

	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
	FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO	F-AC-DBL-007	30-09-2024	C
	Dependencia	Aprobado	Pág.	
DIVISIÓN DE BIBLIOTECA		SUBDIRECTOR ACADEMICO	1(211)	

RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	Anyelo Mauricio Ruiz Rincón		
FACULTAD	Facultad de Ingeniería		
PLAN DE ESTUDIOS	Ingeniería Mecánica		
DIRECTOR	Msc. Juan Guillermo García Rincón		
CODIRECTOR (si aplica)			
TÍTULO DE LA TESIS	Prototipo de una tostadora de café alimentada con un sistema de combustión a base de aceite residual de motor para el emprendimiento Café Don Rito, Vereda Quebrada estancia, Finca El Paragua, González – Cesar		
TITULO EN INGLES	Prototype of a coffee roaster powered by a combustion system based on residual engine oil for the Café Don Rito project, Vereda Quebrada estancia, Finca El Paragua, González – Cesar		
RESUMEN			
Este proyecto busca desarrollar un prototipo de tostadora de café alimentada con un sistema de combustión a base de aceite residual de motor como alternativa al uso de leña en el emprendimiento Café Don Rito, ubicado en la Vereda Quebrada estancia, González – Cesar. El objetivo es mejorar la eficiencia del tostado y optimizar la calidad del café. Para ello, se investigarán los requerimientos técnicos, se diseñará el sistema en SolidWorks y se construirá un prototipo funcional.			
RESUMEN EN INGLES			
This project seeks to develop a prototype coffee roaster powered by a combustion system based on residual engine oil as an alternative to firewood at the Café Don Rito business, located in the Quebrada Estancia neighborhood of González, Cesar. The objective is to improve roasting efficiency and optimize coffee quality. To this end, technical requirements will be investigated, the system will be designed in SolidWorks, and a functional prototype will be built.			
PALABRAS CLAVES	Tostadora, Combustión, Prototipo, Eficiencia, Café, Aceite, Energía		
PALABRAS CLAVES EN INGLES	Toaster, Combustion, Prototype, Efficiency, Coffee, Oil, Energy		
CARACTERÍSTICAS			
PÁGINAS:	PLANOS:	ILUSTRACIONES:	CD-ROM:



Vía Acolsure, Sede el Algodonal, Ocaña, Colombia - Código postal: 546552
Línea gratuita nacional: 01 8000 121 022 - PBX: (+57) (7) 569 00 88
atencionalciudadano@ufpso.edu.co - www.ufpso.edu.co

**Prototipo de una tostadora de café alimentada con un sistema de combustión a base de
aceite residual de motor para el emprendimiento Café Don Rito, Vereda Quebrada
Estancia, Finca El Paragua, González – Cesar**

Anyelo Mauricio Ruiz Rincón

Facultad de ingenierías, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña

Ingeniería Mecánica

Msc. Juan Guillermo García Rincón

05 de octubre del 2025

Índice

Capítulo 1. Prototipo de una tostadora de café alimentada con un sistema de combustión a base de aceite residual de motor para el emprendimiento Café Don Rito, Vereda Quebrada Estancia, Finca El Paragua, González - Cesar	13
1.1 Planteamiento del Problema	13
1.2 Formulación del problema	15
1.3 Objetivos	15
1.3.1. Objetivo General	15
1.3.2 Objetivos Específicos.....	15
1.4 Justificación	16
1.5 Delimitaciones	18
1.5.1 Delimitación Operativa	18
1.5.2 Delimitación Conceptual	18
1.5.3 Delimitación Geográfica	20
1.5.4 Delimitación Temporal	20
Capítulo 2. Marco Referencial	21
2.1 Antecedentes Investigativos.....	21
2.1.1 Antecedentes a nivel mundial	21
2.1.2 Antecedentes a nivel Nacional	22
2.1.3 Antecedentes a nivel Local	25
2.2 Marco Teórico	27

2.2.1 Ventajas de los Tostadores de café Innovadores para satisfacer las necesidades del consumidor moderno	27
2.2.2 Cosechando el Futuro: Sostenibilidad en la industria cafetera colombiana	27
2.2.3 El aceite usado de motor como combustible alternativo	28
2.2.4 Control de calidad en café.....	28
2.2.5 La economía del aceite usado: oportunidades de negocio y desarrollo economico en la industria del reciclaje.	29
2.3 Marco Conceptual.....	30
2.3.1 Tostadora de café	30
2.3.2 Combustión.....	32
2.3.3 Aceite Residual	32
2.3.4 Prototipo Tecnológico.....	33
2.3.5 Sostenibilidad en la Industria Cafetera	33
2.4 Marco Legal	34
2.4.1 Ley 1715 de 2014: Ley para la Integración de Energías Renovables no Convencionales	34
2.4.2 Ley 9 de 1991: Regulación de la Política Cafetera en Colombia	34
2.4.3 Resolución 001 de 2002.....	35
Capítulo 3. Diseño Metodológico	37
3.1 Tipo de Investigación.....	37
3.2 Población.....	38
3.3. Muestra	39

3.4 Diseño de instrumentos de recolección de la información y técnicas de análisis de datos.

39

Capítulo 4. Administración del proyecto	41
4.1 Recursos Humanos.....	41
4.2 Recursos Institucionales.....	41
4.3 Recursos Financieros	42
Capítulo 5. Resultados	43
5. 1 Investigar los requerimientos técnicos necesarios para una tostadora de café alimentado con un sistema de combustión a base de aceite residual de motor, considerando aspectos como el volumen de café, transmisión de potencia y el sistema de calefacción.	43
5.1.1 Analizar las capacidades de carga de las tostadoras de café que hay en el mercado para tomar como referencia.	44
5.1.2 Analizar alternativas apropiadas de transmisión de potencia adecuadas para el sistema de rotación con referente a la velocidad final eje principal	48
5.1.3 Definir los parámetros técnicos del sistema de combustión basado en aceite residual como combustible para su aplicación en la tostadora.	53
5.2 Diseñar la tostadora de café a partir del software CAD-SolidWorks, basado en los requerimientos técnicos.	55
5.2.1 Realizar los cálculos de los parámetros técnicos: volumen de café a tostar, sistema de transmisión de potencia y sistema de combustión a base de aceite residual.	55
5.2.2 Diseñar el prototipo de la tostadora de café con base a los cálculos obtenido	120
5.3 Construir un prototipo funcional de tostadora de café basada en los requerimientos de diseño planteado en el software CAD-SolidWorks.	143

5.3.1 Solicitar los materiales y componentes necesarios para la construcción del prototipo conforme a lo establecido.	144
5.3.2 Construir y ensamblar las diferentes partes principales de la tostadora según requerimientos técnicos.	148
5.3.3 Verificar el funcionamiento de la tostadora de café según lo establecido para su posterior entrega al usuario final.....	179
6.Conclusiones	183
7.Recomendaciones	186
Referencias.....	188
Apéndices.....	194

Lista de Figuras

Figura 1 Principales Departamentos Productores de Café en Colombia	24
Figura 2 Tostadora de Café.....	31
Figura 3 Tostadora de café City Roaster MCR - 3	45
Figura 4 SF-25 de San Franciscan Roaster Company	46
Figura 5 Tostadora de café MJ Estrada 20 kg.....	47
Figura 6 Sistema de Correa y polea	49
Figura 7 Sistema de Engranajes.....	50
Figura 8 Sistema de cadena y piñón	51
Figura 9 Caja Reductora	52
Figura 10 Lámina de Acero	59
Figura 11 Datos Mecánicos	72
Figura 12 Reacciones en el eje.....	75
Figura 13 Diagrama momento flector.....	75
Figura 14 Diagrama de Fuerza cortante.....	76
Figura 15 Cálculo de las reacciones y fuerzas.	76
Figura 16 Sensibilidad de la muesca en flexión según radio y resistencia del material	85
Figura 17 Determinación de la sensibilidad a la muesca para torsión en función del radio y material	86
Figura 18 Curvas Características	118
Figura 19 Dimensiones mm	119
Figura 20 Características Técnicas	120

Figura 21 Cilindro de la tostadora	121
Figura 22 Cilindro de la tostadora 2	122
Figura 23 Compuerta de descarga.....	123
Figura 24 Tapa trasera del cilindro	123
Figura 25 Ensamble completo del cilindro de la tostadora.....	124
Figura 26 Estructura de la tostadora	125
Figura 27 Hélices	127
Figura 28 Motor y caja reductora.....	128
Figura 29 Motor y Caja reductora 2.....	128
Figura 30 Acople del motor y caja reductora a la estructura	129
Figura 31 Diseño del piñón.....	130
Figura 32 Catarina.....	131
Figura 33 Cadena	131
Figura 34 Ensamble del piñón, catarina y cadena en SolidWorks.....	132
Figura 35 Tolva de Tostadora	133
Figura 36 Tubo de unión a la tolva	133
Figura 37 Extractor de humo	134
Figura 38 Tubo de unión.....	135
Figura 39 Ensamble del extractor de humo	136
Figura 40 Fogones.....	137
Figura 41 Fogones 2.....	137
Figura 42 Ensamble fogones.....	138
Figura 43 Carcasa para aislamiento térmico	139

Figura 44	Ensamble del sistema de tuberías y soplador de la tostadora de café	140
Figura 45	Termómetro	141
Figura 46	Ensamble completo 1	141
Figura 47	Ensamble completo 2	142
Figura 48	Ensamble completo 3	142
Figura 49	Preparación del cilindro.....	149
Figura 50	Soldadura del cilindro.....	149
Figura 51	Preparación de la tapa trasera del cilindro.....	150
Figura 52	Cubierta delantera del cilindro en proceso de detallado.....	150
Figura 53	Acople de la primera parte de la cubierta delantera al cilindro	151
Figura 54	Unión inferior de la cubierta delantera	151
Figura 55	Selección de tubos estructurales	152
Figura 56	Corte de Ángulos.....	153
Figura 57	Armado progresivo de la estructura	153
Figura 58	Fijación con tornillos para soporte del cilindro	154
Figura 59	Estructura base finalizada.....	154
Figura 60	Tubería para la construcción de los fogones	156
Figura 61	Lamina HR A36 4.5 mm 4x8 pulgadas para acople de fogones	157
Figura 62	Montaje de fogones en la estructura.....	157
Figura 63	Preparación de hélices para su posterior instalación en el eje principal.....	159
Figura 64	Preparación y montaje de las hélices en el eje principal	160
Figura 65	Vista interna del sistema con instalación de hélices y soporte frontal	161
Figura 66	Vista posterior del sistema con chumacera de 4 huecos.....	161

Figura 67 Motor monofásico 2.0 HP y caja reductora DIXUS NMRV063 montados sobre ángulos A572 Grado 50	163
Figura 68 Acople del sistema motriz al eje del cilindro mediante piñón y cadena	164
Figura 69 Tolva tronco piramidal fabricada en lámina de acero inoxidable AISI 304 de 1.5 mm de espesor.....	165
Figura 70 Tubo cilíndrico de 4 pulgadas en acero inoxidable AISI 304, espesor de 1.2 mm. ...	166
Figura 71 Tubo de acero fijado al cilindro mediante tornillos.....	166
Figura 72 Tolva troncopiramidal fabricada en acero inoxidable	167
Figura 73 Ajuste de carcasa en lámina galvanizada calibre 20	168
Figura 74 Construcción del ventilador centrífugo	169
Figura 75 Ajuste de tapa superior del ventilador centrifugo.....	170
Figura 76 Motor de medio caballo.....	170
Figura 77 Cuerpo cilíndrico inicial.....	171
Figura 78 Sección cónica.....	172
Figura 79 Construcción del ciclón ensamblado	173
Figura 80 Tubo de Unión al extractor de humo.....	173
Figura 81 Finalización de la Unión de ambas piezas (tubo de unión conectado al extractor de humo).....	174
Figura 82 Accesorios finales del prototipo	175
Figura 83 Implementación de Fogones.....	176
Figura 84 Soplador.....	176
Figura 85 Acoplamiento del soplador.....	177
Figura 86 Depósito de aceite residual de motor.....	177

Figura 87 Sistema de combustión del prototipo	178
Figura 88 Verificación de la estructura.....	179
Figura 89 Verificación del sistema de transmisión.....	180
Figura 90 Verificación del sistema de combustión.....	181
Figura 91 Acople de válvulas de paso a los tubos de PVC.....	182

Lista de Tablas.

Tabla 1	Parametros iniciales de diseño del prototipo de tostadora	56
Tabla 2	Acabados superficiales	79
Tabla 3	Factores de temperatura	81
Tabla 4	Factores de confiabilidad	82
Tabla 5	Factores de concentración de esfuerzos para distintos elementos geometricos.....	84
Tabla 6	Capacidad de cargas de cadenas estandar de rodillos.....	90
Tabla 7	Tabla de dimensiones de los piñones intermec paso 5/8	91
Tabla 8	Dimensiones de los piñones intermec paso 5/8	92
Tabla 9	Selección de valores para ruedas dentadas y ejes	93
Tabla 10	Tablas de K según sea la cantidad D	95
Tabla 11	Tabla de los cuñeros y cuñas estandaren pulgadas de sección cuadrada.....	96
Tabla 12	Dimensiones seleccionadas para los componentes del sistema de transmisión.....	97
Tabla 13	Presupuesto de materiales utilizados	146
Tabla 14	Presupuesto de mano de obra.....	148

Lista de Apéndices

Apendice A. Vista Explosionada	194
Apéndice B. Estructura	195
Apendice C. Cilindro	196
Apendice D. Hélices	197
Apendice E. Extractor de humo	198
Apendice F. Tubo de unión.....	199
Apendice G. Sistema de potencia	200
Apendice H. Piñón	201
Apendice I. Catarina	202
Apéndice J. Tolva	203
Apendice K. Tubo de Conexión a la tolva.....	204
Apéndice L. Carcasa	205
Apéndice M. Láminas laterales.....	206
Apéndice N. Lámina posterior.....	207
Apéndice Ñ. Fogones.....	208
Apéndice O. Te de unión	209
Apéndice P. Tuberías	210

Capítulo 1. Prototipo de una tostadora de café alimentada con un sistema de combustión a base de aceite residual de motor para el emprendimiento Café Don Rito, Vereda Quebrada Estancia, Finca El Paragua, González - Cesar

1.1 Planteamiento del Problema

El emprendimiento café Don Rito, situado en la Vereda Quebrada estancia, González – Cesar. Se enfoca en la producción artesanal de café. No obstante, actualmente se lleva a cabo el proceso de tostado del grano, etapa crucial para asegurar la calidad del producto, utilizando leña como fuente de energía, lo que ha originado numerosos problemas operativos y económicos.

Uno de los problemas más significativos es la liberación de humo durante el proceso de combustión, lo que perjudica la calidad del aire en el entorno laboral y puede tener repercusiones en la salud de los empleados que se encuentran expuestos. A esto se añade la complejidad para obtener y almacenar la leña, particularmente en épocas de escasez o alta humedad, lo que incrementa el costo del procedimiento y lo hace más complicado logísticamente.

Desde el punto de vista energético, el sistema de tostado empleado por el emprendimiento requiere una considerable cantidad de leña para lograr las temperaturas necesarias en cada jornada de producción. Si bien no existen datos específicos del consumo exacto en sistemas artesanales de tostado de café. En Colombia, un estudio realizado en la localidad rural de El Peñón, (Argentina), estimo que los hogares que utilizan leña para actividades térmicas como la cocción y el calentamiento de agua pueden consumir hasta 180 kg de leña al mes con una eficiencia térmica aproximada del 15% (Sosa, Gil y Sánchez, 2020). Este

dato permite dimensionar la alta demanda energética y baja eficiencia que caracterizan los sistemas rurales no tecnificados basados en leña, como el que se utiliza en Café Don Rito.

Además, la utilización de leña no facilita un control exacto de la temperatura durante la elaboración del tostado, lo que resulta en perfiles de temperatura irregulares. Esta diversidad resulta en un café con un gusto y aroma irregulares, lo que reduce la calidad y la aceptación del producto en el mercado. Como el café artesanal compite por la diferenciación sensorial, la ausencia de uniformidad constituye una desventaja considerable en comparación con otros productores.

Por otro lado, el uso continuo de este tipo de combustible requiere una supervisión rigurosa, un consumo energético elevado y el deterioro de los equipos, lo que resulta en una baja eficiencia en todo el proceso de producción. Como señala Figueroa (2018), estas restricciones en los procedimientos rurales convencionales afectan de manera adversa tanto la productividad como la sostenibilidad de las pequeñas empresas de café.

Estas circunstancias obstaculizan el desarrollo del negocio y restringen las posibilidades de aportar valor al producto final. El entorno rural, unido a los obstáculos tecnológicos, obstaculiza la realización de procesos como el tostado de forma regulada y eficaz, perpetuando así las disparidades económicas y técnicas en áreas productoras como González - Cesar.

1.2 Formulación del problema

¿Cómo puede el desarrollo de un prototipo de tostadora de café alimentada con un sistema de combustión a base de aceite residual de motor mejorar la eficiencia del proceso de tostado, reducir la dependencia de la leña y contribuir al desarrollo sostenible del emprendimiento Café Don Rito en la Vereda Quebrada estancia, Finca El Paragua, González - Cesar?

1.3 Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Desarrollar un prototipo de tostadora café alimentado con un sistema de combustión a base de aceite residual de motor como combustible, para el emprendimiento Café Don Rito, Vereda Quebrada estancia, Finca El Paragua, González – Cesar

1.3.2 Objetivos Específicos

Investigar los requerimientos técnicos necesarios para una tostadora de café alimentado con un sistema de combustión a base de aceite residual de motor, considerando el volumen de café, transmisión de potencia y el sistema de calefacción.

Diseñar una tostadora de café alimentada con un sistema de combustión a partir del software CAD-SolidWorks, basado en los requerimientos técnicos.

Construir un prototipo funcional de tostadora de café basada en los requerimientos de diseño planteado en el software CAD-SolidWorks.

1.4 Justificación

El proceso de tostado del café es fundamental para determinar la calidad sensorial del producto final, por lo cual resulta necesario garantizar condiciones térmicas estables, seguras y eficientes durante esta etapa. En el caso del emprendimiento Café Don Rito, ubicado en la vereda Quebrada Estancia del municipio González – Cesar, actualmente se realiza el tostado de forma artesanal, empleando leña como fuente principal de calor, lo cual genera inconsistencias térmicas que afectan negativamente la calidad del producto. De acuerdo con Ayala (2023), prácticas como cocinar o generar calor con leña producen efectos negativos en la eficiencia del proceso térmico, al generar combustión irregular y poco controlada, lo cual afecta la calidad del producto final.

Frente a esta situación, el desarrollo de un prototipo de tostadora de café alimentada con un sistema de combustión a base de aceite residual de motor surge como una alternativa técnica que busca mejorar el rendimiento del proceso de tostado.

Este sistema contempla el uso de aceite residual (como aceite de motor), como fuente de energía térmica, permitiendo un control más estable de la temperatura y una mayor uniformidad en el tratamiento del grano.

En términos productivos, esta iniciativa permitirá a Café Don Rito maximizar el aprovechamiento energético, mejorar la consistencia en la calidad del café tostado y reducir la variabilidad del proceso. Asimismo, representa un avance en términos de innovación tecnológica adaptada al contexto rural, ofreciendo una solución eficiente y replicable que fortalece la competitividad de los pequeños productores. La implementación de este sistema puede convertirse en una estrategia clave para optimizar recursos, incrementar la productividad y contribuir al desarrollo sostenible del emprendimiento.

1.5 Delimitaciones

1.5.1 Delimitación Operativa

El progreso del proyecto incluye desde el estudio inicial, a través del diseño conceptual, hasta la edificación y evaluación del prototipo. El sistema se modelará empleando CAD-SolidWorks, y se llevarán a cabo pruebas experimentales para valorar su rendimiento en aspectos como temperatura, consumo de combustible y calidad del tostado.

1.5.2 Delimitación Conceptual

El propósito principal del proyecto es la creación de un prototipo de tostadora de café alimentada por un sistema de combustión a base de aceite residual, con la finalidad de incrementar la eficiencia y calidad del proceso de tostado en pequeñas explotaciones de café. Hoy en día, numerosas áreas rurales se apoyan en la leña como recurso energético para este proceso, lo que ocasiona problemas en la regulación de la temperatura, impactando la uniformidad del tostado y, por ende, la calidad final del café.

El tostado del café es un paso crucial en la cadena de valor del producto, dado que impacta directamente en su aroma, gusto y reconocimiento en el mercado. La ausencia de tecnologías apropiadas en propiedades como la Finca El Paragua, en González - Cesar, restringe la habilidad de los productores para conseguir un tostado homogéneo y eficaz, disminuyendo su competitividad ante otros participantes en el sector cafetero.

El sistema de combustión basado en aceite residual de motor aspirará a proporcionar una opción eficiente y asequible para sustituir la leña, buscando mejorar significativamente la eficiencia energética y facilitar un control más efectivo de la temperatura durante el proceso de tostado. La aplicación de esta tecnología no solo favorecerá la optimización del producto final, sino que también apuntará a disminuir el tiempo y el esfuerzo operativo que los productores necesitarán.

Finalmente, el proyecto concuerda con la idea de mejorar en cuanto a la calidad de la producción del café, dado que se va a lograr un tostado más eficaz y uniforme permitirá a los productores de café proporcionar un producto de superior calidad y con más oportunidades de venta. Esto resulta en ventajas financieras para la empresa Café Don Rito y en un efecto beneficioso en el progreso local, fomentando la implementación de tecnologías más eficaces en la elaboración artesanal de café. OIC., 2021)

En línea con esto, el Informe de Gestión 2021 de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia señala que el precio del café pergamino en Colombia alcanzó un máximo histórico en 2021, lo que contribuyó significativamente al crecimiento económico del país. Este contexto evidencia cómo el café de alta calidad tiene un potencial importante para generar valor económico, especialmente cuando se combina con prácticas tecnológicas sostenibles y eficientes

1.5.3 Delimitación Geográfica

El proyecto se realizará en la Finca El Paragua, situada en la Vereda Quebrada estancia, González - Cesar. En la actualidad, el emprendimiento Café Don Rito elabora el tostado de café de forma artesanal utilizando leña para su elaboración.

1.5.4 Delimitación Temporal

El proyecto está programado para llevarse a cabo entre el mes de mayo al mes de agosto de 2025, dividido en las etapas de investigación, diseño, edificación, pruebas y modificaciones finales del prototipo.

Capítulo 2. Marco Referencial

2.1 Antecedentes Investigativos

2.1.1 Antecedentes a nivel mundial

El café es uno de los bienes agrícolas más vendidos e importantes a nivel global y se ha cultivado desde el siglo XV. Su procedencia se encuentra en las zonas altas de Etiopía, y su expansión mundial se inició mediante el comercio árabe, europeo y luego americano (Mauricio, 2016). En la actualidad, el café se produce en más de 70 naciones de América Latina, África y Asia, jugando un rol esencial en la economía de millones de hogares rurales.

De acuerdo con la Organización Internacional del Café (OIC), en 2020 se generaron cerca de 10,5 millones de toneladas de café en todo el mundo, con Brasil, Vietnam Y Colombia como los países líderes en exportación. América Latina contribuye con más del 50% del café a nivel mundial, estableciéndose como una región esencial para la cadena de valor a nivel mundial (Organización Internacional del Café, 2021).

El procedimiento de tostado es esencial para establecer las propiedades organolépticas del café, como son el aroma, el gusto y la textura. A escala global, la tendencia presente es la implementación de tecnologías que faciliten un control más exacto de la temperatura y la curva del tostado, mejorando de esta manera la calidad final del producto (Federación Nacional de Cafeteros, 2022). Innovaciones como los sistemas de tostado indirecto o las fuentes de energía

alternativas se han puesto en marcha en naciones como Brasil y Colombia con el objetivo de incrementar la eficiencia y disminuir el impacto ecológico.

En Brasil, uno de los principales productores, se ha fomentado la utilización de energías renovables y desechos agrícolas en el proceso de tostado. Estas iniciativas han sido destacadas en informes internacionales sobre sostenibilidad agrícola (OCDE & FAO. 2015).

Igualmente, en Colombia, la Federación Nacional de Cafeteros ha promovido iniciativas de actualización en los procesos de tostado artesanal a través de tecnologías ecológicas, facilitando a los pequeños productores de café mejorar la calidad de su café y llegar a mercados internacionales más rigurosos (Federación Nacional de Cafeteros, 2021).

2.1.2 Antecedentes a nivel Nacional

En Colombia, el café representa uno de los bienes de agricultura de mayor relevancia económica, social y cultural. Se trata de la principal fuente de ingresos para más de 540.000 hogares, en especial en áreas rurales, y es el principal creador de empleos agrícolas en la nación (Federación Nacional de Cafeteros, 2022). No solo promueve la economía del país su cultivo, sino que también favorece la consolidación y la sostenibilidad de las comunidades rurales.

De acuerdo con el Ministerio de Agricultura (2021). El cultivo de café en el país abarca más de 840.000 hectáreas, repartidas en 22 departamentos del país, y en el año 2021, la producción llegó a los 12,6 millones de sacos de 60kg. No obstante, existen disparidades en la

implementación de tecnologías sustentables para el beneficio y la transformación del grano, particularmente en los productores de pequeña escala.

Se ha sugerido por Cenicafé la implementación de maquinaria y sistemas de procesamiento de calor utilizando fuentes de energía alternativas, con el objetivo de optimizar la eficiencia energética y disminuir los efectos ambientales vinculados al empleo de leña en el tostado artesanal (Cenicafé, 2020). Estas opciones, como la utilización de desechos reutilizables, pueden resultar fundamentales para incrementar la competitividad del café colombiano sin poner en riesgo su naturaleza artesanal.

En la figura 1 se muestra que los departamentos con mayor participación en la producción nacional de café son Huila (18,06 %), Antioquia (15,09 %), Tolima (13,30 %) y Cauca (10,94 %) (Coffee Media, 2021).

Figura 1

	DEPARTAMENTO	% 2021
1	HUILA	18,06
2	ANTIOQUIA	15,09
3	TOLIMA	13,30
4	CAUCA	10,94
5	CALDAS	7,29
6	VALLE DEL CAUCA	5,60
7	SANTANDER	5,51
8	RISARALDA	5,06
9	NARIÑO	4,50
10	CUNDINAMARCA	3,23
11	CESAR/GUAJIRA/BOLÍVAR	2,95
12	NORTE DE SANTANDER	2,64
13	QUINDIO	2,13
14	MAGDALENA	1,76
15	BOYACÁ	1,00
16	OFICINAS COORDINADORAS	0,94

Departamentos que poseen la mayor producción de café en Colombia durante el año 2021.

Imagen Tomada de Coffee Media (2021).

2.1.3 Antecedentes a nivel Local

La finca El Paragua, ubicada en la vereda Quebrada Estancia, municipio de González, Cesar, es una zona rural donde el cultivo de café es una actividad económica significativa. Según el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), en los municipios de Río de Oro y González, el ICA realiza visitas de inspección, vigilancia y control a predios cafeteros para mejorar el estatus fitosanitario del cultivo en el departamento del Cesar.

Con la expansión agrícola en el norte de Colombia, la producción de café se estableció como una de las actividades económicas más relevantes, particularmente en áreas rurales como el municipio de González, Cesar. Durante el siglo XX, la caficultura ganó aún más importancia debido a la introducción de variedades superiores, el apoyo técnico de entidades como la Federación Nacional de Cafeteros y la transferencia de saberes campesinos de generación en generación. El departamento del Cesar cuenta con aproximadamente 24.158 hectáreas dedicadas al cultivo de café, con una producción proyectada de 22 millones de kilos de café pergamino seco para el año 2024, lo cual representa un crecimiento significativo respecto a años anteriores. Esta actividad genera ingresos estimados entre 380.000 y 400.000 millones de pesos, constituyendo un aporte importante a la economía agrícola local (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural & Federación Nacional de Cafeteros, 2023).

Un modelo motivador de emprendimiento en el sector del café es el de Café Don Rito, una empresa familiar que surge en la vereda Quebrada Estancia, en el municipio de González, Cesar. Este proyecto tributa a Don Rito, un destacado cultivador de café de la zona, y está

encabezado por su hijo, que optó por preservar el patrimonio familiar en la producción del café. Mediante prácticas sustentables y un énfasis en la calidad del grano, Café Don Rito aspira a establecerse en el mercado nacional, proporcionando un producto que representa la tradición y el empeño de las familias productoras de café del Cesar. Este proyecto no solo fomenta el crecimiento económico de la zona, sino que también robustece la identidad cultural de la zona.

Además, al igual que en otras localidades del noroeste de Colombia, se han promovido alianzas para modificar productos de la agricultura y estimular la economía rural. En González, Cesar, el emprendimiento Café Don Rito se destaca como un modelo de innovación rural fundamentada en el café. Esta propuesta no solo recupera métodos tradicionales de cultivo, sino que promueve procesos de optimización en la calidad del grano, envasado y presentación del producto, dirigidos a penetrar en nuevos mercados. De acuerdo con el modelo de cooperativas de café en áreas rurales del país, Café Don Rito simboliza el trabajo conjunto de una familia para rejuvenecer el campo, dignificar el trabajo de los cafeteros y aportar a la estabilidad económica de la región.

2.2 Marco Teórico

2.2.1 Ventajas de los Tostadores de café Innovadores para satisfacer las necesidades del consumidor moderno

En el artículo publicado en Insights Made –in-china (2025), se destacan las ventajas de los tostadores de café innovadores para satisfacer las necesidades del consumidor moderno. Estos tostadores ofrecen precisión, eficiencia energética y automatización, permitiendo un control detallado del proceso de tostado y asegurando una calidad consistente en cada lote de café. La incorporación de sensores avanzados y sistemas automatizados facilita la replicación de perfiles de tostado exitosos, lo que es esencial para mantener la calidad del producto y satisfacer las expectativas de los consumidores actuales.

2.2.2 Cosechando el Futuro: Sostenibilidad en la industria cafetera colombiana

La sostenibilidad en la industria cafetera colombiana es un tema de creciente importancia. Según el artículo Cosechando el futuro: sostenibilidad en la industria cafetera colombiana de ANeIA (2024), la caficultura representa el 15% del PIB agropecuario y brinda más de 785.000 empleos en el país. La implementación de prácticas sostenibles, como el uso de fuentes de energía renovable y la modernización de procesos, es fundamental para reducir el impacto ambiental y promover un desarrollo económico equitativo.

2.2.3 El aceite usado de motor como combustible alternativo

El uso de aceite residual de motor como combustible en los tostadores de café se presenta como una alternativa viable y rentable para pequeños emprendimientos que requieren soluciones accesibles y efectivas en sus procesos de producción. Este tipo de aceite, al ser tratado adecuadamente, puede aprovecharse como fuente calórica para sistemas de combustión.

Según Coronado (2023), existe la posibilidad de utilizar el aceite usado de motor como combustible alternativo, y su aprovechamiento resulta económicamente atractivo. Se estima que 1 galón de aceite usado puede generar hasta $\frac{3}{4}$ de galón de aceite reciclado, lo cual representa un ahorro aproximado de 30 galones de crudo en su fabricación. Esto lo convierte en una opción eficiente para reducir los costos relacionados con la adquisición de combustibles convencionales.

Para el caso del emprendimiento Café Don Rito, ubicado en una zona rural con acceso limitado a combustibles comerciales, el uso de aceite residual permite aprovechar recursos disponibles localmente, adaptándose a las condiciones técnicas y económicas del entorno. Además, su implementación no requiere sistemas altamente complejos, lo que facilita su integración a nivel artesanal sin comprometer la funcionalidad del proceso de tostado.

2.2.4 Control de calidad en café

De acuerdo con Yumbato y Kyungin (2021), el proceso de tostado constituye una de las etapas más determinantes para garantizar la calidad del café, ya que durante esta fase se desarrollan los compuestos responsables del aroma, el sabor y el color característicos del grano.

El estudio destaca que variables como la temperatura de tostado, el tiempo de exposición al calor y la uniformidad en la transferencia térmica deben ser cuidadosamente controladas para obtener un producto con atributos sensoriales consistentes y de alta aceptación por parte del consumidor. Asimismo, se señala que cualquier desviación térmica o falta de precisión en el proceso puede derivar en defectos del grano, pérdida de propiedades organolépticas y disminución de la competitividad del producto final. En este contexto, la implementación de tecnologías que permitan mejorar la eficiencia térmica del sistema de tostado resulta esencial para pequeños productores, ya que contribuye a estandarizar la calidad del café, reducir pérdidas y fortalecer su posicionamiento en el mercado.

2.2.5 La economía del aceite usado: oportunidades de negocio y desarrollo economico en la industria del reciclaje.

El uso de aceites residuales como fuente alternativa de energía no solo representa una opción técnica viable para procesos térmicos, sino que también ofrece ventajas económicas significativas para pequeños productores. De acuerdo con el informe publicado por Resigras (2023), el aceite usado tiene un alto valor energético y puede convertirse en un insumo estratégico para la reducción de costos operativos, especialmente en contextos donde su obtención es gratuita o de bajo costo. El artículo señala que la economía del aceite usado ha comenzado a perfilarse como una oportunidad de negocio en múltiples sectores, ya que su recolección y reutilización permiten optimizar recursos, disminuir el consumo de combustibles fósiles y fomentar modelos productivos más eficientes y circulares.

2.3 Marco Conceptual

2.3.1 Tostadora de café

La tostadora de café es un equipo fundamental en la cadena de valor del café, ya que permite transformar los granos verdes en granos tostados, listos para su consumo. Este proceso implica someter los granos a una fuente de calor que alcanza temperaturas aproximadas de 200 °C, lo que desencadena una serie de reacciones químicas y físicas. Estas reacciones, como la caramelización de los azúcares y la reacción de Maillard, son responsables del desarrollo del aroma, sabor y color característicos del café tostado.

Además, el tostado reduce la humedad del grano y modifica su estructura interna, facilitando su molienda y extracción de compuestos solubles durante la preparación de la bebida. Según la cartilla de Tostador de Café del Ministerio de Economía Familiar de Nicaragua (2019), El tostado es una técnica de agregación de valor que consiste en someter granos verdes de café a una fuente de calor a temperaturas de aproximadamente a unos 200 °C.

Figura 2



Tostadora de café utilizada en el proceso de transformación del grano, clave para el desarrollo del aroma, sabor y calidad final del producto. Reproducido de (Tostadora – Café Forestal, s. f.)

2.3.2 Combustión

La combustión es una reacción química altamente exotérmica entre una sustancia (normalmente un hidrocarburo) y un agente oxidante, generalmente oxígeno, que libera energía en forma de calor y luz. Según la NASA (s.f.), se trata de un proceso de oxidación rápida en el que un combustible reacciona con el oxígeno del aire, produciendo gases como dióxido de carbono y vapor de agua, además de generar una significativa cantidad de energía térmica útil.

En los sistemas térmicos industriales, como el diseño de tostadoras de café, esta energía térmica es aprovechada para elevar la temperatura de un sistema cerrado, permitiendo transformar física o químicamente un producto, como ocurre durante el tostado del grano. La eficiencia del proceso de combustión depende de factores como el tipo de combustible, la relación aire-combustible, la presión y la temperatura alcanzada. En este proyecto, se utiliza la combustión de aceite residual como fuente de energía, por su capacidad para liberar calor de forma sostenida y eficiente, facilitando así un control más preciso del proceso de tostado.

2.3.3 Aceite Residual

El aceite residual, también denominado *oil sludge* o *oil residue*, es el subproducto espeso y de alta viscosidad que queda después de los procesos de destilación y craqueo del petróleo. Se trata de una mezcla compleja de hidrocarburos que, debido a su densidad y bajo grado de refinamiento, tradicionalmente ha sido considerado un residuo. Sin embargo, este aceite puede ser reutilizado como combustible industrial cuando se somete a procesos de filtrado,

decantación o reciclaje básico, dependiendo del uso final y del tipo de equipo térmico que se utilice (ScienceDirect, 2024).

2.3.4 Prototipo Tecnológico

Un prototipo tecnológico es una representación inicial de un producto o sistema que permite evaluar su diseño, funcionalidad y viabilidad antes de su producción final. Este modelo preliminar puede ser físico o digital y se utiliza para identificar posibles, mejoras, errores o limitaciones en las etapas tempranas del desarrollo. La creación de prototipos es una práctica común en disciplinas como la ingeniería, el diseño industrial y el desarrollo de software, ya que facilita la iteración y a ser un primer modelo de un producto o servicio que se lleva la innovación. Como lo dice la Universidad Europea, un prototipo vendría a ser un primer modelo de un producto o servicio que se lleva con la intención de testear; o bien, lanzar al mercado como algo totalmente novedoso o porque se trata de una versión mejorada.

2.3.5 Sostenibilidad en la Industria Cafetera

La sostenibilidad en la industria cafetera implica prácticas que aseguren la viabilidad económica, social y ambiental del cultivo y procesamiento del café. Según la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, el concepto de sostenibilidad involucrado en las políticas del sector se enmarca en la corriente mainstream de Adams (2009), se trata de intervenciones que buscan transformar la actividad productiva para hacerla más competitiva, reduciendo su impacto ambiental y mejorando las condiciones sociales del productor en un entorno de mercado.

2.4 Marco Legal

2.4.1 Ley 1715 de 2014: Ley para la Integración de Energías Renovables no Convencionales

La ley de 1715 del Congreso de Colombia de 2014 establece las normas para la incorporación de energía renovables no tradicionales en el Sistema Nacional de Energía. Su meta principal es fomentar la utilización de energías renovables para disminuir la dependencia de los combustibles fósiles y atenuar el efecto en el medio ambiente. Esta normativa promueve la adopción de tecnologías ecológicas y concede estímulos fiscales y tributarios a las iniciativas que empleen energías renovables, aspecto crucial para el diseño de la tostadora de café. (Congreso de Colombia, 2014).

Esta normatividad dicta que las energías renovables, como la solar, eólica y de biomasa, desempeñan un rol crucial en el progreso de la infraestructura energética de Colombia.

2.4.2 Ley 9 de 1991: Regulación de la Política Cafetera en Colombia

La ley 9 de 1991 establece disposiciones generales sobre la comercialización de productos agropecuarios y otorga facultades al Gobierno Nacional para intervenir en el sector agrícola, incluido el sector caficultor. En el caso del café, esta ley permite la creación y administración de fondos especiales, como el Fondo Nacional del Café (FoNC), con el propósito de financiar actividades de fomento, investigación, comercialización y sostenibilidad del cultivo.

Debido a esta normativa, el Gobierno Nacional ha establecido políticas públicas que aseguran la estabilidad del sector, promueven la innovación tecnológica y apoyan la producción con un enfoque territorial y sostenible (congreso de Colombia, 1991).

Además, la ley 9 constituye un respaldo jurídico clave para implementar instrumentos que protejan a los caficultores frente a la volatilidad del mercado internacional, garantizar precios mínimos de sustentación y fomentar programas de renovación de cafetales. Esta legislación ha permitido una articulación efectiva entre el Estado y organizaciones gremiales como la de Federación Nacional de Cafeteros, facilitando el diseño y ejecución de proyectos enfocados en la calidad del grano, la sostenibilidad ambiental y el bienestar de las familias cafeteras.

2.4.3 Resolución 001 de 2002

La resolución 001 de 2002, emitida por el Comité Nacional de Cafeteros, establece los lineamientos para el registro de trilladoras y tostadoras de café en Colombia, con el fin de garantizar que quienes intervienen en el procesamiento del grano cumplan con estándares técnicos, legales y sanitarios exigidos por la Federación Nacional de Cafeteros. Esta normativa es clave para asegurar la calidad del café comercializado en el país, ya que exige requisitos como infraestructura adecuada, equipos de tostión con control de temperatura, trazabilidad del producto, y cumplimiento de buenas prácticas de higiene.

Además, la Resolución 001 de 2002 resalta la importancia de mantener registros actualizados y someterse a procesos de inspección y control por parte de las autoridades

cafeteras, lo cual garantiza la transparencia en la cadena de producción y comercialización del café. Este control busca fortalecer la confianza del consumidor y del mercado internacional en el café colombiano.

Capítulo 3. Diseño Metodológico

3.1 Tipo de Investigación

La presente investigación se enmarcará en un enfoque de investigación aplicada, con el propósito fundamental de ofrecer una solución tecnológica concreta a una problemática identificada en el contexto real del emprendimiento Café Don Rito. Esta problemática, detallada por su propietario, el señor Diomar se centra en las ineficiencias y limitaciones de su proceso de tostado artesanal de café, particularmente la falta de un control de temperatura preciso y una distribución térmica homogénea, lo que resulta en la quema frecuente del grano y una calidad inconsistente del producto final. Para abordar esto, el proyecto se enfocará en el desarrollo de un prototipo operativo de tostadora de café alimentada por un sistema de combustión basado en aceite residual de motor, buscando optimizar los procesos de producción, aumentar la eficiencia energética y aprovechar desechos como fuente de calor.

El método central de esta investigación será de orientación cuantitativa y descriptiva, ya que buscará medir variables y analizar datos de manera objetiva para describir las características específicas y el desempeño del prototipo que se desarrollará. Esto se materializará en la recolección y análisis de datos numéricos vinculados a las necesidades técnicas y al rendimiento proyectado de la tostadora, tales como el volumen del café procesado, la temperatura que se alcanzará durante el tostado, el tiempo de tuestión y el consumo de combustible. Según Hernández, Fernández y Baptista (2014), la investigación cuantitativa busca medir variables para obtener datos precisos que permitan describir y analizar objetivamente los fenómenos.

Adicionalmente, se empleará un enfoque experimental, tal como lo plantean Sampieri et al. (2014), quienes destacan que este tipo de investigación permite establecer relaciones causa-efecto mediante la manipulación y control de variables en un entorno determinado. En nuestro caso, el carácter experimental se manifestará en la evaluación controlada del prototipo en situaciones reales de operación con el productor. Durante estas pruebas, se monitorearán y registrarán variables clave para comprender cómo las condiciones de operación del prototipo (ej. cantidad de café, duración del ciclo) afectarán la calidad del tostado, la eficiencia energética y la estabilidad térmica. Los resultados de esta fase experimental permitirán hacer modificaciones técnicas y confirmar la eficiencia del prototipo en las operaciones de tostado de café.

3.2 Población

La población considerada para llevar a cabo el proyecto será el productor de café Diomar, ubicado en la Vereda Quebrada Estancia, Finca El Paragua, en el municipio de González – Cesar. Este productor encabeza el emprendimiento Café Don Rito, y su selección responderá a la necesidad específica identificada previamente de perfeccionar su proceso productivo a través de tecnologías sustentables que resuelvan las limitaciones de su método actual de tostado. Este usuario simbolizará al emprendedor final que empleará el prototipo de tostadora de café para incrementar su eficiencia energética, disminuir gastos y utilizar desechos como el aceite residual. La selección de este único usuario facilitará la personalización del diseño del prototipo para cubrir sus requerimientos particulares y ajustar la tecnología al ambiente rural y productivo donde se desarrollará.

3.3. Muestra

La muestra establecida para el desarrollo del proyecto corresponderá a un productor de café del emprendimiento Café Don Rito, ubicado en la Vereda Quebrada Estancia, Finca El Paragua, en el municipio de González – Cesar. Esta muestra será de tipo intencional, ya que se elegirá específicamente a este usuario por su experiencia en el cultivo y procesamiento de café, así como por su interés en implementar soluciones tecnológicas sostenibles que mejoren su productividad. La información técnica y operativa que será proporcionada por el productor resultará fundamental para el diseño, construcción y validación del prototipo de tostadora.

3.4 Diseño de instrumentos de recolección de la información y técnicas de análisis de datos.

Para lograr los objetivos del proyecto y obtener la información necesaria para el desarrollo, evaluación y mejora del prototipo de tostadora de café, se implementará un procedimiento metodológico estructurado que abarcará desde el diseño ingenieril hasta la validación del prototipo. Este procedimiento se sustentará en una serie de instrumentos y técnicas de recolección de datos diseñados específicamente para capturar la información necesaria para llevar a cabo este proyecto.

La principal fuente de recolección de información será la observación, ya que de esta manera se identificará la problemática a resolver e identificarán las necesidades presentes en el

sector de la producción de café, así como las posibles alternativas para presentar una solución. Para la recolección de información se hará uso de un proceso ingenieril sistemático que iniciará con una fase de análisis de requerimientos y diseño conceptual. Se realizará una investigación documental exhaustiva en libros y artículos científicos, además de un análisis de mercado de tostadoras existentes, para determinar las especificaciones técnicas óptimas. Esto incluirá la definición de una carga de tostado, una temperatura objetiva y un tiempo de tostado adecuado. Los cálculos de ingeniería necesarios para el dimensionamiento del cilindro, el sistema de combustión a base de aceite residual y la transmisión de potencia serán realizados empleando operaciones matemáticas, consultando fuentes bibliográficas especializadas para alcanzar las cifras requeridas por el enfoque cuantitativo del proyecto. De igual manera, se hará uso del software CAD SolidWorks para el diseño detallado de la máquina tostadora, lo que permitirá modelar en 3D.

Posteriormente, una vez completado el diseño en SolidWorks, se procederá a la fase de construcción del prototipo. En esta etapa, se utilizarán diversos materiales estructurales y componentes clave para materializar el diseño. La construcción implicará la fabricación de cada componente y su ensamble final, utilizando equipo y herramientas de taller como máquinas de corte y soldadura. Para la finalización de la tostadora, después de su construcción y el ensamble de todos los componentes, se realizarán pruebas finales de funcionamiento en las instalaciones del Tecnoparque Nodo Ocaña. Estas pruebas tendrán como objetivo principal verificar el correcto desempeño del prototipo, asegurando que los sistemas principales operen eficientemente.

Capítulo 4. Administración del proyecto

4.1 Recursos Humanos

El Msc es el líder del equipo humano que se involucrará en la realización del proyecto. Juan Guillermo García Rincón, en su rol de director del proyecto, tiene la responsabilidad de coordinar, supervisar y ejecutar algunas de las tareas fundamentales. Además, se tiene una participación activa en la planificación y realización de las actividades definidas en el calendario del proyecto.

El emprendedor desempeñará un rol crucial, no solo como miembro del equipo laboral, sino también proporcionando los materiales e insumos que no estén disponibles en el Tecnoparque Ocaña. Si se requiere, se podrá disponer del respaldo de técnicos y auxiliares del nodo Tecnoparque, quienes colaborarán en la utilización correcta de los equipos y tecnologías existentes en el espacio.

4.2 Recursos Institucionales

Los fondos institucionales destinados a la realización del proyecto se originan principalmente del Tecnoparque Ocaña, un programa del SENA cuyo objetivo es fomentar el progreso tecnológico y respaldar proyectos de emprendimiento e innovación.

En este contexto, se dispondrá de acceso a instrumentos, materiales y apoyo técnico, además de

la utilización de las instalaciones para la creación del prototipo. Este ambiente está estructurado para promover la experimentación y la creación de soluciones novedosas.

No obstante, si el nodo no cuenta con el equipo necesario, el emprendedor será el encargado de proporcionar los materiales escasos o administrar procesos externos adicionales.

4.3 Recursos Financieros

El emprendedor y el Tecnoparque SENA asumirán los costos económicos para el desarrollo del prototipo, junto con los servicios gratuitos ofrecidos por el mismo.

El Tecnoparque proporciona acceso gratuito a sus instalaciones, además de consultoría técnica experta, lo que constituye un apoyo importante para la optimización del presupuesto del proyecto. Este respaldo permite reducir el desembolso en infraestructura y asesoramiento técnico.

Además, el empresario asumirá los gastos relacionados con los materiales que no se encuentren en el nodo y las actividades o servicios que se deban llevar a cabo fuera del Tecnoparque, debido a la escasez de equipos particulares en la ubicación de Ocaña.

Capítulo 5. Resultados

5. 1 Investigar los requerimientos técnicos necesarios para una tostadora de café alimentado con un sistema de combustión a base de aceite residual de motor, considerando aspectos como: volumen de café, transmisión de potencia y sistema de calefacción.

Este objetivo tiene como propósito identificar las necesidades técnicas fundamentales para la creación de un prototipo operativo de tostadora de café, empleando como fuente de energía un sistema de combustión basado en aceite residual de motor. La investigación se centrará en tres elementos claves: el volumen de café a procesar, el sistema de transmisión de potencia y el sistema de calefacción.

Primero, se examinarán las capacidades de carga de las tostadoras existentes en el mercado, con el objetivo de definir una referencia valiosa para determinar el volumen de café que se tomará en cuenta en el diseño del prototipo

Se analizarán opciones de transmisión de potencia que posibiliten un movimiento continuo para la distribución correspondiente del grano de café. Por último, se establecerán los parámetros técnicos del sistema de combustión con aceite residual para su aplicación en la tostadora.

Actualmente, el proceso de tostado en el emprendimiento Café Don Rito se realiza de forma manual y con recursos limitados, lo que genera poca precisión en el control térmico, resultados inconsistentes y dificultades operativas. Por esta razón, el análisis técnico propuesto busca establecer una base sólida para modernizar dicho proceso, mediante la implementación de un sistema, confiable y eficiente.

Los hallazgos previstos de este estudio facilitarán la definición de parámetros técnicos específicos para el diseño del prototipo, como el volumen de café a procesar por ciclo, el sistema de transmisión más eficiente, las condiciones térmicas requeridas para el tostado. Esta información se utilizará como fundamento para progresar en el diseño.

5.1.1 Analizar las capacidades de carga de las tostadoras de café que hay en el mercado para tomar como referencia.

Se realizó un análisis de las capacidades de carga de las tostadoras de café disponibles actualmente en el mercado, con el objetivo de establecer una referencia para el diseño del prototipo de la tostadora. Este análisis permitió identificar rangos comunes de carga según el tipo de equipo y su aplicación, lo cual es fundamental para definir parámetros técnicos adecuados a las necesidades del emprendimiento.

Las tostadoras comerciales presentan una amplia variedad de capacidades de carga, que pueden clasificarse de manera aproximada en tres niveles. Las tostadoras pequeñas, generalmente utilizadas para fines domésticos o de laboratorio, manejan cargas desde 1 kg hasta aproximadamente 3 kg por tanda. Por ejemplo, la tostadora MCR-1 de Mill City Roasters tiene una capacidad ajustable entre 200 gramos y 1 kg por lote, lo cual permite un control muy preciso, pero no resulta eficiente para volúmenes comerciales (Mill City Roasters, 2024).

Figura 3



Tostadora de café Mill City Roasters (modelo referencial). Equipo industrial utilizado como referencia técnica. Tomado de Mill City Roasters (2024).

Las tostadoras medianas, empleadas en emprendimientos artesanales o pequeños negocios, tienen capacidades que oscilan entre 5 kg y 15 kg por ciclo de tostado. La tostadora SF-25 de San Franciscan Roaster Company, por ejemplo, permite cargas entre 3 y 12 kg por lote (San Franciscan Roaster Co., 2024).

Figura 4



. Tostadora de café SF-25 de San Franciscan Roaster. Modelo referencial de equipo industrial con capacidad de cargas entre 3 y 12 kg por lote. Fuente: San Franciscan Roaster (2024).

Por su parte, las tostadoras grandes, diseñadas para procesos de mayor escala, pueden alcanzar capacidades de entre 20 kg y más de 120 kg por tanda, dependiendo de su diseño y fuente de energía. Un ejemplo representativo es la tostadora JM Estrada de 20 kg, fabricada en Colombia, la cual opera mediante un cilindro horizontal de doble pared que garantiza una distribución uniforme del calor (Tostar Café, 2024).

Figura 5



Equipo diseñado para operaciones comerciales de grande escala. Tomada de (Tostar Café, 2024).

En este contexto, y considerando las necesidades productivas del emprendimiento Café Don Rito, se plantea como referencia de diseño una capacidad de carga de 20 kilogramos por tanda. Esta elección resulta viable ya que permite un equilibrio adecuado entre el volumen de producción y el consumo energético. Además, el cilindro cerrado permite mantener una temperatura más estable durante el proceso de tuestión, aprovechando de forma más eficiente el calor generado por el quemador artesanal. Esta estabilidad térmica es clave para garantizar un tostado homogéneo, reduciendo pérdidas energéticas y asegurando la calidad del producto final. Asimismo, la escala de 20 kg se adapta a las capacidades operativas del emprendimiento sin requerir la infraestructura técnica de una planta industrial, permitiendo una instalación más sencilla y un mantenimiento asequible. En conjunto, esta capacidad representa una solución

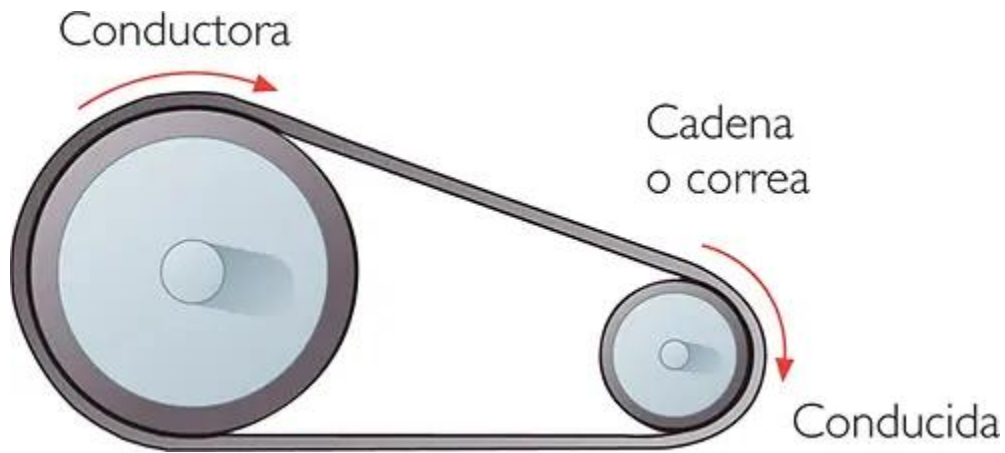
técnica y económicamente coherente con los objetivos del proyecto, brindando un punto de partida sólido para el diseño del prototipo que apoyará el desarrollo del emprendimiento en la vereda Quebrada Estancia.

5.1.2 Analizar alternativas apropiadas de transmisión de potencia adecuadas para el sistema de rotación con referente a la velocidad final eje principal

Para garantizar el buen funcionamiento del sistema de rotación en la tostadora de café, se realizó un análisis detallado de distintas alternativas de transmisión de potencia, con el fin de seleccionar la opción más eficiente y adecuada a las condiciones operativas específicas del equipo. La transmisión de potencia es el mecanismo encargado de transferir la energía desde una fuente motriz, como un motor, hacia un componente mecánico en movimiento.

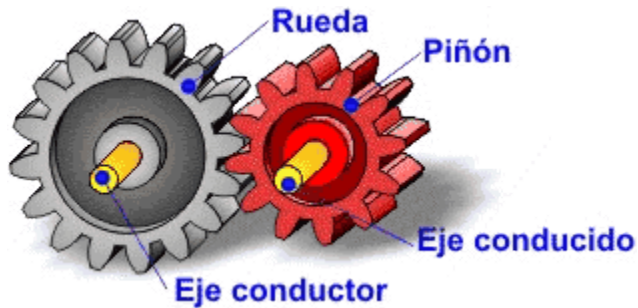
Según AyJ Transmisiones, la elección del sistema de transmisión debe considerar factores como el tipo de carga y el nivel de precisión requerido en el movimiento, elementos especialmente relevantes en el entorno rural donde se implementará el prototipo.

Entre las opciones analizadas se encuentra el sistema de correa y polea, que emplea una correa flexible sobre dos o más poleas, permitiendo la transmisión de potencia entre ejes paralelos o no paralelos (Studyando). Este sistema se destaca por su facilidad de implementación, bajo costo, mantenimiento sencillo y capacidad de modificar la velocidad mediante el cambio de diámetros en las poleas. Es comúnmente utilizado en sistemas artesanales y de pequeña escala debido a su accesibilidad y adaptabilidad.

Figura 6

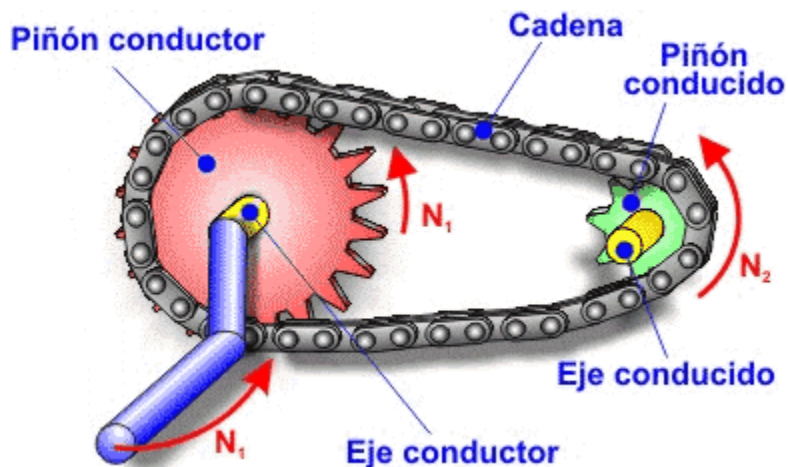
. La polea conductora transmite movimiento a la polea conducida mediante una correa, permitiendo cambiar velocidad o torque entre ejes. Reproducido de A y J Transmisiones (2020, 9 septiembre).

También se evaluó el sistema de engranajes, el cual utiliza ruedas dentadas para transmitir potencia entre ejes (Studyando). Este sistema ofrece alta eficiencia, velocidad constante y gran robustez, siendo ideal para equipos que manejan cargas significativas (Fenollar). No obstante, su complejidad y mayor costo lo hacen más apropiado para maquinaria industrial avanzada.

Figura 7

La imagen muestra un sistema de engranajes, donde el eje conductor transmite el movimiento al eje conducido mediante el acoplamiento entre la rueda y el piñón. (Cejarosu, s. f.)

Otra alternativa considerada fue el sistema de cadena y piñón, que utiliza una cadena para conectar el motor a un eje impulsor mediante piñones (AyJ Transmisiones). Este sistema es eficiente para el manejo de cargas elevadas, con menor riesgo de deslizamiento en comparación con los sistemas de banda, razón por la cual se encuentra con frecuencia en maquinaria agrícola y equipos de procesamiento de alimentos.

Figura 8

.En la imagen se muestra un sistema de cadena y piñón, donde el piñón conductor transmite movimiento al piñón conducido mediante una cadena, permitiendo transferir fuerza entre ejes separados. (Cejarosu, s. f.-a)

Finalmente, se consideraron las cajas reductoras, que combinan un motor con un conjunto de engranajes diseñados para reducir la velocidad de salida y aumentar el torque. Este sistema permite una transmisión directa y controlada del movimiento, optimizando el rendimiento del equipo. Como señala SDI Industrial, las cajas reductoras ofrecen alta eficiencia, precisión y son ampliamente utilizadas en equipos de operación continua.

Figura 9

. La imagen muestra una caja reductora, un dispositivo mecánico que disminuye la velocidad de rotación y aumenta el torque de salida en sistemas de transmisión de potencia.

Tomado de (F.H. Transmisiones, S.A., 2022)

En conclusión, se ha decidido implementar una caja reductora incorporada al motor, con el objetivo de disminuir las revoluciones por minuto (RPM) y proporcionar el torque necesario para mantener un movimiento constante y estable. La caja reductora estará acoplada mediante un sistema de cadena, piñón y catalina, lo que garantiza una transmisión de potencia robusta, confiable y ajustada a los requerimientos funcionales del sistema de mezclado del prototipo de tostadora. Esta solución técnica responde tanto a las exigencias del proceso como a las condiciones reales de operación del emprendimiento.

5.1.3 Definir los parámetros técnicos del sistema de combustión basado en aceite residual como combustible para su aplicación en la tostadora.

El desarrollo de esta actividad se fundamentó en una revisión de investigaciones y fuentes técnicas que analizan la operación y la viabilidad del uso del aceite residual de motor (ARM) como una fuente de combustión. Esta revisión no solo busca sustentar la elección de este combustible, sino también definir los parámetros clave que aseguren la eficiencia y la seguridad del sistema propuesto para la tostadora de café.

La selección del aceite residual de motor se justifica principalmente por su alto poder calorífico (PCI), una propiedad crítica que determina la cantidad de energía liberada durante la combustión. Diversos estudios, como el de Hall & Cooke (1983), demuestran que el aceite residual de motor posee un poder calorífico de aproximadamente 43.61 MJ/kg, un valor notablemente comparable al del diésel (gasóleo), que ronda los 45 MJ/kg. Esto lo posiciona como una alternativa viable para procesos térmicos. Además de su potencial energético, se consideraron otras propiedades fisicoquímicas que influyen en el diseño y la operación del sistema.

Para establecer la temperatura y el tiempo de tuestión más adecuados en esta investigación, se tomó como referencia el estudio desarrollado por Osorio y Pabón (2022), titulado “Efecto de las temperaturas y tiempos de tueste en la calidad sensorial del café”. En dicha investigación, los autores evaluaron diferentes combinaciones de temperatura (200 °C, 220 °C y 240 °C) y tiempo (14, 16 y 18 minutos), con el objetivo de identificar su impacto en atributos sensoriales clave. Los resultados mostraron que los perfiles de tuestión que utilizaron

una temperatura de 230 °C durante un tiempo de 18 minutos generaron cafés con una puntuación sensorial superior, especialmente en atributos como el aroma y la uniformidad del tueste.

La elección de 230 °C como temperatura de operación se justifica además por su relación con la cinética del tueste. Estudios como el de Redalyc (2020) han demostrado que, en este rango térmico, el calentamiento de los granos se comporta de manera lineal, facilitando el control y la estandarización del proceso para obtener un producto final consistente. Esta combinación de parámetros se alinea con la clasificación de tueste medio-oscuro, o "Full City", ampliamente reconocida en la industria. Según la guía de Besca Roasters (s.f.), las temperaturas entre 220 °C y 230 °C son óptimas para obtener un perfil de sabor audaz, con baja acidez y un cuerpo más denso, características que se valoran en el mercado.

De acuerdo con Clarke & Macrae (1985), durante el proceso de tueste se producen transformaciones químicas críticas como la reacción de Maillard y la caramelización de azúcares, fenómenos que se intensifican en el rango de 200–230 °C. Estas reacciones favorecen la formación de compuesto

durante 18 minutos asegura un perfil sensorial favorable, alineado con estándares reconocidos en la industria cafetera. De esta forma, la integración de estudios previos y la evidencia experimental permiten establecer un marco técnico confiable para el diseño del prototipo, garantizando no solo la eficiencia en la combustión, sino también la calidad final del producto.

5.2 Diseñar la tostadora de café a partir del software CAD-SolidWorks, basado en los requerimientos técnicos.

5.2.1 Realizar los cálculos de los parámetros técnicos: volumen de café a tostar, sistema de transmisión de potencia y sistema de combustión a base de aceite residual.

Para dar inicio al diseño del prototipo en el software CAD SolidWorks, se realizarán cálculos necesarios para el óptimo diseño del prototipo de la tostadora de café. En primer lugar, se procederá con los cálculos necesarios para el cilindro de la tostadora, esto con el fin de estimar un valor el cual nos ayude a la posterior concepción de los materiales para la construcción.

Inicialmente se estableció ciertos parámetros los cuales eran necesarios para el emprendimiento de café Don rito.

Tabla 1

Descripción		Parámetro
Carga de café (Kg)		20
Tiempo de tueste (Min)		18
Temperatura Max (°C)		230
Sistema de calentamiento	Combustión de aceite residual de motor	

Diseño del cilindro de la tostadora:

Para hallar el Volumen necesario del cilindro utilizamos la siguiente ecuación:

Ecuación 1:Densidad, masa y volumen

$$\rho = \frac{m}{v}$$

Donde:

$$\rho = \text{densidad del cafe} = 650 \text{ kg/m}^3$$

$$m = \text{capacidad del cafe verde} = 20 \text{ kg}$$

$$v = \text{volumen del cilindro}$$

En este caso tomamos un promedio de la densidad, ya que esta esta entre 0,55 y 0,75 Kg/m³, esto depende de la calidad del café y necesitamos que el cilindro tenga una capacidad de 20 Kg que es lo que necesita el emprendimiento café Don rito.

$$v = \frac{20 \text{ kg}}{650 \text{ kg/m}^3} = 0.03076 \text{ m}^3$$

Luego de esto tenemos que tomar consideraciones respecto a que luego del tostado ocurren una serie de reacciones químicas y físicas, en este caso el café puede variar su volumen entre un 100% y 130%, además de esto el peso del café disminuye en un 15% a 20% (Lopez & Lopez, 2024b), por lo que se debe considerar esto a la hora del diseño.

Calculamos el volumen del cilindro para el tostado de café:

Ya que el volumen del café aumenta en un 100% a 130% se debe dar un espacio de tolerancia para que el café pueda distribuirse y tostarse de una manera adecuada, por lo que se debe multiplicar por tres el volumen del café después del tostado.

Ecuación 2: volumen del cilindro para el tostado de café

$$Vt = 3 * v$$

Tenemos que:

$v = \text{volumen del cafe verde}$

$Vt = \text{volumen del cilindro}$

$$Vt = 3 * 0.03076 \text{ m}^3 = 0.09228 \text{ m}^3$$

Para una carga de 20 Kg, tenemos que el volumen del cilindro debe ser de 0.09228 m^3

Calculamos el diámetro del cilindro:

Utilizamos la fórmula para halla el diámetro del cilindro.

Ecuación 3: Volumen de un cilindro

$$Vt = \frac{\pi * D^2 * h}{4}$$

Tenemos que:

$Vt = \text{volumen del cilindro}$

$D = \text{diametro del cilindro}$

$h = \text{altura del cilindro}$

En el caso de la altura del cilindro será de 0.8 metros debido al diseño estructural con el cual se trabajará el prototipo.

Entonces despejando hallamos el diámetro del cilindro:

$$\sqrt{D^2} = \sqrt{\frac{Vt * 4}{\pi * h}}$$

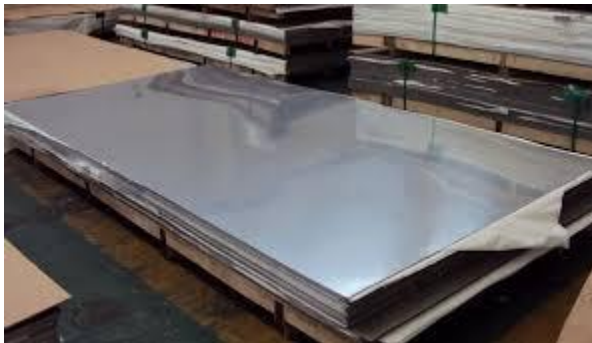
$$D = \sqrt{\frac{0.09228 \text{ m}^3 * 4}{\pi * 0.8 \text{ m}}} = 0.3832 \text{ m}$$

Gracias a los cálculos sabemos que el cilindro debe tener mínimo un Diámetro de 0.3832m y una altura de 0.8 m.

Selección del material

Se seleccionará una lámina de 1/8 de pulgada de Acero inoxidable AISI 304, debido a sus propiedades tanto mecánicas térmicas y sanitarias, es un material muy utilizado en la industria alimentaria y cumple con normativas sanitarias internacionales.

Figura 10



Las tostadoras de café mayormente utilizan este material para el cilindro ya que es un material altamente resistente a altas temperaturas y resistente a la corrosión, lo cual es perfecto

para el tostado de café, el Tecno Parque Nodo Ocaña cuenta con este material por lo que será perfecto para su posterior construcción.

Gracias a los cálculos anteriores se va a definir un cilindro de 0.5 metros de diámetro exterior y 1 metro de largo, ya que cumple con el requisito que necesitamos para la carga de café de 20 kg y es apropiado para el diseño que se va a realizar.

Calculamos el peso del cilindro

Hallaremos el peso del cilindro de la tostadora:

Primero se hallará la masa del cilindro hueco utilizando la siguiente ecuación:

Ecuación 4: Relación entre masa, densidad y volumen

$$m = \rho * Vh$$

Tenemos que:

$m = \text{masa del cilindro}$

$\rho = \text{densidad del acero inoxidable} = 7900 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$

$Vh = \text{volumen del cilindro vacio}$

Para hallar el volumen utilizamos la ecuación:

Ecuación 5: Volumen de un cilindro hueco

$$Vh = \pi * h * (Ro^2 - Ri^2)$$

Como el espesor de la lámina a utilizar es de 1/8 de pulgada tenemos que:

$$0.125 \text{ in} \left(\frac{2.54 \text{ cm}}{1 \text{ in}} \right) = 0.3175 \text{ cm}$$

Entonces para el volumen tenemos en cuenta que:

$$Ri = \text{Radio interno} = 24.6825 \text{ cm}$$

$$Ro = \text{Radio externo} = 25 \text{ cm}$$

Ahora remplazando:

$$Vh = \pi * (1m) * ((0.25 \text{ m})^2 - (0.246825 \text{ m})^2)$$

$$Vh = 4.9556 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

Una vez hallado el volumen del cilindro vacío reemplazamos en la ecuación:

$$m = \left(7900 \frac{Kg}{m^3} \right) * (4.9556 \times 10^{-3} \text{ m}^3) = 39.1492 \text{ Kg}$$

Ahora hallamos el peso del cilindro:

Ecuación 6: Formula de Peso

$$Wt = m * g = (39.1492 \text{ Kg}) * \left(9.81 \frac{m}{s^2} \right) = 384.0536 \text{ N}$$

Cálculo de la inercia Total

Ahora es necesario conocer la inercia total para saber la potencia y poder seleccionar tanto el motor y la caja reductora.

Cálculo de la inercia del café

En las tostadoras de café se recomienda dejar un espacio vacío equivalente a la mitad del cilindro, para que la carga pueda dispersarse correctamente alrededor y tenga un buen tostado, es por esto que para hallar la inercia del café utilizamos la siguiente ecuación.

Ecuación 7: Momento de inercia en un cilindro delgado

$$I_{cafe} = \frac{1}{2} * m * Ri^2 = \frac{1}{2} * (20Kg) * (0.246825 m)^2$$

$$I_{cafe} = 0.6092 Kg * m^2$$

La inercia del café se divide en dos por lo mencionado anteriormente, por lo que la inercia del café sería:

$$I_{cafe} = 0.3046 Kg * m^2$$

Cálculo de la inercia de las hélices

Para el prototipo se diseñó las hélices las cuales están dobladas y ensambladas a tres ángulos a una distancia de 30 cm alrededor del eje del cilindro, esto utilizando el Software CAD SolidWorks, con el fin de definir sus dimensiones y diseño.

Utilizando la ecuación:

Ecuación 8: Momento de inercia de hélices

$$I_h = m_h * R_i^2$$

Donde:

m_h = masa de las helices

R_i = radio interno del cilindro

Para hallar la masa de las hélices tenemos que:

Ecuación 9: Relación entre masa, densidad y volumen

$$m_h = \rho * V_h$$

El material que se utilizara para el diseño de las hélices es acero inoxidable AISI 304 de 1.5 pulgadas de espesor y los ángulos de acero inoxidable de 7/8 de pulgada de 2mm de grosor.

Entonces para hallar el volumen de las hélices utilizamos la siguiente formula:

Ecuación 10: Volumen de un objeto tridimensional

$$Vh: L * b * t$$

Tenemos que:

$$L = \text{largo de las helices} = 0.8 \text{ m}$$

$$b = \text{ancho de las helices} = 0.07 \text{ m}$$

$$t = \text{espesor de las helices} = 0.015 \text{ m}$$

Entonces tenemos que:

$$Vh = 0.8m * 0.07m * 0.0015m = 8.4 \times 10^{-5} m^3$$

Ahora hallamos la masa de las hélices:

$$mh = 7900 \frac{Kg}{m^3} * 8.4 \times 10^{-5} m^3 = 0.6636 \text{ Kg}$$

Ya que son tres hélices lo multiplicamos por tres

$$mh = 0.6636 * 3 = 1.9908 \text{ Kg}$$

Ahora hallamos la masa de los ángulos que conectan las hélices

Ecuación 11: Relación de masa, densidad y volumen

$$ma = \rho * Va$$

Se determina el volumen de los ángulos:

Ecuación 12: Volumen de un objeto tridimensional

$$Va: L * b * t$$

Tenemos que:

$$L = \text{largo de los ángulos} = 0.24 \text{ m}$$

$$b = \text{ancho de los ángulos} = 0.022 \text{ m}$$

$$t = \text{espesor de los ángulos} = 0.002 \text{ m}$$

Entonces tenemos que:

$$Va = 0.24\text{m} * 0.022\text{m} * 0.002\text{m} = 1.056 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

Ahora hallamos la masa de los ángulos:

$$ma = 7900 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 1.056 \times 10^{-5} \text{ m}^3 = 0.0834 \text{ Kg}$$

Como son tres ángulos por cada hélice multiplicamos por nueve la masa de los ángulos

$$ma = 0.0834 \text{ Kg} * 9 = 0.7506 \text{ Kg}$$

La masa total seria:

Ecuación 13: Masa total

$$mt = 1.9908 \text{ Kg} + 0.7506 \text{ Kg} = 2.7414 \text{ Kg}$$

Luego remplazamos para obtener la inercia de las hélices.

$$I = mh * Ri^2 = 2.7414 \text{ Kg} * (0.2468\text{m})^2 = 0.16 \text{ Kg} * m^2$$

La inercia total de las tres hélices seria 0.1668 Kg*m^2

Calculamos la inercia total

La inercia total seria la suma de las Inercias halladas.

Ecuación 14: fórmula de inercia total

$$It = Iht + Icafe$$

$$It = 0.166 \text{ Kg} * m^2 + 0.3046 \text{ Kg} * m^2$$

$$It = 0.4714 \text{ Kg} * m^2$$

Cálculo del Torque de aceleración

Primero hallamos el torque de aceleración el cual es el necesario para vencer la inercia y llevar el sistema de 0 a 30 rpm

Para hallar el Torque utilizamos la siguiente ecuación.

Ecuación 15: Torque de aceleración

$$Ta = It * \alpha$$

tenemos que:

$\alpha = \text{aceleracion angular}$

$It = \text{Inercia total}$

Para hallar la aceleración angular utilizamos la siguiente ecuación:

Ecuación 16: Fórmula de aceleración angular

$$\alpha = \frac{\omega}{t}$$

Donde:

$\omega = \text{velocidad angular}$

$t = \text{tiempo de arranque del motor electrico}$

La velocidad necesaria para el giro del cilindro se define ente 20 rpm a 60 rpm dependiendo de la uniformidad del café, la transferencia de calor y el tiempo al que se mantiene

expuesto al calor, para conveniencia del diseño del prototipo se va a definir una velocidad angular de 30 rpm para el eje de las hélices.

Además, el tiempo de arranque de un motor eléctrico se estima de 3 a 6 segundos con una carga pesada, por lo que consideramos para los cálculos un tiempo de 3 segundos.

Entonces reemplazando en la formula tenemos que:

$$\alpha = \frac{\omega}{t} = \frac{3.1415 \text{ rad/s}}{3 \text{ s}} = 1.0471 \text{ rad/s}^2$$

Ahora reemplazamos para hallar el torque:

$$Ta = It * \alpha = 0.4714 \text{ Kg} * m^2 * \left(1.0471 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}\right) = 0.4936 \text{ N} * m$$

Cálculo del torque de resistencia inicial

Ahora hallamos el torque necesario para vencer la fricción en los rodamientos y la resistencia del material (el café) que se opone a empezar a moverse.

Utilizamos la siguiente ecuación:

Ecuación 17: Torque de resistencia inicial

$$Tr = F * Ri * \mu$$

Donde:

$F = \text{peso del cafe}$

$Ri = \text{radio interno}$

$\mu = \text{factor de friccion}$

Entonces sabemos que:

Ecuación 18: Fórmula del peso del café

$$F = m * g$$

$m = \text{masa del cafe} = 20 \text{ Kg}$

$g = \text{gravedad} = 9.81 \frac{m}{s^2}$

$$F = 20 \text{ Kg} * 9.81 \frac{m}{s^2} = 196.2 \text{ N}$$

Ahora reemplazando:

$$Tr = 196.2 * 0.2468 * 0.4 = 19.36 \text{ N} * m$$

Calculamos torque de arranque

Ahora para calcular el torque con el cual va a operar el sistema tenemos que:

Ecuación 19: Torque de arranque

$$To = 0.4936 + 19.36 = 19.8536 \text{ N} * m$$

Cálculo de la potencia

Para hallar la potencia utilizamos la siguiente ecuación:

Ecuación 20: Fórmula de potencia

$$H = T * n$$

Donde:

$H = potencia$

$T = torque$

$n = velocidad\ angular\ en\ \frac{rad}{s}$

Tenemos que:

$$H = 19.8536\ N * m * \left(3.1415 \frac{rad}{s} \right) = 62.37\ W$$

$$H = 62,37W \left(\frac{0,00134102\ Hp}{1\ W} \right) = 0.083\ Hp$$

Entonces tenemos que la potencia es de 0.083 Hp es la necesaria para mantener un buen funcionamiento del sistema de la tostadora.

Selección de la caja reductora de velocidad

Para la tostadora se utilizará un motor de 2 Hp, a 1700 rpm, esto debido a que es un motor con el cual cuenta el tecno parque y el cual podemos utilizar para su diseño, por esto se le colocara una caja reductora, para posteriormente poder reducir el rpm a las previstas.

La caja reductora que se utilizara es una caja de relación 1:30

Ecuación 21: Relación de velocidad

$$i = \frac{1700 \text{ rpm}}{30} = 56.66 \text{ rpm}$$

Las Datos de este reductor sin fin corana son:

Dixus

Sizes: NMRV063

Pam:80B14

Ratio i=30

Torque: 175.1 N*m

Fs=1.1

Cuñero: 8 mm

Diámetro del eje de salida: 25 mm

Figura 11

HOJA DE DATOS
REDUCTOR SINFIN CORONA



REF.

NMRV63



CARACTERISTICAS

- Carcasa en aleación de aluminio de alta calidad, liviano y sin oxidación.
- Tornillo sinfin en acero 20Cr templado con duresa del engranaje sea de hasta 56-62 HRC.
- Corona en aleación de bronce de alta dureza.
- Rodamientos robustos y sobredimensionados para mayor tolerancia a sobrecarga mecánica.

DATOS MECÁNICOS
MONTAJE DIRECTO CON BRIDA

Peso _____ 6.2kg

Modelo _____ 63

Temperatura ambiente min/ _____ -10°C / 40°C

max Carcasa _____ Aluminio

Torque Nominal _____ 170Nm

Lubricación _____ 0.3Lts - Viscosidad ISO 320

Nota: para trabajar en temperaturas menores a -10°C o mayores a 40°C se debe consultar con soporte técnico.

CARA NMRV 63					
DIAMETRO DE SALIDA: 25mm		CÁRTER 6mm		CARCASA ALUMINIO	
RELACION	RPM	POTENCIA (HP)	TORQUE (Nm)	FACTOR DE SERVICIO	FRAME
7.5	240	2	56.7	2	90B14
10	180	2	76.6	1.6	90B14
15	120	2	119.4	1.2	90B14
20	90	2	159.2	1.1	90B14
30	60	1.5	175.1	1.1	90B14 / 90B16
40	45	1.5	233.4	0.9	90B14 / 90B16
55	36	1	355.0	0.7	80B14
60	30	1/3	375.1	1	71B14 / 80B16
80	22.5	1/2	357.0	1.1	71B14
100	18	1/2	356.3	1	71B14

Datos del reductor sinfin corona NMRV36. Reproducida de Dixus Industrial solutions

Luego mediante la implementación de piñón, cadena y catalina, se hará la reducción a 30 rpm.

Calculo para el diseño del eje de las hélices

Para el diseño del eje del cilindro se utilizará acero inoxidable AISI 304

Tomamos las propiedades para el material de libro (Budynas & Nisbett, 2018)

$$S_{ut} = 82.4 \text{ Psi (568 Mpa)}$$

$$S_y = 40 \text{ Psi (276 Mpa)}$$

Para el diseño vamos a darle a la potencia un factor de seguridad.

Ecuación 22: Fórmula de potencia de diseño

$$H_d = H * F_s = 0.083 * 2 = 0.166 \text{ Hp}$$

Luego de esto hallamos el torque:

Ecuación 23: Fórmula del torque, a partir de la potencia y velocidad de giro

$$T = \frac{63025 * 0.166 \text{ Hp}}{30 \text{ rpm}} = 348.7383 \text{ Lb} * \text{in}$$

$$T = 39.4021 \text{ N} * \text{m}$$

Luego de esto hallaremos las cargas a la que está sometida el eje:

Ecuación 24: Fórmula del peso total

$$W_t = W_{cafe} + W_h$$

Donde:

Ecuación 25: Fórmula del peso del café

$$W_{cafe} = m * g = 20 \text{ Kg} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 196.2 \text{ N}$$

Ahora se halla el peso de las tres hélices:

Ecuación 26: Fórmula del peso de las hélices

$$W_h = m_t * g$$

$$W_h = 2.7414 \text{ Kg} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 26.8931 \text{ N}$$

Ahora hallamos la carga a la cual va a estar sometido el eje:

$$Wt = 196.2 \text{ N} + 26.8431 \text{ N} = 223.0931 \text{ N}$$

El eje va a ser de 1.2 m de largo, esto debido a que el cilindro es de 1m, y se necesita que sobresalga para acoplar las chumaceras en ambos extremos del cilindro y además hacer el acople del sistema de transmisión de potencia, en estos extremos es donde van a ir las cargas, y como el cilindro esta fijo las hélices van a tener una carga distribuida para poder hacer el correcto tostado del café.

Entonces tenemos que para hallar las cargas puntuales en los extremos utilizamos la siguiente formula:

Ecuación 27:Fórmula de momento flector

$$Wv = Wt * r$$

Donde:

$Wt = \text{carga distribuida}$

$r = \text{distancia de union entre el eje y el tambor}$

$$Wv = 223.0931 \text{ N} * 0.2341 \text{ N} = 52.2260 \text{ N}$$

Debido a que hay dos soportes, esta carga se dividirá en dos.

$$Wv = \frac{52.2260}{2} = 26.1130 \text{ N}$$

Ahora utilizando el software de Skyciv hallaremos las fuerzas soporta el eje, para determinar el momento y cortante.

Figura 12

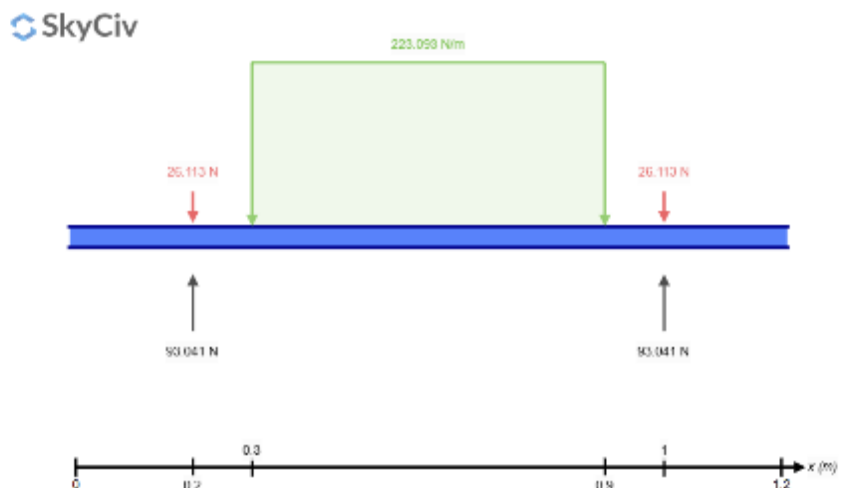


Figura 13

Diagrama de Momento Flector

Invertir la Convención de Signo del DMF

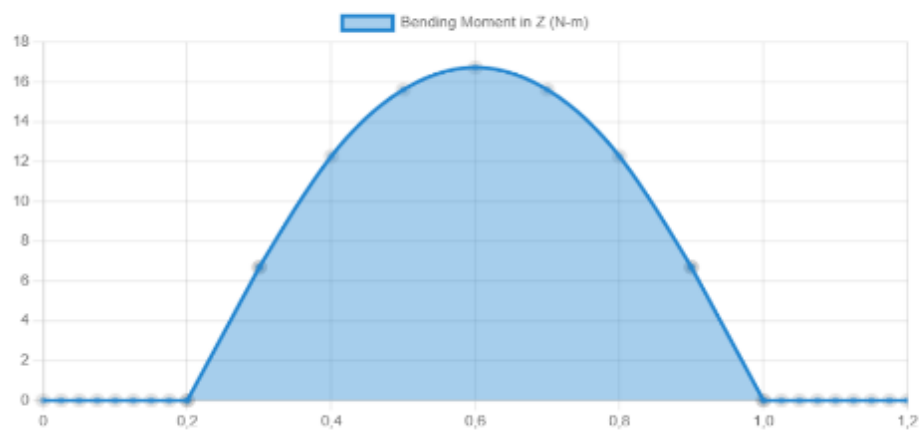


Figura 14

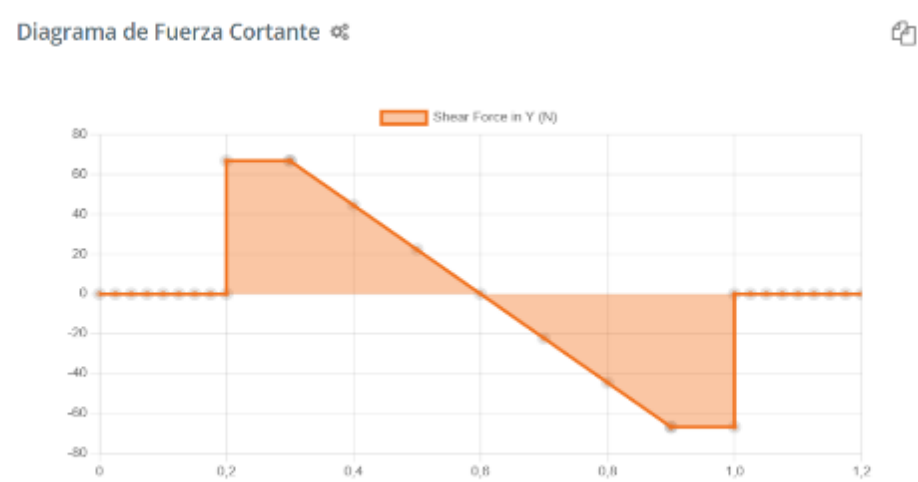


Figura 15

Reacciones				Resultados Verificados	
Soporte en	R _x (N)	R _y (N)	M _x (N-m)		
0.2	0	93.041	0		
1	0	93.041	0		

Fuerzas máximas			
Resultado	Max	Min	
Momento flector	16.732 N-m	0 N-m	
Cortante	66.928 N	-66.928 N	
Desplazamiento	0 mm	-0.001 mm	

Ahora para el diseño del eje vamos a utilizar los criterios de falla por fatiga para los esfuerzos de variables.

Hacemos los cálculos de la flexión reversible y la torsión uniforme en función del diámetro

Ecuación 28: Flexión reversible y torsión uniforme

$$\sigma_x = \frac{32 * M_c}{\pi * d^3} ; \tau_{xy} = \frac{16 * T}{\pi * d^3}$$

Primero para la flexión reversible tenemos que:

$$\sigma_x = \frac{32 * M_c}{\pi * d^3} = \frac{32 * 16.732}{\pi * d^3} = \frac{172.9018}{d^3}$$

Ahora calculamos la torsión uniforme:

$$\tau_{xy} = \frac{16 * T}{\pi * d^3} = \frac{16 * 39.4021}{\pi * d^3} = \frac{200.7038}{d^3}$$

Luego de esto se procede a hallar el límite de resistencia a la fatiga, esto con ayuda del libro Diseño en ingeniería mecánica de shigley (budynes & nisbett,2018), utilizando la ecuación (6-8).

$$S'e = \begin{cases} 0.5S_{ut} & S_{ut} \leq 200 \text{ kpsi (1 400 MPa)} \\ 100 \text{ kpsi} & S_{ut} > 200 \text{ kpsi} \\ 700 \text{ MPa} & S_{ut} > 1 400 \text{ MPa} \end{cases}$$

Debido a que el acero inoxidable tiene un $S_{ut}=82.4$ Kpsi entonces:

Ecuación 29: Muestra de viga rotativa

$$S'e = 0.5 * S_{ut} = 0.5 * (568) = 284 \text{ Mpa}$$

Donde:

S_{ut} = resistencia a la tensión mínima.

$S'e$ = a muestra de viga rotativa.

Seleccionamos los factores que modifican el límite de resistencia a la fatiga con la ecuación (6-18), del libro Diseño en ingeniería mecánica de shigley (budynes & nisbett,2018).

Ecuación 30: Límite de resistencia a la fatiga

$$S_e = k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * k_f * S'e$$

Donde:

k_a = factor de modificación por la condición superficial

k_b = factor de modificación por el tamaño

k_c = factor de modificación por la carga

k_d = factor de modificación por la temperatura

k_e = factor de confiabilidad

k_f = factor de modificacion por efectos varios

S_e = limite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria

Primero hallamos el factor de superficie, para esto usamos la ecuación (6-19) del libro Diseño en ingeniería mecánica de shigley (budynes & nisbett,2018).

Ecuación 31: Factor de modificación por la condición superficial

$$k_a = a * S_{ut}^b$$

Usando la tabla 6-2 del libro Diseño en ingeniería mecánica de shigley (budynes & nisbett,2018), hallamos los valores de a y b.

Tabla 2

Acabado superficial	Factor a		Exponente b
	S_{ut} , kpsi	S_{ut} , MPa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o laminado en frío	2.70	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.9	272.	-0.995

. Tabla reproducida del libro de Diseño en ingeniería mecánica de shigley (budynes & nisbett,2018).

Tenemos que el acabado superficial es maquinado o laminado en frio por lo que el factor $a=4.51$ y el exponente $b=-0.265$.

$$Ka = 4.51 * (82.4)^{-0.265} = 1.4010$$

Ahora seleccionamos el factor de tamaño con la ecuación (6-20) del libro shigley (budynes & nisbett)

$$Kb = \begin{cases} \left(\frac{d}{0.3}\right)^{-0.107} = 0.879d^{-0.107} & 0.11 \leq d \leq 2 \text{ pulg} \\ 0.91d^{-0.157} & 2 < d \leq 10 \text{ pulg} \\ \left(\frac{d}{7.62}\right)^{-0.107} = 1.24d^{-0.107} & 2.79 \leq d \leq 51 \text{ mm} \\ 1.51d^{-0.157} & 51 < d \leq 254 \text{ mm} \end{cases}$$

Para el factor de tamaño dejamos la ecuación en función del diámetro ya que es la incógnita por hallar.

Ecuación 32:Factor de modificación por el tamaño

$$Kb = 1.24 * d^{-0.107}$$

Luego hallamos el factor de carga de la ecuación (6-26) del libro Diseño en ingeniería mecánica de shigley (budynes & nisbett,2018).

Ecuación 33:Factor de modificación por la carga

$$Kc = \begin{cases} 1 & \text{flexion} \\ 0.85 & \text{axial} \\ 0.59 & \text{torsion} \end{cases}$$

Para el factor de carga se escoge por flexión $Kc=1$

Luego seleccionamos el factor de temperatura K_d usando la tabla 6-4 del libro Diseño en ingeniería mecánica de shigley (budynes & nisbett,2018).

Tabla 3

Temperatura, °C	S_T/S_{RT}	Temperatura, °F	S_T/S_{RT}
20	1.000	70	1.000
50	1.010	100	1.008
100	1.020	200	1.020
150	1.025	300	1.024
200	1.020	400	1.018
250	1.000	500	0.995
300	0.975	600	0.963
350	0.943	700	0.927
400	0.900	800	0.872
450	0.843	900	0.797
500	0.768	1 000	0.698
550	0.672	1 100	0.567
600	0.549		

. Tabla Reproducida del libro de Diseño en ingeniería mecánica de shigley (budynes & nisbett,2018).

Para una temperatura de 230 °C, interpolando tenemos que $K_d=1.0033$

Ahora seleccionamos el factor de confiabilidad K_e de la tabla 6-5 del libro Diseño en ingeniería mecánica de shigley (budynes & nisbett,2018).

Tabla 4

Confiabilidad, %	Variación de transformación z_σ	Factor de confiabilidad k_σ
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99.9	3.091	0.753
99.99	3.719	0.702
99.999	4.265	0.659
99.9999	4.753	0.620

Tabla reproducida del libro Diseño en ingeniería mecánica de shigley (budynes & nisbett,2018).

Tomamos una confiabilidad del 99%, entonces, $K_\sigma=0.814$

Ahora seleccionamos el factor de efectos varios K_f

$K_f=1$, por selección propia debido a que no se especifica muy bien, pero en del libro Diseño en ingeniería mecánica de shigley (budynes & nisbett,2018). se menciona que el factor k_f tiene el propósito de tomar en cuenta la reducción del límite de resistencia a la fatiga debido a todos los otros efectos, un recordatorio que estos efectos se deben tomar en cuenta, porque los valores reales de k_f no siempre están disponibles.

Por último, una vez seleccionado todos los factores, procedemos a hallar el límite de resistencia a la fatiga.

$$Se = 1.4010 * 1.24 * d^{-0.107} * 1 * 1.0033 * 0.814 * 1 * 284 = 402.9335 \times 10^6 * d^{-0.107}$$

Luego de esto lo siguiente es calcular la concentración del esfuerzo y sensibilidad de la muesca.

Primero hallamos el factor de concentración del esfuerzo por fatiga K_f y K_{fs} , utilizando la ecuación (6-32) del libro shigley (budynes & nisbett).

Flexión.

Ecuación 34: Factor de concentración de esfuerzos efectivos

$$K_f = 1 + q * (K_t - 1)$$

Torsión

Ecuación 35: Factor de concentración de esfuerzos cortantes efectivos

$$K_{fs} = 1 + q * (K_{ts} - 1)$$

Donde:

$q = \text{sensibilidad de la muesca}$

$K_t = \text{factor de concentracion de esfuerzos teoricos}$

Para hallar K_t y K_{ts} , utilizamos la tabla 7-1 del libro Diseño en ingeniería mecánica de shigley (budynes & nisbett, 2018).

Tabla 5

	Flexión	Torsión	Axial
Filete de hombro: agudo ($r/d = 0.02$)	2.7	2.2	3.0
Filete de hombro: bien redondeado ($r/d = 0.1$)	1.7	1.5	1.9
Cuñero fresado ($r/d = 0.02$)	2.14	3.0	—
Cuñero de patin o trapezoidal	1.7	—	—
Ranura para anillo de retención	5.0	3.0	5.0

. Reproducido del libro Diseño en ingeniería mecánica de shigley (budynes & nisbett,2018).

De la tabla escogemos una relación de diámetro y radio del eje, para K_t y K_{ts} escogemos un valor de:

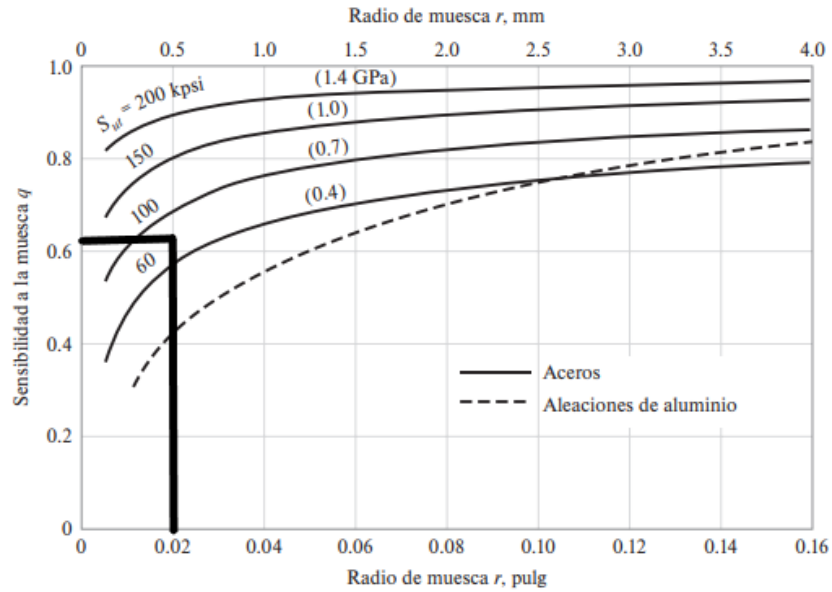
$$K_t = 2.14$$

$$K_{ts} = 3$$

$$\frac{R}{d} = 0.02$$

Ahora de la figura 6-20 del libro Diseño en ingeniería mecánica de shigley (budynes & nisbett,2018), vamos a hallar la sensibilidad de la muesca para flexión.

Figura 16



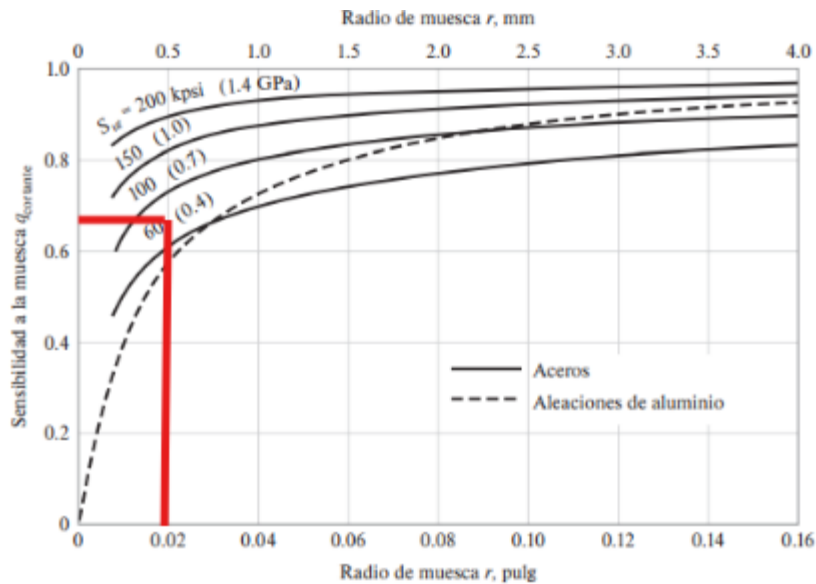
Reproducida del libro Diseño en ingeniería mecánica de shigley (budynes & nisbett,2018).

Para un $S_{ut}=82.4$ Kpsi y un $r=0.02*d$ tenemos que:

$$q = 0.62$$

Ahora de la figura 6-21 del libro shigley (budynes & nisbett), vamos a hallar la sensibilidad de la muesca para torsión.

Figura 17



Reproducida del libro Diseño en ingeniería mecánica de shigley (budynes & nisbett,2018).

Tenemos que para un $S_{ut}=82.4$ y $r=0.02*d$ la sensibilidad de la muesca es:

$$q = 0.66$$

Entonces resolviendo K_f tenemos que:

$$K_f = 1 + 0.62 * (2.14 - 1) = 1.7068$$

Y resolviendo K_{fs} tenemos que:

$$K_{fs} = 1 + 0.66 * (3 - 1) = 2.32$$

Luego procedemos a calcular los esfuerzos de Von mises de los estados alternantes y medios, además tenemos en cuenta que para σ_a y τ_m , no hay esfuerzo axial.

$$\sigma_a = \sigma_{rev}$$

Entonces utilizando la ecuación (6-55) y (6-56) del libro Diseño en ingeniería mecánica de shigley (budynes & nisbett,2018).

Ecuación 36: Esfuerzos alternantes equivalentes

$$\sigma'_a = \left\{ \left[(K_f)flexion * (\sigma_a)flexion * 1 * (K_f)axial \frac{(\sigma_a)axial}{0.85} \right]^2 + 3 * [(kfs)torsion * (\tau_a)torsion]^2 \right\}^{1/2}$$

Ecuación 37: Esfuerzos medios equivalentes

$$\sigma'_m = \{ [(K_f)flexion * (\sigma_a)flexion * 1 * (K_f)axial * (\sigma_m)axial]^2 + 3 * [(kfs)torsion * (\tau_a)torsion]^2 \}^{1/2}$$

Resolviendo ambas ecuaciones tenemos que:

$$\sigma'_a = \frac{278.1650}{d^3}$$

$$\sigma'_m = \frac{347.6291}{d^3}$$

Una vez hallamos los esfuerzos de von mises, procedemos a hallar el diámetro del eje utilizando la ecuación de Soderberg (6-45) del libro Diseño en ingeniería mecánica de shigley (budynes & nisbett,2018).

Ecuación 38: Fórmula de Soderberg

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} = \frac{1}{n}$$

$$\frac{\frac{278.1650}{d^3}}{402.9335 \times 10^6 * (d^{-0.107})} + \frac{\frac{347.6291}{d^3}}{276 \times 10^6} = \frac{1}{1.75}$$

Despejando tenemos que d:

$$d = 0.01437 \text{ m} = 14.37 \text{ mm}$$

El diámetro que se escogerá es 1 pulgada o 25.4 mm de acero inoxidable AISI 304 y un largo de 1.2 metros, es un valor el cual está en el mercado, y contamos con este en el tecnoparque, por lo que tendremos en cuenta este eje para el siguiente paso que sería escoger el sistema de transmisión de potencia.

Cálculo del sistema de transmisión de potencia por cadenas y piñones

Para esta selección vamos a hacer uso del Manual técnico de piñones a cadenas (Intermec S.A., s.f.), para hacer los respectivos cálculos y escoger tanto la cadena como los piñones, además del tipo de lubricación y las dimensiones.

Primero Calculamos la relación de velocidades:

Ecuación 39: Relación de velocidades

$$R = \frac{RPM \text{ CONDUCTOR}}{RPM \text{ CONDUCIDO}} = \frac{56.66 \text{ RPM}}{30 \text{ RPM}} = 1.88$$

Luego hallamos la potencia de diseño, anteriormente habíamos seleccionado un motor de

2 Hp, según Manual técnico de piñones a cadenas (Intermec S.A., s.f.), para un motor eléctrico con un tipo de carga muy fluctuante tenemos un factor de seguridad de 1.5, por lo que nuestra potencia de diseño sería:

Ecuación 40: Potencia de diseño

$$Hd = H * Fs = 2Hp * 1.5 = 3 Hp$$

Ahora seleccionamos el número de dientes:

$$Z1 \geq 17 \qquad Z1 = 48 \text{ dientes}$$

$$Z2 = Z1 * R = 48 * 1.88 = 90.24 \approx 88 \text{ dientes}$$

$$Z2 = 88 \text{ dientes}$$

Luego de esto comprobamos el número de RPM reales de salida

Tenemos que:

Ecuación 41: Relación de dientes

$$R = \frac{Z2}{Z1} = \frac{88}{48} = 1.83$$

Entonces:

Ecuación 42: Relación de velocidad real

$$RPM \text{ CONDUCTO REAL} = \frac{RPM \text{ CONDUCTOR}}{R} = \frac{56.66}{1.83} = 30.96$$

Las RPM de salida sería 30.96, este resultado nos satisface para nuestro diseño.

Luego de la tabla de capacidad, del Manual técnico de piñones a cadenas (Intermec S.A., s.f.) seleccionamos una cadena N°50, con paso 5/8 de pulgada

Tabla 6

TABLA DE CAPACIDAD																															
CADENA ESTANDAR SENCILLA DE RODILLOS NO. 50 PASO 5/8"																															
No. de dientes piñón conductor	RPM DEL PIÑÓN CONDUCTOR																														
	10	25	50	100	200	300	400	500	700	900	1000	1200	1400	1600	1800	2100	2400	2700	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000						
9	0.09	0.19	0.36	0.67	1.26	1.81	2.35	2.87	3.89	4.88	5.36	6.32	6.02	4.92	4.13	3.27	2.68	2.25	1.92	1.52	1.25	1.04	0.89	0.77	0.58						
10	0.10	0.22	0.41	0.76	1.41	2.03	2.63	3.22	4.36	5.46	6.01	7.08	7.05	5.77	4.83	3.84	3.14	2.63	2.25	1.78	1.46	1.22	1.04	0.90	0.79						
11	0.11	0.24	0.45	0.84	1.56	2.25	2.92	3.57	4.83	6.06	6.66	7.85	8.13	6.65	5.58	4.42	3.62	3.04	2.59	2.06	1.68	1.41	1.20	1.04	0.92						
12	0.12	0.26	0.49	0.92	1.72	2.47	3.21	3.92	5.31	6.65	7.31	8.62	9.26	7.58	6.35	5.04	4.13	3.46	2.95	2.34	1.92	1.61	1.37	1.19	1.04						
13	0.13	0.29	0.54	1.00	1.87	2.70	3.50	4.27	5.78	7.25	7.97	9.40	10.4	8.55	7.16	5.69	4.65	3.90	3.33	2.64	2.16	1.81	1.55	1.34	0						
14	0.14	0.31	0.58	1.09	2.03	2.92	3.79	4.63	6.27	7.86	8.64	10.2	11.7	9.55	8.01	6.35	5.20	4.36	3.72	2.95	2.42	2.03	1.73	1.50	0						
15	0.15	0.34	0.63	1.17	2.19	3.15	4.08	4.99	6.75	8.47	9.31	11.0	12.6	10.6	8.88	7.05	5.77	4.83	4.13	3.27	2.68	2.25	1.92	1.66	0						
16	0.16	0.36	0.67	1.26	2.34	3.38	4.37	5.35	7.24	9.08	9.98	11.8	13.5	11.7	9.78	7.76	6.35	5.32	4.55	3.61	2.95	2.47	2.11	1.83	0						
17	0.17	0.39	0.72	1.34	2.50	3.61	4.67	5.71	7.73	9.69	10.7	12.6	14.4	12.8	10.7	8.50	6.96	5.83	4.98	3.95	3.23	2.71	2.31	2.01	0						
18	0.18	0.41	0.76	1.43	2.65	3.83	4.97	6.07	8.22	10.3	11.3	13.4	15.3	13.9	11.7	9.26	7.58	6.35	5.42	4.30	3.52	2.95	2.52	0							
19	0.19	0.43	0.81	1.51	2.82	4.07	5.27	6.44	8.72	10.9	12.0	14.2	16.3	15.1	12.7	10.0	8.22	6.89	5.88	4.67	3.82	3.20	2.73	0							
20	0.20	0.46	0.86	1.60	2.98	4.30	5.57	6.80	9.21	11.5	12.7	15.0	17.2	16.3	13.7	10.8	8.88	7.44	6.35	5.04	4.13	3.46	2.95	0							
21	0.21	0.48	0.90	1.69	3.14	4.53	5.87	7.17	9.71	12.2	13.4	15.8	18.1	17.6	14.7	11.7	9.55	8.01	6.94	5.42	4.44	3.72	3.18	0							
22	0.22	0.51	0.95	1.77	3.31	4.76	6.17	7.54	10.2	12.8	14.1	16.6	19.1	18.9	15.6	12.5	10.2	8.59	7.33	5.82	4.76	3.99	3.41	0							
23	0.23	0.53	1.00	1.86	3.47	5.00	6.47	7.91	10.7	13.4	14.8	17.4	20.0	20.1	16.9	13.4	11.0	9.18	7.84	6.22	5.09	4.27	0								
24	0.25	0.56	1.04	1.95	3.63	5.23	6.78	8.29	11.2	14.1	15.5	18.2	20.9	21.4	18.0	14.3	11.7	9.78	8.35	6.63	5.42	4.55	0								
25	0.26	0.58	1.09	2.03	3.80	5.47	7.09	8.66	11.7	14.7	16.2	19.0	21.9	22.8	19.1	15.2	12.4	10.4	8.86	7.05	5.77	4.83	0								
26	0.27	0.61	1.14	2.12	3.96	5.70	7.39	9.03	12.2	15.3	16.9	19.9	22.8	24.2	20.3	16.1	13.2	11.0	9.42	7.47	6.12	5.13	0								
28	0.29	0.66	1.23	2.30	4.29	6.18	8.01	9.72	13.2	16.6	18.3	21.9	24.7	27.0	22.6	18.0	14.7	12.3	10.5	8.35	6.84	5.73	0								
30	0.31	0.71	1.33	2.49	4.62	6.66	8.63	10.5	14.3	17.9	19.7	23.2	26.6	30.0	25.1	19.9	16.3	13.7	11.7	9.26	7.58	0									
32	0.33	0.76	1.42	2.66	4.96	7.14	9.25	11.3	15.3	19.2	21.1	24.8	28.6	32.2	27.7	22.0	18.0	15.1	12.9	10.2	8.35	0									
35	0.37	0.84	1.57	2.93	5.46	7.96	10.2	12.5	16.9	21.1	23.2	27.4	31.5	35.5	31.6	25.1	20.6	17.2	14.7	11.7	9.55	0									
40	0.43	0.97	1.81	3.38	6.31	9.08	11.8	14.4	19.5	24.4	26.8	31.6	36.3	41.0	36.7	30.7	25.1	21.0	18.0	14.3	0										
45	0.48	1.10	2.06	3.84	7.16	10.3	13.4	16.3	22.1	27.7	30.5	35.9	41.3	46.5	46.1	38.6	30.0	25.1	21.4	0											
Lubricación Tipo A		Lubricación Tipo B														Lubricación Tipo C															
Lubricación Tipo A : A mano, con aceitiera o brocha		Cuando se trata de cadenas de hilera múltiple de este paso, multiplique por la capacidad por:																													
Lubricación Tipo B : En baño de aceite o por salpique		Nº DE HILERAS		FACTOR		Nº DE HILERAS		FACTOR		Nº DE HILERAS		FACTOR		Nº DE HILERAS		FACTOR		Nº DE HILERAS		FACTOR		Nº DE HILERAS		FACTOR		Nº DE HILERAS					
Lubricación Tipo C : Al chorro bajo presión.		2		1.7		5		3.9		3		2.5		6		4.8		4		3.3		5		4.0		6					
La información contenida en estas tablas esta basada en los estándares de la ASOCIACIÓN AMERICANA DE FABRICANTES DE CADENAS (American Chain Association)																															
INFORMACIÓN INTERMEC																															

. Reproducido del Manual técnico de piñones a cadenas (Intermec S.A., s.f.).

Tabla 7

**PIÑONES
5/8 [50]**

**TABLA DE DIMENSIONES
DE LOS PIÑONES INTERMEC PASO 5/8" (15.87 mm)
para Cadena ANSI No. 50 Tipo B Sencillos, Dobles y Triples**

Ref.	D	SENCILLOS			Ref.	DOBLES			Ref.	TRIPLES		
		Dm	L	d		Dm	L	d		Dm	L	d
50B9 R	52,1	35	25	15,88	50-2B9 R	41	44	15,88	50-3B9 R	41	63	15,88
50B10 R	52,4	40	25	15,88	50-2B10 R	44	44	15,88	50-3B10 R	44	63	15,88
50B11 R	62,5	44	25	15,88	50-2B11	37	44	15,88	50-3B11	37	63	15,88
50B12 R	67,8	50	25	15,88	50-2B12	43	44	15,88	50-3B12	43	63	15,88
50B13	72,9	48	25	15,88	50-2B13	48	44	15,88	50-3B13	48	63	15,88
50B14	79,2	54	25	15,88	50-2B14	52	44	15,88	50-3B14	52	63	15,88
50B15	83,3	60	25	15,88	50-2B15	59	44	19,05	50-3B15	59	63	19,05
50B16	88,4	63	25	15,88	50-2B16	63	44	19,05	50-3B16	63	63	19,05
50B17	93,5	68	25	15,88	50-2B17	68	44	19,05	50-3B17	68	63	19,05
50B18	98,6	73	25	15,88	50-2B18	75	44	19,05	50-3B18	75	63	19,05
50B19	103,6	78	25	15,88	50-2B19	79	44	25,40	50-3B19	79	63	25,40
50B20	108,7	75	25	19,05	50-2B20	82	44	25,40	50-3B20	82	67	25,40
50B21	113,8	75	25	19,05	50-2B21	89	44	25,40	50-3B21	89	67	25,40
50B22	118,9	75	25	19,05	50-2B22	90	48	25,40	50-3B22	91	67	25,40
50B23	124,0	75	25	19,05	50-2B23	92	48	25,40	50-3B23	92	67	25,40
50B24	129,0	75	32	19,05	50-2B24	92	48	25,40	50-3B24	92	67	25,40
50B25	134,1	75	32	19,05	50-2B25	92	48	25,40	50-3B25	92	67	25,40
50B26	139,2	75	32	19,05	50-2B26	95	48	25,40	50-3B26	95	67	25,40
50B27	144,3	75	32	19,05	50-2B27	95	48	25,40	50-3B27	95	67	25,40
50B28	149,4	75	32	19,05	50-2B28	95	48	25,40	50-3B28	95	67	25,40
50B29	154,4	82	32	19,05	50-2B29	95	48	25,40	50-3B29	95	67	25,40
50B30	159,5	82	32	19,05	50-2B30	95	48	25,40	50-3B30	95	67	25,40
50B31	164,6	82	32	19,05	50-2B31	95	48	25,40	50-3B31	95	67	25,40
50B32	169,7	82	32	19,05	50-2B32	95	48	25,40	50-3B32	95	67	25,40
50B33	175,7	82	32	19,05	50-2B33	95	48	25,40	50-3B33	95	67	25,40
50B34	179,8	82	32	19,05	50-2B34	95	48	25,40	50-3B34	95	67	25,40
50B35	184,9	82	32	19,05	50-2B35	95	48	25,40	50-3B35	95	67	25,40
50B36	190,0	82	32	19,05	50-2B36	102	54	31,75	50-3B36	102	70	31,75
50B37	195,0	82	32	19,05	50-2B37	102	54	31,75	50-3B37	102	70	31,75
50B38	200,2	82	32	19,05	50-2B38	102	54	31,75	50-3B38	102	70	31,75
50B39	205,2	82	32	19,05	50-2B39	102	54	31,75	50-3B39	102	70	31,75
50B40	210,3	82	32	19,05	50-2B40	102	54	31,75	50-3B40	102	70	31,75
50B41	215,4	82	32	19,05	50-2B41	102	54	31,75	50-3B41	102	70	31,75
50B42	220,2	82	32	19,05	50-2B42	102	54	31,75	50-3B42	102	70	31,75
50B43	225,3	82	32	19,05	50-2B43	102	54	31,75	50-3B43	102	70	31,75
50B44	230,4	82	32	19,05	50-2B44	102	54	31,75	50-3B44	102	70	31,75
50B45	235,5	95	32	19,05	50-2B45	102	54	31,75	50-3B45	102	70	31,75
50B46	240,5	95	32	19,05	50-2B46	102	54	31,75	50-3B46	102	70	31,75
50B47	245,6	95	32	19,05	50-2B47	102	54	31,75	50-3B47	102	70	31,75
50B48	250,7	95	32	25,40	50-2B48	108	60	31,75	50-3B48	108	79	31,75
50B49	255,8	95	32	25,40	50-2B49	108	60	31,75	50-3B49	108	79	31,75
50B50	260,9	95	32	25,40	50-2B50	108	60	31,75	50-3B50	108	79	31,75
50B51	265,9	95	32	25,40	50-2B51	108	60	31,75	50-3B51	108	79	31,75
50B52	271,0	95	32	25,40	50-2B52	108	60	31,75	50-3B52	108	79	31,75
50B53	276,3	95	32	25,40	50-2B53	108	60	31,75	50-3B53	108	79	31,75
50B54	281,2	95	32	25,40	50-2B54	108	60	31,75	50-3B54	108	79	31,75
50B55	286,1	95	32	25,40	50-2B55	108	60	31,75	50-3B55	108	79	31,75
50B56	291,1	95	32	25,40	50-2B56	108	60	31,75	50-3B56	108	79	31,75
50B57	296,2	95	32	25,40	50-2B57	108	60	31,75	50-3B57	108	79	31,75
50B58	301,2	95	32	25,40	50-2B58	108	60	31,75	50-3B58	108	79	31,75

Reproducido del Manual técnico de piñones a cadenas. (Intermec S.A., s.f.).

Tabla 8

TABLA DE DIMENSIONES
DE LOS PIÑONES INTERMEC PASO 5/8" (15.87 mm)
 para Cadena ANSI No. 50 Tipo B Sencillos, Dobles y Triples

PIÑONES
5/8 (50)

Ref.	D	SENCILLOS			Ref.	DOBLES			Ref.	TRIPLES		
		Dm	L	d		Dm	L	d		Dm	L	d
50B59	306,4	95	32	25,40	50-2B59	108	60	31,75	50-3B59	108	79	31,75
50B60	311,4	95	32	25,40	50-2B60	114	60	31,75	50-3B60	114	79	31,75
50B61	316,5	95	32	25,40	50-2B61	114	60	31,75	50-3B61	114	79	31,75
50B62	321,6	95	32	25,40	50-2B62	114	60	31,75	50-3B62	114	79	31,75
50B63	326,6	95	32	25,40	50-2B63	114	60	31,75	50-3B63	114	79	31,75
50B64	331,6	95	32	25,40	50-2B64	114	60	31,75	50-3B64	114	79	31,75
50B65	336,8	95	32	25,40	50-2B65	114	60	31,75	50-3B65	114	79	31,75
50B66	341,9	95	32	25,40	50-2B66	114	60	31,75	50-3B66	114	79	31,75
50B67	346,9	95	32	25,40	50-2B67	114	60	31,75	50-3B67	114	79	31,75
50B68	351,9	95	32	25,40	50-2B68	114	60	31,75	50-3B68	114	79	31,75
50B69	356,9	95	32	25,40	50-2B69	114	60	31,75	50-3B69	114	79	31,75
50B70	362,0	95	44	25,40	50-2B70	114	60	31,75	50-3B70	114	90	31,75
50B71	367,0	95	44	25,40	50-2B71	114	60	31,75	50-3B71	114	90	31,75
50B72	372,1	95	44	25,40	50-2B72	114	60	31,75	50-3B72	118	90	31,75
50B73	377,2	95	44	25,40	50-2B73	114	60	31,75	50-3B73	118	90	31,75
50B74	382,3	95	44	25,40	50-2B74	114	60	31,75	50-3B74	118	90	31,75
50B75	387,3	95	44	25,40	50-2B75	114	60	31,75	50-3B75	118	90	31,75
50B76	392,3	95	44	25,40	50-2B76	114	60	31,75	50-3B76	118	90	31,75
50B77	397,4	95	44	25,40	50-2B77	114	60	31,75	50-3B77	118	90	31,75
50B78	402,4	95	44	25,40	50-2B78	114	60	31,75	50-3B78	118	90	31,75
50B79	407,5	108	44	25,40	50-2B79	114	60	31,75	50-3B79	118	90	31,75
50B80	412,5	108	44	25,40	50-2B80	114	60	31,75	50-3B80	118	90	31,75
50B82	422,7	108	44	25,40	50-2B82	114	60	31,75	50-3B82	118	90	31,75
50B84	432,8	108	44	25,40	50-2B84	114	60	31,75	50-3B84	118	90	31,75
50B86	442,7	108	44	25,40	50-2B86	114	60	31,75	50-3B86	118	90	31,75
50B88	463,1	108	44	25,40	50-2B90	114	60	31,75	50-3B90	118	90	31,75
50B95	488,4	108	44	25,40	50-2B95	114	60	31,75	50-3B95	118	95	31,75
50B96	493,5	108	44	25,40	50-2B96	114	60	31,75	50-3B96	118	95	31,75
50B112	575,3	108	44	25,40	50-2B112	114	60	31,75	50-3B112	118	95	31,75
50B114	584,5	108	44	25,40	50-2B114	114	60	31,75	50-3B114	118	95	31,75

Reproducida del Manual técnico de piñones a cadenas (Intermec S.A., s.f.)

Entonces seleccionamos los siguientes valores:

Tabla 9

Ref.	D	Dm	L	d	Ø del eje
50B48	250.7	95	32	25.4	Eje de la caja reductora 25.4 mm
50B88	463.1	108	44	25.4	Eje del cilindro 25.4 mm

Luego para la cadena ANSI N°50, Tipo B sencilla, calculamos la distancia de centros:

Ecuación 43: Condición de diseño para relación entre paso y número de dientes

$$30 \leq \frac{C}{P} \leq 50$$

Donde:

$C = \text{distancia entre centros}$

$P = \text{paso}$

$$C = 30 * P = 30 * 0.625 = 18.75$$

La distancia entre centros sería entonces de 18.75.

Ahora del catálogo (intermec) hallamos la longitud de la cadena, para esto utilizamos la siguiente ecuación:

Ecuación 44: Fórmula para longitud de la cadena

$$L = 2 * C + \frac{S}{2} + \frac{K}{S}$$

El catálogo nos dice que C se divide por el paso entonces:

Ecuación 45: Constante C

$$C = \frac{18.75}{0.625} = 30$$

Luego tenemos que:

Ecuación 46: Constante S

$$S = Z1 + Z2 = 48 + 88 = 136$$

Para hallar K, restamos el número de dientes del piñón grande, por el número de dientes del piñón pequeño, el cual se designa con la letra D. Con este valor hallamos K con su tabla de valores, esto según el catálogo (intermec).

Ecuación 47: Constante D

$$D = 88 - 48 = 40$$

Ahora de la tabla, escogemos K.

Tabla 10

**TABLAS DE LOS VALORES DE K
SEGUN SEA LA CANTIDAD D**

D	K	D	K	D	K	D	K	D	K	D	K
1	03	32	25.94	63	100.54	94	223.82	125	395.79	156	616.44
2	10	33	27.58	64	103.75	95	228.61	126	402.14	157	624.37
3	23	34	29.28	65	107.02	96	233.44	127	408.56	158	632.35
4	41	35	31.03	66	110.34	97	238.33	128	415.01	159	640.38
5	63	36	32.83	67	113.71	98	243.27	129	421.52	160	648.46
6	91	37	34.68	68	117.13	99	248.26	130	428.08	161	656.59
7	124	38	36.58	69	120.60	100	253.30	131	434.69	162	664.77
8	162	39	38.53	70	124.12	101	258.39	132	441.36	163	673.00
9	205	40	40.53	71	127.69	102	263.54	133	448.07	164	681.28
10	253	41	42.58	72	131.31	103	268.73	134	454.83	165	689.62
11	306	42	44.68	73	134.99	104	273.97	135	461.64	166	698.00
12	365	43	46.84	74	138.71	105	279.27	136	468.51	167	706.44
13	428	44	49.04	75	142.48	106	284.67	137	475.42	168	714.92
14	496	45	51.29	76	146.31	107	290.01	138	482.39	169	723.46
15	570	46	53.60	77	150.18	108	295.45	139	489.41	170	732.05
16	648	47	55.95	78	154.11	109	300.95	140	496.47	171	740.60
17	732	48	58.36	79	158.09	110	306.50	141	503.59	172	749.37
18	821	49	60.82	80	162.11	111	312.09	142	510.76	173	758.11
19	914	50	63.33	81	166.19	112	317.74	143	517.98	174	766.90
20	1013	51	65.88	82	170.32	113	323.44	144	525.25	175	775.74
21	1117	52	68.49	83	174.50	114	329.19	145	532.57	176	784.63
22	1226	53	71.15	84	178.73	115	334.99	146	539.94	177	793.57
23	1340	54	73.86	85	183.01	116	340.84	147	547.36	178	802.57
24	1459	55	76.62	86	187.34	117	346.75	148	554.83	179	811.61
25	1583	56	79.44	87	191.73	118	352.70	149	562.36	180	820.70
26	1712	57	82.30	88	196.16	119	358.70	150	569.93	181	829.85
27	1847	58	85.21	89	200.64	120	364.75	151	577.56	182	839.04
28	1986	59	88.17	90	205.18	121	370.86	152	585.23	183	848.29
29	2130	60	91.19	91	209.76	122	377.02	153	592.96	184	857.58
30	2280	61	94.25	92	214.40	123	383.22	154	600.73	185	866.93
31	2434	62	97.37	93	219.08	124	389.48	155	608.56		

Reproducida del Manual técnico de piñones a cadenas (Intermec S.A., s.f.).

Para Un D=40, tenemos que:

$$K = 40.53$$

Ahora si podemos hallar la longitud de la cadena:

$$L = 2 * (30) + \frac{136}{2} + \frac{40.53}{136} = 128.29 \text{ m}$$

Entonces tomamos 128 eslabones, luego multiplicamos por 0.5, según el Manual técnico de piñones a cadenas (Intermec S.A., s.f.).

$$128 * 0.5 = 64 \text{ pulgadas}$$

$$64 \text{ pulgadas} \left(\frac{2.54}{1} \right) = 1.82 \text{ m}$$

Entonces tenemos que el largo de la cadena es de 1.82 m.

El tipo de lubricación para la cadena escogida, según el Manual técnico de piñones a cadenas (Intermec S.A., s.f.), es lubricación tipo A: a mano, con aceitera o brocha)

Luego, se necesita las dimensiones de cuñas y cuñeros para la fijación de los ejes, para esto vamos a utilizar la tabla de los cuñeros y cuñas estándar en pulgadas de sección cuadrada del Manual técnico de piñones a cadenas (Intermec S.A., s.f.).

Tabla 11

**TABLA DE LOS CUÑEROS Y CUÑAS ESTÁNDAR
EN PULGADAS DE SECCIÓN CUADRADA**

SECCIÓN CUADRADA			
Diámetro del eje	Anchura y Profundidad del cuñero	Cota de sección cuadrada	Diámetro del pasador
12 a 58	18 x 16	18 x 18	3/16
58 a 78	316 x 332	316 x 316	3/16
78 a 114	14 x 18	14 x 24	1/4
114 a 138	576 x 532	516 x 516	5/16
138 a 134	38 x 316	38 x 38	3/8
134 a 214	12 x 14	12 x 12	1/2
214 a 234	58 x 516	58 x 58	5/8
234 a 314	31 x 38	34 x 34	5/8
314 a 334	78 x 710	78 x 78	3/4
334 a 412	17 x 12	17 x 17	3/4
412 a 512	144 x 58	118 x 118	7/8
512 a 612	112 x 34	112 x 112	1"
612 a 712	134 x 78	134 x 134	1 1/4
712 a 9"	2" x 1"	2" x 2"	1 1/4
9" a 11"	212 x 114	212 x 212	1 1/4

: Reproducida del Manual técnico de piñones a cadenas (Intermec S.A., s.f.).

Entonces seleccionamos los siguientes valores.

Tabla 12

Diámetro del eje	Anchura y profundidad del cuñero	Cuña de selección cuadrada	Diámetro del prisionero
7/8" a 1 1/4"	1/4" X 1/8"	1/4" X 1/4"	1/4"

Esta selección se hace para ambos ejes:

Para el grado de aceite, se selecciona según el ambiente en grados centígrados.

38-49 °C, aceite SAE 40.

Sistema de calefacción:

Para el sistema de calefacción del prototipo de la tostadora de café como se había mencionado anteriormente se implementara un sistema a base de aceite residual de motor, que como se había investigado anteriormente ,cuenta con un alto poder calorífico y permite alcanzar altas temperaturas , por lo que es esencial para nuestro prototipo , el diseño de este constara de dos fogones debajo del cilindro los cuales operaran con una inyección controlada de aceite residual de motor y un soplador el cual asegura un suministro adecuado de aire para mantener

una combustión estable , esto con el fin de mantener una distribución homogénea del calor alrededor del cilindro, para un tostado homogéneo y optimizando el consumo energético.

Para la implementación de este primero debemos tener en cuenta ciertos parámetros, primero el calor perdido:

Para este cálculo se hizo uso de la ecuación (3-39) presentada en Transferencia de calor y masa: Fundamentos y aplicaciones, donde se determinó la resistencia térmica en la capa del cilindro (Cengel & Ghajar, 2011).

Ecuación 48: Resistencia térmica en la capa de un cilindro

$$R_{cil} = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi * L * K}$$

Donde:

$$r_2 = \text{radio exterior} = 0.25 \text{ m}$$

$$r_1 = \text{radio interior} = 0.246825 \text{ m}$$

$$L = \text{Longitud} = 1 \text{ m}$$

$$K = \text{Conductividad termica}$$

De la tabla A-5 del libro de Transferencia de calor y masa: Fundamentos y aplicaciones, se obtiene que para el acero inoxidable se consideran las siguientes propiedades (Cengel & Ghajar, 2011).

$$K = 15.6 \frac{W}{m * k}$$

Entonces resolviendo la ecuación de resistencia térmica en un cilindro tenemos que:

Ecuación 49: Resistencia térmica en un cilindro

$$R_{cil} = \frac{\ln\left(\frac{0.25}{0.2468}\right)}{2\pi * \left(15.6 \frac{W}{m * K}\right) * (1m)} = 1.3143 * 10^{-4} \frac{K}{W}$$

Ahora calculamos la resistencia para la carcasa de la tostadora, utilizamos la ecuación (3-5) del libro de Transferencia de calor y masa: Fundamentos y aplicaciones.

Ecuación 50: Resistencia térmica en una pared

$$R_{pared} = \frac{L}{K * A}$$

Tenemos que:

$L = \text{espesor de lamina}$

$K = \text{conductividad termica de la lamina}$

$A = \text{area de la lamina}$

Utilizamos la ecuación para hallar el área de un cilindro:

Ecuación 51: Área de un cilindro

$$A_{cil} = 2\pi * r * h$$

Donde:

$r = \text{radio del cilindro} = 0.25 \text{ m}$

$h = \text{largo del cilindro} = 1 \text{ m}$

$$A_{cil} = 2\pi * 0.25 \text{ m} * 1 \text{ m} = 1.5707 \text{ m}^2$$

Sabemos que la conductividad térmica del acero es de 15.6 w/m*k, entonces, utilizamos la ecuación de la resistencia térmica para la carcasa.

$$R_{pared} = \frac{0.0031}{\left(15.6 \frac{W}{m * k}\right) (1.5707 m^2)} = 1.2651 \times 10^{-4} \frac{k}{W}$$

Consideramos que para el diseño debajo del cilindro se colocará una lámina de 3.175 mm a 3 cm de distancia, esto hará la función de una pantalla térmica la cual va a redirigir el calor por radiación y convección hacia el cilindro esto para reducir pérdidas.

Entonces tenemos que para la resistencia por conducción de esta pantalla térmica utilizaremos la ecuación (3-5) del libro de Transferencia de calor y masa: Fundamentos y aplicaciones (Cengel & Ghajar, 2011).

Ecuación 52: Resistencia por conducción de la pared térmica

$$R_{aire} = \frac{L_{aire}}{K_{aire} * A}$$

Donde:

L_{aire} = Espacio de aire entre lamina y el cilindro

K_{aire} = Conductivida termica del aire = $0.026 \frac{W}{m * k}$

A = area del cilindro

$$R_{aire} = \frac{0.03 m}{0.026 \frac{W}{m * k} * 1.5707 m^2} = 0.7346 \frac{k}{m}$$

Por último, la resistencia por convección, para esto utilizamos la ecuación (3-8) del libro de Transferencia de calor y masa: Fundamentos y aplicaciones (Cengel & Ghajar, 2011).

Ecuación 53: Resistencia por convección

$$R_{conv} = \frac{1}{h * A_s}$$

Donde:

$h = \text{coeficiente de transferencia de calor por conveccion: } 10 \frac{W}{m^2 * K}$

$A_s = \text{Area superficial}$

Resolviendo tenemos que:

$$R_{conv} = \frac{1}{10 \frac{W}{m^2 K} * 1.5707 m^2} 0.06366 \frac{K}{W}$$

Ahora calculamos la resistencia total:

Ecuación 54: Resistencia total

$$R_{total} = R_{cil} + R_{pared} + R_{aire} + R_{conv}$$

$$R_{total} = 1.3143 \times 10^{-4} + 1.2651 \times 10^{-4} + 0.7345 + 0.06366 = 0.7984 \frac{K}{W}$$

Una vez halladas las resistencias podemos calcular el calor perdido utilizando la siguiente ecuación:

Ecuación 55: Calor perdido

$$Q_p = \frac{T_2 - T_1}{R_{total}}$$

Donde:

$Q_p = \text{calor perdido}$

$T_2 = \text{Temperatura interna del cilindro} = 230^\circ\text{C}$

$T_1 = \text{Temperatura ambiente} = 30^\circ\text{C}$

$R_{total} = \text{sumatoria de las resistencias}$

Resolviendo tenemos que:

$$Q_p = \frac{503.15 \text{ K} - 303.15 \text{ K}}{0.7984 \frac{\text{K}}{\text{W}}} = 250.5015 \text{ W}$$

Ahora calculamos el calor requerido, para esto usamos la siguiente ecuación:

Ecuación 56: Calor requerido

$$Q_r = C_p * \dot{m} * \Delta T$$

Donde:

$Q_p = \text{Calor requerido}$

$\dot{m} = \text{flujo masico}$

$C_p = \text{calor especifico del cafe}$

$\Delta T = \text{diferencia de temperatura}$

Para hallar el C_p del café utilizamos un estudio realizado por cenicafe, en el cual para hallar el c_p se utiliza la siguiente ecuación (Staff View, s. f.).

Ecuación 57: Fórmula del calor específico del café

$$Cp = 1.3536 + 5.7859 CH_{bs}$$

Donde:

$$CH_{bs} = \text{contenido de humedad, decimal, bs.}$$

El rango de contenido de humedad comprendidos en el rango de 45% a 11%, para el proceso de tueste de café lo más recomendado es de 12%

Resolvemos la ecuación para hallar el Cp:

$$Cp = 1.3536 + 5.7859 * (0.12) = 2.0479 \frac{Kj}{Kg * k}$$

Ahora hallamos el flujo masico utilizando la siguiente ecuación:

Ecuación 58: Flujo masico

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

Donde:

$$m = \text{masa del cafe para tueste}$$

$$\Delta T = \text{tiempo de tueste}$$

El tiempo de tueste que se estimo es de 18 minutos, 1080 segundos, resolviendo la ecuación tenemos:

$$\dot{m} = \frac{20 Kg}{1080 segundos} = 0.0185 \frac{Kg}{s}$$

Ahora procedemos a hallar el calor requerido:

$$Q_r = 2.0479 \frac{Kj}{kg * k} * 0.0185 \frac{Kg}{s} * (503.15 - 303.15) k = 7.5772 Kw = 7577.23 W$$

Una vez hallados tanto el calor requerido como el calor perdido procedemos a hallar el calor total.

Ecuación 59: Calor total

$$Q_{total} = Q_r + Q_p = 7577.23 + 250.5015 = 7827.7315 W$$

Esto nos indica que el sistema de fogones y ventilación debe entregar al menos 7827.7315 W para poder calentar los 20 Kg de café hasta 230°C en el tiempo previsto.

Sabiendo este lo primero que tenemos que hacer es dimensionar el consumo de aceite residual de motor para esto usamos la siguiente ecuación:

Ecuación 60: Flujo volumétrico

$$\dot{V} = \frac{Q_{total}}{PCI}$$

Donde:

$\dot{V}$ = *flujo volumetrico de aceite quemado*

Q_{total} = *calor total del sistema*

PCI = *poder calorifico del aceite residual de motor*

El poder calorífico del aceite residual de motor es de 43.61 MJ/Kg según (Hall & cook,1993), sabiendo esto resolvemos la ecuación:

$$\dot{V} = \frac{7.83 \frac{Kj}{s}}{43610 \frac{Kj}{l}} = 0.000179 \frac{L}{s}$$

Sabemos que para cada ciclo de tueste se gasta aproximadamente 18 minutos que seria 1080 segundos, procederemos a hallar cuantos litros de aceite residual de motor se necesita para cada ciclo de tueste.

Ecuación 61: Relación entre volumen desplazado, caudal y tiempo

$$V = \dot{V} * t$$

Donde:

$\dot{V}$ = flujo volumetrico de aceite residual de motor

V = *volumen de aceite residual de motor*

t = *tiempo de tueste*

$$V = 0.000179 \frac{L}{s} * 1080 s = 0.1933 L$$

Entonces se necesitarían 0.1933 litros de aceite residual de motor para cada ciclo y cada fogón necesitara un flujo volumétrico de 0.000179 L/s

Selección del soplador

Ahora procedemos a la selección del soplador para suministrar el aire necesario para la combustión, para esto definiremos una relación, aire-combustible (A/C) se define como la razón entre la masa de aire suministrada y la masa de combustible introducida al proceso de combustión (Cengel, 2014, p. 775).

Entonces para motores Otto, el valor teórico es de 14.7:1, esto para aceites líquidos pesados como el fuel oil, además de esto en ASHRAE Handbook (2017) se tiene valores para la relación aire combustible de 15 a 16.5 Kg de aire/Kg de combustible.

Considerando que para el prototipo se utilizara aceite residual de motor y este presenta una composición química similar a la de un fuel oil pesado, por lo que se adoptara un valor estequiométrico de 16 kg/ kg de combustible.

Ecuación 62: Relación aire combustible

$$AC = \frac{m_{aire}}{m_{combustible}} 16 \frac{kg \text{ de aire}}{kg \text{ de combustible}}$$

Ahora hallamos el flujo masico de aceite:

Ecuación 63: Fórmula flujo masico del aceite

$$\dot{m}c = \dot{V} * \rho$$

Donde:

$\dot{m}c = \text{flujo masico del aceite residual de motor}$

$\dot{V} = \text{Flujo masico de aceite residual de motor}$

$\rho = \text{densidad del aceite residual de motor}$

Según el artículo de (tratamientos de aceites usados), la densidad es de 0.9 kg/L

Entonces:

$$\dot{m}c = 0.000179 \frac{L}{s} * 0.9 \frac{kg}{L} = 0.00016 \frac{kg}{s}$$

Entonces el aire teórico que necesario es:

Ecuación 64: Fórmula de flujo masico de aire en función de la relación aire combustible

$$\dot{m}_a = AC * \dot{m}_c$$

Donde:

$\dot{m}_a = \text{Flujo masico de aire}$

$$\dot{m}_a = 16 \frac{\text{kg de aire}}{\text{kg de combustible}} * 0.00016 \frac{\text{kg de combustible}}{\text{s}} = 0.00256 \text{ kg} \frac{\text{aire}}{\text{s}}$$

Luego de esto calculamos el exceso de aire, para garantizar una combustión completa usamos entre un 20%-30%

$$EA = 1.3$$

Entonces calculamos el flujo masico de aire con un exceso del 130%

Ecuación 65: Flujo masico de aire con exceso

$$\dot{m}_a = 0.00256 \frac{\text{kg aire}}{\text{s}} * 1.3 = 0.003328 \text{ Kg de aire/s}$$

Una vez calculado el flujo masico de aire que se necesitara para la correcta combustión procedemos a hallar la potencia que necesitara el soplador para el buen funcionamiento del sistema de combustión.

Para hallar la potencia del soplador usamos la siguiente ecuación:

Ecuación 66: Potencia del soplador

$$P = \frac{\dot{V}_{\text{aire}} * hl}{n}$$

Donde:

$P = \text{potencia del soplador}$

$\dot{V}_{aire} = \text{flujo volumetrico de aire}$

$hl = \text{perdidas de presion}$

$n = \text{rendimiento de soplador pequeño} = 0.6$

Se diseño en SolidWorks el sistema de calefacción para poder calcular la potencia, hallando sus pérdidas de presión y el flujo volumétrico.

Primero procedemos a hallar el flujo volumétrico de aire:

Ecuación 67: Flujo volumétrico de aire

$$\dot{V}_{aire} = \frac{\dot{m}_a}{\rho_{aire}}$$

Donde:

$$\rho_{aire} = \text{densidad del aire} = 1.2 \frac{kg}{m^3}$$

Entonces resolviendo tenemos:

$$\dot{V}_{aire} = \frac{0.003328 \frac{kg \text{ de aire}}{s}}{1.2 \frac{kg \text{ de aire}}{m^3}} = 0.002773 \frac{m^3}{s}$$

El sistema de combustión en la parte del flujo de aire cuenta con 2 ramales por los cuales fluirá aire para cada uno de los fogones, estos ramales están hechos de tubos de PVC cada uno de diámetro de 0.025 m y largo de 0.4 m.

Procedemos a hallar el flujo volumétrico en cada uno de los ramales:

Ecuación 68: Flujo volumétrico en cada uno de los ramales

$$\dot{V}_{ramal} = \frac{\dot{V}_{aire}}{2} = \frac{0.002773 \frac{m^3}{s}}{2} = 0.001386 \frac{m^3}{s}$$

Una vez hallado el flujo volumétrico para cada uno de los ramales hallamos la velocidad de flujo de aire en cada uno de estos.

Ecuación 69: Fórmula de velocidad de flujo de aire

$$V = \frac{\dot{V}_{ramal}}{A}$$

Donde:

$V =$ velocidad del flujo de aire en cada ramal

$A =$ area transversal de cada tubo

El área transversal está dada por la siguiente ecuación:

Ecuación 70: Fórmula de área transversal

$$A = \frac{\pi * D^2}{4}$$

Donde:

$D = \text{diametro del tubo de PVC}$

Resolviendo tenemos que:

$$A = \frac{\pi * (0.25 \text{ m})^2}{4} = 0.00049 \text{ m}^2$$

Una vez hallada el área, podemos hallar la velocidad:

$$V = \frac{0.001386 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0.00049 \text{ m}^2} = 2.8285 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Perdidas de presión:

Hallamos todas las pérdidas de presión para el sistema, primero hallamos las perdidas por fricción para esto usamos la siguiente ecuación:

Ecuación 71: Fórmula de perdidas por fricción

$$h_1 = f * \frac{L}{D} * \frac{\rho_{\text{aire}} * V^2}{2}$$

Donde:

$h_1 = \text{perdidas por friccion}$

$f = \text{factor de friccion} = 0.02$

$L = \text{longitud del tubo e PVC}$

$D = \text{diametro del tubo de PVC}$

$\rho_{\text{aire}} = \text{densidad del aire}$

$V = \text{velocidad del flujo de aire para cada ramal}$

Resolvemos la ecuación para hallar las pérdidas por fricción:

$$h_1 = 0.02 * \frac{0.4 \text{ m}}{0.025 \text{ m}} * \frac{1.2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \left(2.8285 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2} = 1.53 \text{ pascales}$$

Ahora hallamos las pérdidas en la entrada y salida de aire:

Para hallar las pérdidas en la entrada utilizamos la siguiente ecuación:

Ecuación 72: Fórmula de pérdida en la entrada

$$h_2 = K_l * \frac{\rho_{\text{aire}} * V^2}{2}$$

Donde:

$h_2 = \text{pérdidas en la entrada}$

$K_l = 0.5 \text{ para pérdidas en la entrada}$

Entonces tenemos que:

$$h_2 = 0.5 * 1.2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \frac{\left(2.8285 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2} = 2.4001 \text{ Pascales}$$

ahora hallamos las pérdidas en la salida utilizando la siguiente ecuación:

Ecuación 73: Fórmula de pérdida en la salida

$$h_3 = K_l * \frac{\rho_{\text{aire}} * V^2}{2}$$

Donde:

Kl: 1 para perdidas en la salida

$$h_3 = 1 * 1.2 \frac{kg}{m^3} * \frac{\left(2.8285 \frac{m}{s}\right)^2}{2} = 4.8002 \text{ pa}$$

luego hallamos las perdidas en por accesorios:

Ecuación 74: Perdida por accesorios

$$h_4 = K * \frac{\rho_{aire} * V^2}{2}$$

según el libro de mecánica de fluidos (mott) para codos a 90° K=30*ft, entonces tenemos que:

$$K = 30(0.02) = 0.6$$

Como son dos codos tenemos que:

$$K = 1.2$$

Resolvemos la ecuación:

$$h_4 = 1.2 * 1.2 \frac{kg}{m^3} * \frac{\left(2.8285 \frac{m}{s}\right)^2}{2} = 5.7602 \text{ pa}$$

luego de esto tenemos que para la Te estándar según el libro (mott), K=20*fr entonces:

$$K = 20 \text{ fr} = 20(0.02) = 0.4$$

Entonces para las perdidas por te tenemos que:

Ecuación 75: Fórmula de pérdida por Te

$$h_5 = 0.4 * 1.2 \frac{kg}{m^3} * \frac{\left(2.8285 \frac{m}{s}\right)^2}{2} = 1.92 \text{ pa}$$

Ahora hallamos las pérdidas totales haciendo sumatoria de todas las pérdidas:

Ecuación 76: Sumatoria de pérdidas

$$hl = 1.53 + 2.4001 + 4.8002 + 5.7602 + 1.92 = 16.4105 \text{ pa}$$

Entonces tenemos que las pérdidas en todo el sistema son de 16.4105 pascales, luego de esto ahora si hallamos la potencia necesaria de soplador.

$$P = \frac{\dot{V}_{aire} * hl}{n} = \frac{0.002773 \frac{m^3}{s} * 16.4105 \text{ pa}}{0.6} = 0.075 \text{ W}$$

La potencia necesaria para el soplador es de 0.075 W.

Entonces, se seleccionará un soplador de 600w Makita Ub1103.

Diseño de extractor de humo

Se necesita implementar un extractor de humo esto con el fin de evitar la acumulación de gases de combustión que afectan la calidad sensorial del café, este es el encargado de conducir el humo acumulado en la cámara de tostador, para el dimensionamiento utilizamos las ecuaciones propuestas por (Echeverri 2006).

Según (Echeverri 2006) vamos a utilizar ciclones de alta eficiencia el cual puede remover partículas de 5 μm con eficiencia del 90%.

Para los parámetros del área de la tapa posterior del cilindro asumimos las siguientes medidas.

$$a = 0.2 \text{ m} ; b = 0.15 \text{ m}$$

Con esto calculamos el área de escape:

Ecuación 77: Fórmula de área de escape

$$Ae = a * b = 0.2 \text{ m} * 0.15 \text{ m} = 0.03 \text{ m}^2$$

Para la velocidad en la entrada por recomendación de Echeverri tomamos:

$$Vi = 15 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Ahora calculamos el caudal de entrada:

Ecuación 78: Fórmula caudal de entrada

$$Qe = Vi * Ae = 15 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 0.03 \text{ m}^2 = 0.45 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Ahora para los ciclones de alta eficiencia tenemos que:

Ecuación 79: Fórmula para ciclones de alta eficiencia

$$a * b = 0.5Dc * 0.2Dc$$

Donde:

$D_c = \text{diametro del ciclon}$

Despejando tenemos que:

$$D_c = \sqrt{\frac{a * b}{0.5 * 0.2}} = \sqrt{\frac{0.03m^2}{0.5 * 0.2}} = 0.5477 \text{ m}$$

Ahora calculamos las distintas dimensiones del extractor:

Para la altura de salida tenemos que:

Ecuación 80: Fórmula para altura de salida

$$\frac{S}{D_c} = 0.625$$

$$S = 0.625(0.5477 \text{ m}) = 0.3423 \text{ m}$$

Ahora calculamos el diámetro de salida:

Ecuación 81: Fórmula para diámetro de salida

$$\frac{D_s}{D_c} = 0.5$$

$$D_s = 0.5 * 0.5477 \text{ m} = 0.2738 \text{ m}$$

Ahora calculamos la altura de la parte cilíndrica:

Ecuación 82: Altura de la parte cilíndrica

$$\frac{h}{D_c} = 1.5$$

$$h = 1.5 * 0.5477 \text{ m} = 0.8215 \text{ m}$$

ahora calculamos la altura de la parte cónica:

Ecuación 83: Altura de la parte cónica

$$\frac{Z}{Dc} = 2.5$$

$$Z = 2.5(0.5477 \text{ m})1.3692 \text{ m}$$

Ahora calculamos el diámetro de partículas:

Ecuación 84: Diámetro de partículas

$$\frac{B}{Dc} = 0.375$$

$$B = 0.375(0.5477 \text{ m}) = 0.2053 \text{ m}$$

Luego de esto hallamos la caída de presión:

Ecuación 85: Fórmula de caída de presión

$$\Delta P = \frac{1}{2} * \rho * Vi^2 * NH$$

Donde:

$$\rho = \text{densidad del aire} = 0.7788 \text{ kg/m}^3$$

$NH = \text{numero de cabezas de velocidad en la entrada del ciclon}$

Ecuación 86: Fórmula de número de cabezas de velocidad en la entrada del ciclón

$$NH = K * \frac{a * b}{D_s^2}$$

Para el valor de K, es una constante para la entrada tangencial entonces, K=16.

$$NH = 16 * \frac{0.03^2}{(0.2738 \text{ m})^2} = 6.4028$$

Ahora procedemos a calcular la caída de presión

$$\Delta P = \frac{1}{2} * \left(0.7788 \frac{Kg}{m^3} \right) * \left(15 \frac{m}{s} \right)^2 * 6.4028 = 560.9813 \text{ Pa}$$

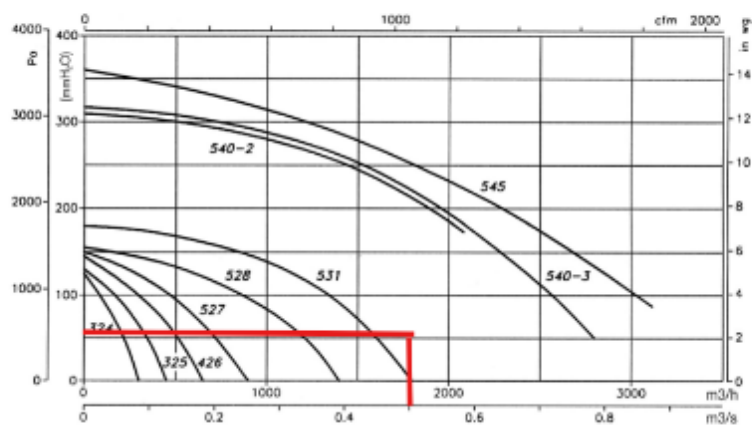
$$\Delta P = 560.9813 < 2488.16 \text{ Pa} \text{ ---} \rightarrow \text{acceptable}$$

Selección del ventilador:

Para la selección del ventilador CT11 Catálogo 60 Hz Colombia de Sodeca, a partir del cual se consideraron los parámetros de caudal y caída de presión para la elaboración de la gráfica (Sodeca, 2017).

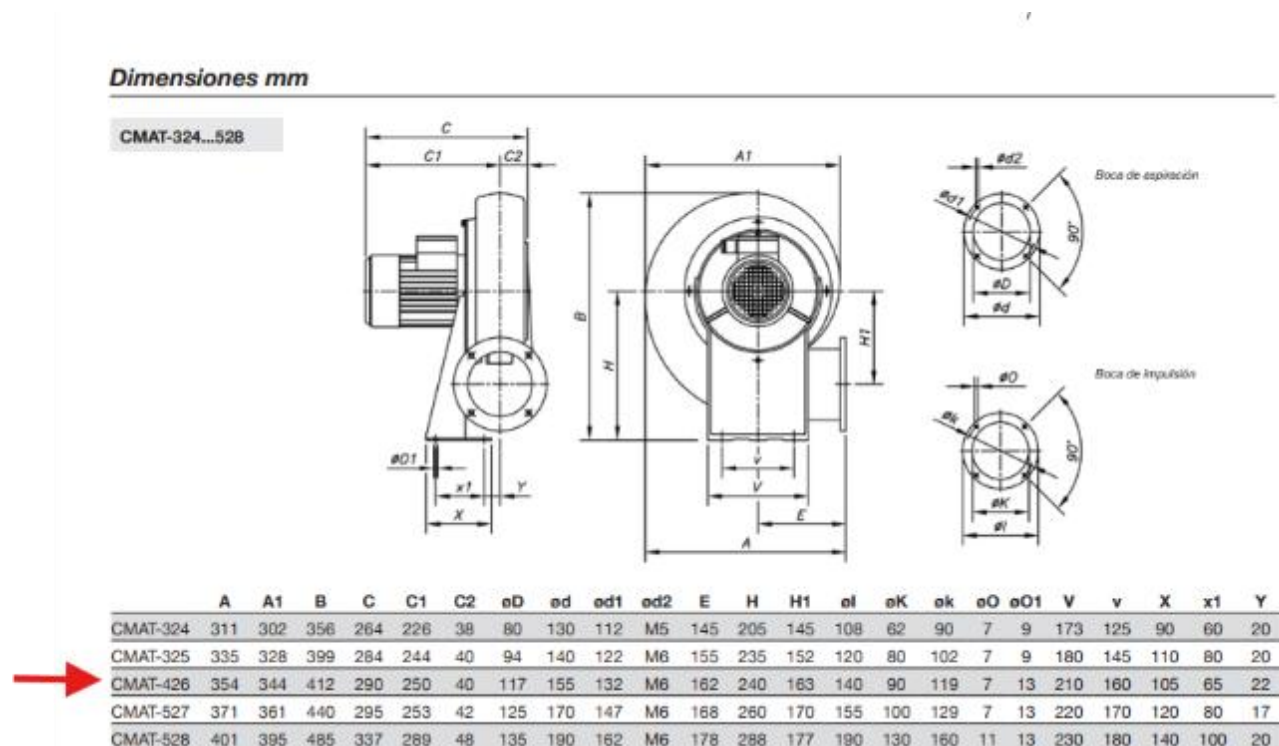
Una vez realizado el cálculo del extractor de humo se diseñó según las especificaciones en el software CAD SolidWorks.

Figura 18

Curvas CaracterísticasQ= Caudal en m³/h, m³/s y cfmPe= Presión estática en mmH₂O, Pa e inwg

. Reproducido de CT11 Catálogo 60 Hz Colombia (p. X), por Sodeca, 2017, Sodeca.

Figura 19



. Reproducido del CT11 Catálogo 60 Hz Colombia (p. X), por Sodeca, 2017, Sodeca.

Figura 20

Características técnicas

Modelo	Velocidad (r/min)	Intensidad máxima admisible (A)		Potencia instalada (kW)	Caudal máximo (m³/h)	Nivel presión sonora dB(A)	Peso aprox. (Kg)
		230V	400V				
CMAT-324-2T	2750	1,21	0,70	0,18	300	70	9
CMAT-325-2T	2710	1,29	0,75	0,25	450	73	11
CMAT-426-2T	2710	1,92	1,11	0,37	650	75	12
CMAT-527-2T	2710	1,92	1,11	0,37	900	80	13
CMAT-528-2T IE3	2825	2,80	1,62	0,75	1400	80	25
CMAT-531-2T IE3	2830	4,03	2,34	1,10	1800	84	25
CMAT-540-2T-2 IE3	2875	5,34	3,07	1,50	2080	80	42
CMAT-540-2T-3 IE3	2910	7,32	4,21	2,20	2800	82	46
CMAT-545-2T-4 IE3	2910	10,00	5,77	3,00	3115	80	60

. Reproducido del CT11 Catálogo 60 Hz Colombia (p. X), por Sodeca, 2017, Sodeca.

El ventilador seleccionado es el CMAT-426-2T ya que cumple con los requerimientos necesarios.

5.2.2 Diseñar el prototipo de la tostadora de café con base a los cálculos obtenido

Una vez realizados los cálculos correspondientes, se cuenta con la base técnica necesaria para avanzar hacia la fase de diseño. En esta etapa, se empleará el software CAD SolidWorks, herramienta que permitirá elaborar el diseño de las diferentes piezas que conformaran la tostadora. De esta manera, se busca representar de forma detallada cada componente y su respectivo ensamble, asegurando la coherencia entre las dimensiones y la funcionalidad del prototipo.

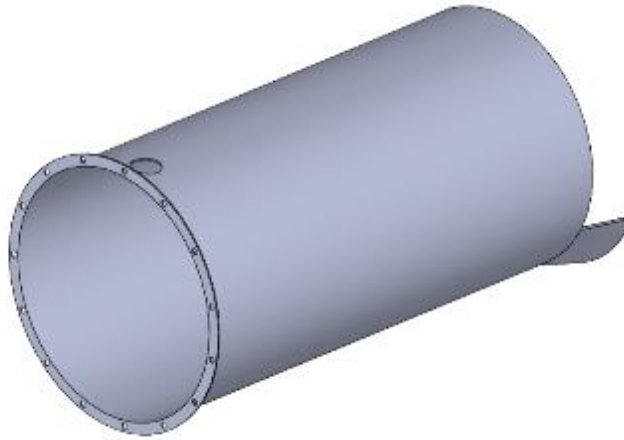
Cilindro de la tostadora

Posteriormente se inició con el diseño del cilindro en el software CAD SolidWorks, con ayuda de los parámetros establecidos anteriormente, tal como se muestra en la figura 21 y 22, este es el principal componente del equipo, encargado de contener los granos de café durante el proceso de tostión, su forma cilíndrica ayuda a una mejor distribución constante y homogéneo, durante el tostado.

Figura 21

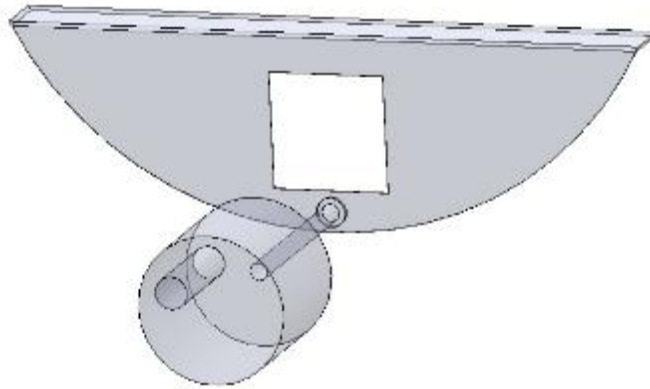


Diseño de la Parte delantera del cilindro

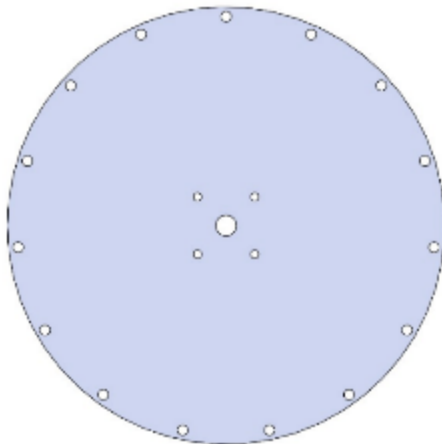
Figura 22

Parte trasera del cilindro de la tostadora

Además, se diseñó la compuerta de descarga por donde al terminar el proceso de tueste el café salga hacia el proceso de refrigerado, el material seleccionado para la compuerta es de acero inoxidable AISI 304, podemos observar el diseño en la figura 23.

Figura 23

Diseño de la compuerta de descarga para salida del café, con contrapeso añadido para abrir y cerrar la compuerta

Figura 24

Diseño de la tapa trasera del cilindro con orificio central para el paso del eje de giro.

Figura 25

Finalización del cilindro de la tostadora

Diseño de la estructura de la tostadora

La estructura de soporte constituye el armazón principal de la tostadora y tiene como función sostener el cilindro, el sistema de transmisión y los demás componentes que integran el prototipo. Esta fue diseñada en el software CAD SolidWorks de acuerdo con las medidas previamente definidas del cilindro, tal como se muestra en la figura 26.

Para iniciar con el diseño del prototipo, se elaboraron bosquejos preliminares de la estructura siguiendo las instrucciones planteadas por el Msc. Juan Guillermo García Rincón. Gracias a estas especificaciones, fue posible determinar con precisión las dimensiones necesarias y avanzar con la configuración adecuada de cada elemento estructural.

La estructura definida consta de un marco rectangular de 1.3 m de largo por 0.6 m de ancho, con un soporte intermedio de 0.4 m también de 0.6 m de ancho. Además, está conformada por cuatro patas de 0.8 m de altura y cuatro apoyos que sostienen el cilindro. Se diseñaron también los soportes para el sistema de transmisión y el sistema de calefacción, mientras que en la parte baja se incorporó otro marco rectangular con las mismas medidas del superior. Ambos marcos se conectan mediante dos apoyos verticales a 0.4 m, lo que garantiza la estabilidad de la estructura y el soporte de los diferentes componentes del sistema.

Figura 26



Imagen de la estructura completa modelada en SolidWorks.

Materiales de la estructura

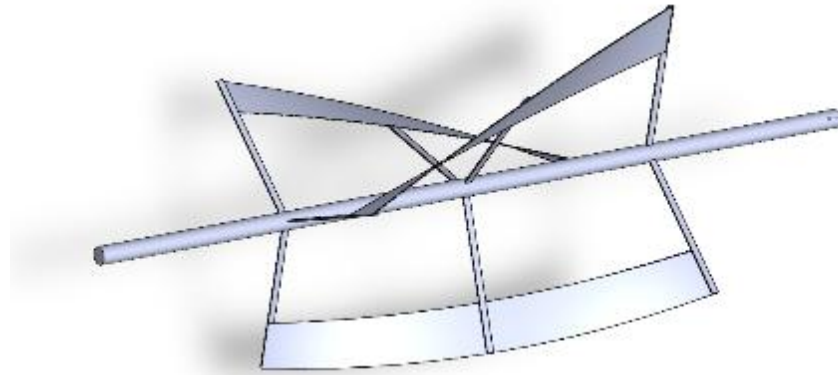
La estructura está compuesta por tubos rectangulares estructurales HR50 para el marco rectangular y soportes, Angulo HR 1x1x1/8 AS72 para el soporte del sistema de transmisión y calefacción.

Diseño de las hélices

Para el diseño de las hélices, se establecieron los parámetros mencionados anteriormente, estas hélices internas, están ubicados dentro del cilindro de la tostadora, esta es la encargada del proceso distribución del café por el cilindro para su correcto proceso de tueste, estas están acopladas al eje central. Las hélices tienen esa forma helicoidal para darle un movimiento uniforme, para una buena calidad en el tostado tal como se muestra en la figura 27.

Materiales de las hélices

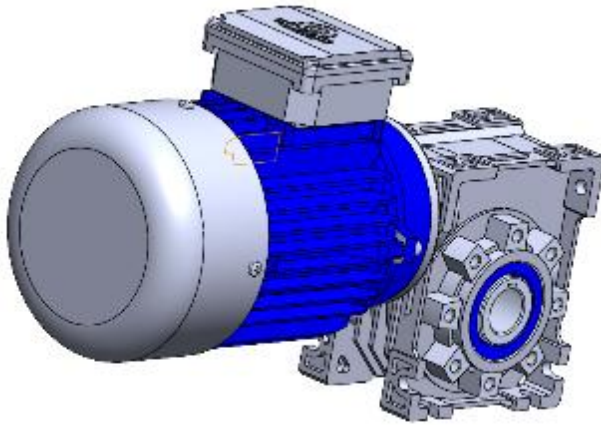
El material del eje es acero inoxidable AISI 304, y las hojas de las hélices, lamina de acero inoxidable AISI 304 de 1.5 mm de espesor, y la unión con los ángulos de acero inoxidable AISI 304 de 0,022 x 0,002 m.

Figura 27

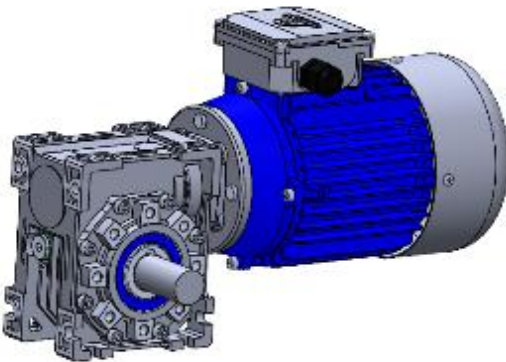
Diseño de las hélices en forma helicoidal, para mejor arrastre del café.

Diseño del motor y caja reductora

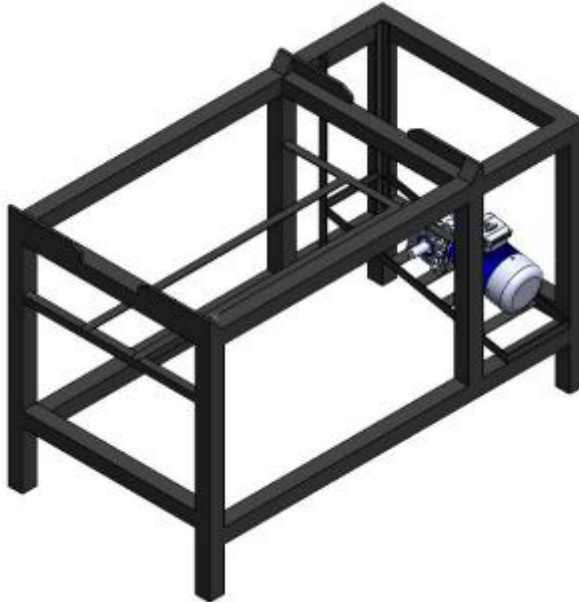
El motorreductor esta encargado de suministrar el movimiento al sistema de transmisión de potencia de la tostadora, combinando en un solo conjunto el motor eléctrico y la caja reductora, para el diseño se tomaron las condiciones previamente establecidas para su desarrollo en el software CAD SolidWorks tal como se muestra en la figura 28 y 29.

Figura 28

. Acople del motor de 2 HP a la caja reductora para el sistema de transmisión de potencia.

Figura 29

. Eje situado en la caja reductora para posterior acople del piñón

Figura 30

Diseño del sistema de potencia

Piñón

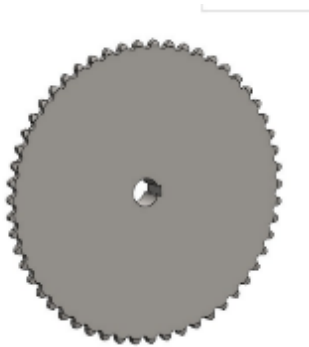
Su función principal es transmitir el movimiento desde el eje motriz hacia la cadena, la cual a su vez transfiere la potencia hacia la Catarina, este diseño se realizó según las especificaciones de los cálculos del sistema de potencia tal como se muestra en la figura 31.

Figura 31

. Diseño del piñón elaborado en el software CAD SolidWorks, componente fundamental del sistema de transmisión de la tostadora.

Catarina

Está acoplada directamente al eje que soporta las hélices, y recibe el movimiento proveniente del piñón a través de la cadena, este diseño se realizó según las especificaciones de los cálculos del sistema de potencia tal como se muestra en la figura 32.

Figura 32

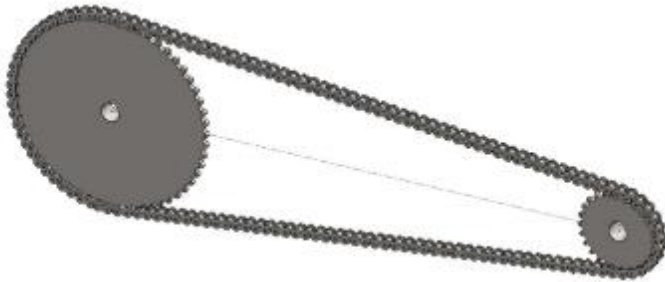
Modelado de la Catarina, pieza clave para el movimiento de las hélices.

Cadena:

encargado de enlazar el piñón y la Catarina, permitiendo la transferencia continua de potencia dentro del sistema de transmisión de la tostadora. Está diseñada cumpliendo con los cálculos establecidos previamente.

Figura 33

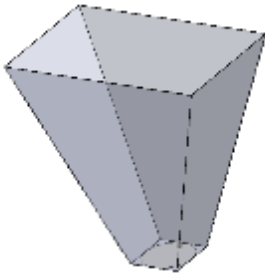
Modelado de Cadena en SolidWorks

Figura 34

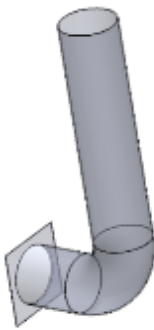
. Modelado de transmisión por cadena en SolidWorks

Tolva de alimentación

Esta es la encargada de recibir y almacenar el café antes de ingresar al cilindro de la tostadora, esta se diseñó con las dimensiones necesarias para el almacenamiento de los 20 kg de café, para esta se utilizó acero inoxidable AISI 304 calibre 18 1.5 mm de espesor y un tubo de 4 pulgadas de acero inoxidable AISI 304 calibre 16. Podemos observar el diseño de la tolva en la figura 35.

Figura 35

Componente destinado al ingreso y conducción del grano hacia el cilindro de la tostadora.

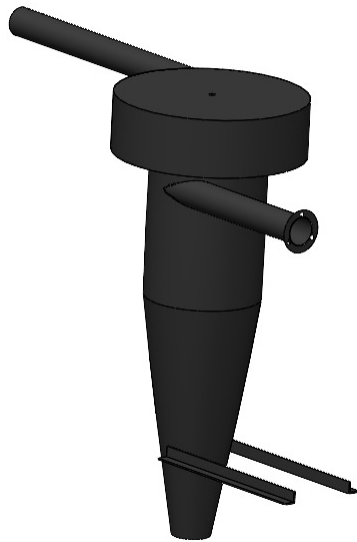
Figura 36

Diseño del tubo que conecta a la tolva con el cilindro

Diseño del Extractor de humo

Se procedió al diseño del bosquejo del extractor de humo, debido a que este constituye un componente esencial para la etapa de ventilación y seguridad del prototipo. El extractor se observa en la Figura 37, y fue seleccionado con el fin de garantizar la evacuación eficiente de los gases generados durante el proceso de tostión. Asimismo, se diseñaron los soportes y conexiones necesarias para su instalación, asegurando su correcta fijación y funcionamiento dentro del sistema.

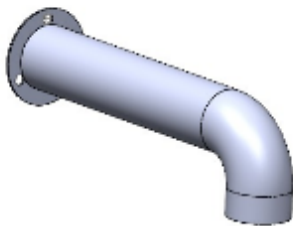
Figura 37



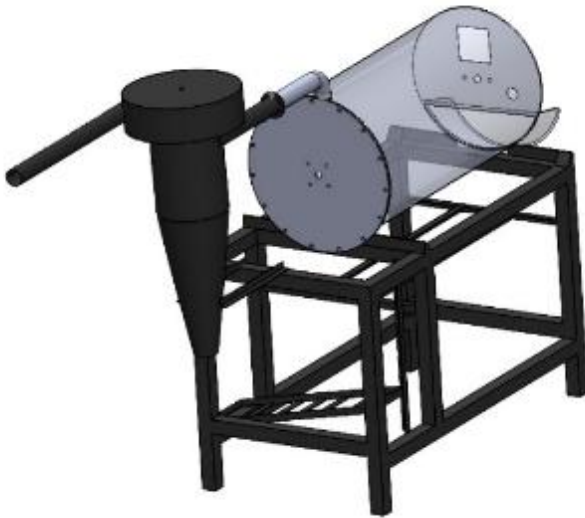
. Representación del extractor de humo en el software CAD SolidWorks.

El material seleccionado para el diseño del extractor de humo es lamina de acero galvanizado calibre 20, los tubos añadidos en el extractor de humo son de acero normalizado A36, este extractor esta unido mediante un tubo de unión de acero inoxidable AISI 304 el cual se conecta al cilindro de la tostadora y a la estructura, como se muestra en la figura 38.

Figura 38



. Tubo de unión que conecta el extractor de humo con el cilindro de la tostadora

Figura 39

. Ensamble del extractor de humo al cilindro y a la estructura

Sistema de combustión

Una vez calculado el sistema de combustión, se procedió a realizar el diseño en el software CAD SolidWorks, primero se realizó el diseño de los fogones, para estos se optará por seleccionar tubo de Acero ASTM A 53 de 4 pulgadas, SCH 40, este se conectará a unas láminas de HR A36, tal como se muestra en la figura 40 y 41.

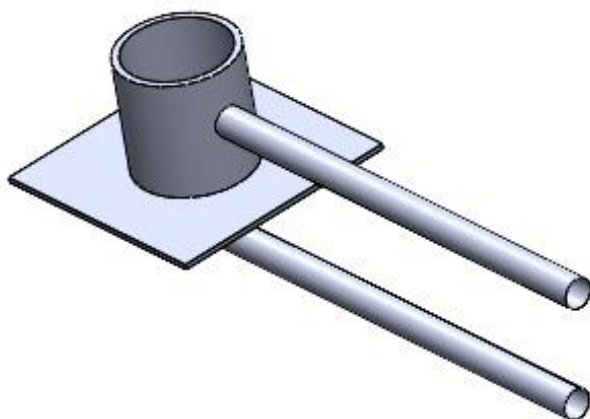
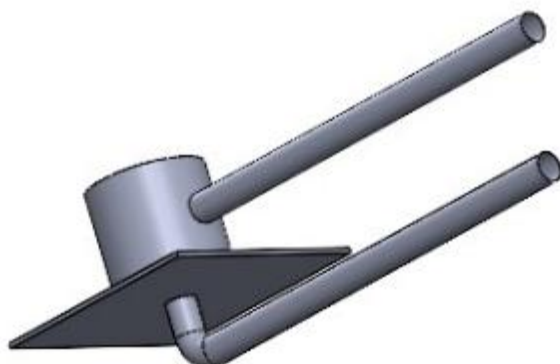
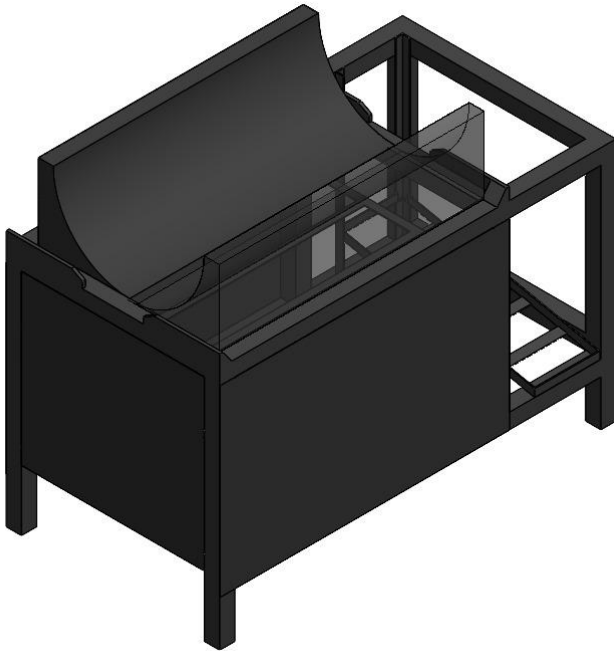
Figura 40**Figura 41**

Figura 42

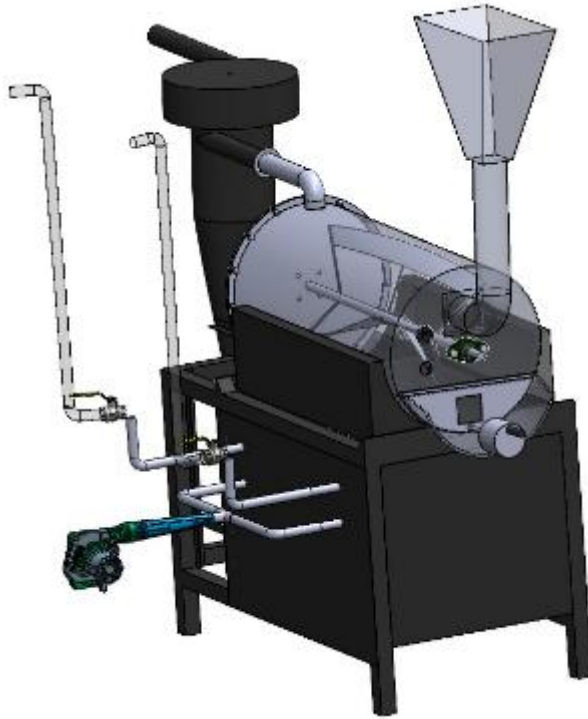
. Fijación de los fogones a la estructura

Posteriormente se agregó la carcasa alrededor de la estructura, el material de esta carcasa es en lámina galvanizada calibre 20 (0.85 mm, 1x2 m), esto para aislamiento térmico y concentración de calor del sistema.

Figura 43

. Carcasa para aislamiento térmico acoplada a la estructura

Luego se procedió a el diseño de los demás componentes de la cámara de combustión, que son los tubos de PVC unidos a los fogones y al soplador para el suministro de aire, además de las mangueras que llevan el combustible hasta los fogones.

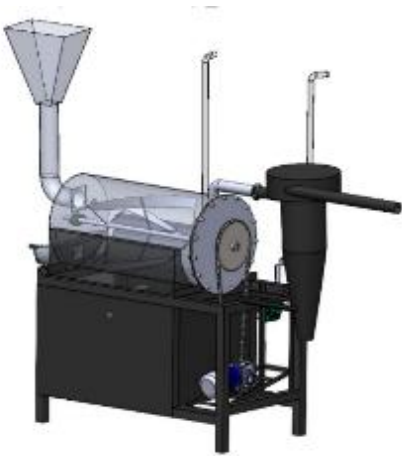
Figura 44

. El modelo muestra la integración del soplador con la red de tuberías y válvulas que conducen el flujo hacia los fogones.

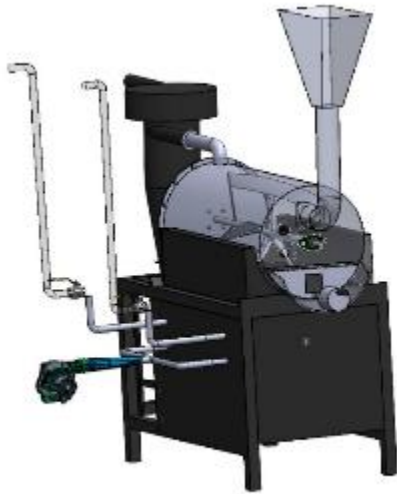
A demás, se añadirá un termómetro para medir la temperatura de tostado.

Figura 45

Para finalizar, se presentan las diferentes vistas del ensamble realizado en SolidWorks, dando por concluida la etapa de diseño del prototipo. Con ello, se obtiene una representación completa, lo cual permite validar la coherencia del diseño antes de proceder a la fase de construcción.

Figura 46

. Representación CAD SolidWorks del diseño completo

Figura 47

. Vista del sistema de combustión

Figura 48

Vista del sistema de transmisión de potencia y demás componentes de la tostadora

5.3 Construir un prototipo funcional de tostadora de café basada en los requerimientos de diseño planteado en el software CAD-SolidWorks.

La fase de construcción del prototipo constituye una etapa clave en la materialización del diseño conceptual previamente desarrollado en el software CAD – SolidWorks. Su finalidad es transformar el modelo virtual en un dispositivo físico que puede ser evaluado bajo condiciones reales de funcionamiento, permitiendo verificar su operatividad, eficiencia energética y facilidad de uso.

Este proceso inicia con la adquisición de los materiales y componentes previamente definidos en los planos técnicos, considerando aspectos como resistencia térmica, durabilidad, facilidad de ensamblaje y disponibilidad local. Una vez reunidos los insumos, se procede con la fabricación de las partes estructurales y mecánicas del sistema, prestando especial atención en las hélices rotatorias, el sistema de transmisión de potencia y la cámara de combustión diseñada para el uso de aceite residual de motor como fuente de energía.

Durante el ensamblaje se siguen las especificaciones técnicas detalladas en el diseño CAD, asegurando una correcta alineación de los elementos móviles, la integración segura de los mecanismos del calentamiento y la instalación de los controles de operación.

Una vez finalizada la construcción, se realizan pruebas preliminares para comprobar la estabilidad térmica del sistema, la efectividad del sistema de combustión, el tiempo de tostado por carga y la uniformidad del producto final. Estos ensayos permiten identificar posibles ajustes o mejoras que garanticen un rendimiento óptimo del prototipo en el entorno operativo del emprendimiento Café Don Rito, ubicado en la vereda Quebrada Estancia, González – Cesar.

En resumen, esta fase busca no solo verificar la viabilidad técnica del diseño, sino también validar su funcionalidad práctica, aportando una solución real y replicable para pequeños productores de café interesados en innovar sus procesos de transformación artesanal.

5.3.1 Solicitar los materiales y componentes necesarios para la construcción del prototipo conforme a lo establecido.

Una vez finalizado el diseño en SolidWorks, se procedió con la solicitud de los materiales y componentes requeridos para la construcción del prototipo, tomando como referencia las dimensiones y especificaciones técnicas plasmadas en los planos. Esta etapa es relevante para asegurar que todos los elementos estructurales y funcionales se encuentren disponibles al momento del ensamblaje. Entre algunos de los materiales requeridos, se encuentran de los que vamos a hablar a continuación.

Para la estructura principal del prototipo se seleccionaron tubos cuadrados de 5 pulgadas en acero normalizado grado 50, complementados con ángulo HR de 1x1 x 1/8 tipo AS 72. Las partes en contacto directo con el producto, como el cilindro, la tolva, fueron diseñados en acero inoxidable AISI 304, garantizando resistencia a la corrosión y facilidad de limpieza.

Entre los componentes adicionales se encuentran tubos de 4 pulgadas en acero inoxidable calibre 16, hélices construidas con láminas de acero inoxidable calibre 18 con 1,5 mm de grosor y el eje del cilindro de 1 pulgada en acero inoxidable AISI 304. También se integraron elementos auxiliares como tornillería N8, N10, N12, con longitudes que van desde media pulgada hasta 3 pulgadas, rodamientos P205 KD y fogones fabricados en lámina HR A36 de 4.5 mm.

Adicionalmente, para el sistema de extracción de humo se emplearon láminas galvanizadas calibre 20, tubos unidos en acero inoxidable y un tubo del soplador en acero normalizado A36. Este sistema fue complementado con un ventilador centrífugo, el cual permite garantizar un adecuado caudal de aire y presión estática para evacuar de manera eficiente los gases producidos durante el proceso de tostado, contribuyendo a mantener la estabilidad térmica del sistema.

La elección de estos materiales respondió tanto a criterios funcionales como a la disponibilidad en el almacén, priorizando componentes que garanticen robustez, durabilidad y compatibilidad con el sistema de tostado. Con la aprobación de esta lista, se inició la adquisición de insumos y posterior preparación para la fase de construcción del prototipo.

Tabla 13

Materiales	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
Tubos rectangulares - estructural HR50	13 m	\$36.000 x 6m	\$78.000
Tubería de Acero AISI 304 de 6 cm de diámetro y 2 mm de grosor	1,5 m	\$550.000	\$137.500
Tubo de Acero Normalizado ASTM A 36	1 m	\$150.000 x 6m	\$25.000
Angulo 1 1 /2x1/8>> A572°50	3 m	\$53.700 x 6m	\$26.850
Lamina de Acero inoxidable AISI 2B 4X8 FT CAL 16	1 lamina	\$750.000	\$750.000
Barra de Acero inoxidable AISI 304 CAL 18 de 1 pulgada	2 m	\$500.000	\$83.333
Lamina HR A36 4.5 mm 4x8 pulgadas	1 lamina	\$225.400	\$225.400
Angulo Acero inoxidable AISI 304 de 0,022 x 0,002 m	2,5 m	\$245.000	\$102.083
Lamina de Acero inoxidable AISI 304 de 1.5 mm de espesor	1 lamina	\$375.000	\$375.000
Tubo de Acero inoxidable AISI 304 de 4 pulgadas, 1.2 de espesor	1 metro	\$21.200	\$21.200
Tubo de Acero ASTM A 53 de 4 pulgadas, SCH 40	0,40 m	\$500.00 x6m	\$33.333
Ucf205-16 Cgt 1 Chumacera Flanche Para Eje De 1 Pulgada	1 und	\$33.000	\$33.000

Chumacera De Flanche 2 Huecos para eje de 1 pulgada	1 und	\$91.300	\$91.300
Lámina Galvanizada Calibre 20 de 0.85 mm 1x2 m	5 laminas	\$78.000	\$390.000
Tornillería 8mm	20 und	\$450,00	\$9.000
Tornillería 10 mm	20 und	\$630,00	\$12.600
Motor y transmisión	1 und	\$450.000	\$450.000
Caja reductora DIXUS sinfin corona, eje de 25 mm – NRV 63	1 und	\$400.000	\$400.000
Soplador 600w Makita Ub1103	1 und	\$444.000	\$444.000
ventilador centrífugo	1 und	\$500.000	\$500.000
Vidrio Templado m^2	1 und	\$110.000	\$20.000
Termómetro de temperatura	1 und	\$17.000	\$17.000
		Total	4.223.499

. Estimación del costo de los materiales requeridos para llevar a cabo la construcción del prototipo.

Tabla 14

Actividad	Horas	Perfil	Costo/hora	Costo Total
Diseño	30 horas			\$450.000
Fabricación	200 horas	Ing. Mecánico	\$15.000	\$3.000.000
Pruebas	2			\$30.000
Total				\$3.480.000

. Costo de la mano de obra durante el tiempo de realización del prototipo de cocción y centrifugado.

5.3.2 Construir y ensamblar las diferentes partes principales de la tostadora según requerimientos técnicos.

La construcción del prototipo comenzó con el procesamiento de las láminas de acero inoxidable proporcionadas por el Tecnoparque Nodo Ocaña. De estas láminas, se procedió a cortar y dar forma al cilindro principal, el cual se diseñó con unas dimensiones de 50 cm de diámetro por 100 cm de largo.

Una vez que el cilindro adquirió sus dimensiones y forma adecuadas, se llevaron a cabo las soldaduras necesarias para unir sus bordes y asegurar una estructura hermética y resistente. Posteriormente, se realizaron los detalles finales de acabado, asegurando la calidad y funcionalidad del componente principal del prototipo.

Figura 49

. Procesamiento de las láminas de acero inoxidable

Figura 50

. Unión de las láminas metálicas mediante proceso de soldadura

Figura 51

. Elaboración de la tapa trasera del cilindro con orificio central para el paso del eje de giro.

Figura 52

Cubierta delantera del cilindro en proceso de detallado



. elaboración de orificios y cortes funcionales para la parte de la cubierta delantera

Figura 53

: Fijación de media cubierta frontal al cuerpo del cilindro

Figura 54

: Instalación de bisagras y fijación inferior de la cubierta frontal.

Posteriormente, se avanzó en la construcción de la base encargada de soportar el cilindro durante el proceso de tostión. Para su fabricación se utilizaron tubos rectangulares estructurales HR °50, seleccionados por su alta resistencia mecánica y estabilidad. La estructura fue diseñada para brindar un soporte firme al sistema completo, incluyendo el cilindro, el motor y los componentes asociado.

Además, se incorporaron ángulos de $1 \times 1/2 \times 1/8$ A572°50 en la parte inferior de la estructura, destinados a sostener los fogones que proporcionarán el calor necesario para el proceso de tostado. Cada componente fue cortado, alineado y ensamblado según los planos técnicos y las uniones se realizaron mediante soldadura, asegurando rigidez y durabilidad en toda la base.

Figura 55



. Cortes iniciales de los tubos rectangulares HR °50 para la fabricación de la base

Figura 56

. Preparación de ángulos para ser integrados en la estructura como soporte de los fogones

Figura 57

. Unión de perfiles estructurales mediante soldadura para formar la base del sistema

Figura 58

. Perforación y montaje de los ángulos donde se sostendrá el cilindro.

Figura 59

. Ensamblaje completo de la estructura para soporte del cilindro y elementos funcionales del sistema.

Después de finalizar el armado de la estructura base, se dará inicio al proceso de instalación de los fogones, componentes esenciales para la generación de calor que permitirá llevar a cabo el proceso de tuestión del café. Estos fogones serán ensamblados directamente sobre los ángulos estructurales previamente instalados en la parte inferior de la base, los cuales fueron destinados específicamente para cumplir con esta función de soporte.

Para su fabricación, se utilizarán tubos de acero ASTM A53 de 4 pulgadas, con especificación SCH 40, seleccionados por su resistencia a altas temperaturas y su capacidad de mantener una combustión estable y segura. Estos tubos funcionarán como cámaras de combustión donde se alojará la fuente de calor (aceite reciclado), permitiendo dirigir la energía térmica de manera uniforme hacia el cilindro tostado.

El proceso de acople de estos tubos a la estructura requerirá la utilización de Lamina HR A36 4.5 mm 4x8 pulgadas, que serán adecuadamente cortadas, moldeadas y soldadas para garantizar un ensamblaje firme, seguro y alineado con los demás componentes del sistema.

Figura 60



. Tubos que serán acoplados a la estructura como cámaras de combustión de ASTM A-53

Figura 61

. lamina HR A36 4.5 mm 4x8 pulgadas utilizadas para fijar los tubos de combustión a la estructura base mediante corte y soldadura.

Figura 62

. instalación de los tubos ASTM A53 de 4" como cámaras de combustión, acoplados con láminas HR A36 4.5 mm 4x8 pulgadas a la base del sistema.

Una vez finalizada la instalación de los fogones, se continuó con el ensamblaje de las hélices, componentes fundamentales para el desplazamiento del grano de café durante el proceso de tostión. Estas fueron construidas sobre un eje elaborado en acero inoxidable, material seleccionado por sus propiedades anticorrosivas y su resistencia a las altas temperaturas, lo cual garantiza durabilidad y seguridad alimentaria.

Sobre dicho eje se soldaron una serie de ángulos y láminas de acero inoxidable, los cuales forman el diseño de las hélices, concebidas para generar un movimiento uniforme del grano a lo largo del cilindro durante la rotación. En específico, se utilizaron ángulos de Angulo Acero inoxidable AISI 304 de 0,022 x 0,002 m y láminas de acero inoxidable AISI 304 de 1.5 mm de espesor, materiales que proporcionan rigidez estructural, resistencia al desgaste y compatibilidad con el entorno alimentario del proceso de tostión.

Una vez terminado el armado del eje, se procedió a su instalación dentro del cilindro, asegurándolo mediante un sistema de soporte compuesto por dos chumaceras. En el extremo delantero del cilindro se fijó una chumacera de flange de 2 huecos para eje de 1 pulgada, la cual permitió una instalación compacta y precisa en el espacio frontal de la máquina, facilitando futuras tareas de inspección o desmontaje.

Por su parte, en el extremo posterior se montó una chumacera tipo UCF205-16 CGT de 4 pernos con flange cuadrado, también para eje de 1 pulgada, que ofrece una mayor estabilidad estructural y soporte ante las fuerzas generadas durante la rotación del cilindro, ya que en este extremo se conecta el sistema motriz.

Ambas chumaceras fueron atornilladas firmemente a las placas circulares de los extremos del cilindro, previamente perforadas y alineadas para garantizar la precisión del montaje. Este sistema de soporte asegura que el eje gire de manera fluida y sin desplazamientos laterales, permitiendo una operación estable y continua del prototipo.

Figura 63



. fabricación de hélices con láminas de acero inoxidable AISI 304 de 1.5 mm, cortadas y soldadas sobre Angulo de Acero inoxidable AISI 304 de 0,022 x 0,002 m, que serán ensambladas al eje para facilitar la agitación del grano durante el tostado.

Figura 64

. Vista de la parte frontal del cilindro con la instalación de la chumacera de flange de 2 huecos para eje de 1 pulgada, la cual será clave para guiar y soportar el eje rotatorio del sistema de agitación.

Figura 65

. Acople de las hélices

Figura 66

. Se observa la instalación de la chumacera de flange de 4 huecos para eje de 1 pulgada, ubicada en la parte posterior del sistema, asegurando el soporte y centrado del eje principal.

Posteriormente, se procedió con la instalación del sistema motriz encargado de generar el movimiento de rotación del cilindro tostador. Para ello, se utilizó un motor monofásico tipo capacitor start de 2.0 HP (1.5 KW) a 1700 r/min, compatible con tensión de 110/220 V a 60 Hz. Este motor fue montado sobre una base estructural fabricada con tubos rectangulares de acero HR50, previamente soldados, diseñada para brindar soporte firme y estabilidad durante su operación.

El motor fue acoplado mediante un acople flexible a una caja reductora modelo DIXUS NMRV063, con relación de reducción 30:1, cuya función principal es disminuir la velocidad de giro del motor y aumentar el torque transmitido al eje. Tanto el motor como la caja reductora fueron fijados sobre un soporte metálico inferior elaborado con ángulos de 1 1/2"x1/8" en acero A572 Grado 50, integrados a la estructura principal, lo que permitió una instalación precisa y resistente. La alineación entre el eje del motor y el del reductor fue verificada cuidadosamente para garantizar un funcionamiento sin vibraciones ni desalineaciones. Finalmente, todo el conjunto fue asegurado mediante pernos y platinas reforzadas sobre la estructura metálica auxiliar, asegurando un montaje duradero y confiable.

Figura 67



. Acople motor–reductora sobre estructura con ángulos A572 Grado 50.

Figura 68



. Vista superior del motor monofásico 2.0 HP y caja reductora DIXUS NMRV063, acoplados al eje del cilindro mediante sistema de piñón y cadena.

Para continuar con el ensamble del sistema de alimentación del prototipo, se procederá con la instalación de la tolva sobre el extremo frontal del cilindro tostador. La tolva fue fabricada a partir de una lámina de acero inoxidable AISI 304 de 1,5 mm de espesor, la cual fue cortada y doblada hasta obtenerla forma troncopiramidal. A esta estructura se acopló un tubo de acero inoxidable AISI 304 de 4 pulgadas de diámetro y de 1.2 de espesor, que sirve como conducto de ingreso del café hacia el interior del cilindro.

Para fijar el tubo a la tapa frontal del cilindro, se empleó una placa elaborada en lámina HR A36 de 4.5 mm de espesor, similar a la utilizada en la estructura de los fogones. Esta placa fue soldada al tubo y perforada en sus esquinas para permitir su sujeción mediante pernos, garantizando una unión firme, estable y alineada con el eje de rotación del cilindro. Este paso es fundamental para asegurar un flujo adecuado del grano durante el proceso de carga y una integración estructural eficiente del sistema de alimentación.

Figura 69



. Componente diseñado para facilitar la alimentación del grano hacia el cilindro tostador.

Figura 70

. Conductor del grano desde la tolva hacia el cilindro tostador.

Figura 71

. Tubo de acero inoxidable de 4 pulgadas soldado en ángulo a una placa base cuadrada, fijado a la carcasa mediante tornillos.

Figura 72

Tolva troncopiramidal fabricada en acero inoxidable



. Detalle de la tolva troncopiramidal en acero inoxidable, encargada de direccionar los granos hacia el interior del sistema.

Figura 73

. Imagen donde se observa la aplicación de la carcasa en lámina galvanizada calibre 20 (0.85 mm, 1x2 m), utilizada para el aislamiento térmico y concentración del calor en el sistema.

A continuación, se da lugar a la elaboración del extractor de humo, un componente indispensable dentro del prototipo de la tostadora. Su función principal es canalizar y evacuar los gases y partículas generadas durante el proceso de combustión y tuestión, garantizando un flujo de aire controlado que favorezca tanto la seguridad operativa como la calidad del grano. Para este sistema se integró un ventilador centrífugo, encargado de proporcionar la presión y el caudal necesarios para mantener un ambiente interno estable, evitando acumulaciones de humo que puedan interferir en el desarrollo del perfil sensorial del café. De esta forma, el extractor de

humo se establece como un subsistema clave para el óptimo desempeño del prototipo y su operación continua.

El primer paso en la implementación del extractor de humo corresponde a la construcción e integración del ventilador centrífugo, dado que constituye el núcleo del sistema de evacuación.

Figura 74



. Armado inicial del ventilador centrífugo

Figura 75

. Construcción de la tapa correspondiente a la parte superior del ventilador

Figura 76

. Motor de medio caballo usado como fuente de movimiento para las aspas del ventilador centrífugo.

Figura 77

. Es la primera pieza metálica con forma de cilindro, que servirá como base de unión para el sistema. Esta parte es la que se conecta posteriormente con el tramo cónico para dar inicio al cuerpo del ciclón.

Figura 78

. Corresponde a la parte intermedia en forma de cono, que se acopla al cilindro de la primera imagen. Su función principal es guiar el flujo de aire hacia abajo, comenzando a generar el efecto ciclónico dentro del extractor de humo.

Figura 79

. Es la unión de las dos piezas anteriores (cilindro + cono), pintada de negro y con los elementos adicionales de soporte y entradas/salidas. Aquí ya se configura el ciclón extractor de humo, cuya geometría permite separar y canalizar las partículas y gases por medio del movimiento helicoidal del aire.

Figura 80

. Imagen del tubo que se va a unir al extractor de humo

Figura 81



. Se observa la integración total del sistema: el cilindro, el conducto de extracción y el extractor de humo.

En la siguiente etapa se llevaron a cabo los acabados y la integración de los accesorios funcionales, así como la disposición final del sistema de combustión del prototipo. Por un lado, se añadieron elementos esenciales para la operación práctica del tostador, como el contrapeso en forma de palanca para facilitar la apertura de la compuerta de descarga, un termómetro para el control de la temperatura interna y un soporte en madera para la toma de muestras de café durante el proceso de tuestión.

Figura 82

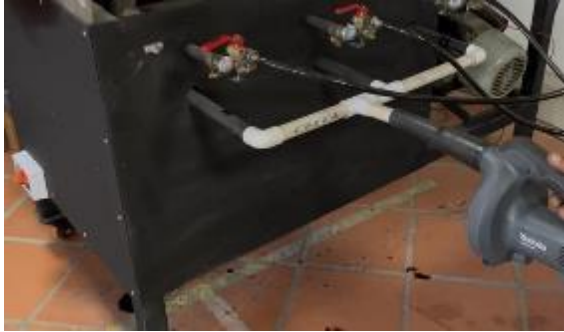
. Incorporación del contrapeso tipo palanca, termómetro y soporte en madera para muestra de café, elementos clave para la funcionalidad del tostador.

Paralelamente, se construyeron y adecuaron los fogones internos junto con la cámara de combustión, en donde se establecieron las conexiones posteriores para garantizar el suministro de aire y combustible. En este diseño, el aire se inyecta desde la parte inferior mediante el soplador, favoreciendo la intensidad de la llama, mientras que el aceite se introduce por la parte superior, asegurando la combustión necesaria para alcanzar las condiciones de tuestión definidas.

Figura 83

. Fogones acoplados

Figura 84

Figura 85

. Acoplamiento del soplador a los tubos de PVC que conectan a los fogones para la entrada de aire

Figura 86

Deposito para suministrar el aceite residual de motor a los fogones

Figura 87

. cámara de combustión, mostrando las uniones posteriores y los puntos de inyección de aire y aceite que permiten la generación de la llama.

5.3.3 Verificar el funcionamiento de la tostadora de café según lo establecido para su posterior entrega al usuario final.

Una vez finalizado el ensamble, lo siguiente es la prueba de la tostadora para verificar el buen funcionamiento y evitar un riesgo futuro para el usuario, esto para su entrega.

Durante esta fase se revisaron todos los componentes del sistema, incluyendo la estructura la cual soporto correctamente todos los componentes.

Figura 88



Verificación visual de soporte de la estructura en funcionamiento

Luego se verifico el tambor, se probó que el sistema de transmisión proporcionara la potencia y la entrega final de rpm deseada que eran los 30 rpm que se necesitaba para la salida del eje de las hélices, esto para una buena distribución del café durante el proceso de tostado.

Figura 89

verificación de salida de velocidad y potencia entregada en funcionamiento.

Luego se verifico el sistema de combustión con sus respectivas tuberías y válvulas, el soplador, así como la carcasa de aislamiento térmico, esto con el fin de verificar que funcionara correctamente la entrega de aceite residual de motor y la entrega de aire para el proceso de tostado del café.

Figura 90



. Verificación visual del sistema de combustión funcionando correctamente.

Además, se verificó el funcionamiento del termómetro el cual nos ayuda a mantener una temperatura regulada durante el proceso de tostado, temperatura que fue establecida anteriormente a 230°C.

Uno de los ajustes menores que se agregaron para el buen funcionamiento, fue una válvula de paso para regular de mejor manera el paso de aire.

Figura 91

Luego de realizar la verificación del prototipo de la tostadora de café, se verifico que todos los sistemas estructura, tambor, transmisión, combustión, tuberías, válvulas, soplador y carcasa de aislamiento térmico funcionan de manera correcta y conforme a lo establecido en el diseño. Con ello se garantiza que el equipo cumple con las condiciones necesarias para su operación y se encuentra en óptimas condiciones para su entrega al usuario final.

6.Conclusiones

El proyecto permitió alcanzar de manera satisfactoria los objetivos planteados, logrando el desarrollo integral de una tostadora de café alimentada con un sistema de combustión a base de aceite residual de motor.

En primer lugar, se identificaron los requerimientos técnicos necesarios para el diseño, estableciendo un volumen de carga de 20 kg de café, una velocidad de giro del eje de 30 rpm para garantizar una adecuada mezcla del grano y una temperatura de operación de 230 °C, valores que resultaron óptimos para obtener un tostado uniforme.

A partir de estos parámetros se diseñó la tostadora en el software CAD-SolidWorks, en los cuales por medio de cálculos técnicos el sistema de transmisión para seleccionar cada uno de sus componentes, el sistema de combustión, el cual logró suplir un calor requerido de 7577 W, con pérdidas térmicas de alrededor de 250 W, lo que evidencia un desempeño eficiente del sistema. Asimismo, se determinó que el consumo de combustible corresponde a 0,1933 litros de aceite residual de motor por cada ciclo de tostado, y que cada fogón requiere un flujo volumétrico de 0,000179 L/s, parámetros que garantizan la estabilidad de la llama y la eficiencia en el suministro de energía.

Durante la fase de construcción, la selección de materiales fue un aspecto determinante para el éxito del prototipo, ya que se eligieron componentes que garantizaran resistencia

mecánica, durabilidad y seguridad alimentaria. La estructura se fabricó con acero normalizado grado 50 y ángulos HR A72, mientras que las partes en contacto directo con el café, como el cilindro, la tolva, la compuerta y las hélices, se construyeron en acero inoxidable AISI 304, asegurando resistencia a la corrosión y facilidad de limpieza. Los fogones se elaboraron en lámina HR A36 de 4,5 mm para soportar las altas temperaturas, y para el sistema de extracción de humo se emplearon láminas galvanizadas calibre 20 junto con un ventilador centrífugo que garantizó la evacuación de gases.

Posteriormente, se construyó un prototipo funcional que fue sometido a pruebas experimentales, en las cuales se verificó su capacidad de mantener la temperatura de tostado durante un tiempo estimado de 18 minutos por ciclo, así como la estabilidad del proceso con el uso de aceite residual filtrado, reduciendo la dependencia del uso de leña y contribuyendo a una operación más limpia.

Finalmente, se comprobó que el prototipo cumple con los parámetros establecidos en el diseño, demostrando un adecuado desempeño en aspectos técnicos, energéticos y operativos. Con ello, el proyecto no solo logró consolidar un prototipo funcional acorde a las necesidades del usuario, sino que también aporta una alternativa sostenible y replicable para pequeños productores.

No obstante, se identificaron algunos aspectos que pueden mejorarse en futuros desarrollos. Entre ellos optimizar el aislamiento de ruido, hacer el prototipo más automatizable, y fortalecer el sistema de extracción para garantizar una evacuación de gases más eficiente.

7.Recomendacionesenton

Se recomienda implementar un programa de mantenimiento preventivo y correctivo de acuerdo con la frecuencia de uso del prototipo, el cual debe contemplar la revisión periódica del sistema de combustión, el estado de los fogones, el sistema de inyección de aire, la limpieza de la cámara de tostado y la verificación de las uniones mecánicas y eléctricas. Asimismo, es importante realizar verificaciones visuales y auditivas al motor y a los mecanismos de transmisión para detectar a tiempo posibles anomalías que puedan comprometer el rendimiento del equipo.

El usuario debe evitar la sobrecarga de café en la cámara de tostado, ya que esta práctica puede ocasionar un consumo excesivo de combustible, una distribución irregular del calor y una disminución en la eficiencia del proceso. De igual forma, se recomienda controlar la calidad y el filtrado del aceite residual utilizado como combustible, con el fin de reducir la presencia de impurezas que puedan obstruir el sistema de combustión o afectar la estabilidad de la llama.

Además, se considera importante implementar algunas mejoras en el prototipo. Una de ellas es la instalación de un sistema de aislamiento o una caja en el área de transmisión, lo cual ayudaría a disminuir el ruido que produce el motor. De igual manera, podría optarse por un motor de menor potencia debido a que un motor de 2 Hp está por encima de lo necesario y ayuda a contribuir a disminuir la contaminación sonora. Para complementar estas acciones, sería

conveniente realizar mediciones de los decibeles que genera el equipo, con el fin de garantizar que el ruido se mantenga dentro de un rango seguro para el oído humano.

Por otro lado, es recomendable verificar los desniveles del lugar donde se encuentra instalado el prototipo, ya que esto asegurará una mayor estabilidad y un funcionamiento uniforme. También resulta útil automatizar el control de temperatura para mantener un rango adecuado durante el proceso de tostado, lo que repercute directamente en la calidad del café. En cuanto al sistema de combustión, se sugiere la incorporación de un extractor adicional que mejore la salida del humo y, a la par, realizar mediciones de las emisiones producidas, de manera que se pueda comprobar que el funcionamiento del prototipo sea ambientalmente responsable. Finalmente, sería beneficioso llevar a cabo simulaciones en SolidWorks para identificar la frecuencia natural de la máquina, con el objetivo de anticipar posibles vibraciones y garantizar un mejor desempeño estructural y operativo.

Finalmente, se sugiere llevar un registro detallado de las actividades de uso y mantenimiento del prototipo, lo cual permitirá detectar patrones de desgaste, prevenir fallas inesperadas y facilitar la aplicación de mejoras futuras en el diseño y funcionamiento del equipo.

Referencias

- (2019, 1 agosto). Portal Académico del CCH.
<https://el.portalacademico.cch.unam.mx/alumno/quimica1/unidad2/combustion/quees>
- Alberto, E. L. C. (s. f).
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-33242006000200011
- Ayala, E. (2022, 12 septiembre).
 . Salud Con Lupa. <https://saludconlupa.com/climatopedia/cocinar-con-lena-una-practica-que-nos-dana-tanto-como-el-humo-de-los-autos/>
- Billaud, F., Gornay, J., & Coniglio, L. (2007, 27 septiembre).
 . arXiv.org. <https://arxiv.org/abs/0709.4340>
- C, R. I. R. G. J. S. (s. f).
 . Revista
 ¿Cómo Ves? <https://www.comoves.unam.mx/numeros/articulo/123/los-biocombustibles>
- Campus, C. (2024, 20 febrero).
 Universidad Europea
 Creative Campus. <https://creativecampus.universidadeuropea.com/blog/que-es-prototipo/#:~:text=Un%20prototipo%20vendr%C3%ADa%20a%20ser,y%20confirmar%20tambi%C3%A9n%20su%20funcionalidad.>
- Carola, R. C., Yamile, P. S., Iriarte, A. A., & Arrieta, A. (2019).
 . <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/110066>
- . (s. f).
<https://www.cenicafe.org/>
- Cruzito. (2024, 24 enero).
 .
 Estudiando. <https://estudiando.com/transmision-de-potencia-mecanica-elementos-tipos-y-metodos/>

De la Torre, M. R. (2023, 4 octubre).

Congreso Nacional de Industria. <https://congresoindustria.gob.es/aplicacion-sectores-industriales/la-biomasa-como-combustion-para-los-tostadores-de-cafe/>

Echeverría, R. S. A., Ayala, J. C. L., Mosquera, J. R. G., & Reinoso, C. H. G. (2019). Valor energético del aceite usado en sistemas de combustión térmicos de la industria cementera del país. , (4.2), 100-115.

<https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v3i4.2.1012>

Economía, R. (2024, 2 abril). Cerca de 549.000 familias cafeteras producen más de 10,6 millones de sacos de café cada año en Colombia.

. <https://www.semana.com/economia/macroeconomia/articulo/cerca>

<https://portal.ucol.mx/dges/>. (s. f.).

<https://recursos.ucol.mx/tesis/investigacion.php#:~:text=De%20acuerdo%20con%20Hern%C3%A1ndez%2C%20Fern%C3%A1ndez%20y%20Baptista,estad%C3%ADstico%20inferencial%2C%20se%20prueban%20hip%C3%B3tesis%20previamente%20formuladas.>

Intermec S.A. (s. f.).

. Intermec S.A.

https://ejemplo.com/manual_piñones.pdf

. (s. f.).

<https://www.intermec.com.co/>

International Coffee Organization. (2021).

(Vol.

CY2020/21). <https://www.ico.org/documents/cy2020-21/cmr-0821-c.pdf>

Jaime, V. A. (2020).

<http://hdl.handle.net/10882/10122>

Kyungin, Y. S. A. (2021, 3 diciembre).

. Biblioteca Digital

Universidad Nacional de Educación Enrique Gúzman y Valle.

<https://repositorio.une.edu.pe/entities/publication/0308929a-6dc6-4836-8956-c634b804f561>

. (s. f.). Función Pública.

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=57353>

. (s. f.). Función Pública.

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=80013#:~:text=Ser%C3%A1%20libre%20la%20tenencia%2C%20posesi%C3%B3n,art%C3%ADculo%202%C2%BA%2C%20de%20esta%20Ley.>

Lopez, B. M., & Lopez, B. M. (2024, 21 mayo).

. Incapto Coffee. <https://incapto.com/blog/cambios-fisicos-de-los-granos-durante-el-tueste/>

Mauricio, B. V. O. (2016).

Repositorio Institucional Séneca. <http://hdl.handle.net/1992/13553>

Mill City Roasters. (s. f).

https://millcityroasters.com/products/1kg-coffee-roaster-mcr-series?srsId=AfmBOorkxFCEEZTpS9VdmlodPlZ7NCwvKJX0g5k7pKQDakG0p3iHEWQ_

Ministerio de Economía Familiar, Comunitaria, Cooperativa y Asociativa de Nicaragua. (2019).

<https://www.economiafamiliar.gob.ni/backend/vistas/doc/cartilla/documento981614.pdf>

Mónica, U. M. (2006b).

. Repositorio Institucional Séneca.

<https://repositorio.uniandes.edu.co/entities/publication/2fcf699f-4b2f-4b03-a137-b0d918318730>

Napoleon. (2022, 24 marzo). Máquinas Tostadoras de Café en Colombia.

<https://tostarcafe.com/tostadoras-de-cafe/maquinas-tostadoras-de-cafe-en-colombia/>

. (2019, 21

noviembre). Federación Nacional de Cafeteros.

<https://federaciondecafeteros.org/wp/tipos/normatividad/page/2/>

OCDE-FAO perspectivas agrícolas 2021-2030. (2021). En

<https://doi.org/10.1787/47a9fa44-es>

Oestreich-Janzen, S. H.

(2013). Chemistry of Coffee. En . <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-409547-2.02786-4>

Patricio, S. V. S. (2008, 1 enero). Análisis de factibilidad sobre la inyección de aceite quemado en combinación con bunker, como combustible alternativo, en el área del precalentador, en el proceso de clinkerización, en la empresa «Industrias Guapán».

<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/966>

Peters, M. (2025, 22 abril). Ventajas de los Tostadores de Café Innovadores para Satisfacer las Necesidades del Consumidor Moderno. <https://insights.made-in->

china.com/es/Advantages-of-Innovative-Coffee-Roasters-for-Meeting-Modern-Consumer-Needs_XtuGjBaPHnid.html

Pmartinezma. (2018, 3 mayo). Sigaus explica la gestión de los aceites usados.

. <https://www.nebrija.com/medios/actualidadnebrija/2018/05/03/sigaus-explica-la-gestion-de-los-aceites-usados/>

Porras-Zúñiga, M. C., Vargas-Elías, G., Madrid, L. A., & Abarca-Alpízar, Y. N. (2019). Efecto de la temperatura en la rapidez del tostado de café.

<https://doi.org/10.18845/tm.v32i7.4255>

Prfj. (2023, 20 abril). Guía para principiantes sobre el tostado del café - Besca Roasters.

. <https://es.bescaroasters.com/guia-para-principiantes-sobre-el-tostado-del-cafe/>

. (s. f.). Web Starter Kit.

<https://www.ashrae.org/technical-resources/standards-and-guidelines/read-only-versions-of-ashrae-standards>

Redaccion. (2023, 2 julio).

. Suministros Fenollar. <https://www.suministrosfenollar.com/tipos-transmisiones-potencia-y-aplicaciones-distintas-industrias/>

Ship & Shore Environmental Inc. (2024, 16 septiembre).

. <https://shipandshore.com/industries-served/rto-for-coffee-roasting/>

Sodeca. (2017).

. Sodeca.

https://www.sodeca.com/files/catalogs/es/CT11_Cataleg_60Hz_2017_COLOMBIA.pdf

. (s. f.). <https://catalogosiidca.csuca.org/Record/UNANI.037501/Details>

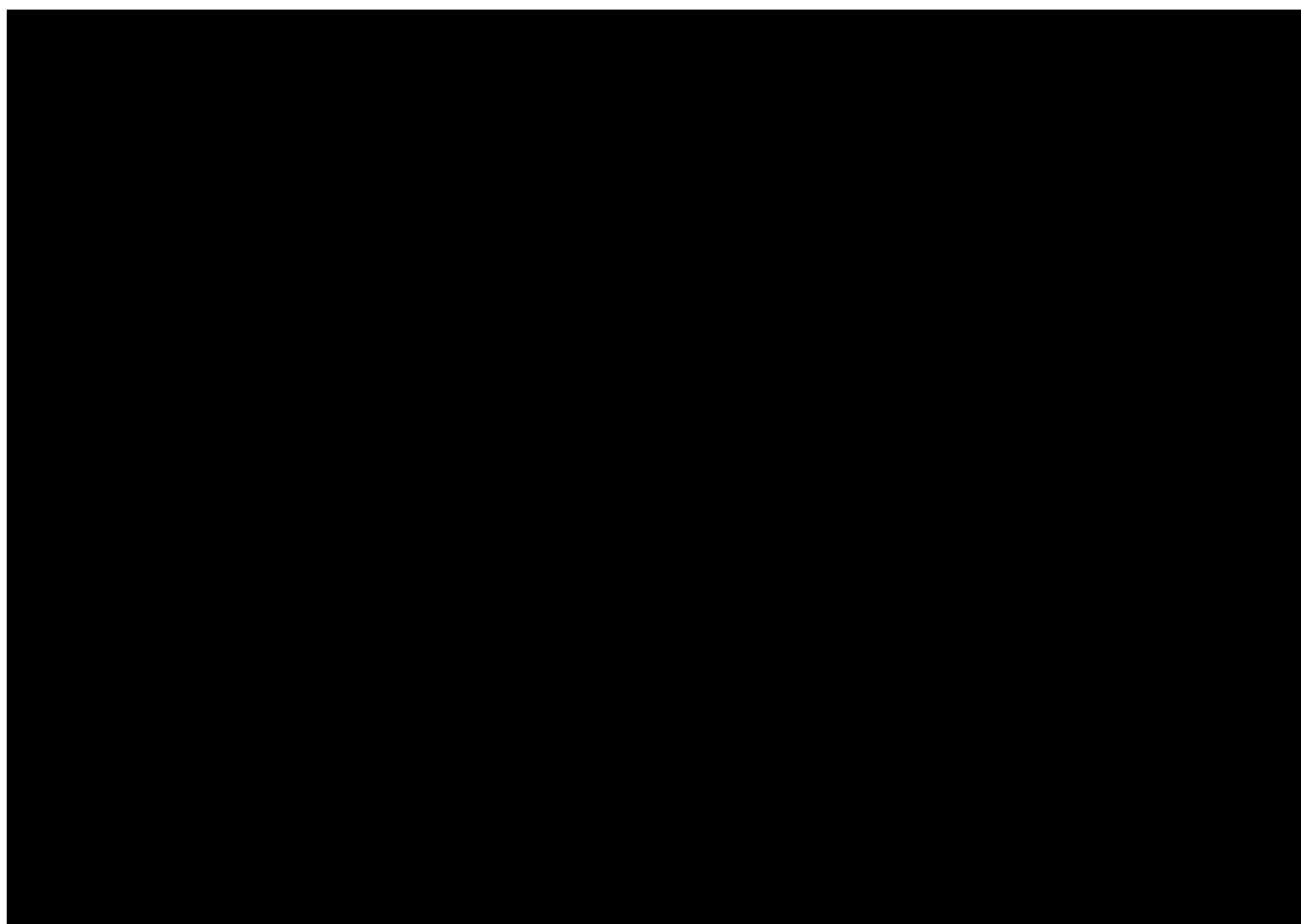
. (2024, 23 febrero).

<https://www.sanfranroaster.com/san-franciscan-roaster-company-sf-25lb/12kg-coffee-roaster>

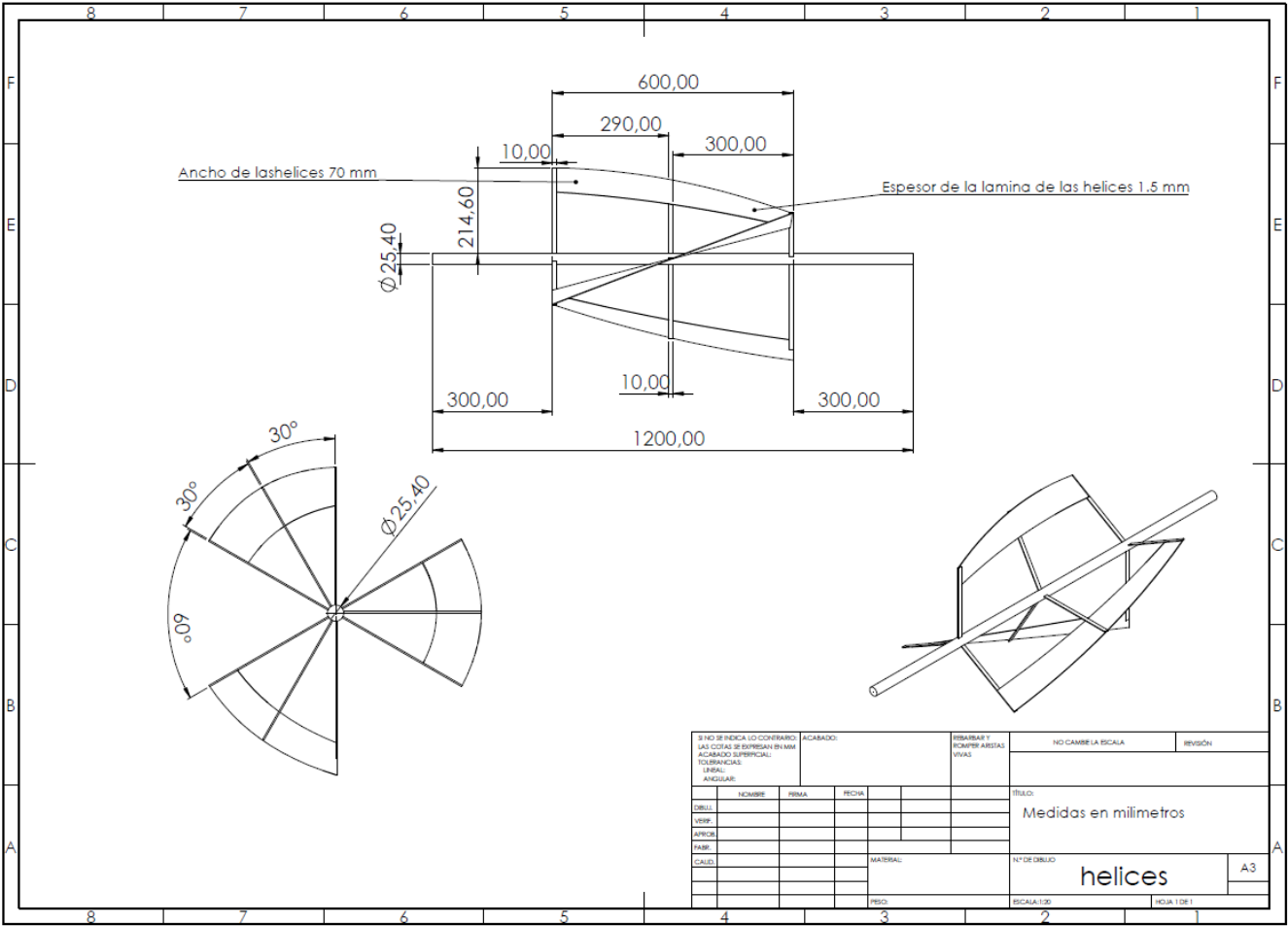
- . (2020, 10 noviembre).
<https://www.ajtransmisiones.com/blog/tipos-de-sistema-de-transmision>
- . (s. f.). <https://forestal.cafe/tostadora-forestal/>
- Vaca, L. A. P., Suarez, K. D. O., Velázquez, I. R. A., Alemán, J. L. A., & Figueroa, T. F. (2018). Situación de la caficultura ecuatoriana: Perspectivas.
 , (1). http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2308-01322018000100015&script=sci_arttext&tlng=en
- Vanegas, F. (2021, 18 noviembre). . | Coffee Media. <https://www.yoamoelcafedecolombia.com/2021/11/18/ranking-departamentos-productores-de-cafe-2021/>
- Villamil, S. (2024, 18 noviembre). . ANeIA. <https://aneia.uniandes.edu.co/cosechando-el-futuro-sostenibilidad-en-la-industria-cafetera-colombiana/>
- Villegas, C. I. C. (2019). Transferencia De Calor y Masa, 4ta ed. Cengel McGraw Hill. .
https://www.academia.edu/38408494/Transferencia_De_Calor_y_Masa_4ta_ed_Cengel_McGraw_Hill
- . (s. f.).
<https://publicaciones.cenicafe.org/index.php/cenicafe/article/view/197/165>
- Yuridia, & Yuridia. (2024, 20 marzo). . SDI Industrial.
<https://sdindustrial.com.mx/blog/sistemas-de-transmision-de-potencia/>

Apéndices

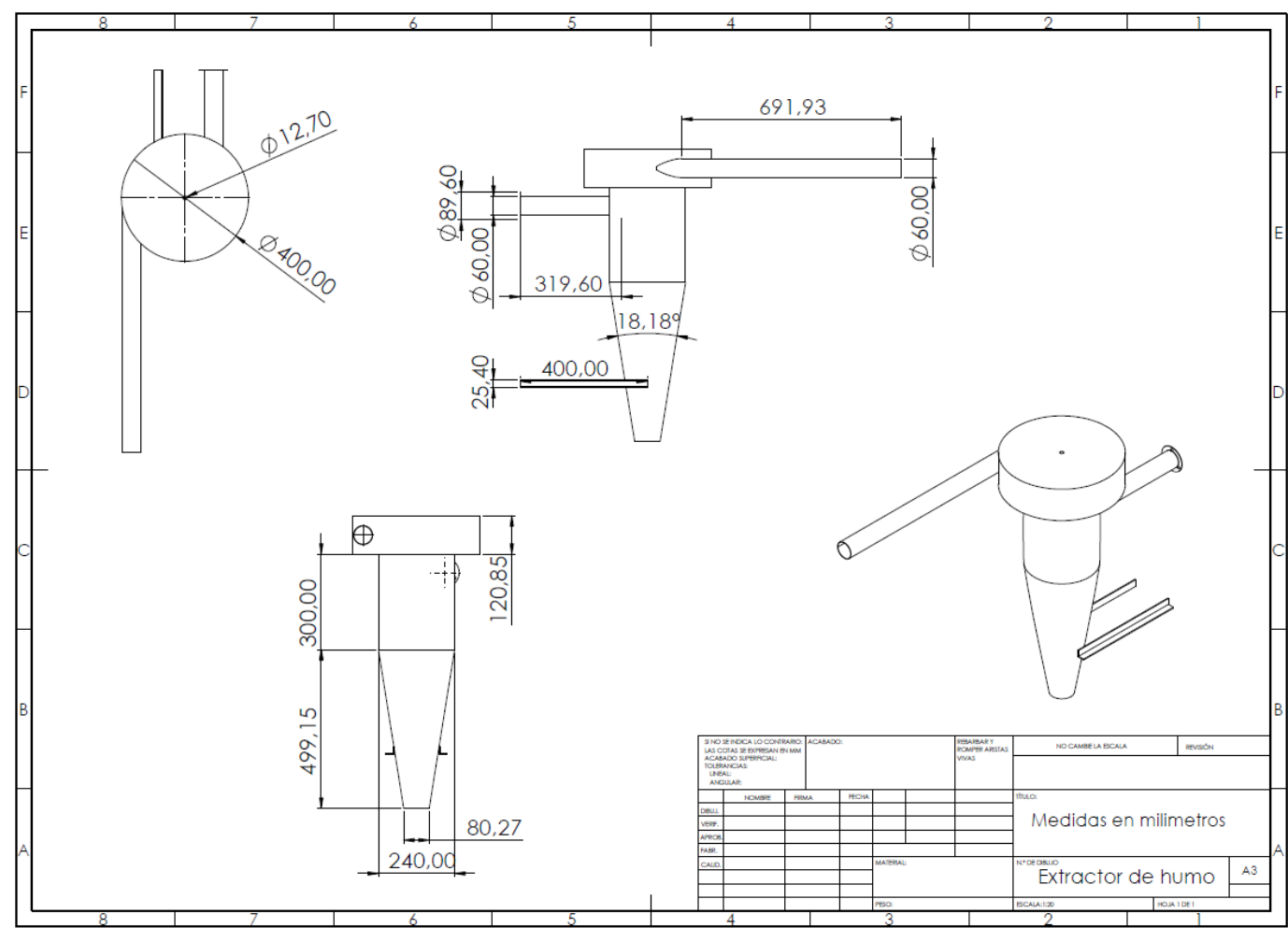
Apéndice A. Vista Explosionada



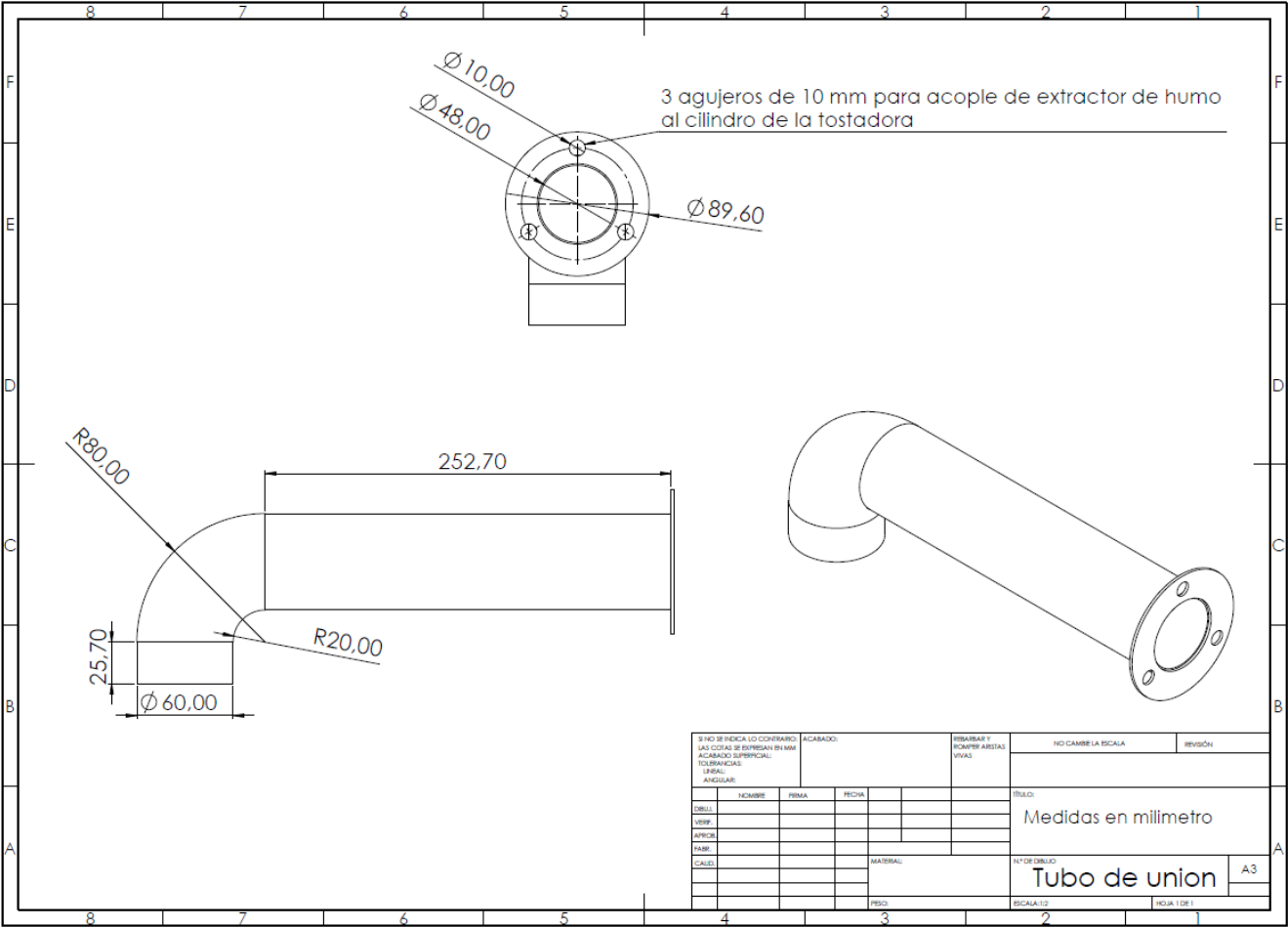
Apéndice D. Hélices



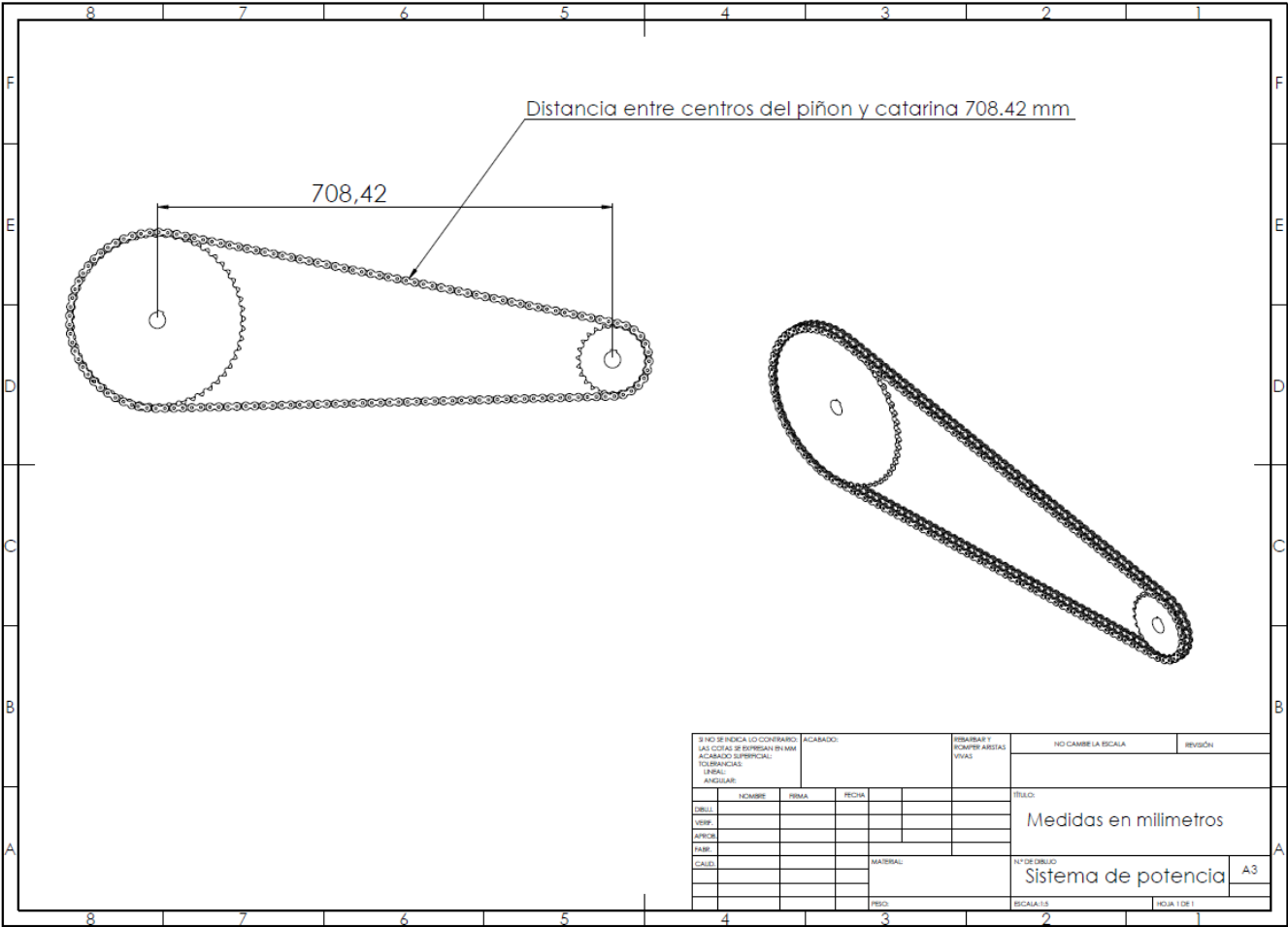
Apéndice E. Extractor de humo



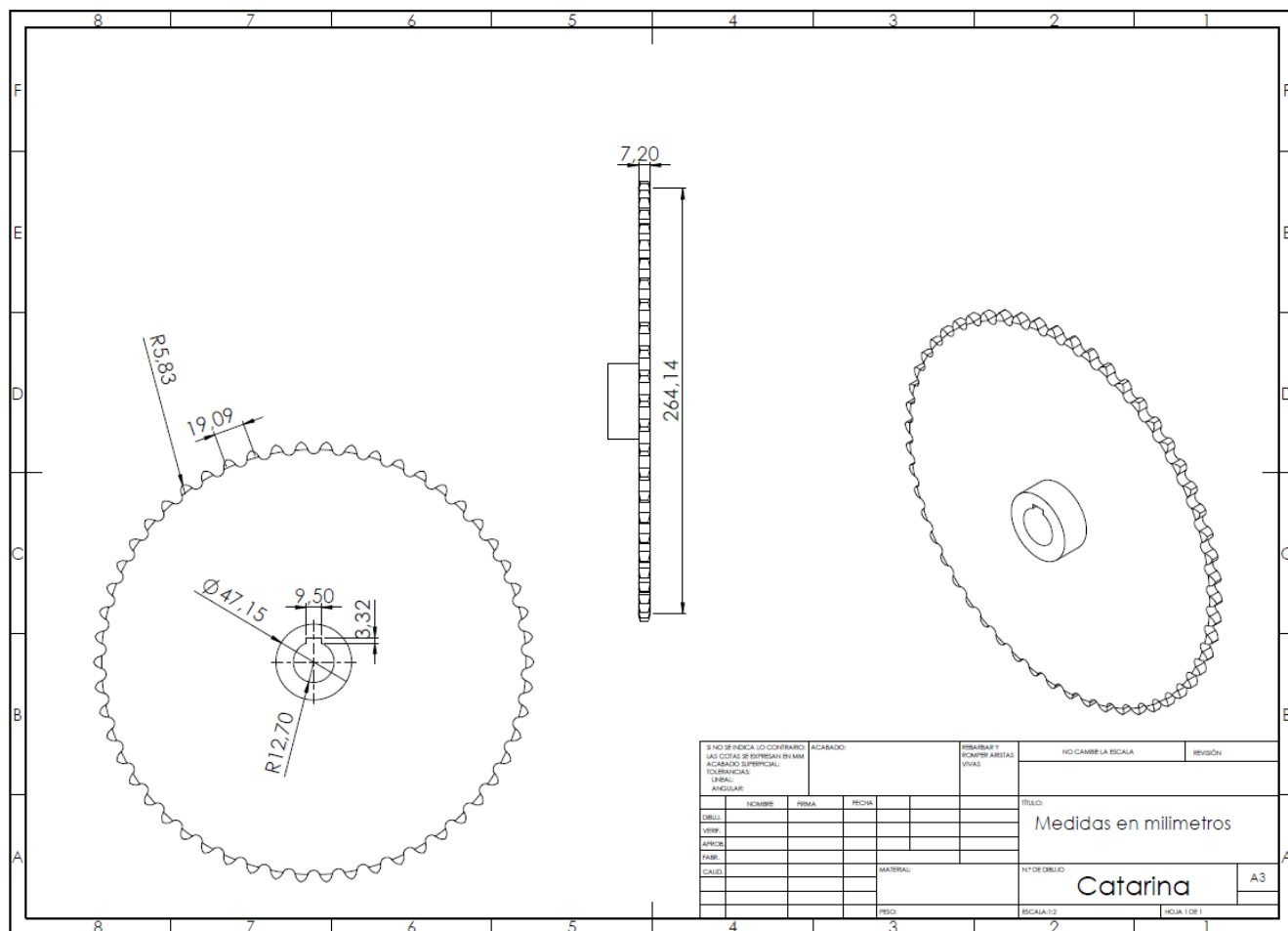
Apéndice F. Tubo de unión



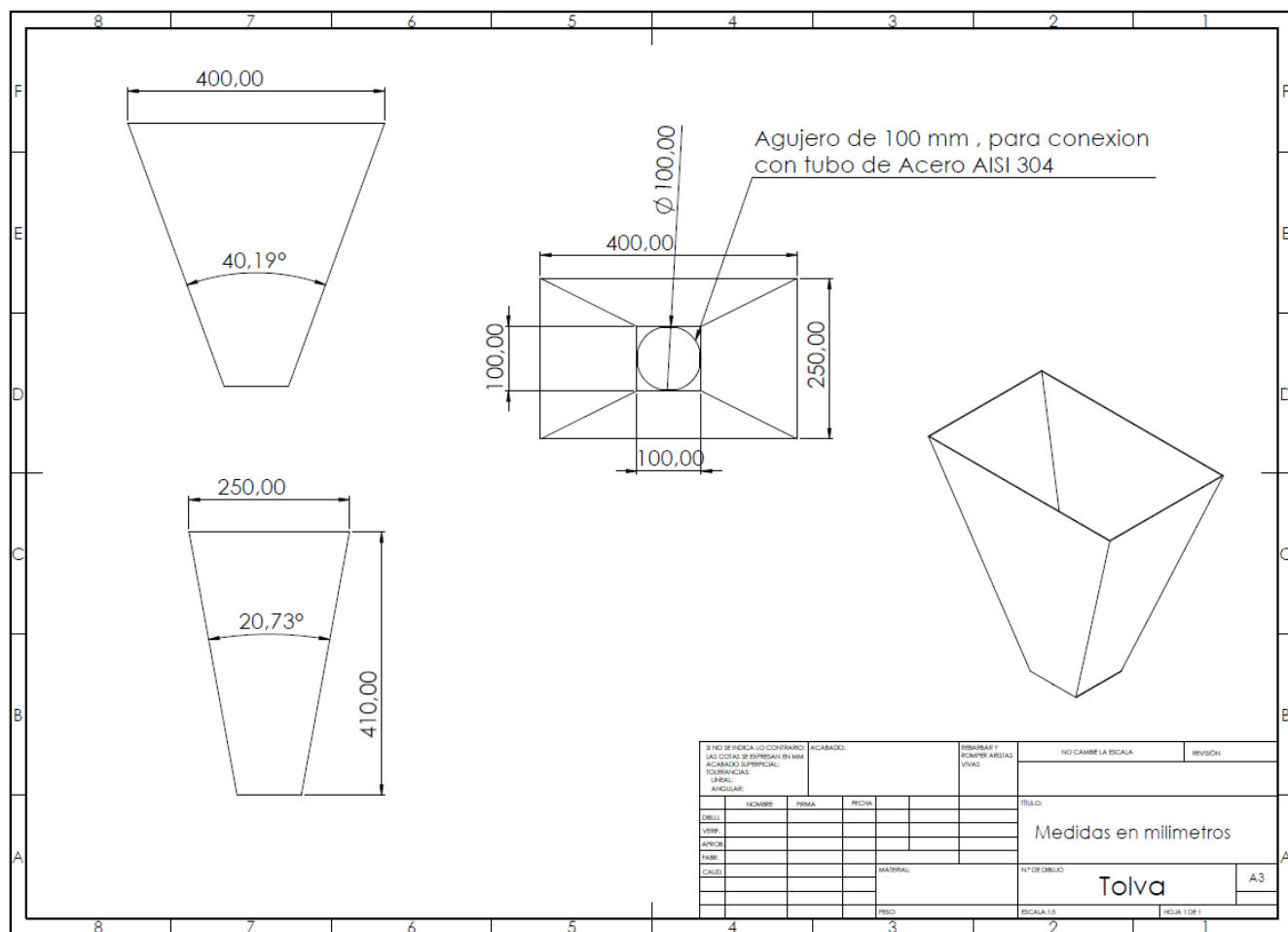
Apéndice G. Sistema de potencia



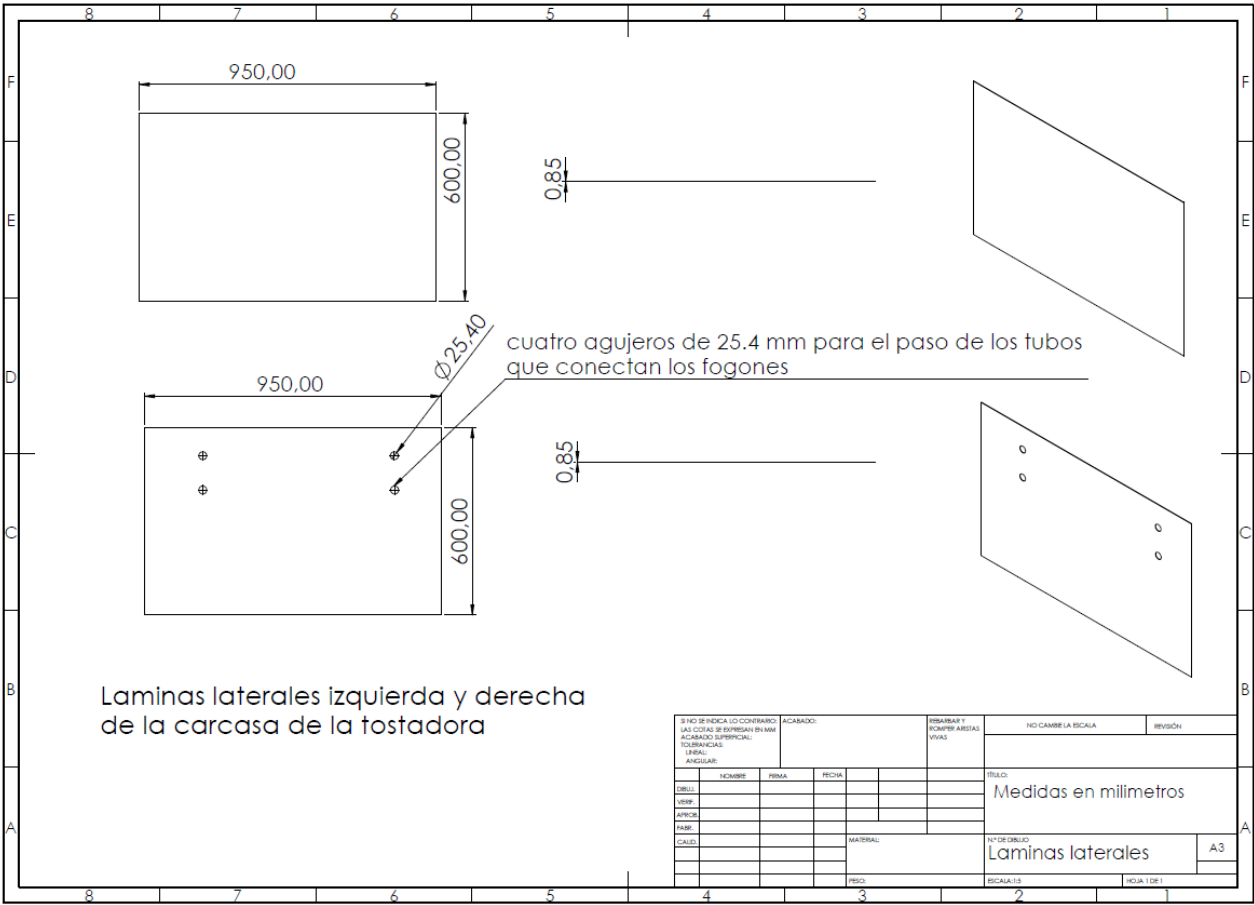
Apéndice I. Catarina



Apéndice J. Tolva



Apéndice M. Láminas laterales



Apéndice N. Lámina posterior

Technical drawing of a rectangular plate with dimensions 600.00 x 550.00 mm and a thickness of 0.85 mm. The drawing includes a top view, a side view, and a detail view of the thickness. The top view is a rectangle with dimensions 600.00 mm (width) and 550.00 mm (height). The side view is a rectangle with a height of 0.85 mm. A detail view shows the thickness of the plate as 0.85 mm. The drawing is labeled "Espesor de la lamina" (Thickness of the plate).

Apéndice P. Tuberías

