,5	190,5	240	29,5	18	16	39,7	52,7	36	1,53	3 400	SY 60 TF	
	65	47	65,1	138	69,8	26,5	188,5	241	29,5	20	16	39,7	52,7	36	1,53	3 400	SYJ 60 TF	
	60	42	65,1	138	69,8	26,5	190,5	240	29,5	18	16	39,7	52,7	36	1,53	1 800	SY 60 TR	

ANEXO D: SELECCIÓN DE MOTOR SESAME

BKB
MAQUINARIA INDUSTRIAL

Parque Delta, Panamericana Norte Km. 12 1/2 y Calle Arenal.
info@bkbmaquinaria.com
www.bkbmaquinaria.com

FICHA TÉCNICA:
CATEGORÍA: MOTORES

MOTORES PARA VARIADORES DE VELOCIDAD

MODELO	POTENCIA (HP)	VOLTAJE (V)	VELOCIDAD (RPM)	FRECUE
M540-001	0,05	110	90-1700	60
M560-001	0,08	110	90-1700	60
M590-001	0,12	110	90-1700	60NCIA



ANEXO E: (TCMS) MINERAL ISOLATED BAYONET SONDA TYPE “K”



(TCMS) Mineral Isolated Bayonet Sonda Type

“J” and “K” type Thermocouples

Share :



Features	Descriptions
Max. operating temperature	"K" Type 1200 °C "J" Type 800 °C
Diameter	Min: 1mm, Max: 6mm
Standard cable types	Fiber glass + fiber glass + braided wire, 2x 0,22mm
Standard cable length	K01 = 1 mt, K02 = 2 mt, K03 = 3 mt, K04 = 4 mt, K05 = 5 mt
Sensor type	DIN/IEC-584 "J" FeCu-Ni E= 1.J, DIN/IEC-584 "K" NiCr-Ni E= 1.K,
Protection tube material	"K" Type AISI310 (DIN1.4845), "J" Type AISI316
Connector	
Fittingnut	
Transmitter	

ANEXO F: MANUAL DE OPERACIÓN MÁQUINA TOSTADORA DE CAFÉ

En esta sección nos enfocaremos en el correcto procedimiento realizado por el operador para impartir conocimientos a los nuevos usuarios. Explicaremos de forma más detallada los aspectos clave de la máquina, tanto en términos de su funcionamiento mecánico como de su componente electrónico.

La técnica de operación y el método de aplicación se describirán de manera general. No obstante, es importante destacar que la destreza, la familiaridad y el manejo adecuado de la máquina se adquirirán a través de la experiencia y el conocimiento del operador, los cuales se aplicarán y transmitirán a la máquina.

Antes de Operar

Recuerde seguir estas instrucciones para asegurar un funcionamiento seguro y eficiente de la máquina.

Para evitar problemas o daños al conectar la máquina a una fuente eléctrica, es crucial seguir los siguientes procedimientos:

1. Verifique que la máquina esté apagada y desconectada de la corriente antes de realizar cualquier conexión eléctrica.
2. Asegúrese de contar con el voltaje adecuado para la máquina.
3. Examine el cable de alimentación y el enchufe en busca de posibles daños o desgastes. No conecte la máquina si encuentra alguna anomalía; en su lugar, reemplace el cable o enchufe defectuosos.
4. Conecte el cable de alimentación firmemente a la máquina y luego enchúfelo a una toma de corriente adecuada y en buenas condiciones.
5. Antes de encender la máquina, asegúrese de que todos los interruptores de encendido/apagado estén en la posición correcta.
6. Verifique nuevamente que todos los cables estén correctamente conectados y que no haya cables sueltos o expuestos.
7. Encienda la máquina del interruptor correspondiente.

Una vez que la máquina esté en funcionamiento, observe si hay alguna señal de mal funcionamiento, como chispas, humo o ruidos extraños. Si se detecta alguna anomalía, apague la máquina de inmediato y busque asistencia técnica.

Durante la operación

Durante la operación de la máquina, se dará mayor atención a la observación y control del funcionamiento de la interfaz y los sensores utilizados. Asimismo, se tendrán en cuenta diversas consideraciones relacionadas con el reingreso de la materia prima cuando sea necesario. A continuación, se mencionarán los aspectos a tener en cuenta en este proceso.

1. Después de encender la máquina, es importante verificar que el giro del tambor este a la velocidad exacta, para que el tostado sea optimo.
2. Verificar que la velocidad de inyectado del combustible sea correcta para evitar producir un exceso de fuego que pueda quemar el café.
3. Si se observa que el tostado no es satisfactorio, se recomienda ajustar la velocidad del tambor hasta alcanzar un punto adecuado. de la misma manera se recomienda ajustar la velocidad de inyectado del pellet para que no produzca una llama fuerte.
4. En caso de que el producto no cumpla con el tostado deseado, se sugiere ajustar el sistema de cocción
5. La interfaz mostrará 2 variables: temperatura en el tambor y temperatura en el exterior. Estas variables serán presentadas en forma de números, permitiendo observar los cambios de temperatura en la cocción del café.
6. Es importante tener en cuenta que, en el caso de la velocidad del tambor y control de temperatura, estos se controlaran directamente mediante el tablero de control.
7. El sensor de temperatura permitirá evaluar cuando se puede poner la materia prima dentro del tambor y de la misma manera cuando se debe sacar el café. Permitiendo así tener un control de la cocción de café, para obtener un café de calidad.
8. Si se desea finalizar el trabajo con la materia prima, es importante tener en cuenta que el café ya se encontraba en proceso de cocción por lo cual estará un tanto húmedo, con lo cual si se le deja así este procederá a podrirse. Antes de apagar la máquina, se recomienda dejar girar por unos diez minutos y asesorarse que no se encuentre nada de café dentro.

Después de la Operación

En caso de terminar el trabajo deseado y haber realizado el paso 8 de la sección anterior, se procederá al apagado de la maquina en caso de que se desee limpiar la máquina para aumentar el tiempo de vida útil de los elementos y de la maquina en general podemos realizar con los siguientes pasos.

1. Apagar la máquina asegurándose de desconectarla de la fuente de energía.

2. Retirar cualquier residuo de materia prima o producto acumulado en el tambor, y en la parte de las cenizas. Se recomienda utilizar herramientas adecuadas para esta tarea, evitando dañar los elementos de la máquina.
3. Limpiar minuciosamente el tambor y la cámara de combustión del pellet con un paño húmedo y, si es necesario, utilizar un detergente suave para eliminar cualquier residuo adherido. Asegurarse de secarlos completamente después de la limpieza.
4. Inspeccionar visualmente otros componentes de la máquina y limpiarlos si es necesario. Prestar especial atención a áreas de difícil acceso donde podrían acumularse residuos.
5. Verificar el estado de los sistemas de control y los sensores de temperatura. Realizar una limpieza y mantenimiento adecuados si es necesario.
6. Realizar una revisión general de la máquina para asegurarse de que no haya daños visibles o desgaste excesivo en los componentes. Si se detectan problemas, tomar las medidas necesarias para reparar o reemplazar los elementos afectados.
7. Una vez finalizada la limpieza y el mantenimiento, asegurarse de volver a ensamblar adecuadamente todos los componentes de la máquina.
8. Recuerde seguir las instrucciones específicas para la limpieza y el mantenimiento de su máquina, nos proporcionará una seguridad de que esta cumpla con su ciclo de vida correspondiente.